



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE
BIODIÉSEL EN LA CENTRAL DE ABASTOS
DE LA CDMX**

TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
DE INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A
JOSÉ MIGUEL SÁNCHEZ SOTO

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 9 agosto 2018





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: M. en C. JOSE ANTONIO ORTÍZ RAMÍREZ

VOCAL: M. en C. LETICIA VALLE ARIZMENDI

SECRETARIO: DRA. ALEJANDRA CASTRO GONZÁLEZ

1er SUPLENTE: PROFESOR JOSÉ LUIS LÓPEZ CERVANTES

2do SUPLENTE: PROFESOR LUIS ÁNGEL MORENO AVENDAÑO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

LABORATORIO DE PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES DEL POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, CIUDAD UNIVERSITARIA, UNAM. LA TESIS FORMA PARTE DEL PROYECTO “PLANTA DE BIODIÉSEL PARA USO AUTOMOTRIZ EN LA CIUDAD DE MÉXICO”, PROYECTO SECITI 106/2016 SECRETARÍA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

ASESORA DEL TEMA:

DRA. ALEJANDRA CASTRO GONZÁLEZ

SUSTENTANTE:

JOSÉ MIGUEL SÁNCHEZ SOTO

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
RESUMEN	XI
INTRODUCCIÓN	XII
OBJETIVOS	XIII
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	2
1.1. BIOCOMBUSTIBLES	2
1.1.1. Una breve historia de los biocombustibles	2
1.1.2. Definición y clasificación	3
1.2. BIODIÉSEL	5
1.2.1. Historia del biodiésel	5
1.2.2. Definición de biodiésel y generalidades	6
1.2.3. Producción mundial de biodiésel	7
1.2.4. Biodiésel en México	9
1.2.5. Materias primas para biodiésel	10
1.3. EXPERIENCIAS DEL BIODIÉSEL EN EL USO AUTOMOTRIZ	11
1.3.1 Generalidades del biodiésel en el uso automotriz	11
1.3.2 Ventajas y desventajas del uso de biodiésel	12
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS PARA LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE BIODIÉSEL	15
2.1. ESTUDIO DE MERCADO	15
2.1.1. Mercado en México	15
2.1.2. Cumplimiento de normatividad para su distribución	16
2.1.3. Mercado actual	18
2.1.4. Diésel vs biodiésel	20
2.2. ESTUDIO DE PROCESO E INGENIERÍAS	21
2.2.1. Proceso de obtención y fabricación del biodiésel	21

2.2.1.1.	Elección del proceso	22
2.2.2.	Fabricación e ingeniería del biodiésel	23
2.2.2.1.	Preparación de materia prima y variables del proceso	23
2.2.2.1.1.	Proceso previo	23
2.2.2.1.1.1.	Filtrado de sólidos	23
2.2.2.1.1.2.	Eliminación de humedad en el aceite	23
2.2.2.1.1.3.	Esterificación de ácidos grasos libres	24
2.2.2.1.1.4.	Refinamiento como pre-tratamiento	24
2.2.2.1.2.	Fase principal del proceso	25
2.2.2.1.2.1.	Transesterificación	25
2.2.2.2.	Procesos generales para la fabricación de biodiésel	28
2.2.2.2.1.	Proceso continuo	28
2.2.2.2.1.1.	Esterificación-transesterificación	30
2.2.2.2.2.	Proceso discontinuo	31
2.2.2.3.	Tratamiento de otros productos	32
2.2.2.3.1.	Glicerina	32
2.2.2.3.2.	Manejo de metanol	32
2.2.2.3.3.	Agua	33
2.2.2.4.	Localización de la planta y administración del proyecto	33
2.2.2.4.1.	Metodología	33
2.2.2.4.1.1.	Planeación	33
2.2.2.4.1.2.	Organización	34
2.2.2.4.1.2.1.	Funcional	34
2.2.2.4.1.2.2.	Por proyecto	35
2.2.2.4.1.3.	Integración del equipo de trabajo	36
2.2.2.4.1.4.	Ejecución	37
2.2.2.4.1.5.	Control	37
2.2.2.5.	Bases de diseño	38
2.2.2.5.1.	Localización del proyecto	38

2.2.2.5.1.1.	Macro-localización	38
2.2.2.5.1.2.	Micro-localización	39
2.2.2.5.2.	Generalidades	39
2.2.2.5.3.	Capacidad, rendimiento y flexibilidad	40
2.2.2.6.	Diagramas de flujo	40
2.2.2.7.	Balances de materia del proceso	40
2.2.2.7.1.	Especificaciones de proceso	41
2.2.2.8.	Listado de equipos y función	41
2.2.2.8.1.	Recipientes	42
2.2.2.8.2.	Centrifuga	42
2.2.2.8.3.	Columna de intercambio iónico	42
2.2.2.8.4.	Mezcladores	43
2.2.2.8.5.	Condensadores de vapor (intercambiador de calor)	43
2.2.2.8.6.	Reactor químico	44
2.2.2.8.7.	Bombas	44
2.2.2.9.	Lay-out de la planta	44
CAPÍTULO 3. MÉTODOS Y MATERIALES		47
3.1.	CASO DE ESTUDIO	47
3.2.	MATERIALES Y EQUIPOS	47
3.2.1.	Propiedades de especies químicas	47
3.2.2.	Servicios auxiliares	49
3.2.2.1.	Agua	49
3.2.2.1.1.	Enfriamiento	49
3.2.2.1.2.	Servicio y uso sanitario	49
3.2.2.1.3.	Contra incendios	50
3.2.2.2.	Vapor de agua	50
3.2.2.3.	Energía eléctrica	50
3.2.2.4.	Desfogue	50
3.2.3.	Reglas heurísticas	50
3.2.3.1.	Tanques	51

3.2.3.2.	Mezcladores	52
3.2.3.3.	Reactor	52
3.2.3.4.	Intercambiador de calor (condensador)	53
3.2.3.5.	Bombas	54
3.2.3.6.	Centrífuga	54
3.2.3.7.	Columna de intercambio iónico	55
3.2.3.8.	Tuberías	55
CAPÍTULO 4. RESULTADOS		57
4.1.	ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO	57
4.1.1.	Estructura organizacional	57
4.1.2.	Estimación de horas hombre	58
4.1.3.	Diagrama de Gantt	58
4.1.4.	Avance del proyecto	60
4.1.5.	Inversión inicial del proyecto	60
4.2.	LOCALIDAD	61
4.2.1.	Localización de la planta	61
4.2.2.	Condiciones climáticas	66
4.3.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO	68
4.3.1.	Refinamiento de aceite	68
4.3.2.	Preparación de mezcla reactiva para la esterificación	70
4.3.3.	Esterificación	71
4.3.4.	Preparación de reactivos químicos para la reacción de transesterificación	72
4.3.5.	Transesterificación	73
4.3.6.	Productos en el proceso y recuperación de metanol	74
4.3.7.	Control de calidad	75
4.3.8.	Lavado de tanque de reacción	76
4.4.	DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROCESO	77
4.4.1.	Diagrama de bloques del proceso (DBP)	78
4.4.2.	Diagrama de flujo del proceso (DFP)	78
4.4.2.1.	Descripción del proceso	81

4.4.2.2.	Balance de materia	83
4.5.	EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES	86
4.5.1.	Simbología	86
4.5.2.	Costos de inversión	87
4.6.	LINEAS DE CONDUCCIÓN	88
4.7.	INTRUMENTACIÓN Y CONTROL	90
4.7.1.	Especificaciones de tubería	91
4.8.	EQUIPOS AUXILIARES	94
4.9.	SISTEMA DE DESFOGUE	94
4.10.	DIAGRAMA DE LOCALIZACIÓN	95
4.11.	EVALUACIÓN DEL PROYECTO	97
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES		99
BIBLIOGRAFÍA		102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Diagrama de la producción general de bioetanol y biodiésel	4
Figura 1.2	Evolución de la producción de biodiésel	8
Figura 1.3	Proceso general para producción de glicerina y biodiésel	11
Figura 2.1	Producción de Biodiésel en México	19
Figura 2.2	Reacción de saponificación en el proceso de formación de biodiésel	22
Figura 2.3	Esterificación de los ácidos grasos libres	24
Figura 2.4	Reacción general de transesterificación	25
Figura 2.5	Rendimiento de reacción de transesterificación en función de la temperatura	26
Figura 2.6	Rendimiento de la reacción de transesterificación en función de la relación metanol/aceite	27
Figura 2.7	Rendimiento de la reacción de transesterificación en función del tiempo de reacción	27
Figura 2.8	Rendimiento de la reacción de transesterificación en función del catalizador agregado	28
Figura 2.9	Proceso continuo de formación de biodiésel	29
Figura 2.10	Modelo clásico de proceso esterificación-transesterificación para la obtención de biodiésel	30
Figura 2.11	Proceso discontinuo clásico para la producción de biodiésel	31
Figura 2.12	Diagrama de organización funcional	35
Figura 2.13	Estructura organizacional por proyecto	36

Figura 3.1	Plano de localización de la planta de biodiésel en la CDMX	47
Figura 4.1	Estructura organizacional de la empresa de biodiésel	57
Figura 4.2	Análisis del proyecto	60
Figura 4.3	Localización donde se instalará la planta de biodiésel del proyecto	62
Figura 4.4 (A)	Vista superior de la localización donde se instalará la planta de biodiésel en la Central de Abastos de la CDMX	62
Figura 4.4 (B)	Plano de la vista superior del inmueble para la instalación de la planta de biodiésel	63
Figura 4.4 (C)	Plano de la vista frontal del inmueble para la instalación de la planta de biodiésel	64
Figura 4.4 (D)	Plano de la vista longitudinal del inmueble para la instalación de la planta de biodiésel	65
Figura 4.5	Mapa de la ciudad de México con delegaciones	66
Figura 4.6	Temperaturas mínimas promedio que alcanza la CDMX durante el año	67
Figura 4.7	Diagrama de flujo promedio anual de vientos en la Ciudad de México	68
Figura 4.8	Proceso de refinación de aceite comestible de desecho	69
Figura 4.9	Proceso de mezclado de reactivos para la etapa de esterificación	70
Figura 4.10	Proceso de esterificación	72
Figura 4.11	Proceso para elaborar metóxido para la reacción de transesterificación	73
Figura 4.12	Proceso de transesterificación	74
Figura 4.13	Proceso general de recuperación de metanol	75
Figura 4.14	Proceso a realizar para control de calidad del biodiésel	76
Figura 4.15	Proceso de lavado del tanque de reacción	77

Figura 4.16	Diagrama de bloques propuesto para la producción de biodiésel	78
Figura 4.17	Diagrama de flujo del proceso (DFP) para la planta de biodiésel	79
Figura 4.18	Diagrama de tubería e instrumentación (DTI) para la planta de biodiésel	89
Figura 4.19	Planteamiento de diseño del sistema de desfogue para la planta de biodiésel	95
Figura 4.20	Localización de equipos en la planta de biodiésel por niveles (vista superior)	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Características fisicoquímicas generales del biodiésel	7
Tabla 1.2	Contribución por país productor de biodiesel	8
Tabla 2.1	Especificaciones del biodiésel según estándares normativos de Estados Unidos	17
Tabla 2.2	Especificaciones del biodiesel según estándares normativos Europeos.	18
Tabla 2.3	Comparación de características físico-químicas de emisiones de diésel contra biodiésel	20
Tabla 2.4	Uso de biodiésel en el motor automotriz	21
Tabla 3.1	Propiedades físicas de las sustancias presentes en el proceso	48
Tabla 3.2	Composición de los reactivos en el proceso	48
Tabla 3.3	Transporte por tubos o coraza dependiendo el fluido	53
Tabla 4.1	Horas hombre empleadas en actividades para el proyecto de biodiésel	58

Tabla 4.2	Diagrama de Gantt para la instalación de la planta de biodiésel en el proyecto	59
Tabla 4.3	Flujos máxicos y volumétricos que circulan por las líneas del proceso	80
Tabla 4.4	Condiciones de operación para los equipos presentes en el proceso del biodiésel	83
Tabla 4.5	Balance de materia para la producción de biodiésel	84
Tabla 4.6	Simbología de equipos y contenido para el diseño de la planta de biodiésel	86
Tabla 4.7	Costo de equipos involucrados en el proceso de biodiésel	87
Tabla 4.8	Equipos restantes diseñados	88
Tabla 4.9	Especificaciones de líneas de tubería	92
Tabla 4.10	Equipos auxiliares para la planta de producción de biodiésel	94
Tabla 4.11	Costeo de materias primas involucradas en la producción de biodiésel	97
Tabla 4.12	Consumos energéticos de los equipos de la planta de biodiésel	98

Resumen

Esta investigación propone los pasos ingenieriles que se deben seguir para la instalación de una planta de biodiésel a nivel semi-industrial a partir de una mezcla de aceites comestibles desecho (ACD), con una capacidad de producción mínima de 1000L/día. Los ACD, son la materia prima principal y el proceso consiste en 2 reacciones, una es la esterificación para eliminar ácidos grasos como pre-tratamiento y la reacción principal que es la transesterificación para la producción de biodiésel. Los productos principales obtenidos en la planta son el biodiésel y la glicerina. El biodiésel será sometido a una evaluación de calidad basada en el estandar ASTM D6751, y posteriormente realizar mezclas de B10 y B20 con diésel y biodiésel. Para terminar, el metanol que se agregó en exceso, se recuperará con un sistema de condensación, y por otro lado, la planta de biodiésel tiene en promedio un ahorro de agua aproximado de 100 L/lote de producción. Para la producción de biodiésel el precio promedio al público será de \$13.26 pesos obteniendo el retorno de inversión a 5 años.

Introducción

En la actualidad, el mundo está sujeto al uso de combustibles fósiles, alrededor del 80% de la población mundial utiliza el petróleo con fuente única de energía, sin tener conocimiento de que existen energías alternas para abastecer las mismas necesidades. En los últimos años, ha incrementado exponencialmente la demanda de petróleo, y uno de los sectores que más lo utiliza, es el sector transporte, se predice, que para el 2050 se acabará el petróleo. Por lo tanto, se deben crear e invertir más en las energías alternativas, para lograr sustituir el consumo de combustibles fósiles.

Dentro de la energía alternas se encuentran los biocombustibles líquidos, estos podrían sustituir sin problema alguno la demanda de combustibles fósiles, estos se crean con biomasa y se someten a reacciones químicas dependiendo el producto a obtener. Se espera que los biocombustibles aumenten su demanda al pasar los años y así poder sustituir a los derivados del petróleo.

En la actualidad, la población mundial tiene nociones básicas de la utilización de biodiésel, pero en algunos años este se convertirá en una de las fuentes más importantes de energía alterna. El biodiésel es un biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de aceites vegetales o grasas animales. El producto se fabrica industrialmente mediante reacciones de esterificación ácida y transesterificación básica ambas con metanol, dando como producto el biodiésel.

En la Ciudad de México existe una gran oportunidad para la distribución de biodiésel, ya que, en los últimos 6 años el precio de diésel ha incrementado en un 60% a tal grado de igualar el costo de las gasolinas en algunas localidades del país. Con este proyecto se pretende disminuir el costo del diésel de un 10% a 15% con la mezcla de diésel/biodiésel B20, y a su vez, disminuir los gases que se emiten a la atmosfera y son dañinos para el planeta.

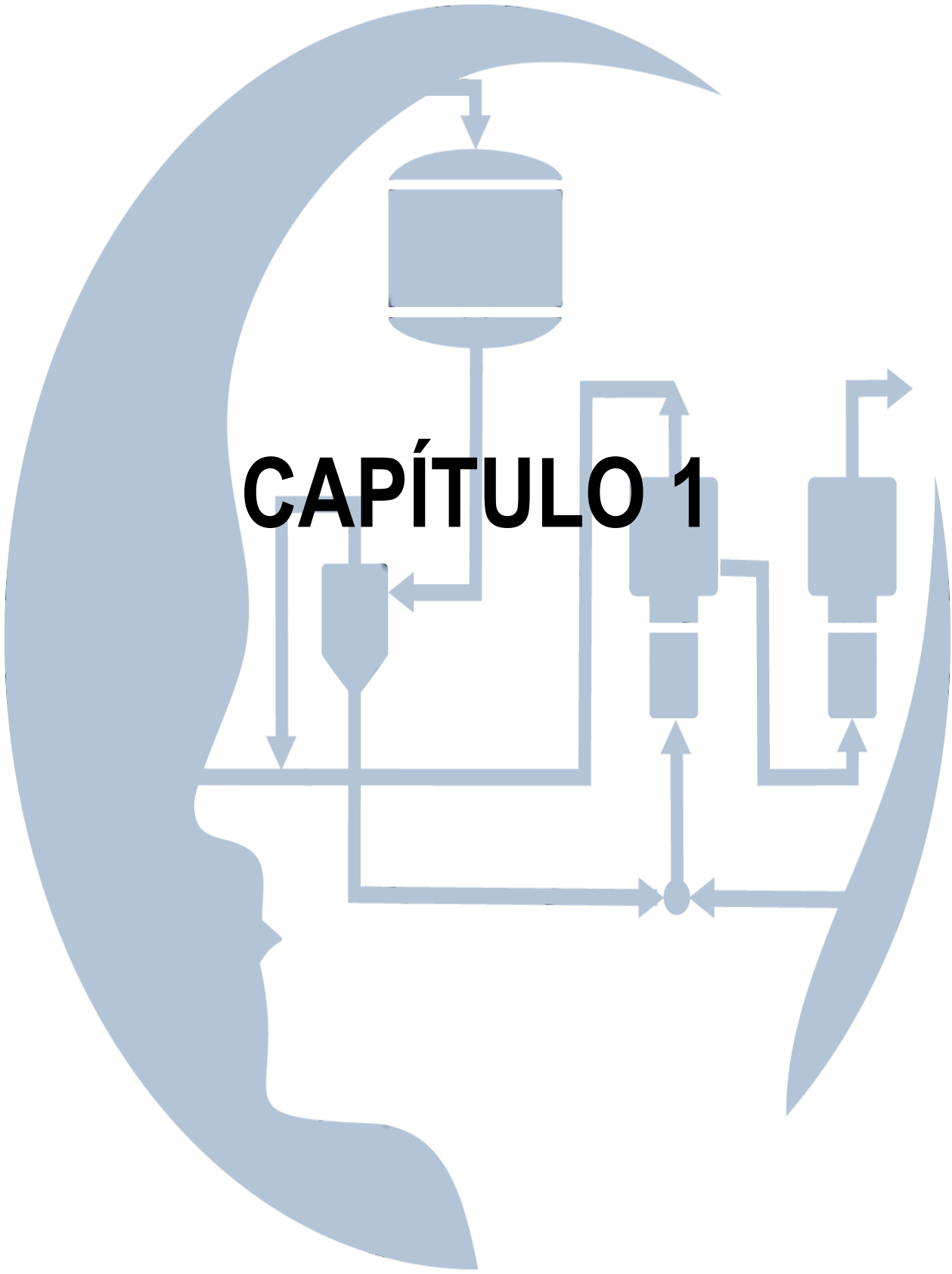
Objetivo general

Diseñar una planta de biodiésel a partir de aceite comestible de desecho aplicando técnicas de ingeniería para la producción de 1m³/día de biodiésel.

Objetivos particulares

Los objetivos presentes en el trabajo son:

- Evaluar el costo de una planta de biodiésel tomando en cuenta que su capacidad es de 1m³/día
- Establecer los diagramas de proceso para la planta de biodiésel tomando en cuenta las especificaciones requeridas
- Establecer el balance de materia utilizando las especificaciones de cada una de las sustancias inmersas en el proceso
- Estimar los diámetros de tubería tomando en cuenta las líneas presentes en el proceso
- Establecer un proceso de calidad del producto generado para que cumpla con el estándar ASTM 6751



CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1. Biocombustibles

1.1.1 Una breve historia de los biocombustibles

Los seres humanos han aprovechado desde hace tiempo esos procesos de conversión de un tipo de energía a otro para propias necesidades, como por ejemplo, para el avance de un automóvil por un combustible proveniente de biomasa o materia orgánica. Los biocombustibles existen desde la invención de los automóviles. A principios del siglo XX, Henry Ford consideró usarlos para mover sus famosos Modelos T con etanol e incluso los primeros motores diesel llegaron a funcionar con aceite de cacahuete (Álvarez, 2008). Entre 1893 y 1897 surgió un ingeniero alemán llamado Rudolf Christian Karl Diesel muy reconocido en MAN (una empresa productora de motores diésel, autobuses y camiones ubicada en Augsburg), que construyó el primer motor del mundo que quemaba aceite vegetal (aceite de palma) en condiciones de trabajo. El Instituto de Ingenieros Mecánicos le concedió la Orden del Mérito por sus investigaciones y desarrollos sobre los motores con aceite de cacahuete, pero posteriormente fueron terminando las investigaciones puesto que el uso de petróleo era mucho más barato (Botín, 2008).

Pero el descubrimiento de inmensos depósitos de petróleo mantuvo a la gasolina y el diésel muy baratos durante décadas, lo que relegó a los biocombustibles al olvido. Sin embargo, con la reciente subida de los precios del petróleo, junto a la creciente preocupación sobre el calentamiento global causado por las emisiones de dióxido de carbono, los biocombustibles han vuelto a subir a la palestra (Álvarez, 2008). En 1970, el biodiésel incrementó de manera significativa en muchos países a causa de la crisis energética ocasionada por una decisión tomada por la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo (OPEP) de no suministrar más petróleo a los países asociados a dicha organización (Rosas, 2001).

En 1982, comenzaron las primeras pruebas técnicas de biocombustibles vegetales llevados a cabo en Alemania y Austria, y posteriormente en 1985 el Silberberg, Austria se construyó la primer planta piloto productora de biodiésel a base de semillas de colza o canola.

Actualmente Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiésel en automóviles (Mittelbach y Enzelsberger, 1999)

1.1.2 Definición y clasificación

Los biocombustibles son recursos energéticos procesados por el ser humano a partir de materias producidas recientemente por seres vivos, a las cuales se les denomina “biomasa”. Pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos, y su finalidad última es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante una reacción de combustión. Los biocombustibles tienen una clasificación muy general, pero importante para estos, esta clasificación es la siguiente:

a. Primera generación

Algunos de los insumos son de procedencia agrícola y están conformados por las partes alimenticias de las plantas. Ejemplos de estas materias son el jugo de la caña de azúcar, granos de maíz, jugo de la remolacha o betabel, aceite de semilla de girasol, aceite de soya, aceite de palma, aceite de ricino, aceite de semilla de algodón, aceite de coco, aceite de maní o cacahuate, entre otros.

Los biocombustibles son producidos empleando tecnología convencional como la fermentación, transesterificación y la digestión. De estos procesos se obtiene etanol, metanol y n-butanol, biodiésel y biogás, también conocidos como gas natural. Las ventajas de estos biocombustibles son su facilidad de procesamiento, sus bajas emisiones de gases de efecto invernadero y un balance positivo en dichas emisiones, pero tiene como desventaja el desvío de recursos alimenticios hacia la producción de energéticos.

b. Segunda generación

Los insumos son residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa. Ejemplos de ellos son el bagazo de la caña de azúcar, el rastrojo de maíz (tallo, hojas y olote), paja de trigo, aserrín, hojas y ramas secas de árboles, etcétera. Los procesos de producción tienen un nivel de complejidad más alto que los de primera generación los cuales consisten en la gasificación del carbón y de la materia lignocelulósica de la biomasa, para después sintetizar algún combustible líquido como el etanol. Mediante los procesos de segunda generación se fabrica etanol, metanol, gas de síntesis, biodiésel, 2.5-dimetilfurano (DMF), entre otros. La ventaja principal en la producción de estos biocombustibles es la inexistencia de desviaciones de alimentos provenientes de la agricultura hacia el sector energético, pero su desventaja es la poca ganancia en disminución de las

emisiones de gases de efecto invernadero durante el procesamiento de los insumos, respecto a los biocombustibles de primera generación.

c. Tercera generación

Los insumos son vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y con una alta densidad energética almacenada en sus componentes químicos, por lo que se les denomina “cultivos energéticos”. Entre estos vegetales están los pastos perennes, árboles y plantas de crecimiento rápido, y las algas verdes y verde-azules.

d. Cuarta generación

Los biocombustibles son producidos a partir de bacterias genéticamente modificadas, las cuales emplean anhídrido carbónico (CO₂) o alguna otra fuente de carbono para la obtención de los biocombustibles. A diferencia de las generaciones anteriores, en las que también se pueden emplear bacterias y organismos genéticamente modificados como insumo o para realizar alguna parte de los procesos, en la cuarta generación, la bacteria es la que efectúa la totalidad del proceso de producción de los biocombustibles (Bruciaga, 2016).

En la Figura 1.1 se muestra un proceso general de producción de algunos biocombustibles más populares.

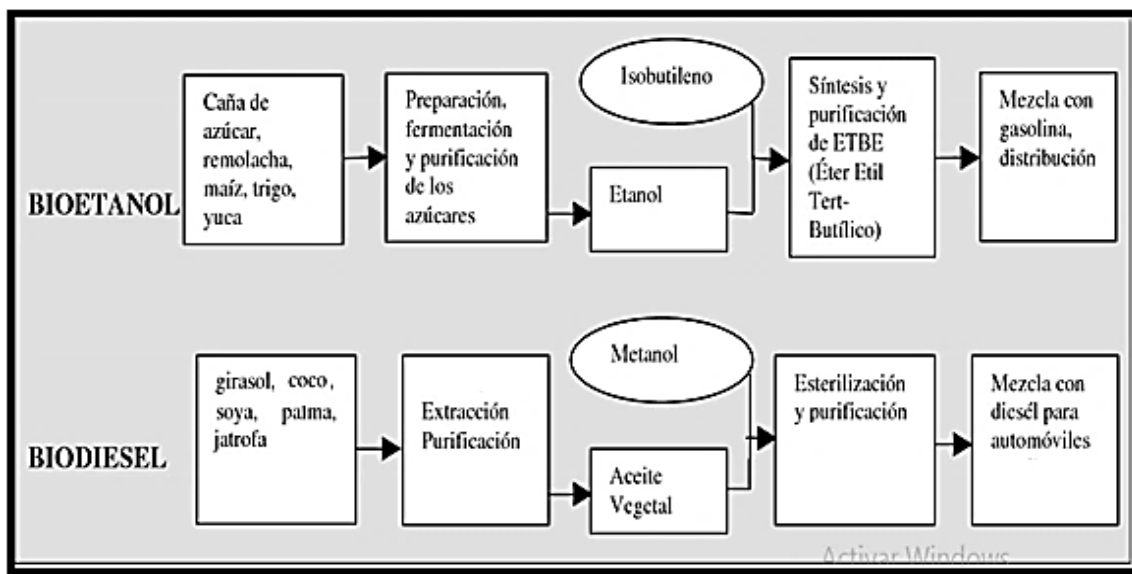


Figura 1.1 Diagrama de la producción general de bioetanol y biodiésel (Dufey, 2016)

1.2. BIODIÉSEL

1.2.1 Historia del biodiésel

La historia se remonta desde los años de 1895 con la idea de utilizar aceites vegetales para motores de combustión interna por el Dr. Rudolf Diesel el cual desarrolló un motor acorde a esto, el cual fue exhibido en París en el año de 1900 utilizando aceite de maní para su función.

Las predicciones de Rudolf Diesel tomarían su tiempo para empezar a tomar forma y, en este lapso de, más o menos un siglo, los motores diésel evolucionarían y se perfeccionarían utilizando fundamentalmente destilados medios de petróleo con mucha menor viscosidad que los aceites vegetales. Una de las desventajas en ese tiempo era la viscosidad como ya se ha mencionado, esta propiedad de la materia impide un buen funcionamiento en la quema de un combustible vegetal, pasó tiempo para se diera solución a esto.

La química proporciona una solución para disminuir esta viscosidad con el proceso de transesterificación. Este proceso fue desarrollado por los científicos E. Duffy y J. Patrick a mediados del siglo XIX, cuarenta años antes que Rudolf Diesel desarrollara su motor de combustión interna. Los aceites vegetales (y también las grasas animales) están constituidos por moléculas (ésteres) de ácidos grasos y glicerol. A éste último, los aceites y grasas le deben su elevada viscosidad.

Durante el siglo XX, algunos intentos se realizaron para utilizar aceites como combustible para vehículos. Durante la década de los años 40, los franceses trabajaron con el aceite de piñón *Jatropha curcas* como combustible sin tener resultados positivos. Posteriormente se realizaron algunos ensayos en la República Federal de Alemania y Austria con aceite de colza *Brassica napus*; y en Cabo Verde y en Malí también con aceite de piñón, obteniéndose excelentes resultados.

Sin embargo, el resurgimiento de la idea de Rudolf Diesel, de emplear aceites vegetales en sus motores, empieza a cobrar fuerza nuevamente hacia finales del siglo XX, esta vez bajo la forma de biodiésel, e impulsado, principalmente, por preocupaciones ambientales relacionadas con el cambio climático y la necesidad de encontrar alternativas al uso de combustibles fósiles.

Es con la espectacular subida de los precios del petróleo a partir del 2004, que los precios de los aceites vegetales y las grasas animales se empiezan a equiparar con los del diésel y generan este reciente “boom” de los biocombustibles líquidos a nivel mundial, que incluye también al bioetanol,

que es básicamente etanol o alcohol etílico, que puede utilizarse como complemento o sustituto de la gasolina (Ramírez, 2011).

1.2.2 Definición de biodiésel y generalidades

El biodiésel es por definición un biocombustible líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la soya, la colza, y el girasol, las materias primas más utilizadas mundialmente para este fin. Las propiedades del biodiésel son muy similares a las del diésel de origen fósil, en cuanto a densidad, número de cetanos, eficiencia y rendimiento de los motores gasoleros (diésel), destacándose que el biodiésel presenta un punto de inflamación superior (Cabello y Ollero, 2012).

Por todo ello, el biodiésel puede mezclarse con el diésel en cualquier proporción que se desee: B5, B10, B30, B50, etc. e inclusive sustituirlo totalmente como B100. Este biocombustible se obtiene mediante un proceso químico llamado transesterificación, en el cual los aceites orgánicos son combinados con un alcohol y alterados químicamente para formar un éster etílico o metílico, el cual recibe finalmente el nombre de biodiésel (García y Laborda, 2006).

La definición de biodiésel propuesta por las especificaciones de la Asociación Internacional de Normativa de Calidad que por sus siglas en inglés ASTM, American Society for Testing and Material Standard, lo describe como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión. La utilización del biodiésel como combustible de automoción, ha de señalarse que las características de los ésteres son más parecidas a las del gasóleo que las del aceite vegetal sin modificar. ASTM ha especificado distintas pruebas que se deben realizar a los combustibles para asegurar su correcto funcionamiento (ASTM, 2014). En la Tabla 1.1, se enumeran las especificaciones establecidas para el biodiésel y los métodos de ensayo correspondiente.

El biodiésel produce una correcta y completa combustión, sin requerir ningún tipo de modificación en los motores existentes, pudiendo alimentarse alternativamente con diésel, biodiésel o mezclados entre sí, en cualquier proporción (Farfan, 2013).

Tabla 1.1 Características fisicoquímicas generales del biodiésel (Jachmanián, 2000)

Propiedad	Unidad	Valor aproximado
Conversión	%(m/m)	96.500 a 97.500
Densidad a 15°C	Kg/m ³	860.000 a 900.000
Viscosidad a 40°C	mm ² /g	3.500 a 5.000
Punto de inflamación	°C	120.000
Contenido de azufre	mg/Kg	10.000
Índice de cetanos	N°	51.000
Contenido máximo de agua	mg/Kg	500.000
Contenido de metanol	%(m/m)	0.200
Contenido de monoglicéridos	%(m/m)	0.800
Contenido de diglicéridos	%(m/m)	0.800
Contenido de triglicéridos	%(m/m)	0.200
Glicerol total	%(m/m)	0.025
Metales del grupo I (Na-K)	mg/Kg	5.000
Metales del grupo II (Ca-Mg)	mg/Kg	5.000
Contenido de fósforo	mg/Kg	10.000

1.2.3 Producción mundial de biodiésel

La producción de biodiésel fue ampliamente producido a partir de los años 90's y desde entonces la producción ha ido creciendo constantemente. La producción mundial de biodiésel alcanzó un récord de producción en el año 2003 por 1.8 billones de litros producidos (Mulongoy y col., 2013). Hoy en día la producción de biodiésel no se queda atrás ya que más países se han sumado a la producción del mismo, lo cual contribuye en gran porcentaje a la producción mundial. La unión europea es el principal productor de biodiésel, participando con más del 35% de la producción global (Polhill, 2015)

En 2013, la capacidad de producción de biodiésel en las plantas de la Unión Europea fue de casi 12 millones de toneladas, lo que supone un incremento del 4% con respecto a 2012. El mayor productor de la UE es Alemania, seguido de Francia y Holanda. Estos tres países concentran casi el 60% de toda la producción de la UE. Con una producción de casi 2.6 millones de toneladas el país germano se sitúa a la cabeza del ranking aunque hay que señalar que tendría capacidad para producir prácticamente el doble de cantidad (Lorenzo, 2015).

La Figura 1.2 también muestra los últimos avances estandarizados que datan del año 2010 al 2015 y se muestra dicho evento de crecimiento durante los primeros 4 años y un descenso muy

significativo en el último año, esto posiblemente por la caída del precio de la gasolina en Estados Unidos.

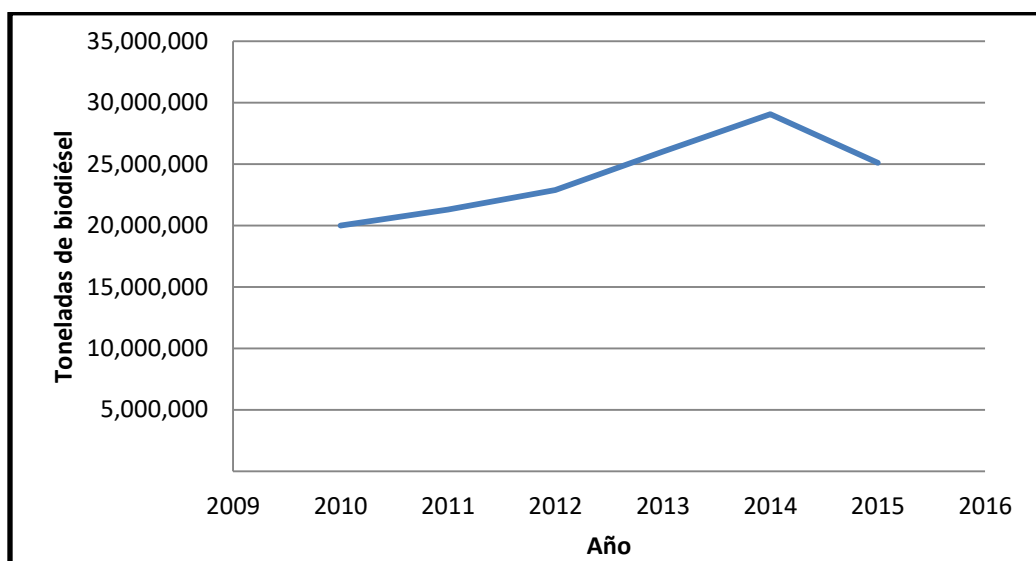


Figura 1.2 Evolución de la producción de biodiésel (Castro, 2015)

La Tabla 1.2 muestra los países que contribuyen a dicho avance en la producción de biodiésel en toneladas en los últimos 2 años registrados.

Tabla 1.2 Contribución por país productor de biodiésel (Olga, 2015)

País	2014 (Ton)	2015 (Ton)
Unión Europea	11,800	10,800
Estados Unidos	5,000	3,600
Brasil	3,000	3,600
Indonesia	2,700	1,800
Argentina	2,550	1,550
Tailandia	1,000	900
Malasia	650	800
Singapur	800	800
Colombia	540	520
Canadá	300	300
Filipinas	100	120
Perú	10	10
otros	800	700
TOTAL	29,250	25,500

1.2.4 Biodiésel en México

En el año 2006, la Secretaría de Energía contrató con recursos del Banco Interamericano de Desarrollo a un grupo de expertos nacionales e internacionales para que lleven a cabo un estudio de producción de biodiésel en México. En México se han desarrollado diferentes proyectos, uno de ellos ha sido el proyecto del Grupo Energético S.A., en colaboración con el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), en el que se instaló una planta de biodiésel a partir de grasa animal y desecho de rastros en el año 2015. En julio del 2005, en Nuevo León se inauguró la planta con una inversión de 1.5 millones de dólares y una capacidad inicial de 500 mil litros por mes. Este biodiésel se utiliza como combustible para camiones industriales en el norte de México. Se espera comercializar en un futuro a toda la ciudad de Monterrey ya que esta tiene una capacidad máxima de 1 millón de litro por mes (Castillo, 2015).

La materia prima que actualmente es la principal en México para producir biodiésel es el aceite de cocina usado, sin embargo, existe poca actividad comercial relacionada con su colección y procesamiento.

En México solo existen 4 empresas dedicadas a recolectar aceite de cocina usado para la producción de biodiésel. A la fecha operan 7 plantas que en su conjunto poseen una capacidad de producción de alrededor de 4,182 m³/año, de las cuales estas se encuentran en Puebla, en Baja California, Oaxaca, Estado de México y Durango, donde se encuentran funcionando con grasa animal, higuierilla y aceite usado (Tapia y Valadez, 2017).

Por último, en la UNAM en colaboración con la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México y la delegación Tlalpan, construirá una planta de biodiésel en Ciudad Universitaria que, se pretende, sea un modelo para el resto de las demarcaciones y del país.

Así lo anunció Alejandra Castro González, académica de la Facultad de Ingeniería, en la rueda de medios El Biodiésel, una Buena Opción para México en Materia de Combustibles, en la que comentó que los recursos financieros fueron otorgados a mediados del año 2017, y que la planta estará lista a finales de este año. La especialista señaló que la generación de biodiésel no sólo es sencilla, sino además rápida. Universidades como ésta ya lo producen, con calidad igual a la de Estados Unidos (DGCS, 2017).

1.2.5 MATERIAS PRIMAS PARA BIODIÉSEL

A continuación se muestran algunas de las principales materias primas para la elaboración de biodiésel (Moreira, 2012).

- Aceites vegetales convencionales
 - Aceite de girasol, aceite de soya, aceite de coco
- Aceites de semillas modificadas genéticamente
 - Aceite de girasol de alto oléico
- Grasas animales
 - Sebo de vaca
- Aceites de fritura usados
- Aceites de otras fuentes
 - Aceites de producciones microbianas, aceites de microalgas.

a) Aceites vegetales convencionales.-

Las materias primas utilizadas convencionalmente en la producción de biodiésel han sido los aceites de semillas oleaginosas.

b) Aceites vegetales alternativos.-

Además de los aceites vegetales convencionales, existen otras especies más adaptadas a las condiciones del país donde se desarrollan y mejor posicionadas en el ámbito de los cultivos energéticos.

c) Aceites vegetales modificados genéticamente.-

Los aceites y las grasas se diferencian principalmente en su contenido en ácidos grasos. Los aceites con proporciones altas de ácidos grasos insaturados.

d) Aceites de fritura usados.-

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

e) Grasas animales.-

Además de los aceites vegetales y los aceites de fritura usados, las grasas animales, y más concretamente el sebo de vaca, pueden utilizarse como materia prima de la transesterificación para obtener biodiésel. En la Figura 1.3 se muestra el proceso general al que se somete la materia prima para la producción de los biocombustibles.

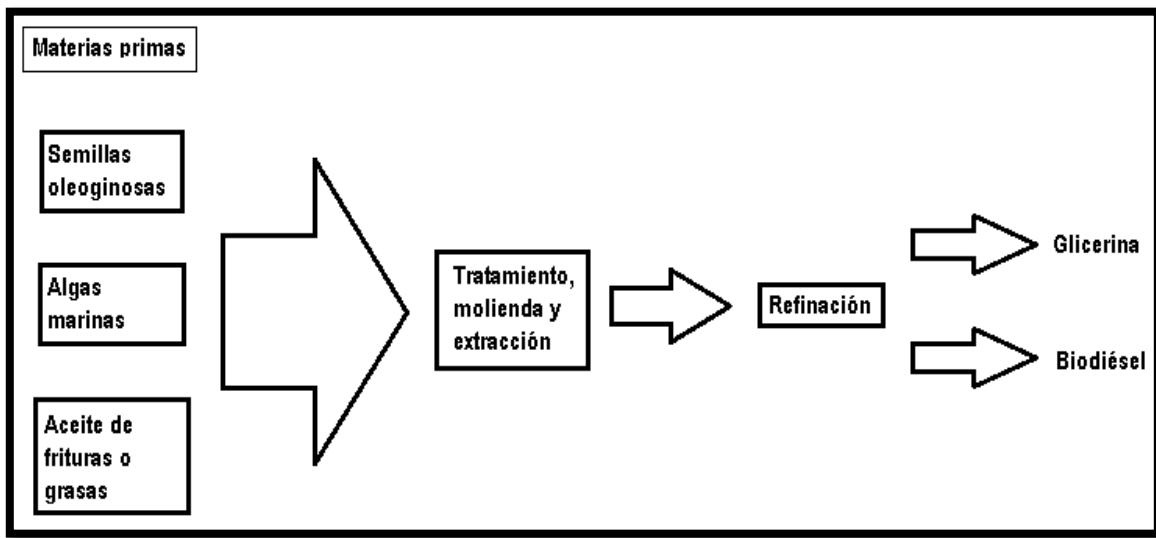


Figura 1.3. Proceso general para producción de glicerina y biodiésel (FNBC, 2001)

1.3. EXPERIENCIAS DEL BIODIÉSEL EN EL USO AUTOMOTRIZ

1.3.1 Generalidades del biodiésel en el uso automotriz

Las modificaciones en motores son indispensables para la utilización de aceites vegetales sin modificar y mejorar sus características como carburantes, muchas veces se recurre a transformarlos en sus derivados ésteres metílicos o etílicos para su utilización y aumentar su efectividad. De esta manera se consigue que las largas cadenas ramificadas iniciales de elevada viscosidad y alta proporción de carbono se transformen en otras de cadena lineal, menor viscosidad y porcentaje de carbono y de características físico-químicas y energéticas más similares al gasóleo de automoción.

El uso de biodiésel en automoción está totalmente extendido en Europa desde los últimos 10-12 años. En países como Alemania y Austria hay más de 1.800 gasolineras que incorporan un surtidor de biodiésel (ya sea 100% o mediante una mezcla del 2% al 30% de biodiésel y el resto de diésel)

(Grey y col., 2014). La razón de realizar una mezcla con diésel convencional, radica en que los aceites vegetales tienen, entre otras cosas, la particularidad de disolver la goma y el caucho. Otra falla muy común se puede dar en las juntas del sistema de alimentación de los vehículos (latiguillos o manguitos) esto por el uso prolongado de biodiésel 100%, se podrían llegar a degradar dichos conductos, produciendo algún poro o pérdida de combustible (Hamelinck y André, 2006).

Desde mediados de los años 90, casi todos los fabricantes de vehículos (principalmente marcas alemanas), ya han substituido dichos conductos por conductos fabricados con materiales plásticos o derivados, con lo que el biodiésel no los disuelve. En los motores de los automóviles, los problemas asociados por utilizar biodiésel como combustible de motores de inyección directa, son los que a continuación se presentan:

- El consumo de combustible aumenta, ya que el biodiésel contiene menos poder calorífico que el diésel.
- Las emisiones de óxidos de nitrógeno generalmente aumentan, consecuencia de las mayores presiones y temperaturas que se alcanzan en la cámara de combustión, que a su vez se deben a un tiempo de retraso de la misma.
- Algunos materiales se deterioran con el biodiésel: pinturas, plásticos, gomas, etc. cuando se utiliza 100% de biodiésel (Mosqueda y col., 2016).

1.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

El uso de B10 utilizado en la mayoría de automóviles que funcionan con biocombustible ofrece las siguientes ventajas e inconvenientes en comparación con el gasóleo convencional (REG, 2015)

Ventajas medioambientales frente al gasóleo, al reducirse las emisiones de:

- Monóxido de carbono
- Partículas e hidrocarburos
- Dióxido de carbono y óxidos de azufre
- Es biodegradable en un 98,3% en 21 días
- No es tóxico

Ventajas técnicas frente al diésel:

- Mayor lubricidad, con lo cual se alarga la vida del motor y reduce su ruido.
- Mayor poder disolvente, que hace que no se produzca carbonilla ni se obstruyan los conductos y mantiene limpio el motor.

Desventajas técnicas:

- El biodiésel tiene un punto de congelación entre 0° y -5°
- La primera vez que se empieza a consumir B10, y debido a su poder disolvente, puede que se deba realizar el primer cambio de filtros antes de lo normal, dependiendo del nivel de “suciedad” que haya en el motor y en el depósito de combustible del usuario.
- Degradación de sellos en varias partes del motor.

En este apartado se puede concluir lo siguiente (Flores y Rojas, 2009):

- Las mezclas diésel-biodiésel, y en especial las inferiores al 20% de biodiésel, presentan unas propiedades perfectamente válidas para su utilización en motores diésel.
- Excelente comportamiento en los inyectores de las mezclas diésel-biodiésel: el biodiésel actúa como un aditivo anti ensuciamiento.
- No se ha detectado ningún tipo de anomalía relevante en ensayos de duración con mezclas entre 10% y 30% de éster con diésel.



CAPÍTULO 2

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS

2.1. ESTUDIO DE MERCADO

2.1.1. Mercado en México

Hoy en día con el incremento de los derivados del petróleo, el diésel en México se ha catalogado uno de los combustibles más caros a nivel mundial. El diésel es uno de los combustibles más utilizados y requeridos en el sector transporte. Es importante mencionar que la producción y utilización del combustible lleva consigo un gran número de impactos a nivel ambiental y social, como por ejemplo, el aumento de precios de los combustibles fósiles pega directamente en la economía, ya que estos en cierta manera son proporcionales al aumento de insumos. Otro impacto importante es el incremento de la contaminación, ya que la mayoría de los contaminantes presentes en el aire son por causa de la quema de combustibles fósiles, entre ellos el diésel. Por esto las investigaciones de biocombustibles han incrementado exponencialmente al igual que su uso a nivel mundial (Taboada y Osnaya, 2009).

Dentro de los beneficios de producir biodiésel es el costo, ya que este puede competir sin ningún problema con el precio del diésel puesto que los precios son muy similares, esto sin carga tributaria, por lo que, el precio para el usuario dependerá de la decisión política que se tomó al respecto. Habrá que tener en cuenta que esta decisión de producción y utilización del combustible lleva consigo un número de objetivos de gran importancia, como los beneficios ambientales, desarrollos de nuevos mercados para los productos de producción primaria y sector industrial, otorgamiento de valor agregado a los cultivos, desarrollo de nuevos circuitos económicos, ocupación de mano de obra, etc. En los últimos años el interés por crear una producción masiva de combustibles renovables ha aumentado, ya que estos proyectos vienen acompañados de una gran variedad de ventajas en varios sectores, uno de ellos es el sector económico (Muños, 2013).

Con base en las encuestas realizadas por la Red Mexicana de Bioenergía (RemBio), los costos de producción de biodiésel a partir de aceites usados en la modalidad de “puesto en fábrica”, es decir, que existen recolectores independientes de aceite usado y los llevan a las plantas de procesamiento por lo tanto a estos se les compra el aceite a un precio más elevado y ocasiona que el costo por litro de biodiésel incremente pero siempre por debajo del precio del diésel, el precio hasta principios del año 2016 se mantuvo en \$13.72 pesos por esta vía.

Pero se puede optar por otro tipo de vía de recolección de la materia prima, y es que la empresa pague directamente al proveedor y esta se encargue de todos los labores de recolección. Esta opción es más viable, ya que, al proveedor se le paga un precio de \$2 pesos/litro aproximadamente y esto pega positivamente en el precio de venta del biodiésel, tanto que este disminuye alrededor de \$2.52 pesos, es decir, el precio del producto estará alrededor de \$11.10 pesos que se espera se mantenga hasta el inicio del año 2018 (Rionda y col., 2016).

2.1.2 Cumplimiento de normatividad para su distribución

Las nuevas normas le dan a la industria una herramienta valiosa reconocida y aceptada del mismo modo por compradores y vendedores que garantiza la calidad y el comportamiento del producto porque establece parámetros claramente definidos.

Los usuarios de biodiésel, tanto sea los constructores de motores como de las demás partes intervinientes, necesitan del desarrollo de normas confiables que den seguridad para facilitar su comercialización. Los países donde residen estos usuarios, exigen otros beneficios además de los económicos como medio ambientales y de salud.

Para esto se ponen en práctica ciertas normas de las cuales la más utilizada a nivel mundial es la ASTM D6751 y normas Europeas que establecen las propiedades necesarias para los biocombustibles, es decir, definen los rangos aceptables de los puntos de inflamación, viscosidad, temperatura de destilación y contaminantes en los biocombustibles (Bouaid y col. 2016). La Tabla 2.1 muestra la normatividad ASTM utilizada en Estados Unidos y algunos países Latino Americanos.

A nivel mundial existen varios países que son productores de biodiésel a gran escala, algunos de ellos tienen normas específicas basadas en la normatividad antes mencionada. Unos de los mayores productores de esta energía renovable son E.U.A y Europa contribuyendo con una cantidad muy importante de biodiésel a nivel mundial y con una normatividad un poco más rigurosa a la de los demás países (Bouaid y col. 2016). En la Tabla 2.2 se muestra la normatividad Europea con la cual se basan los perfiles del biodiésel en varios países del mundo.

Tabla 2.1 Especificaciones del biodiésel según estándares normativos de Estados Unidos (ASTM D7651, 2014).

Propiedad	Límite		Unidad	Modo de prueba
	min	max		
Punto de inflamación	93		°C	D 93
Agua y sedimento		0.05	% volumen	D2709
Control de alcohol debe cumplir con la siguientes: 1) Contenido de metanol 2) Punto de inflamación	130	0.2	masa % °C	en 14110 D93
Número de ácido		0.5	mg KOH/g	D664
Temperatura de destilación Temperatura atmosférica equivalente. 90% recuperado		360	°C	D1160
Ceniza sulfatada		0.02	% masa	D874
Corrosión lámina de cobre		No. 3		D130
Residuo de carbono		0.05	% masa	D4530
Viscosidad cinemática	1.9	6	mm ² /s	D445
Número de cetano	47			D613
Punto de turbidez	reporte		°C	D2500
Filtrabilidad de impregnado en frio		360	Segundos	D6751 Anexo A1
Calcio y magnesio, combinados		5	ppm (µg/g)	en 14538
Azufre		0.0015 - 0.05	% masa (ppm)	D5453
Contenido de fósforo		0.001	% masa	D4951
Estabilidad de oxidación	3		Horas	en 14112
Estabilidad de oxidación	3		Horas	en 14112
Sodio y potasio, combinados		5	ppm (µg/g)	en 14538
Temperatura de destilación Temperatura atmosférica equivalente. 90% recuperado		360	°C	D1160
Estabilidad de oxidación	3		Horas	en 14112

Tabla 2.2 Especificaciones del biodiésel según estándares normativos Europeos (EFT, 2009)

Propiedad	Límite		unidad	modo de prueba
	min	max		
Densidad a 15 °C	860	900	Kg/m ³	En ISO 3675
Viscosidad cinemática	3.5	5	mm ² /s	En ISO 3104
Número de cetano	51			En ISO 5165
Contaminación total		24	mg/Kg	En 12662
Residuo de carbono (10% residuo)		0.3	% (m/m)	En ISO 10370
Contenido de diglicéridos		0.2	% (m/m)	En 14105
Metales Grupo II (Ca + Mg)		5	mg/g	En 14538
Azufre		10	mg/Kg	En ISO 20846
Índice de yodo		120	g yodo/100g	En 14111
Contenido de fósforo		4	mg/Kg	En 14107
Contenido de éster	96.5			En 14103
Contenido de ácido linoléico		12	% (m/m)	En 14103
Contenido de ácidos grasos > 4 enlaces dobles		1	% (m/m)	
Metales Grupo I (Na + K)		5	mg/g	En 14108
Punto de inflamación	101		° C	En ISO 2719
Contenido de metanol		0.2	% (m/m)	En 14110
Contenido de agua		500	mg/Kg	En ISO 12937
Valor ácido		0.5	mg KOH/g	En 14104
Ceniza sulfatada		0.02	% (m/m)	ISO 3987
Corrosión lámina de cobre	No. 1			En ISO 2160
Estabilidad de oxidación, 110 °C	6		horas	En 14112
Glicerina libre		0.02	% (m/m)	En 14105
Glicerina total		0.24	% (m/m)	En 14105
Contenido de monoglicéridos		0.8	% (m/m)	En 14105
Contenido de triglicéridos		0.2	% (m/m)	En 14105

2.1.3. Mercado actual en México

La generación del biodiésel, aunque impaciente, ya es una realidad, en México. Se han operado operan 6 plantas, que en su conjunto poseen una capacidad de producción de 4,000m³/año. Dos de esas compañías operan en Puebla, mientras que las demás se encuentran en Baja California, el Estado de México, Durango y Oaxaca. De las plantas antes mencionadas se tiene como dato que solo una de ellas opera con aceites reciclados.

En la Figura 2.1 se muestra una gráfica de producción de biodiésel a nivel nacional de cada una de las plantas que se encuentran instaladas en México.

También en la Figura 2.1, México tiene mucho potencial en el área del biodiésel, ya que en el país se generan alrededor de 215 mil toneladas de grasas animales que se puede traducir a 194 mil metros cúbicos de producto anuales compitiendo con los mayores productores de biodiésel a nivel mundial, solo que para esto se necesitar diseñar e instalar más plantas en territorio nacional o aumentar la capacidad de las plantas que ya están instaladas en México.

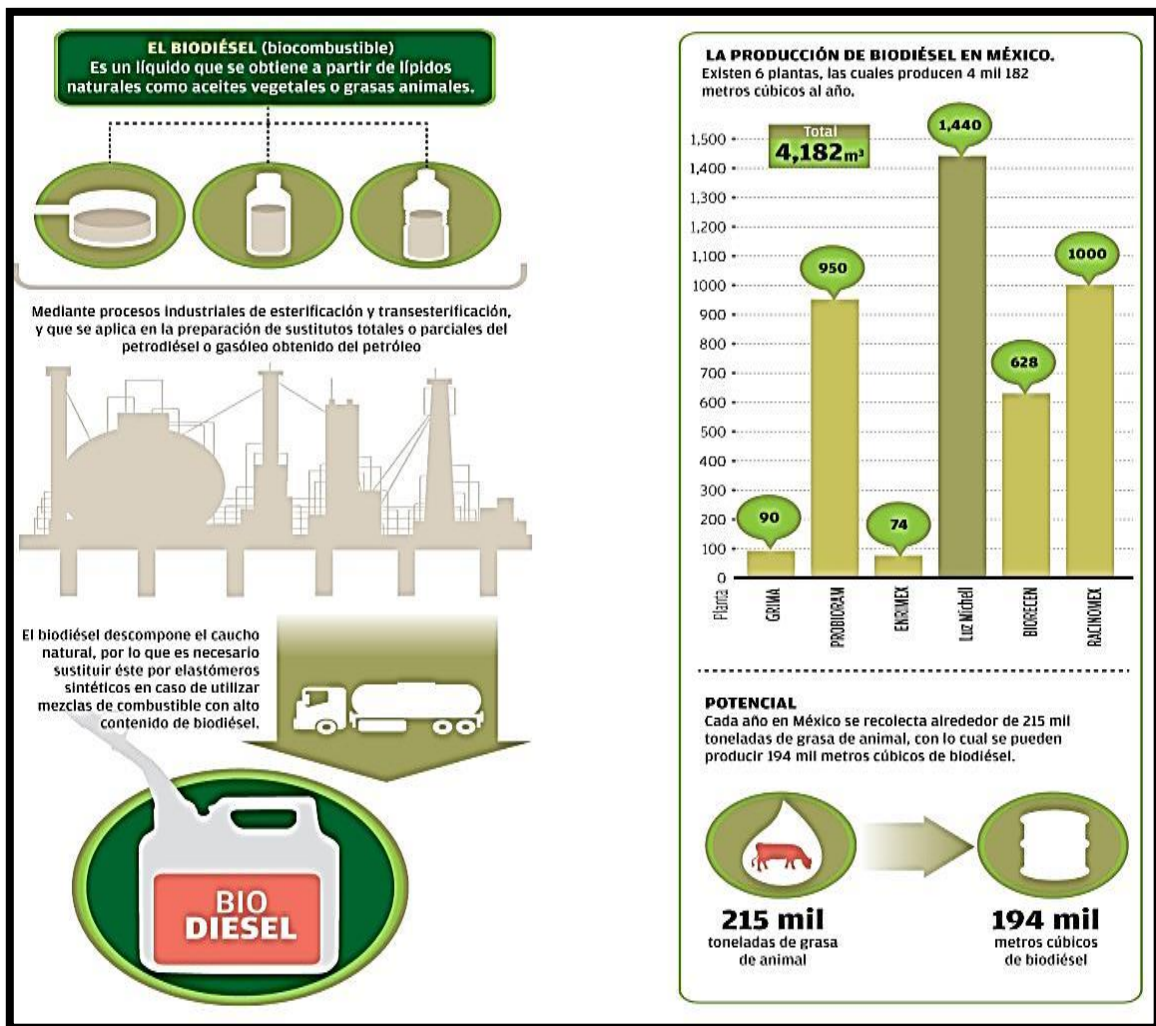


Figura 2.1 Producción de biodiésel en México (Tapia, 2017)

Hoy en día la concientización de los mexicanos por la preservación de los recursos naturales y el medio ambiente ha incrementado exponencialmente, tanto que la investigación en alternativas

limpias de combustibles ha mejorado rotundamente, como en el caso del biodiésel suplantando al diésel que es un derivado del petróleo.

Uno de los objetivos de la producción de biodiésel es consolidar la creación de un organismo encargado de regular y facilitar el desarrollo de esta industria en México, como ya existe en otros países. Por otra parte, busca desarrollar tecnologías amigables con el medio ambiente que resulten en una garantía para la seguridad alimentaria del país. Además de la movilización económica que una nueva industria puede tener en la creación de empleos, algo muy importante es la parte ambiental. Está comprobado que por ejemplo en la Ciudad de México, 75% de la contaminación proviene de autobuses y camiones que usan diesel fósil, que es altamente contaminante. Ya se ha comprobado que si se cambia aunque sea una parte de ese diésel por biodiésel, se tendrá beneficios ambientales importantes (Muños, 2017).

2.1.4 Diésel vs biodiésel

Numerosas investigaciones fueron hechas sobre el rendimiento, potencia y emisiones de un motor que usa biodiésel puro o mezclado, Con el fin de conocer los efectos del mismo en las características típicas del motor, en la Tabla 2.3 se muestra un análisis de comparación de emisiones entre el diésel y el biodiésel.

Tabla 2.3 Comparación de características físico-químicas de emisiones de diésel contra biodiésel (Rodríguez y Ribeiro, 2002).

Tipo de emisión	B100 (%)	B20 (%)
Hidrocarburos totales sin quemar	68	-14
Monóxido de carbono	44	-9
Partículas en suspensión	40	-8
Sulfatos	-100	-20
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	-80	-13
Hidrocarburos aromáticos policíclicos nitrogenados	-90	-50
Potencial de destrucción de capas de ozono	-50	-10

Con respecto en el rendimiento, el diésel y el biodiésel son muy similares, ya que, si un biodiésel cumple la norma este puede tener un funcionamiento óptimo sin necesidad de combinarlo con diésel, es decir, que el B100 puede funcionar y rendir lo mismo que un diésel comercial. En EE.UU, se han comprobado más de 30.000.000 de km. recorridos sin ningún tipo de problema. Toda la

información indica que la durabilidad de los motores es comparable cuando se usa biodiésel o diesel derivado del petróleo.

Uno de los mayores temores en utilizar biodiésel en el motor, es que este puede fallar o descomponerse si no se hace una adaptación previa, pero estudios recientes señalan que estos no son necesarios a menos que el biodiésel sea de mala calidad, la Tabla 2.4 muestra el comportamiento del motor con el uso del biodiésel y una comparación implícita con el diésel (Ganduglia y col., 2009).

Tabla 2.4 Uso de biodiésel en el motor automotriz (Amaris y col., 2015)

Operación	Situación
Beneficio de emisiones	Se reducen
Conversión de motores	No necesaria
Ajustes y regulación de motores	No necesaria
Condiciones invernales	Similar
Punto de ignición	Sin peligro de explosión
Potencia	Similar
Consumo	Similar
Lubricidad	Mayor
Almacenaje	similar
Torque	Similar

Finalmente resta decir que a pesar de que el motor que se conoce hoy en día fue pensado para funcionar con diésel, los automóviles no necesitan ningún tipo de modificación para funcionar con biodiésel, siendo esto un factor muy importante a una futura implementación de este biocombustible en un sistema de transporte como el que ya cuenta México.

2.2 ESTUDIO DEL PROCESO E INGENIERÍAS

2.2.1 Proceso para la obtención y fabricación del biodiésel

El proceso que se utiliza frecuentemente para la producción comercial de biodiésel es la transesterificación, la reacción se puede acelerar con catalizadores homogéneos (ácido o base) o heterogéneos (ácido, base, o una enzima) que intervienen en la transformación de los triglicéridos en biodiésel usando un alcohol de cadena corta. Generalmente se usan catalizadores alcalinos homogéneos, especialmente hidróxido de sodio y de potasio porque proporcionan mayor velocidad

de reacción que la conversión de los catalizadores ácidos para la transesterificación de triglicéridos en biodiésel (Grey y col., 2014).

2.2.1.1 Elección del proceso

Unos de los problemas principales en la producción de biodiésel, es la obtención de espuma en el proceso, esto debido a la reacción parásita de saponificación. Lo anterior se debe a la cantidad de ácidos grasos libres que existen en el aceite, por lo regular los aceites que son reciclados para la producción de biodiésel poseen una cantidad excesiva de ácidos grasos, por lo que se tiene que realizar un pre-tratamiento para que esta reacción parasita no se lleve a cabo y no afecte la calidad del biodiésel obtenido.

Por lo general, en los procesos de producción de biodiésel siempre se tiene un pre-tratamiento que en la mayoría de los casos son las reacciones de esterificación, pero en ocasiones estos ácidos grasos libres se miden y si estos son menores al 5% en volumen se somete directamente al proceso de transesterificación, ya que, con esta cantidad no tiene una afectación mayúscula en el proceso, y este saldrá con un buenos parámetros dentro de la norma. Por otro lado, si los ácidos grasos libres son mayores al 5% en volumen, este se tiene que someter a un pre-tratamiento para reducirlos o eliminarlos (Castaño y col., 2004).

Por lo tanto, para definir el proceso de obtención de biodiésel se debe hacer un análisis de ácidos grasos libres a la materia prima. En la Figura 2.2 se muestra la reacción de saponificación que afecta al proceso como reacción parásita.

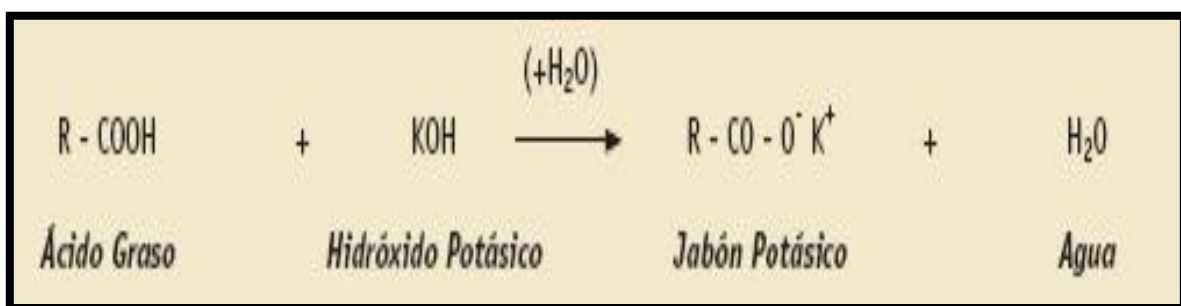


Figura 2.2 Reacción de saponificación en el proceso de formación de biodiésel (García y Laborda 2006)

2.2.2 Fabricación e ingeniería del biodiésel

Para la fabricación del biodiésel y el establecimiento de un método ingenieril, se tiene que tomar en cuenta aspectos previos a la elaboración e instalación de una planta, como, por ejemplo, la localización, los convenios que se deben firmar para su instalación, compra de materias primas, etcétera, ya que esto hará un proceso más eficaz y más rentable a lo largo del tiempo. En esta sección se explicará a grandes rasgos la metodología o procesos que se han seguido y han funcionado para la obtención de biodiésel en masa (Acuña y col., 2015).

2.2.2.1 Preparación de materia prima y variables del proceso

En este proceso es importante tener la mejor calidad posible, ya que, el producto va ligado directamente con la materia prima, es decir, que si la materia prima es de buena calidad, el biodiésel también lo será.

2.2.2.1.1 Proceso previo

La preparación de la materia prima es primordial en el proceso, ya que este paso es un factor importante para el mejoramiento de la calidad y dar un mejor rendimiento en la obtención del producto.

2.2.2.1.1.1 Filtrado de sólidos

Los residuos sólidos de los aceites comestibles usados son un gran problema en el proceso de formación de biodiésel, ya que, si este no se filtra, los sólidos se pueden incrustar en las tuberías o entradas y salidas de equipos, provocando un taponamiento en algunos sectores del proceso y afectando directamente en el rendimiento de producción. La remoción de estos sólidos no es complicada, ya que se presentan en cantidades pequeñas y se eliminan fácilmente con un filtrado (Pineda y Guerrero, 2011).

2.2.2.1.1.2 Eliminación de humedad en el aceite

La cantidad de agua presente en los aceites es un factor negativo para la formación de biodiésel en la parte de la reacción de transesterificación, debido a que provoca que exista una competencia entre la formación del producto deseado y la formación de jabones por la reacción de saponificación. El agua contenida en el aceite se debe retirar por diversos medios, como por ejemplo, la

centrifugación o una evaporación. El contenido aproximado de agua en el aceite es de 1 mL/m³ de aceite, es decir, 1 parte por millón de agua (López y col., 2015).

2.2.2.1.1.3 Esterificación de ácidos grasos libres

La esterificación es un proceso químico que se utiliza para retirar los ácidos grasos libres (AGL) del aceite que se utiliza como materia prima, con una concentración de AGL de 1% en volumen. El proceso que se utiliza para la producción de biodiésel es la transesterificación, sin embargo la esterificación se aplica combinándolo con la transesterificación para aprovechar el subproducto de ácidos grasos y producir asimismo biodiésel como se muestra en la Figura 2.3 (Medina y col., 2014).

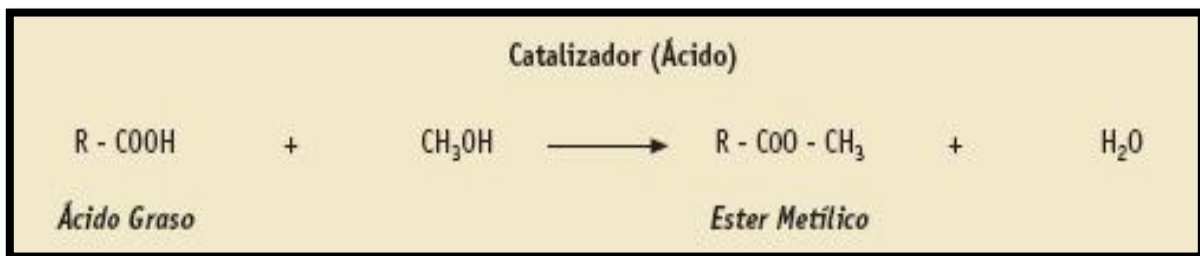


Figura 2.3 Esterificación de los ácidos grasos libres (García y Laborda, 2006)

Para llevar a cabo esta reacción se necesita un catalizador ácido, que la mayoría de veces es el ácido sulfúrico (H₂SO₄) con una pureza del 95% en volumen, este se adiciona con una razón de 1 mL de H₂SO₄ por cada litro de aceite junto con 400 mL de metanol (40% volumen en relación con el aceite). El tiempo de esta reacción es durante una hora con agitación vigorosa a 65°C. Terminada la reacción se neutraliza el ácido y procede a pasar a la transesterificación (Hincapié y col. 2011).

2.2.2.1.1.4 Refinamiento como pre-tratamiento

La mayoría de los aceites crudos tiene un bajo porcentaje de ácidos grasos libres y algunos fosfolípidos que se tienen que remover por esta etapa de refinamiento. Existen reacciones competitivas a la reacción de fabricación de biodiésel por el contenido de agua y ácidos grasos libres. El refinamiento consta de dos etapas: el "desgomado" (en inglés degumming) que permite sacar los fosfolípidos y la eliminación de los AGL. Según el tipo de aceite que se usa como materia base, la tecnología de producción puede variar.

En la primera etapa de "desgomado", el aceite se mezcla con agua y se agita la mezcla para hidratar los fosfolípidos y gomas, reacción interesante porque estos hidratos no son solubles en aceite. Se pueden extraer por decantación filtración o centrifugación. La segunda etapa es la neutralización de los AGL, también llamado refinamiento cáustico. Se agrega una solución alcalina, típicamente hidróxido de sodio, para formar jabones. Por su insolubilidad en el aceite, los jabones se separan fácilmente con un lavado por agua (Arteaga y col., 2010).

2.2.2.1.2 Fase principal del proceso

Esta es la fase que va a marcar el rendimiento del proceso, ya que aquí es donde se lleva a cabo la reacción de transesterificación e intervienen las variables de temperatura, tiempo de reacción y concentración del catalizador.

2.2.2.1.2.1 Transesterificación

Aunque la esterificación es un proceso posible, el método utilizado comercialmente para la obtención de biodiésel es la transesterificación (también llamada alcoholólisis). Se basa en la reacción de moléculas de triglicéridos (el número de átomos de las cadenas está comprendido entre 15 y 23, siendo el más habitual de 18) con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol) para producir ésteres y glicerina (que puede ser utilizada en cosmética, alimentación, farmacia, etc.). En la Figura 2.4 se muestra la reacción general de transesterificación que se lleva a cabo en el proceso de biodiésel. (Dorado y col., 2002).

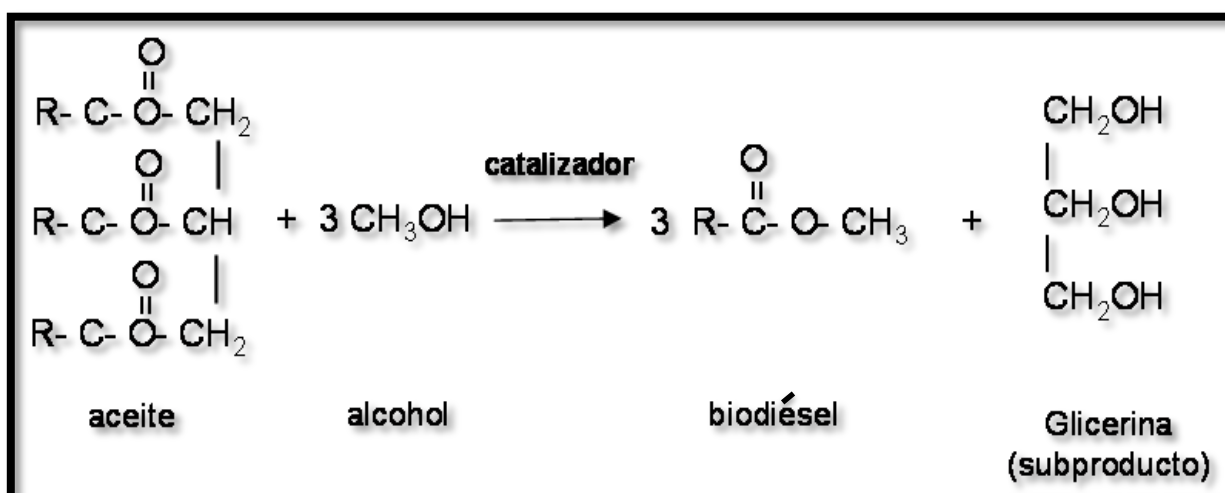


Figura 2.4 Reacción general de transesterificación (Yang y col., 2009)

Para la reacción de esterificación existen variables que la hacen más efectiva. La primera de ellas es la temperatura. En la Figura 2.5 se muestra como contribuye la temperatura en la reacción y se ve claramente que en el intervalo de 50-55°C aproximadamente, el rendimiento de producción es el máximo alcanzable. Por lo tanto es de esperarse trabajar con esas temperaturas (Wu y Leung, 2011).

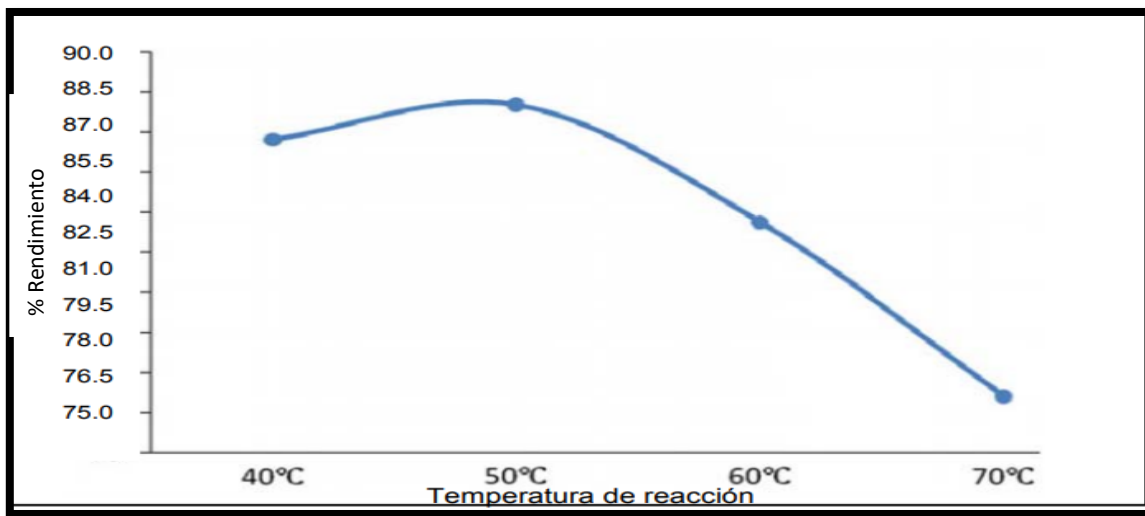


Figura 2.5 Rendimiento de reacción de transesterificación en función de la temperatura (Wu y Leung, 2011)

Otro de los factores con la que se ve afectada la reacción, es con la relación de metanol/aceite como se muestra en la Figura 2.6 donde se ve que al incrementar la proporción de metanol con respecto al aceite el rendimiento de la reacción aumenta, hasta llegar a una relación de 1:8, después de esto el rendimiento vuelve a caer.

Otra variable que afecta el rendimiento de la reacción es el tiempo, en este solo existe un cambio notorio y se muestra en la Figura 2.7, este se encuentra a 70 min después de haber iniciado la reacción, ya que a este tiempo se obtiene un aumento significativo en el rendimiento del proceso.

Figura 2.7 Rendimiento de la reacción de transesterificación en función del tiempo de reacción

Y por último, uno de los factores más importantes en el proceso es la concentración del catalizador. En este caso se adicionó a la reacción de transesterificación el hidróxido de potasio (KOH). Como se

ve en la Figura 2.8 al adicionar una pequeña porción de catalizador (1% en volumen) la reacción se dispara a obtener grandes valores de rendimientos (Wu y Leung, 2011).

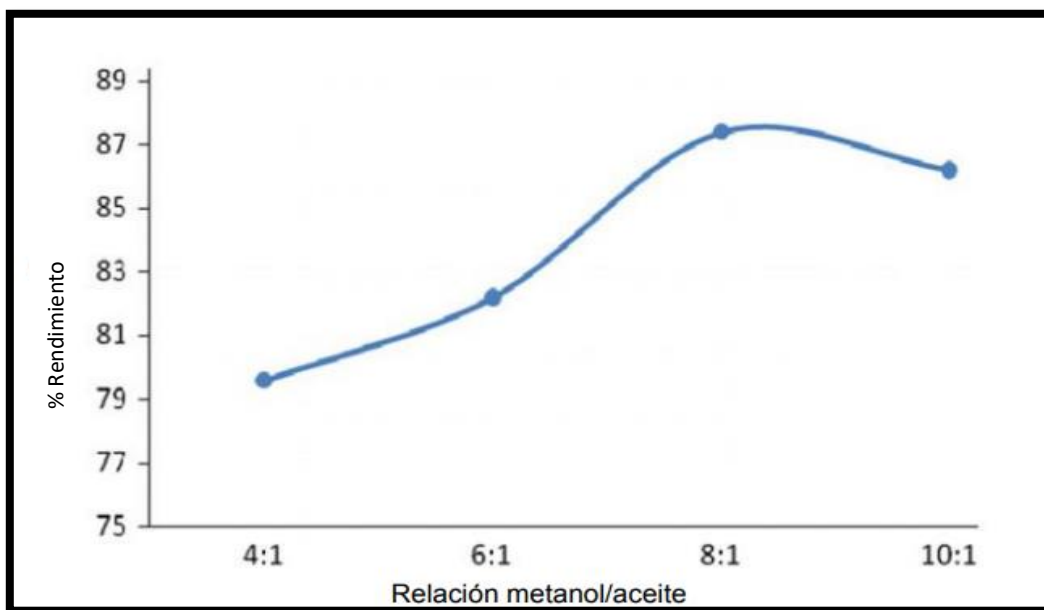


Figura 2.6 Rendimiento de la reacción de transesterificación en función de la relación metanol/aceite (Wu y Leung, 2011).

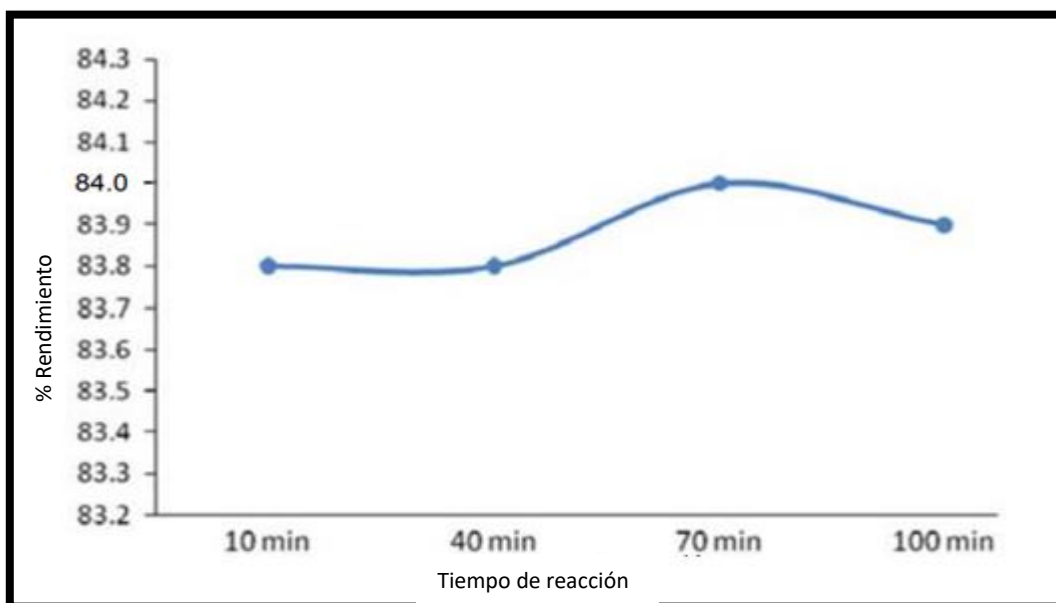


Figura 2.7 Rendimiento de la reacción de transesterificación en función del tiempo de reacción (Wu y Leung, 2011).

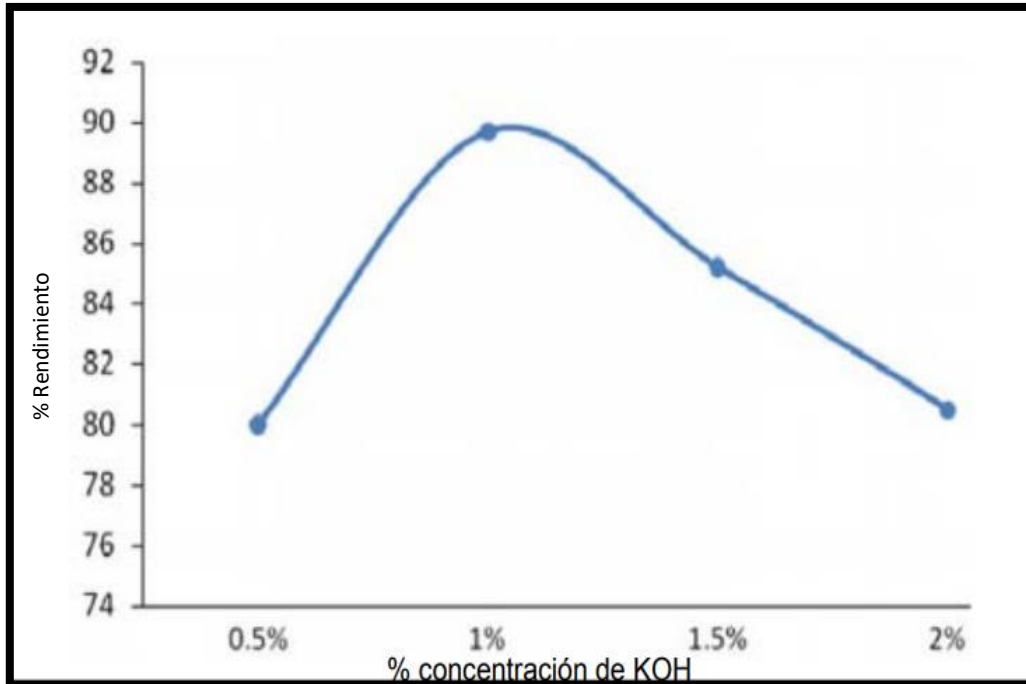


Figura 2.8 Rendimiento de la reacción de transesterificación en función del catalizador agregado (Wu y Leung, 2011).

2.2.2.2 Procesos generales para la fabricación de biodiésel

En este punto se describirán cada uno de los diferentes procesos que se realizan comúnmente para la fabricación de biodiésel, donde se ven inmersas las reacciones de esterificación y transesterificación, aunque este último se omite como una parte de formación del producto, ya que este se utiliza como pre tratamiento para eliminar los ácidos grasos de la materia prima. Al igual se explicarán el funcionamiento y principios de la utilización de los procesos continuos y discontinuos junto con sus ventajas y desventajas.

2.2.2.2.1 Proceso continuo

Una variación del proceso discontinuo es la utilización de reactores continuos del tipo tanque agitado, (RCTA que por sus siglas en inglés es CSTR, 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. 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, (RFP que por sus siglas en inglés es PFR, Plug Flow Reactor) se comporta como si fueran pequeños reactores continuos del tipo tanque agitado en serie. Este tipo de reactor puede operar a elevada temperatura y presión para aumentar el porcentaje de conversión (Cuevas 2009).

La Figura 2.9 muestra el proceso general que se lleva a cabo para la formación de biodiésel de forma continua, donde se tiene un tanque de mezclado donde se agregan los reactivos que es este caso serán el aceite, el alcohol y el catalizadora, para posteriormente pasar a reaccionarlos en el reactor 1, luego pasa a un separado de 2 fases donde en la primera se separa el alcohol que sobró de la reacción para reutilizarlo, y en la segunda fase se separa la glicerina obtenido en la primera sección del proceso. Como este sistema se encuentra en serie con respecto a los reactores, el producto obtenido por el reactor 1 ya limpio, pasa al reactor 2 donde terminarán de reaccionar todos los triglicéridos obteniendo una conversión mayor, agregando de nueva cuenta alcohol para la reacción. Al final se encuentran 2 separadores en serie que su función de ambos es separar el alcohol como primer paso y después separar el biodiésel y la glicerina que se encuentran mezclados por el proceso al que fueron sometidos.

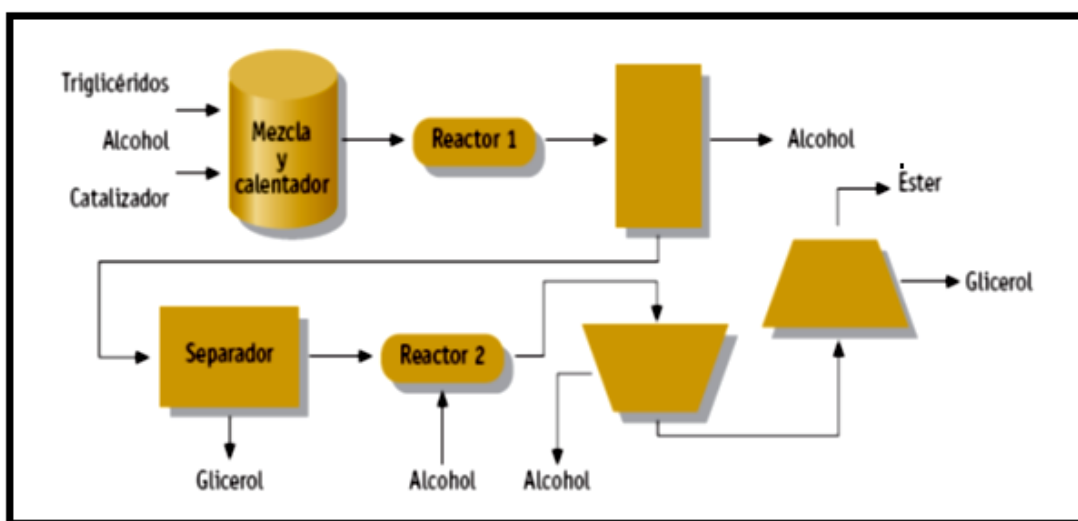


Figura 2.9 Proceso continuo de formación de biodiésel (García y Laborda 2006)

2.2.2.2.1.1 Esterificación-transesterificación

Este tipo de procesos refina los ácidos grasos aparte del sistema de alimentación o mediante un tratamiento diferenciado en la unidad de esterificación. Se añaden los catalizadores cáusticos y el producto de reacción se separa mediante centrifugación. Los aceites refinados son secados y enviados a la unidad de transesterificación para un proceso posterior. De esta manera, los ácidos grasos pueden ser transformados en ésteres metílicos mediante un proceso ácido de esterificación (Medina y col., 2014).

La Figura 2.10 muestra el proceso continuo de la formación de biodiésel por pre tratamiento de esterificación con la reacción principal que es la transesterificación, donde está formada por 2 secciones en serie, en la primera sección se tiene la mezcla de un catalizador ácido con alcohol, este pasa al reactor de esterificación junto con el aceite, posteriormente el producto se somete a una prueba de limpieza, donde se separará el agua y el catalizador, pasando a la reacción de esterificación junto con una mezcla de alcohol con catalizador básico. Finalmente el producto total se separa en glicerol, biodiésel y alcohol, que este último se reutilizará para la producción de más biodiésel.

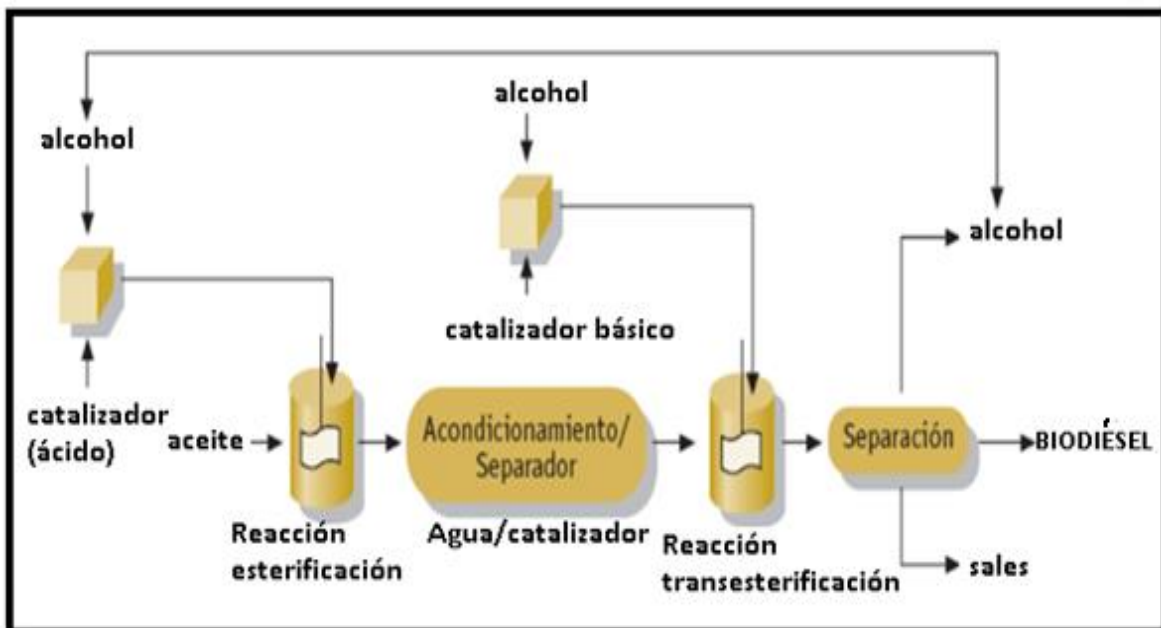


Figura 2.10 Modelo clásico de proceso esterificación-transesterificación para la obtención de biodiésel (García y Laborda 2006)

2.2.2.2 Proceso discontinuo

El proceso discontinuo (batch) es el método más simple para producir biodiésel. En este proceso, se emplea un reactor de tanque agitado con relaciones molares alcohol: triglicérido que van desde 4:1 a 20:1, donde la relación molar más común es 6:1. El reactor puede estar sellado o equipado con condensador de reflujo. El rango de temperaturas de operación puede oscilar entre 25 y 85°C, aunque la temperatura más habitual suele ser de 65°C.

Este tipo de proceso se realiza con agitación y con un condensador de reflujo. Las condiciones de operación son establecidas previamente de acuerdo a la calidad de la materia prima. Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol. Luego en etapas posteriores se realiza la separación, purificación y estabilización del biodiésel (García y Laborda 2006).

La Figura 2.11 muestra el proceso general discontinuo para la formación de biodiésel, este es caracterizado por el proceso al que es sometido el reactor, ya que después de introducir el aceite y la mezcla del catalizador con el alcohol, este tiene un tiempo de agitación establecido sin la circulación de los productos hasta que este tiempo sea cumplido, posteriormente se libera la mezcla obtenida del reactor para pasar a un separador que tendrá dos fases, una donde se encuentra la glicerina la otra donde se obtendrá el producto combinado con agua y metanol, este pasa a un lavado, para solo tener biodiésel, y por otro lado el alcohol para reciclarlo en el proceso.

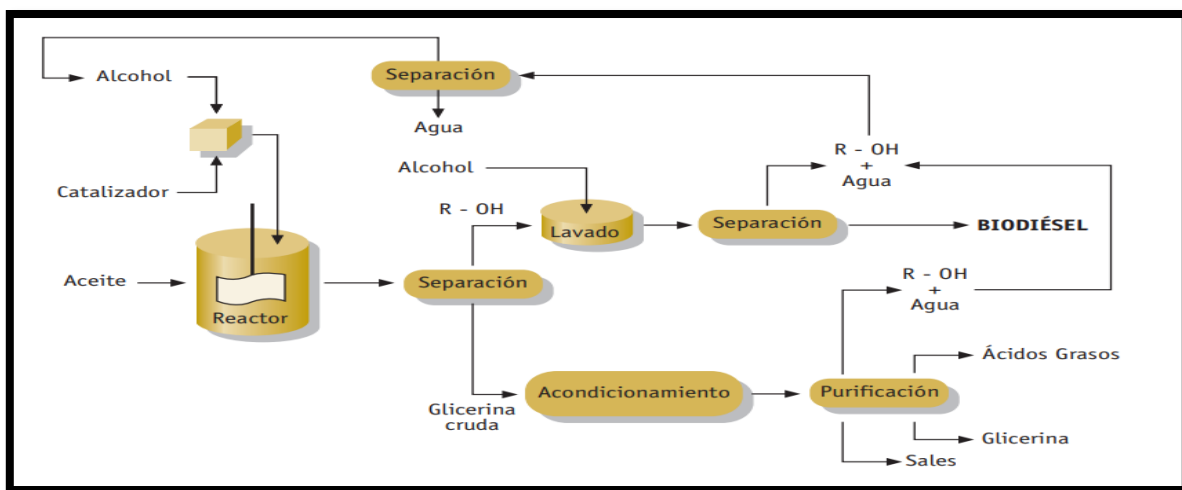


Figura 2.11 Proceso discontinuo clásico para la producción de biodiésel (García y Laborda 2006)

2.2.2.3 Tratamiento de otros productos

Existen 3 productos diferentes a los ésteres que necesitan tratamiento, ya que estos no son importantes para la comercialización del biodiésel. En los siguientes puntos se dará un resumen de que se tiene que hacer con dichos productos para evitar la acumulación de estos (FAO, 2013).

2.2.2.3.1 Glicerina

La glicerina es muy importante en el mercado de los productos químicos, este se podría vender fácilmente para la utilización en otra industria, pero la obtención de glicerol en la planta está altamente contaminado por lo que se hace difícil su venta de esta manera. Por lo tanto se tiene que hacer un tratamiento para eliminar todas las imperfecciones que posee como lo son, del catalizador y del jabón, el metanol, unos metil ésteres y glicéridos que no reaccionaron, cuerpos coloridos y olorizados, y otros compuestos menores.

El primer paso para refinar el glicerol es la agregación de ácido para transformar los jabones en AGL y sales y para neutralizar el catalizador básico, formando también sales o precipitados que son insolubles en el glicerol y van hacia la superficie pudiendo separar por filtración. El glicerol se puede entonces blanquear usando carbón activo o arcilla o un sistema de control en tiempo real del pH con sosa cáustica y por último, el alcohol mezclado con el glicerol puede salir con una destilación o procesos de intercambio iónico (Lamoureux, 2007).

2.2.2.3.2 Manejo del metanol

El metanol es el alcohol más utilizado en la producción de biodiésel, por lo que es importante saber cómo se debe tratar este producto para reutilizarlo como reactivo este se agrega en exceso para que la reacción tenga un mayor rendimiento, es decir, que se produzca más del producto deseado, pero este al momento de la obtención de los productos sale mezclado con una gran concentración, por lo que es importante reciclarlo para utilizarlo de nuevo en el proceso y no se desperdicie.

Hay varios parámetros que son importantes para diseñar el sistema de reciclado del metanol. Tiene punto de ebullición relativamente bajo (64.7°C), lo que significa que es fácilmente volátil y que se puede remover en gran parte del aceite, del éster y de las corrientes acuosas por evaporación flash y recondensación (Peters y col., 2004).

2.2.2.3.3 Agua

El tratamiento de aguas residuales de los procesos es muy costoso, pero tiene sus beneficios, ya que esta se puede vender, puede reutilizarse en el proceso para limpieza o para consumo personal, existen varios tipos de tratamiento dependiendo del grado de contaminación, pero para este caso, el tratamiento no es tan arduo, ya que se puede pasar por un filtro químico para desinfectarla y reutilizarla para algún caso en común. El promedio de agua que se puede ahorrar por este proceso es de aproximadamente 100 L/lote de producción.

Uno de los procesos para la descontaminación de agua, es por resinas de intercambio iónico y filtrado de sólidos. En el caso de las resinas, es para poder consumir esa agua que se extrae en el proceso, ajustado a un proceso biológico, en el caso del filtrado de sólidos, es para uso exclusivo de lavado en los equipos del proceso o lavado de instalaciones.

2.2.2.4 Localización de la planta y administración del proyecto

2.2.2.4.1 Metodología

La administración de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas aplicadas para la formación o construcción o instalación de una planta, en este caso la planta de biodiésel, para satisfacer las necesidades de los participantes del proyecto. La administración de un proyecto no tiene una serie de pasos como tal, ya que esto depende del tipo de planta o proceso que se vaya a llevar a cabo, pero en este caso se mencionarán algunos pasos en general que cada uno de los procesos tienen que llevar a cabo en algún punto de su trayecto (Mendoza, 2007).

2.2.2.4.1.1 Planeación

En esta parte del proyecto se tiene que ejercer un plan acorde a lo que se necesita, recopilar los requerimientos, crear una estructura de trabajo definir las actividades y darles una secuencia, hacer una estimación de los recursos necesarios para llevar a cabo las actividades del proyecto y una estimación de la duración de cada actividad, desarrollar un cronograma, estimar los costos del proyecto, determinar el presupuesto, planificar la calidad, entre otras cosas que se deben tomar en cuenta previo a la iniciación del proceso (Sparano, 2011)

Este punto es importante, ya que la programación del proyecto afecta a todo el proceso a partir de que se elabora hasta su terminación, por eso es tan importante que esta sección se haga detalladamente en una mesa de juntas donde se discutirán todos los pros y contras de lo que se llevará a cabo para que en un futuro no se comentan errores que cuesten tiempo y dinero (Mendoza, 2007).

2.2.2.4.1.2 Organización

Dado el plan, el director de proyecto es el responsable de la organización y la definición del calendario. Los miembros del equipo de proyecto deberán conocer cada una de sus actividades asignadas y sus responsabilidades concretas, así como su puesto con respecto al director de proyecto. El calendario de proyecto debería desarrollarse con un conocimiento preciso de los requisitos de tiempo, las asignaciones de personal y las dependencias de unas tareas con otras. Muchos proyectos tienen un límite a la fecha de entrega solicitada.

Dentro de la organización entran las estructuras organizacionales, cada una de las empresas debe tener una estructura base, ya que de esto depende el trabajo en equipo que se llevará a cabo, existen diferentes tipos de organizaciones, pero es este apartado solo se mencionarán los 3 más comunes (Peña, 2001).

2.2.2.4.1.2.1 Funcional

La organización por funciones reúne, en un departamento, a todos los que se dedican a una actividad o a varias relacionadas, que se denominan funciones. Es el tipo de estructura organizacional, que aplica el principio funcional o principio de la especialización de las funciones para cada tarea. Es probable que la organización funcional sea la forma más lógica y básica de división por departamentos (Minsal y Pérez, 2007). En la Figura 2.12 se ve un panorama general de la distribución en un tipo de organización funcional, siempre encabezada por el director y debajo de los departamentos que tienen funciones específicas dentro del proyecto.

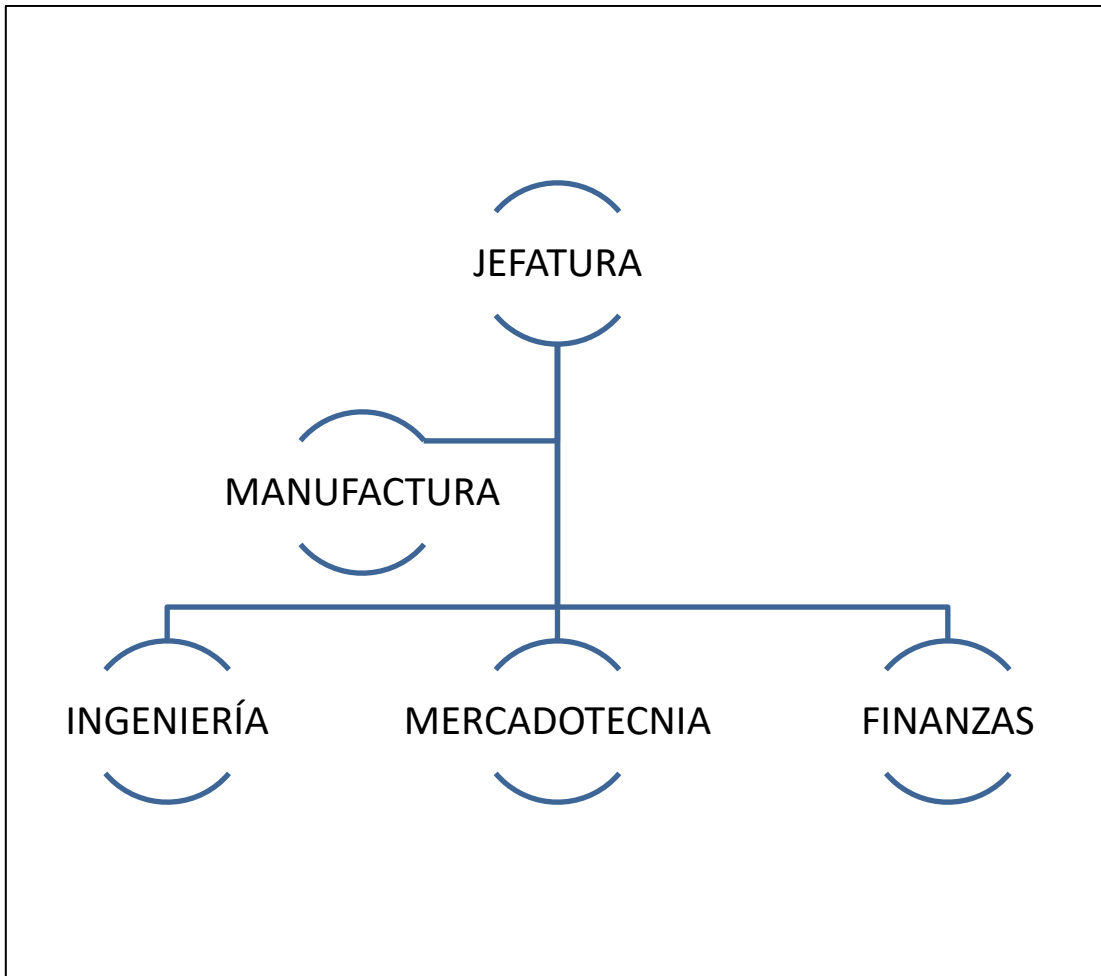


Figura 2.12 Diagrama de organización funcional (Anaya y col., 2013)

2.2.2.4.1.2.2 Por proyecto

En este tipo de organización, la totalidad de los recursos son empleados para cumplir un objetivo específico, esto se hace formando un grupo de personas que se avocan exclusivamente a un proyecto; trabajan en una zona determinada de la empresa. Esta forma organizacional es efectiva para proyectos grandes, ya que esto facilitará las labores de cada uno de las personas y sea más ágil el proceso, siempre y cuando cada uno de los contribuyentes haga su trabajo en tiempo y forma.

La Figura 2.13 muestra un ejemplo de organización por proyecto general, que al igual que la funcional está distribuida a partir de un director que se encuentra en la jefatura, pero algo que lo diferencia de la organización funcional es que este tiene un jefe que se encargará de dirigir el proyecto y darle avances a la jefatura (Anaya y col., 2013).

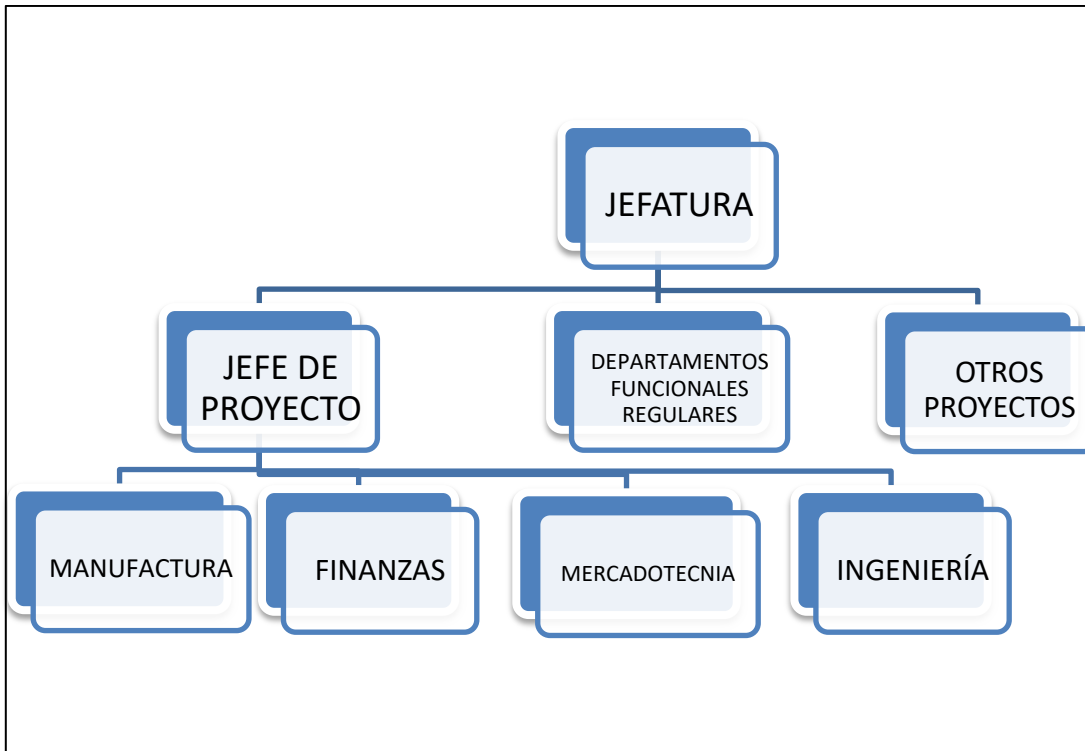


Figura 2.13 Estructura organizacional por proyecto (Anaya y col., 2013)

2.2.2.4.1.3 Integración del equipo de trabajo

La integración de un grupo de trabajo es una de las tareas más complicadas, ya que las personas elegidas deben tener buen conocimiento de lo que se va a realizar; pero no solo eso, también debe tener una buena habilidad para interactuar con los integrantes de la empresa. En la siguiente lista se describen las cualidades generales que debe cumplir un personal para ser seleccionado (Arriagada, 2013).

- ❖ Relaciones interpersonales
 - Buscar soluciones en conjunto
 - Tener en cuenta todas las ideas y alternativas
 - Incluir diferentes métodos
 - Saber manejar los conflictos
- ❖ Comunicación

Si no existe una comunicación fluida entre los miembros de un equipo, será difícil alcanzar cualquier tipo de resultados; las claves de la comunicación entre sus miembros son:

- Proveer información clara y precisa
- Saber descifrar la comunicación no verbal
- Saber preguntar
- Escuchar con atención
- Compartir las ideas sin restricciones

❖ Toma de decisiones

Finalmente, la toma de decisiones será lo que permita llegar a buen puerto; un equipo debe ser capaz de:

- Obtener información
- Analizar objetivamente los datos
- Detectar fortalezas y debilidades

2.2.2.4.1.4 Ejecución

La fase de ejecución del proyecto corresponde a la realización de las actividades programadas en el plan de trabajo o cronograma establecido durante la planificación del proyecto.

Las actividades principales de esta etapa son:

- Establecimiento del entorno de trabajo
- Asignación de las tareas planificadas a los recursos disponibles
- Ejecución de las tareas planificadas
- Gestión de las peticiones de cambio

De forma paralela, esta parte del proceso se lleva a cabo junto con el control, ya que es indispensable estar checando el proceso, por si se detecta una falla durante la ejecución (Fernández, 2002).

2.2.2.4.1.5 Control

Un control de proyecto efectivo nos va a permitir, a partir de la comparación entre valores planificados e incurridos:

1. Evaluar la actuación o ejecución pasada en cualquier instante de la vida del proyecto.

2. Analizar tendencias futuras que permitan estimar los costes y plazos de finalización del proyecto (método del valor ganado)

El control del proyecto y sus resultados son importantes para verificar que se obtengan buenos parámetros antes establecidos, es decir, el mecanismo de control es un fruto de la planificación y por lo tanto este apunta hacia el futuro. El control y sus resultados pueden analizarse desde un punto de vista administrativo, ya que consiste en un conjunto de actividades efectuadas para llevar a cabo un plan inicial (Ortega, 2016).

2.2.2.5 Bases de diseño

Dentro del proyecto se deben tomar diferentes parámetros para la iniciación de la ingeniería de proyecto, en este apartado se define la localización del proyecto, el tipo de proceso que se realizará, dentro de esto se encuentra la capacidad, el rendimiento y la flexibilidad del mismo; las especificaciones de la materia prima y productos, límites de planta y algunos servicios que se requieren para la operación de la planta, como tomas de agua, electricidad, etcétera.

2.2.2.5.1 Localización del proyecto

La localización tiene por objetivo, analizar los diferentes lugares donde es posible ubicar el proyecto, buscando establecer un lugar que ofrece los máximos beneficios, los mejores costos, es decir en donde se obtenga la máxima ganancia, si es una empresa privada, o el mínimo costo unitario, si se trata de un proyecto social. En el estudio de localización del proyecto, se toman en cuenta dos aspectos la macro y la micro localización, es importante este análisis ya que es una de las partes más importante para que el proceso sea rentable o no (Machicado y Gutiérrez, 2016).

2.2.2.5.1.1 Macro-localización

Consiste en evaluar el sitio que ofrece las mejores condiciones para la ubicación del proyecto, en el país o en el espacio rural y urbano de alguna región (Machicado y Gutiérrez, 2016).

- Ubicación de los consumidores o usuarios
- Localización de la materia prima y demás insumos.
- Vías de comunicación y medios de transporte
- Infraestructura de servicios públicos

- Condiciones climáticas, ambientales, suelos

2.2.2.5.1.2 Micro-localización

Es la determinación del punto preciso donde se construirá la empresa dentro de la región, y en esta se hará la distribución de las instalaciones en el terreno elegido (Machicado y Gutiérrez, 2016).

- Disponibilidad y costos de recursos: mano de obra, materias primas, servicios de comunicaciones
- Otros factores: ubicación de la competencia, limitaciones tecnológicas y consideraciones ecológicas
- Costo de transporte de insumos y de productos.

2.2.2.5.2 Generalidades

En el proceso de la producción de biodiésel existe una amplia gama de opciones para su producción, por lo general, el proceso más utilizado a nivel industrial es la transesterificación de los triglicéridos con metanol para la formación de esteres metílico. Este método es el más conveniente, barato y fácil de manejar con materia de bajo contenido de ácidos grasos libres.

Para que la reacción se lleve a cabo se debe agregar un catalizador en cierta proporción con respecto al aceite ingresado, los catalizadores más comunes y que dan buenos rendimientos son el hidróxido de potasio (KOH) y el metilato de sodio (NaOCH_3); el metilato de sodio cada vez tiene más importancia en la producción de biodiésel, ya que la utilización de este compuesto da un producto libre de agua, lo que permite alcanzar rendimientos de conversión muy altos, costos bajos de purificación y lo más importante, reducir de manera significativa la producción de jabones en el producto, y por lo tanto se tendrá una mejor calidad.

Los procesos o la tecnología es indistinta para la producción del biodiésel en el caso de los rendimientos, pero si se requiere obtener una mayor producción de biodiésel anual para sustentar y abastecer el consumo, lo más conveniente es el uso de procesos continuos, ya que estos tienen una ventaja sobre los discontinuos, y esta es el tiempo, ya que el tiempo es menor en una tecnología continua y la calidad de la materia se mantiene sin cambios bruscos en comparación de los discontinuos (López y col., 2015).

2.2.2.5.3 Capacidad, rendimiento y flexibilidad

A lo largo del tiempo, ha aumentado de manera exponencial el consumo de combustibles como en el caso del diésel, y esto se debe al aumento descontrolado del uso de automóviles y camiones que lo ocupan como combustible; Pemex ha contabilizado el consumo de diésel y se llegó a un promedio diario de 1427.1 m³ diarios. Sin embargo la producción de biodiésel es más complicada que eso, ya que se tiene que tomar varios parámetros que no solo dependen del consumo, sino también de la educación ecológica, preferencia por tiempo, es decir, que no toda la gente está preparada en confianza para la utilización de este recurso.

Para la capacidad de la planta se debe tomar en cuenta el diseño, condiciones y perturbaciones. El diseño se basa en satisfacer la demanda del mercado, las condiciones son a las que se puede someter la planta normalmente y las perturbaciones son las que pueden suceder en el proceso y preverlas. Por lo regular, las plantas construidas para abastecer grandes sectores de transporte a nivel mundial son de tamaño estandarizado, por lo regular son de 100,000 a 200,000 toneladas anuales. Hoy en día se construyen plantas relativamente chicas que no entraban en estos estándares como las construidas en México puesto que la demanda no es tan fuerte. Sin embargo a nivel mundial la demanda está aumentando fuertemente. La flexibilidad es un factor de para cambiar las condiciones del proceso y se adapte a condiciones de calidad, cantidad y/o variaciones de mercado (Taboada y Osnaya, 2009).

2.2.2.6 Diagramas de flujo

Esta parte del proceso se podría definir como los diagramas que muestran las secuencias de los flujos principales del proceso, las operaciones unitarias y la cantidad de materia y energía que se trasfiere a lo largo del proceso general. Estos diagramas son la mejor opción para la información de datos, ya que son de fácil lectura y de manera muy precisa, ya que estos son una manera gráfica de todo el sistema de operación. Y estos son muy eficientes ya que dan información a todos y cada uno de las personas que están inmersas en la planta (Ocampo W. 2002).

2.2.2.7 Balances de materia del proceso

Para que se puedan diseñar procesos y hablar de dimensiones se necesitan una serie de pasos previos al diseño de equipos, como por ejemplo los balances de materia asociados a cada uno de

los flujos que se muestran en los diagramas de flujo del proceso. Para esto se deben tomar en cuenta varios puntos importantes que darán pie a nuestros cálculos de masa para el proceso (Ocampo W. 2002).

2.2.2.7.1 Especificaciones de proceso

Dentro del proceso existen diferentes parámetros que afectan o cambian el porcentaje de obtención de productos, o se llevan reacciones químicas, o existen acumulaciones, etcétera. Estos puntos son importantes para realizar un buen balance de materia y así poder diseñar, dar mantenimiento, hacer recubrimientos por algunos productos corrosivos entre muchos aspectos más.

Los siguientes datos son promedio de algunas plantas de biodiésel a nivel mundial y se diseñan equipos y plantas estandarizada a partir de estos (Evangelista y col., 2014):

- La transesterificación en el reactor va de 90-99% de conversión. Estas cifras varían dependiendo del proceso (continuo o discontinuo).
- El flujo másico promedio por año es de 100,000 toneladas de biodiésel.
- El tiempo de operación de la planta es un promedio de 333.3 día por año trabajando las 24 horas, el tiempo restante son días de mantenimiento.
- La relación molar promedio de metanol-triglicérido es de 3:1, pero si se desea tener mejores rendimientos de reacción se propone agregar 8 mol de metanol por uno de triglicéridos.

2.2.2.8 Listado de equipos y función

Para el proceso es importante saber cuántos y cuáles equipos se utilizarán, por lo tanto se realizan listados de equipos y su descripción para poder realizar, su acomodo en la planta, sus requerimientos, corrientes que ingresan, etcétera.

Con los módulos representativos de los equipos como lo son los diagramas y su fisicoquímica asociada, se puede reproducir la operación real de la planta, generando las transformaciones necesarias para obtener el producto deseado.

2.2.2.8.1 Recipientes

Los tanques o recipientes sirven para el llenado de sustancias que posteriormente serán ingresadas a un proceso, o también puede suceder el caso que sean de almacenamiento, ya que en estos tanques se puede mantener el producto hasta su distribución o venta. Los tanques se clasifican de varias formas, pero la más común es (Roel, 2015):

- **Atmosféricos:** estos son los recipientes que no están sujetos a presión interna o externa que sea mayor a la presión atmosférica del lugar.
 - Estos pueden estar elevados o a nivel del suelo, con base o sin base. Los materiales con los que se fabrican pueden ser de acero inoxidable que son utilizados más que nada para grado alimenticio y farmacéutico, o acero al carbón que sirven para almacenar agua potable, ácidos, pesticidas, etcétera.
- **Presión:** son tanques que están sometidos a presión interna o externa mayor a la atmosférica y se diseñan en base al código de calderas y recipientes a presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (BPVC-ASME).
 - Pueden ser de distintos materiales dependiendo las condiciones de su contenido, por lo general se fabrican con acero inoxidable o al carbón pero con condiciones de seguridad por si llega a surgir una sobrepresión

2.2.2.8.2 Centrífuga

La centrífuga es un aparato que funciona con fuerza centrífuga (velocidad de rotación), lo que ocasiona que se separen los componentes de una mezcla. Este es un aparato que ejerce una operación unitaria que se conoce como centrifugación, que es un método por el cual se pueden separar sólidos de líquidos o simplemente líquidos por diferencia de densidad mediante una fuerza centrífuga o giratoria (Geankoplis, 1998).

2.2.2.8.3 Columna de intercambio iónico

Es una columna rellena de resinas de intercambio iónicas. Estas resinas son pequeñas sustancias granuladas o esféricas insolubles en agua, compuestas por extremos polares unidos a una base de polímeros que interaccionan con el líquido que se vierte dentro de la columna para su purificación, estas puede interaccionar con ácidos, bases, sales o sustancias con extremos polares, quedando

pegadas a las resinas. Este aparato se utiliza para una operación unitaria llamada intercambio iónico, que en términos generales sirve para la purificación, separación o descontaminación de alguna sustancia que contiene iones. Esta operación puede ser selectiva o grupos similares de iones, es decir, por carga, tamaño o estructura (Herrera y Palomino, 2012).

2.2.2.8.4 Mezcladores

Estos por lo general son tanques agitados que se construyen de forma cilíndrica, con una base de forma redondeada con el fin de causar un efecto de agitación mayor, la mezcla se lleva a cabo con un agitador que se encuentra dentro del tanque en la parte central del cilindro, estos se escogen dependiendo el tipo de fluidos, la conversión que se quiere alcanzar, el tiempo de mezclado, etcétera.

Estos mezcladores son utilizados para efectuar la operación unitaria del mezclado en un proceso, que es una de las operaciones más básicas en una planta. Esta operación se lleva a cabo para que un fluido resultante de la combinación de materia entre diferentes localizaciones del proceso sea uniforme, elimine gradientes de concentración, temperaturas y otras propiedades (García y Jáuregui, 2006).

2.2.2.8.5 Condensadores de vapor (intercambiador de calor)

La función principal de este equipo es la recuperación de gases que se generan en el proceso para posteriormente pasar a ser un líquido como al inicio del proceso, y recircularlo para evitar el desperdicio de las sustancias, y por lo tanto bajar el costo operacional en la parte de la materia prima. Otra de sus funciones es evitar que la presión de los equipos donde se evapora la sustancia disminuya, ya que el vapor es uno de los factores por los cuales incrementa la presión, y así evitar una sobrepresión en la operación de algún equipo.

A este equipo se le atribuye una operación unitaria llamada transferencia de calor. Esta se produce cuando ponemos en contacto 2 sustancias con 2 temperaturas diferentes para la recuperación de alguna de ellas en el proceso, cabe mencionar que en la mayoría de los procesos se utiliza como refrigerante al agua por medio de torres de enfriamiento, al igual, se utiliza como calentador en forma de vapor (Peters y col., 2004).

2.2.2.8.6 Reactor químico

Un reactor químico es un recipiente donde se lleva a cabo una transformación de reactivos para llevarlos a un producto deseado, denominado reacción química. Para esto se debe diseñar dependiendo de las condiciones a las que va a ser sometida dicha reacción y esta sea abastecida en todas sus propiedades fisicoquímicas. Estos reactores se diseñan dependiendo también el tipo de operación y se dividen en (Herrera y col., 2014):

- **Intermitentes:** Son reactores que se encargan de realizar una reacción química sin salir del tanque en un tiempo determinado, para posteriormente descargar y lavar para que ingrese otro lote.
- **Continuos:** Este tipo de reactor funciona conforme ingresan los reactivos, es decir, se lleva la reacción química con una entrada y salida constante, sin algún lavado posterior a la reacción ya que este no se descarga, a menos que se le de mantenimiento. Estos pueden ser tubulares o de tanque agitado.
- **Semi-continuos:** Estos reactores se utilizan para realizar una reacción tipo reactor intermitente cumpliendo un tiempo de reacción, para posteriormente abrir una compuerta de tubería con flujo controlado y pasar a otro proceso dentro de las instalaciones.

2.2.2.8.7 Bombas

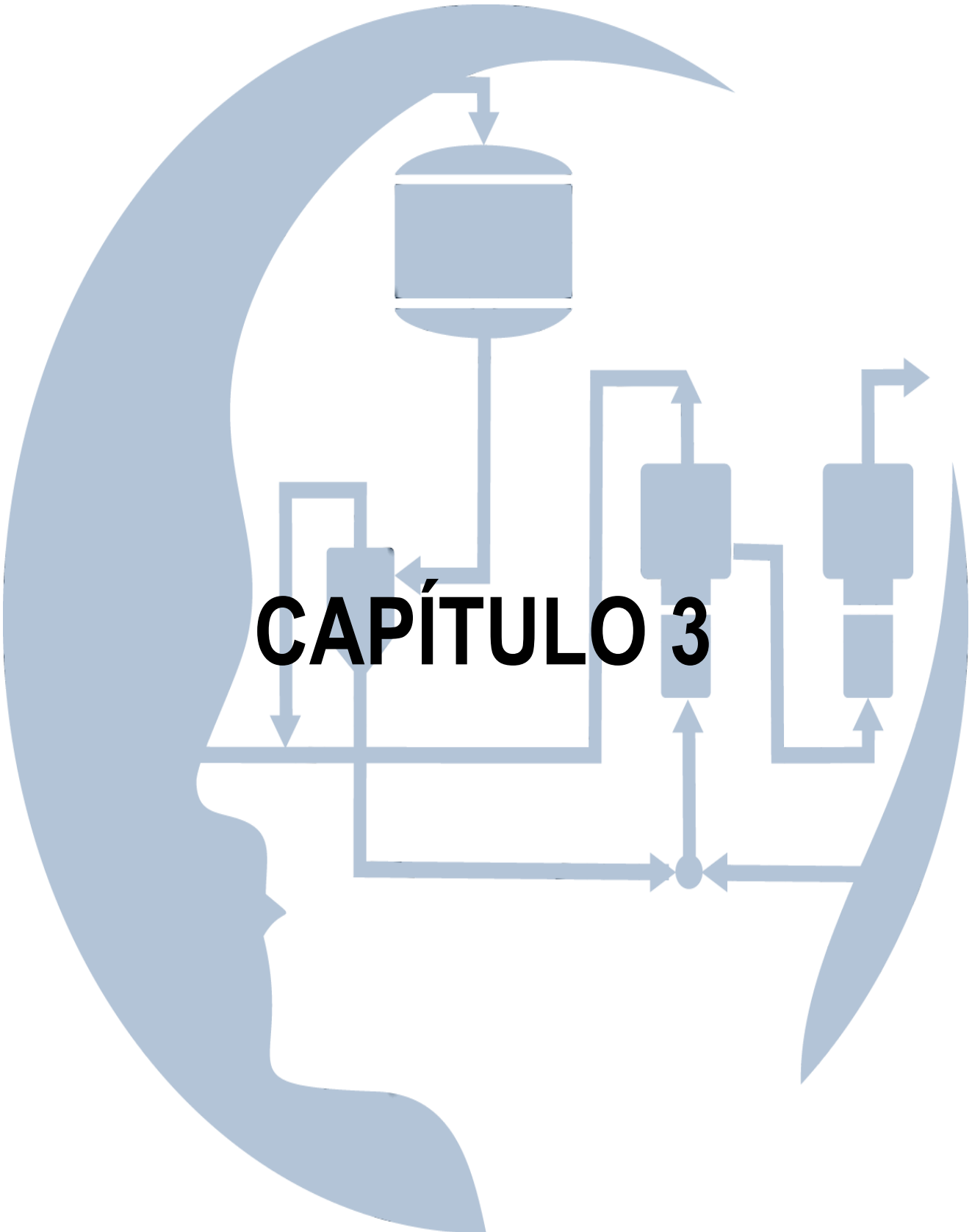
En la mayoría de los procesos químicos, si no es que en todos, surge la necesidad de utilizar algún instrumento que transporte los fluidos de un equipo a otro mediante ductos, ya sean líquidos o gases. Este movimiento se logra por una transferencia de energía ejercida por las bombas.

Se habla de un bombeo cuando una bomba asigna al fluido energía cinética y potencial para poderlo transportar de un punto a otro, aumentando su presión, velocidad y/o elevación (Salcedo y col., 2011).

2.2.2.9 Lay-out de la planta

Es la disposición en un plano de máquinas, equipos, materiales, personal y servicios auxiliares que se lee fácilmente y es entendible para todo el personal. La planta se compone por diferentes tipos de áreas principales como lo son las oficinas, el área del proceso, los procesos fuera de la producción

(como enfriamiento de agua, tratamiento de aguas, etcétera), entre muchas más. También muestra el área de descargas y de almacenamiento, que son importantes para la facilidad de cargamento. Y por último, si se crean más de un edificio, estos tienen que estar marcados en los planos de lay-out (Anaya y col., 2013)



CAPÍTULO 3

CAPÍTULO 3. MÉTODOS Y MATERIALES

3.1 CASO DE ESTUDIO

Se desea instalar una planta de biodiésel a partir de aceite comestible de desecho para abastecer y hacer funcionar a los camiones de la red de transporte público. Para ello, el aceite comestible de desecho se obtendrá de restaurantes alrededor de la Ciudad de México. Dadas las condiciones en las que se encuentra el aceite es necesario filtrarlo para remover los sólidos dispersos, eliminar la humedad contenida en el aceite y posteriormente someterlo a un proceso de esterificación para eliminar el contenido de ácido grasos libres (AGL). Seguido del pre-tratamiento, la materia prima está lista para transformarse obteniendo como producto principal biodiésel, se debe tener en cuenta que el biodiésel obtenido debe cumplir el estándar ASTM D6751.

Se desea que la planta de biodiésel sea instalada en la Central de Abastos de la Ciudad de México. El plano de localización de la planta se muestra en la Figura 3.1. Se pretende producir $1\text{m}^3/\text{día}$ de biodiésel como mínimo para poder realizar mezclado de diésel y biodiésel B10 y B20.

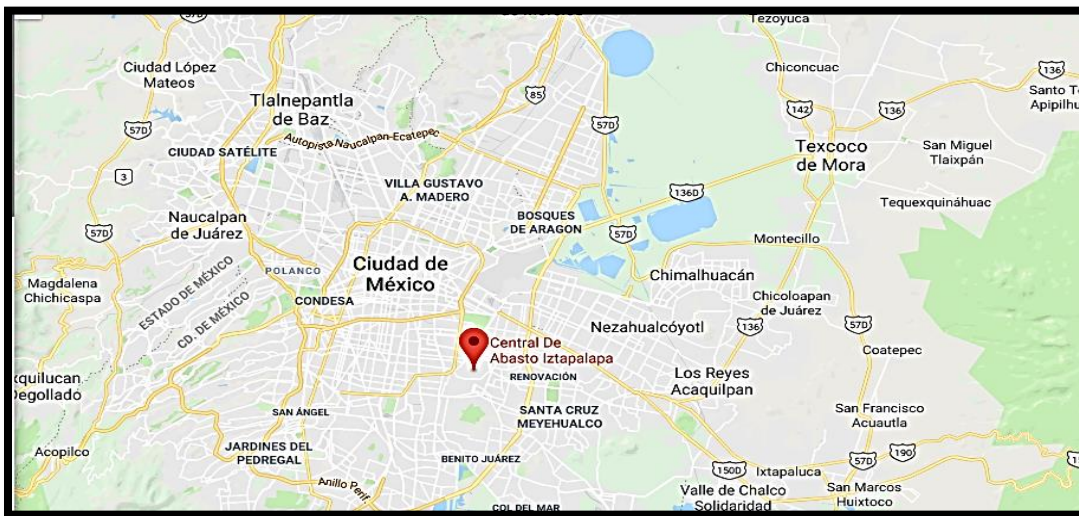


Figura 3.1 Plano de localización de la planta de biodiésel en la CDMX (Google, 2018)

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 Propiedades de especies químicas

Dentro del proyecto es importante saber cuáles son las propiedades químicas de las sustancias que se necesitan para llevar a cabo el proyecto, dentro de estas se encuentran los reactivos que son el

metanol, el KOH y el H₂SO₄, y los productos como el biodiésel y la glicerina. En la Tabla 3.1 se muestran las propiedades físicas de la sustancia inmiscuidas en el proceso.

Tabla 3.1 Propiedades físicas de las sustancias presentes en el proceso (NBB, 2014; Zhang y col., 2003)

Especie	Densidad [Kg/m ³]	Masa molar [Kg/Kg mol]
Agua	999.97	18.015
Metanol	791.80	32.040
H ₂ SO ₄	1,840.00	98.080
Triglicéridos	899.578	829.450
Ácidos grasos libres	902.335	276.480
Biodiésel	880.00	292.200
KOH	2,040.00	56.106
Glicerina	1,260.00	92.094

Los reactivos que se utilizarán en el proceso son de nivel analítico, por lo tanto, estas sustancias poseen un cierto grado de pureza, que se puede convertir a composición química, por lo regular, estas sustancias tienen un cierto porcentaje de agua que se debe tomar en cuenta para el proceso.

La Tabla 3.2 muestra las composiciones de las sustancias que se utilizan como reactivos para el proceso, las cuales se utilizarán para realizar los balances de materia correspondientes al proceso en general y descartar toda probabilidad de que el producto obtenido tanto en la reacción de esterificación como en la de transesterificación no se vean afectadas por la presencia de agua.

Tabla 3.2 Composición de los reactivos en el proceso (Castellanos y Guevara, 2014)

SUSTANCIA	ESPECIE	COMPOSICIÓN (fracción vol.)
Metanol	Metanol	0.9749
	Agua	0.0251
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄	0.9500
	Agua	0.0500
Aceite quemado	Triglicéridos	0.9400
	Ácidos grasos libres	0.0590
	Agua	0.0010

3.2.2 Servicios auxiliares

Los servicios auxiliares son necesarios para una planta son importantes, ya que, estos se podrían requerir para cualquier parte en el proceso, estos no entran como productos puesto que se necesita una fuentes al proceso principal, entre ellos está el aire, el agua, combustible, vapor, gases inertes, refrigeración, electricidad, drenaje, tratamiento de efluentes, protección contra incendios, entre muchos otros (Anaya y col. 2013).

3.2.2.1 Agua

Dentro de una planta es importante considerar cuantos tipos de agua se utilizarán, es indispensable saber cuáles son las características adecuadas de cada agua ya que no todas se utilizan para el mismo propósito.

3.2.2.1.1 Enfriamiento

El agua de enfriamiento, se utiliza en muchos casos para alimentar un intercambiador de calor para condensar o disminuir la temperatura de alguna sustancia dentro de un proceso. En el caso de la planta de biodiésel se utilizará para condensar el vapor de metanol que se desprende en el proceso y así reciclarlo y evitar una pérdida significativa de la materia prima.

Esta es alimentada por una torre de enfriamiento y puede llegar a enfriar hasta los 10 °C.

Es importante tomar en cuenta que tipo de agua se suministra (de pozo, de río, etcétera), ya que poseen propiedades diferentes como por ejemplo la salinidad (Anaya y col. 2013).

3.2.2.1.2 Servicios y uso sanitario

Esta tipo de agua se requiere simplemente para el aseo del inmueble o los baños, para mantenimiento, riego, etcétera, ya que no requiere un tratamiento especial o muy riguroso (Anaya y col. 2013).

3.2.2.1.3 Contra incendios

En el caso de las plantas que producen combustibles, se requiere protección contra incendios, en este caso, se tiene que tener un suministro independiente de agua siempre disponible para cualquier tipo de altercado. Este suministro tiene que estar conectado de manera estratégica, para acatar

rápidamente el incendio. El agua contra incendios solo requieres especificar la fuente de donde proviene la presión y la temperatura a la que se encuentra (Anaya y col. 2013).

3.2.2.2 Vapor de agua

El vapor de agua es una de las fuentes principales de calentamiento en las plantas, ya que, la temperatura que se suministra es constante y no ejerce gradientes de temperatura.

- Vapor de alta presión: 40 bar, 250°C
- Vapor de media presión: 20 bar, 212 °C
- Vapor de baja: 3 bar, 134°C

Por lo regular los vapores de agua de alta y media presión se utilizan para calentamiento o generación de electricidad, y los de baja presión su utilización principal es para calentar alguna reacción química y tanques para liberación de gases (Izaguirre, 1997).

3.2.2.3 Energía eléctrica

La potencia o energía requerida para los equipos que posee una planta se requiere de la energía eléctrica. Por lo general el voltaje que usan los equipos de una planta está entre 220 V y 440 V que por lo regular es la luz bifásica o trifásica. Para cuestiones de oficina, baños, etcétera, se utiliza un suministro de luz monofásica o luz de hogar (NOM-001-SEDE-2012).

3.2.2.4 Desfogue

Este es un diseño por equipo, que trabaje a una presión mayor a la atmosférica requiriendo un sistema de desfogue mediante una válvula de seguridad para evitar una explosión (Anaya y col., 2013).

3.2.3 Reglas heurísticas

Las reglas heurísticas, también llamadas reglas de dedo, se obtienen con base a las experiencias previas en los procesos diseñados y proveen una solución del problema eficaz en algunos procesos sin el uso del método aritmético, obteniendo valores muy favorables y razonables en el diseño de un nuevo proceso (Anaya y col., 2013).

3.2.3.1 Tanques

Los tanques del proceso se diseñan dependiendo de las materias primas y productos que se tengan en la planta. El diseño de cada uno de los tanques presentes en el proceso se realizará en condiciones ambiente de la Ciudad de México. Los contenidos de los tanques serán sólidos y líquidos.

Para dicho diseño se consideran los siguientes puntos (Peters y col. 2004):

- Para contenidos sólidos, el tanque se debe diseñar con cabeza elipsoidal o plana, fondo cónico y cáscara cilíndrica.
- En el caso de los líquidos, el diseño de la cabeza y el fondo será elipsoidal o plano, y el cuerpo de forma cilíndrica.
- Por lo general, los cilindros verticales se diseñan para volúmenes altos a presión atmosférica o presiones internas bajas.
- La relación entre largo y ancho del proceso es de 3 a 1.
- Por otro lado, el material de los tanques será de acero al carbón con un espesor calculado sin factor de corrosión, A excepción de los ácidos y las bases, para estos se realizará un factor de corrección por la corrosión permisible del 5% sobre el espesor de diseño original.
- Las temperaturas de diseño de los tanques en el proceso no generan un factor de corrección, ya que los tanques alcanzan una temperatura máxima de 250°C.
- El sobrediseño de los tanques se tomará del 10% y con un factor de flexibilidad del 500%.
- El cálculo del volumen y espesor se realizarán con la siguientes ecuaciones:

$$V = \pi * R^2 * H \dots\dots\dots \text{ec. 3.1}$$

$$t_d = \frac{4.9 * D * (H - 0.3) * G}{S_d} + CA \dots\dots\dots \text{ec. 3.2}$$

Dónde:

- | | | |
|--------------|---|--------------------------|
| ○ V: volumen | t _d : espesor de diseño | D: Diámetro nominal |
| ○ r: radio | G: gravedad específica | CA: Corrosión permisible |
| ○ H: altura | S _d : Esfuerzo máximo permisible | |

3.2.3.2 Mezcladores

Los mezcladores son equipos que realizan la operación unitaria del mezclado entre 2 ó más sustancias mediante un agitador, estos se diseñan con base a las sustancias presentes en el medio al igual que los tanques. Para esto se deben tomar las siguientes consideraciones de diseño (Couper y col., 2009):

- Los impulsores que acoplados al equipo por lo general son de tres tipos: propelas, turbinas y paletas. Por lo regular, estos tipos de impulsores resuelven alrededor del 95% de los mezclados industriales con una alta eficiencia para líquidos no newtonianos.
- Las propelas pequeñas giran alrededor de 1,750 rpm y las grandes alrededor de 800 rpm. Los impulsores de este tipo rara vez exceden los 450mm de diámetro, a menos que sean proceso de producciones grandes.
- Si la viscosidad es alta, se recomienda utilizar turbinas para el mezclado, ya que estos son más efectivos. Estos se diseñan alrededor del 50% del diámetro del tanque.
- Una agitación intensa esta por el orden de 0.3 m/s y una agitación moderada está alrededor de 0.06 m/s.
- Si se desea mezclar un sólido con un líquido, se recomienda usar una turbina o propela a velocidades mayores a 0.06 m/s.

3.2.3.3 Reactor

Los reactores por lo general, son el centro del proceso, ya que con base de estos, se diseñan los equipos basándose en el producto, para diseñar este equipo se necesita considerar los siguientes parámetros (Branan, 1998):

- La cinética de reacción se debe determinar experimentalmente en el laboratorio
- Cuando el proceso es muy duradero se recomienda una operación intermitente
- Para suministrar calor al proceso, es importante que el reactor cuente con un serpentín o una chaqueta de hoyuelos
- En volúmenes menores a 2,000 litros, no es recomendable utilizar chaqueta de hoyuelos
- Una de las claves que se deben tomar en cuenta en los reactores, es reutilizar lo más que se pueda el calor generado por el reactor y la reacción

- Para el diseño del reactor se recomienda construir el tanque similar al nivel del líquido que posee, a excepción de cuando el producto genera presiones internas

3.2.3.4 Intercambiador de calor (condensador)

Los intercambiadores de calor, son de los equipos más utilizados en la industria, de los cuales, existe un inmensa gama de diseños, adecuados para cualquier tipo de proceso.

La selección de intercambiadores de calor, generalmente se lleva a cabo en el momento de la realización del Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) y/o balances de materia y energía. El tipo de intercambiador es importante, ya que, de eso dependen muchos factores, como económicos, preferencia de cliente, conveniencia para el proceso, entre muchos otros. Para el diseño de estos aparatos, se deben tomar en cuenta algunos puntos importantes aquí mencionados en la Tabla 3.3 donde muestran algunos fluidos en donde se utiliza el intercambiador de tubos y coraza y porque parte se transporta (Peters y col., 2003).

Tabla 3.3 Transporte por tubos o coraza dependiendo el fluido (Anaya y col., 2013)

Fluido	Coraza	Tubos
Aguas de enfriamiento		X
Vapores condensantes	X	
Menor caída de presión permitida	X	
Flujo con propiedades similares	X	
Flujo viscoso limpio	X	
Fluidos de alta presión		X
Fluidos corrosivos		X
Fluidos con altos factores de ensuciamiento		X
Fluidos vaporizantes	X	
Sólidos suspendidos	X	

- En general se recomienda no utilizar menos de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el factor de acercamiento.
- El factor de correlación de la diferencia de temperatura media logarítmica (DTML) debe ser mayor a 0.8.
- Considerar que el agua de enfriamiento en condiciones calurosas está alrededor de $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se deberá retornar como máximo a la temperatura de $45\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- La temperatura de diseño debe estar por encima de la temperatura de operación.

- Si la caída de presión en la coraza es baja se puede realizar un arreglo cuadrado en tubos. De igual forma si se desea realizar un cambio de fase.
- Si se desea mejorar la transferencia de calor se incrementan los tubos, pero estos deberán ser triangulares o de cuadrado rotado (rombo).

3.2.3.5 Bombas

Para el diseño de las bombas del proceso se debe tomar en cuenta la capacidad, la cabeza de la bomba, la potencia y la presión de descarga. En este apartado se mostrarán algunos parámetros que consideran para el diseño de la misma (Ríos y Mustafá, 2008):

- La capacidad de la bomba debe estar diseñada con un sobrediseño del 20%
- La capacidad de la bomba será la indicada en el balance de materia
- La potencia de la bomba será calculada a condiciones de diseño por:

$$HP = Q * H \dots \dots \dots \text{ec. 3.3}$$

Dónde:

- P: Potencia Q: Flujo volumétrico H: Cabeza
- La eficiencia de las bombas por lo regular son del 45% si se maneja a 100 rpm, 70% a 500 rpm y 80% a 10,000 rpm.
- Como capacidad mínima de las bombas se debe alimentar el 30% de la capacidad normal.
- Para estimar las pérdidas de presión por tubería, se debe tomar un factor de corrección sobre 0.7 bar como pérdida mínima por tuberías y por accesorios de tubería. Si aún no se tiene el diseño de tubería se puede multiplicar la longitud de la tubería por 3 si es menor a 50 m y por 2 si es mayor.
- La velocidad podrá ser calculada por $(5+3/d) / 3.28$ en metros por segundo.

3.2.3.6 Centrífuga

La centrífuga es un proceso importante para la purificación de los productos obtenidos en las reacciones de esterificación y transesterificación, donde se ejerce una separación unitaria, donde se deben considerar los siguientes puntos (Geankoplis, 1998):

- Usar las etapas de purificación lo antes posible en el proceso o al final del proceso
- Esta debe ser de igual o mayor capacidad de producción
- Para un proceso eficiente se deberá trabajar durante 1 hora a 1500 rpm como mínimo

3.2.3.7 Columna de intercambio iónico

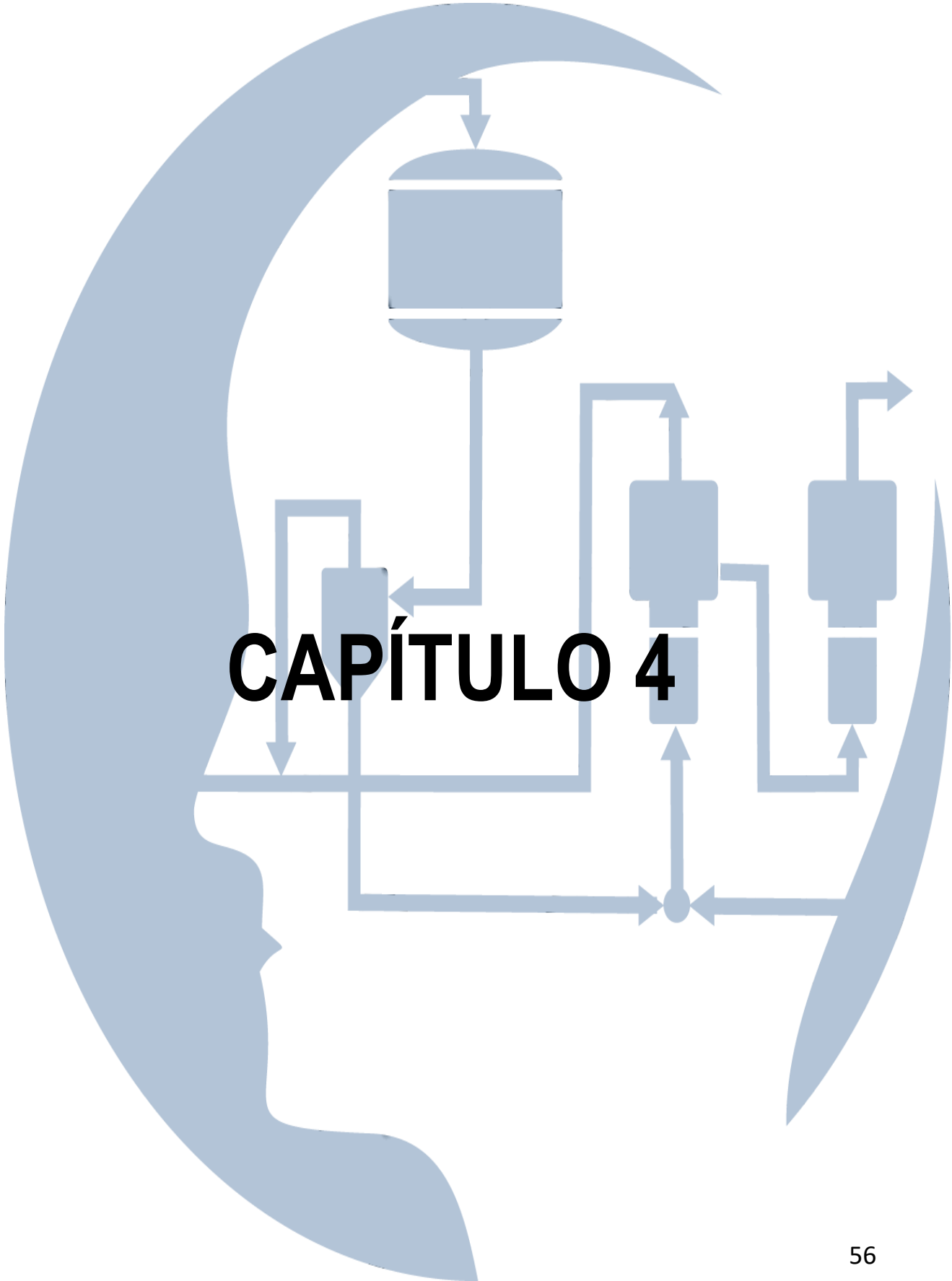
Las columnas de ionización, se utilizan para purificar alguna materia prima o producto antes o después de un proceso, para obtener mejores rendimientos y una calidad elevada. Para esto, se deben considerar varios parámetros que se mostrará continuación (Peters y col., 2004):

- La selectividad de las resinas dentro de las columnas es importante, ya que a base de esto se podrá obtener un proceso efectivo y correcto, por lo regular solo se selecciona el tamaño y la carga de resina.
- Esta debe estar elevada para generar caída libre y evitar pérdidas de presión o conectada a una bomba.
- Se debe establecer un tiempo de reemplazamiento de resinas según se vea necesario por el deterioro de las mismas.

3.2.3.8 Tuberías

El transporte de fluidos es uno de los procesos más importantes y laboriosos del proceso, para esto se pueden tomar muchas consideraciones para disminuir tiempo, ya que, a pesar de no realizar la aritmética esto puede ser un método muy confiable. Los parámetros a considerar se muestran a continuación (Reza, 1989):

- Para determinar el diámetro óptimo de tubería se considera la parte económica y lo recomendado por tablas dependiendo el fluido.
- Es importante considerar la instalación de accesorios como lo son los codos y las válvulas.
- Se utilizan válvulas de globo para el control del proceso y evitar accidentes.
- Por lo general las tuberías se realizan con cedula 40.
- Las válvulas de control ocasionan una pérdida total de 0.68 atm para un buen control del fluido.



CAPÍTULO 4

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1 ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

La administración del proyecto de la planta de biodiésel, es sumamente importante, ya que, con base a esto, se estimarán los costos que se llevarán a cabo a lo largo de la instalación. Dentro de esto, también es importante la forma de organización para agilizar el trabajo, ya que así el trabajo estará repartido en diferentes áreas y se podrá realizar de una mejor manera. Por lo anterior, se crean diagramas de seguimiento de actividades para evitar retrasos, estos llamados diagramas de Gantt, donde se mencionan las horas hombre que se necesitan para cada actividad y así llevar una regulación del proyecto en tiempo y forma.

Por último, es importante realizar una cotización previa a la instalación, para así saber cuál es el impacto económico que tendrá la construcción de la nave.

4.1.1 Estructura organizacional

En la Figura 4.1 se muestra la estructura llamada “por proyecto” propuesta para manejo del proyecto de biodiésel.

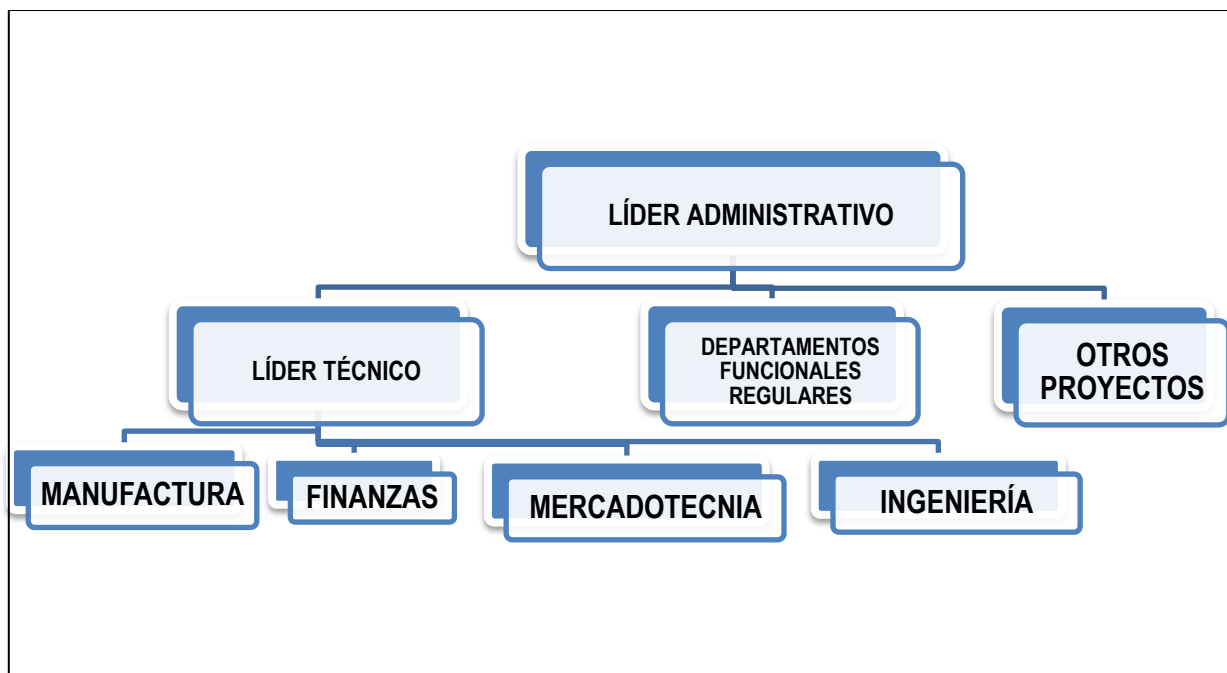


Figura 4.1 Estructura organizacional para proyecto de biodiésel

La estructura organizacional de la empresa que se pondrá en pie, es importante, para realizar un mejor manejo de las actividades que se llevarán a cabo para formar y manejar en forma adecuada el proyecto.

4.1.2 Estimación de horas hombre

La estimación de las horas hombre es importante, con base a esto, se llevarán a cabo múltiples estimaciones como la cotización y el diagrama de Gantt. En la Tabla 4.1 se muestran las horas hombre aproximadas para las actividades que se llevarán a cabo en la instalación de la planta de biodiésel.

Tabla 4.1 Horas hombre empleadas en actividades para el proyecto de biodiésel

Actividad empleada	H-H	Actividad empleada	H-H
Justificación del proyecto	100	Hojas de datos	200
Programa de ejecución	30	Diagrama de servicios auxiliares	60
Bases de diseño	50	Diagrama de tuberías e instrumentación	225
Criterios de diseño	30	Plano de localización	100
Diagrama de flujo de proceso	200	Diagrama de desfogue	100
Descripción del proceso	30	Seguridad y manejo	50
Lista de equipos con dimensiones	75	Libro de ingeniería básica	50
Total			1,300

4.1.3 Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt se realiza para llevar un proyecto controlado con base a las actividades a realizar y el tiempo que tomará realizarlas. En la Tabla 4.2 se muestra el diagrama de Gantt a seguir para la instalación de la planta de biodiésel en el proyecto con respecto al rubro de la ingeniería química.

Tabla 4.2 Diagrama de Gantt para la instalación de la planta de biodiésel en el proyecto

Actividad empleada	Horas hombre	Semanas transcurridas																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Justificación del proyecto	100	■	■	■	■																									
Programa de ejecución	30	■	■																											
Bases de diseño	50				■	■																								
Criterios de diseño	30				■	■																								
Diagrama de flujo de proceso	200					■	■	■	■	■	■	■																		
Descripción del proceso	30										■	■																		
Lista de equipos con dimensiones	75												■	■	■															
Hojas de datos	200													■	■	■	■	■	■	■										
Diagrama de servicios auxiliares	60																■	■												
Diagrama de tuberías e instrumentación	225																■	■	■	■	■	■	■	■						
Plano de localización	100																						■	■	■					
Diagrama de desfogue	100																						■	■	■					
Seguridad y manejo	50																										■	■	■	
Revisión bibliográfica	50																											■	■	■

Para realizar el diagrama se deben considerar todas las horas hombre aproximadas que se requirieren para cada una de las actividades establecidas.

4.1.4 Avance del proyecto

Dentro del avance del proyecto, se muestra el gasto dinero con respecto al tiempo hasta un corte. En este caso se consideró el 30% de avance del proyecto, para poder analizar si el proyecto tiene un seguimiento adecuado y no sobrepasar el presupuesto asignado para la instalación de la planta.

En la Figura 4.2 se logran ver tres tendencias, una de ellas es el costo para trabajo programado (CPTP) que es el presupuesto establecido por el jefe del proyecto para realizar las actividades marcadas en el diagrama de Gantt ya mostrado en la Tabla 4.2 hasta su cierre. Posteriormente, se muestra el costo actual del trabajo realizado (CATR) que es el presupuesto ya gastado en las actividades previas a la fecha de corte. Por último, se muestra la diferencia entre lo gastado y lo presupuestado, dando como resultado el valor ganado (VG). Este puede ser sobre presupuesto o debajo del presupuesto, en este caso, fue bajo presupuesto, por lo tanto es capital ganado. Con este análisis se muestra una buena tendencia en cuanto al presupuesto establecido.

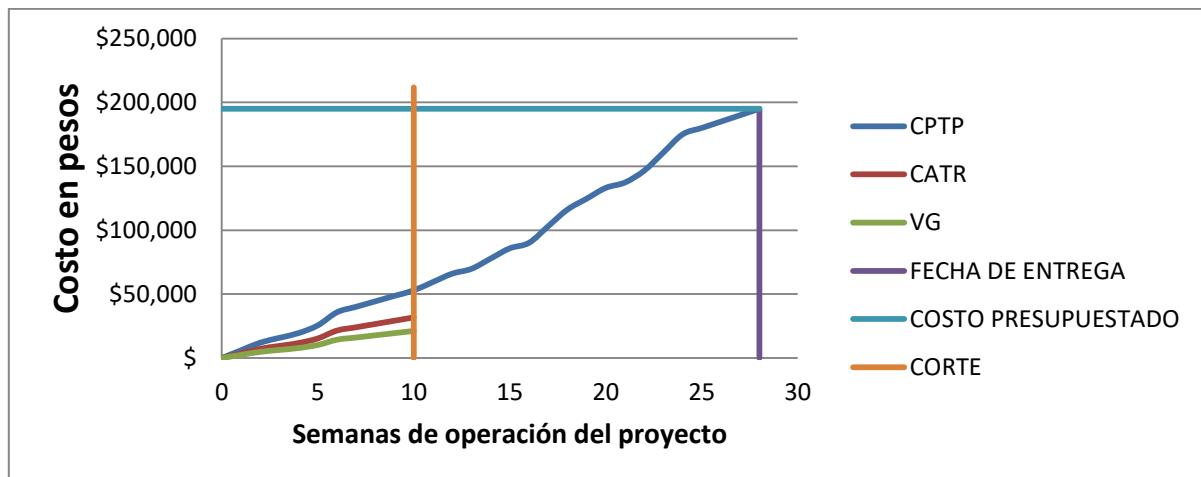


Figura 4.2 Análisis del proyecto

4.1.5 Inversión inicial del proyecto

Para la inversión inicial del proyecto se consideró el método de costo unitario que consiste en comparar un proyecto del mismo tipo de proceso y obtener el precio mediante esa comparación con la ecuación 4.1 y obtener el costo unitario (CU). Posteriormente se calcula el costo de la planta a

construir con la ecuación 4.2 donde se debe conocer el índice anual de Marshall y Swift (M&S) para el año de iniciación del proyecto a construir y para el año de la construcción de la planta ya establecida (MS, 2017; Anaya y col., 2013).

$$C.U. = \frac{\left(\frac{\text{Precio de planta actual}}{\text{Precio del dolar en ese tiempo}} \right)}{\text{Capacidad de la planta actual}} \dots\dots \text{ec.4.1}$$

$$\text{Costo} = (C.U.) (\text{Capacidad de la planta a construir}) \left(\frac{\text{índice del año actual}}{\text{índice del año anterior}} \right) \dots\dots \text{ec. 4.2}$$

La comparación realizada para este cálculo será con una planta establecida en El rosario (Argentina) que produce 1,957,000 m³/año de biodiésel y se generó a partir de un costo de inversión de \$1,038,852,000 de pesos en el año 2011 (1,476.7 como índice anual y costo de dólar de \$11.5428 pesos) y se proyectará hasta el 2017 (1,593.7 como índice anual) que es la fecha de iniciación del proyecto a construir.

Por lo tanto, el costo de inversión aproximado de la planta de biodiésel que se construirá en la central de abastos de la Ciudad de México será de \$84,000 dólares que equivale a un costo aproximado en pesos de \$1,680,000 con un margen de desviación del 50%. Es decir, que la planta se podría cotear con un 15% más de lo calculado que dará como resultado \$1,932,000 pesos. Esto se debe a que la relación calculada no es 100% exacta y debe haber soporte de capital para no interrumpir el proyecto por falta de dinero.

4.2 LOCALIDAD

La localización de la planta permite identificar las predicciones de los cambios de clima que se presentarán a lo largo del año y así generar una mejor planificación de la planta para evitar pérdidas de energía por causa de aire o solificación del producto por bajas temperaturas También esto permite analizar de manera más detallada la disponibilidad de materia y servicios auxiliares en el lugar.

4.2.1 Localización de la planta

La dirección de la planta es en la Central de Abastos de la CDMX en la Delegación Iztapalapa. La Figura 4.3 muestra el mapa de la ubicación de la central de abastos donde se instalará la planta de biodiésel.



Figura 4.3 Localización donde se instalará la planta de biodiésel del proyecto (Google, 2018)

En las figuras 4.4 A, B, C y D se muestran se muestran las vistas del inmueble donde se instalará la planta de biodiesel.



Figura 4.4 (A) Vista superior de la localización donde se instalará la planta de biodiésel en la Central de Abastos de la CDMX (Google, 2018)

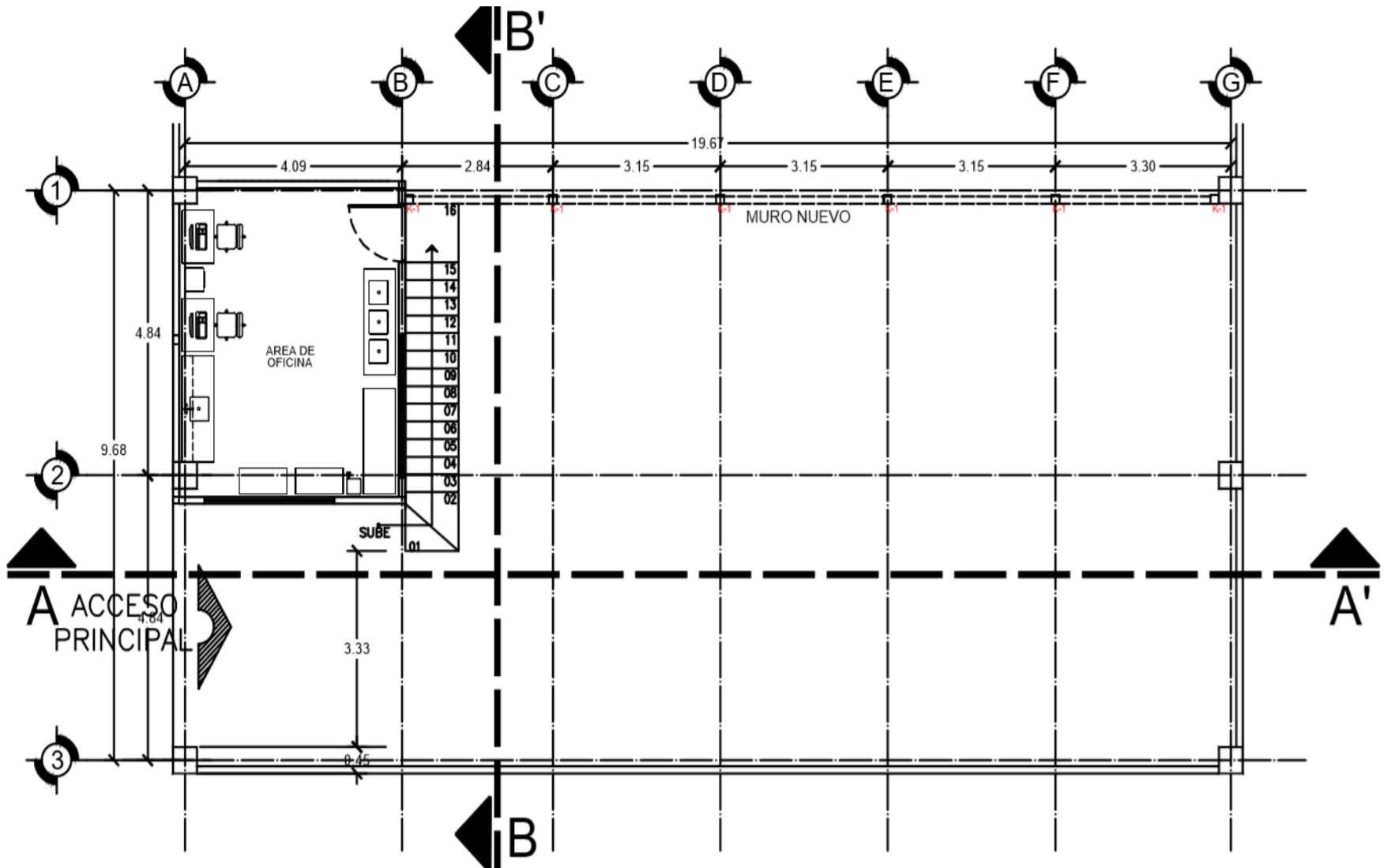


Figura 4.4 (B) Plano de la vista superior del inmueble para la instalación de la planta de biodiésel

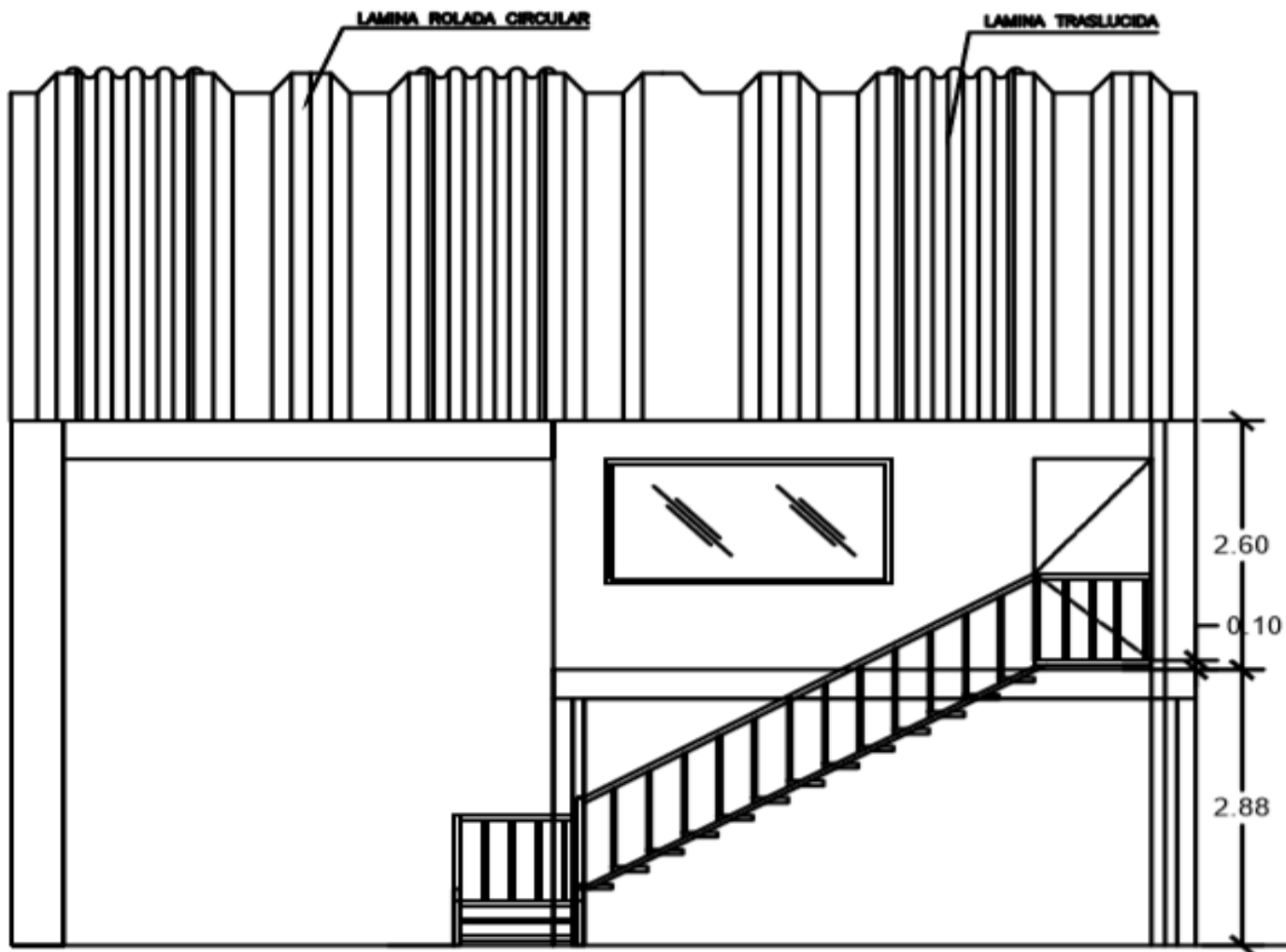


Figura 4.4 (C) Plano de la vista frontal del inmueble para la instalación de la planta de biodiésel

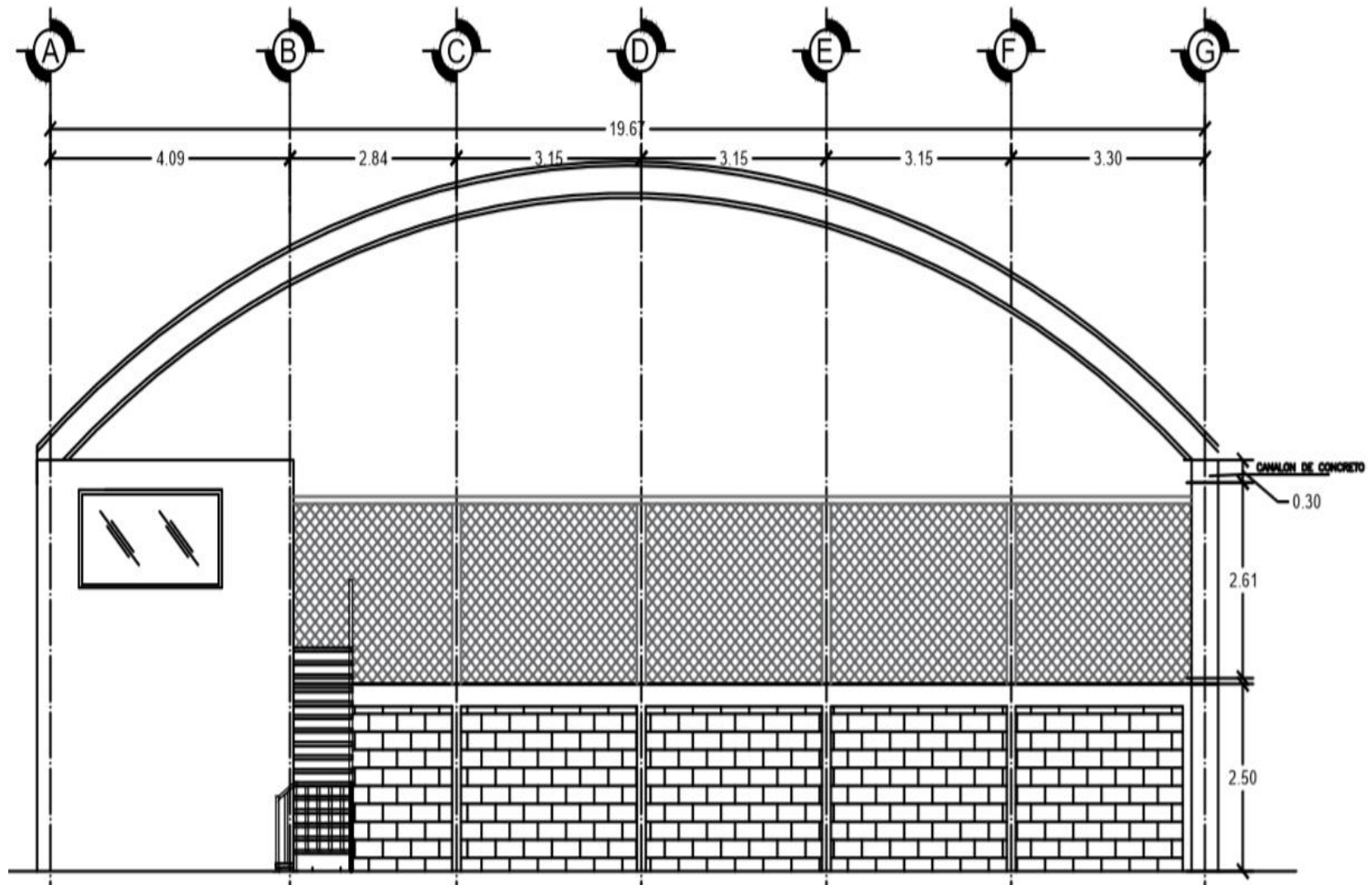


Figura 4.4 (D) Plano de la vista longitudinal del inmueble para la instalación de la planta de biodiésel

4.2.2 Condiciones climáticas

Para el análisis de las condiciones climáticas a las que se va a someter la planta según la localidad. En la Figura 4.5 se muestra el mapa mencionado con el nombre de las delegaciones de la Ciudad de México.



Figura 4.5 Mapa de la ciudad de México con delegaciones (Lara y col., 2005)

Las condiciones climatológicas son importantes, ya que, estas pueden alterar el producto obtenido. En el caso del biodiésel, las temperaturas bajas ocasionan que se solidifique, por lo tanto es importante conocer cuáles son las menores temperaturas que se alcanzan a lo largo del año. En la Figura 4.6 se muestran las isotermas de temperaturas bajas que pasan por toda la Ciudad de México mostrando cual es la menor temperatura promedio que se alcanza la localidad a lo largo de año.

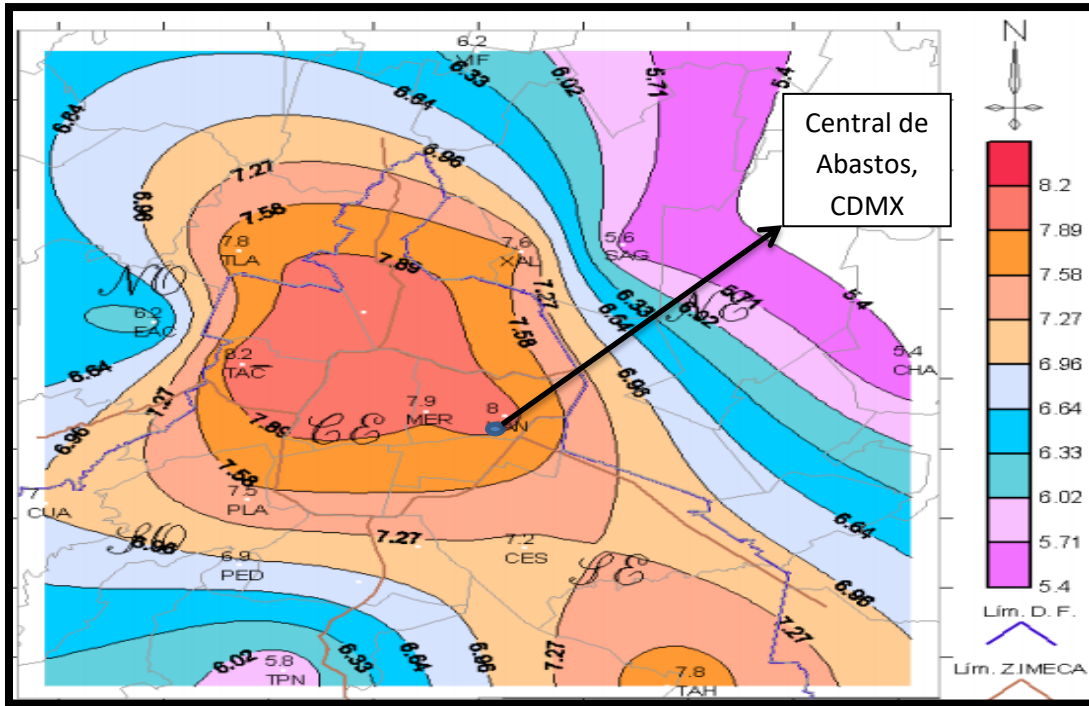


Figura 4.6 Temperaturas mínimas promedio que alcanza la CDMX durante el año (Lara y col., 2005)

Uno de los factores que más influye y se tiene que cuidar al obtener el producto final es la temperatura a la que se somete en el almacenamiento, ya que, el biodiésel a temperaturas bajas se solidifica y por lo tanto, este no se podrá distribuir ni pasar a las etapas de investigación necesarias hasta que regrese a su estado líquido.

Otro de los factores que altera directamente a la planta de biodiésel en la parte de la energía, son los flujos de aire, ya que, si los flujos están en contracorriente con los flujos de calor que se generan dentro de la planta, se generará una transferencia de energía hacia el aire y por lo tanto, se perderá energía en el proceso y este no será óptimo.

Por lo tanto, se tiene que realizar un análisis con respecto a la dirección del viento promedio a lo largo del año para evitar pérdidas de energía y esto no se refleje directamente en el capital de la empresa, esto con el fin de un acomodo viable de los equipos que requieren calor en el proceso.

En la Figura 4.7 se muestra un diagrama de flujos promedio anuales de viento en la ciudad de México con base a esto se realizará el análisis de acomodo de equipos para evitar la mayor pérdida de energía a lo largo del año en el proceso.

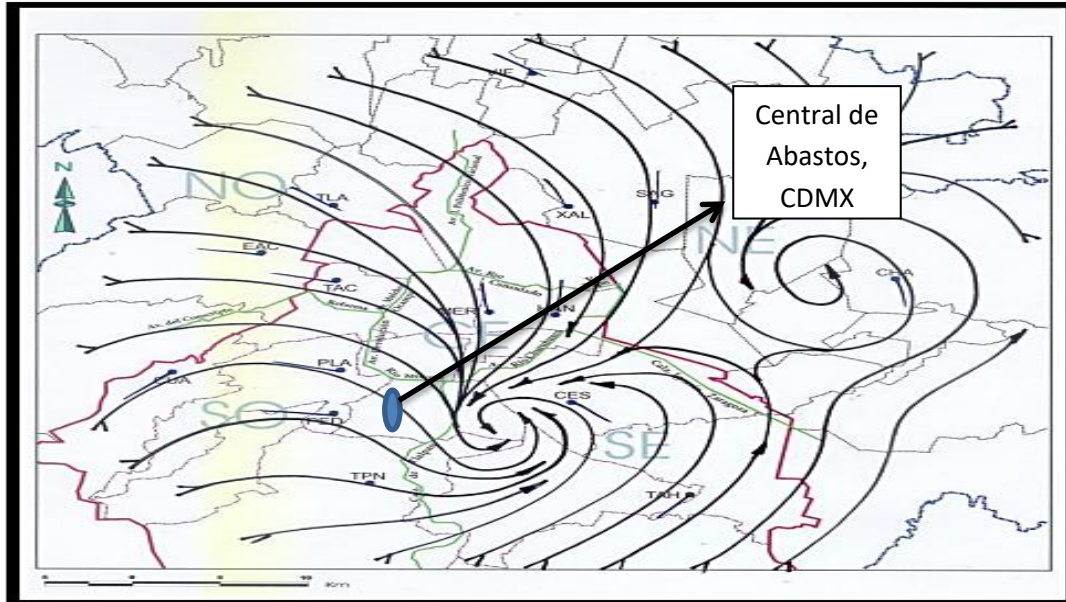


Figura 4.7 Diagrama de flujo promedio anual de vientos en la Ciudad de México (Lara y col., 2005)

La velocidad de las ráfagas de viento a las que está sometida la Ciudad de México están entre 0.7 y 1.3 m/s dependiendo la hora del día, por lo regular las velocidades más altas son por la noche.

4.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

La descripción general de proceso, se basa en una explicación a grandes rasgos realizada por el simulador ASPEN PLUS para facilitar los diagramas posteriores a realizar como lo son el diagrama de flujo de proceso (DFP) y el diagrama de tubería e instrumentación (DTI). Esta descripción también se podría requerir en los cálculos que se deberán realizar para las tuberías, bombas, balances de materia, etcétera.

4.3.1 Refinamiento de aceite

Se partirá para el diseño, del tratamiento de 1,000L de aceite comestible de desecho (ACD) para su conversión en biodiésel. Por lo tanto, se agregarán 1,000 L de ACD en un tanque de recepción con filtro para eliminar los residuos sólidos, posteriormente este pasará a la centrífuga para eliminar la humedad que posee. Después el producto centrifugado caerá por gravedad dentro de una columna de ionización para eliminar las impurezas del aceite y dejar aceite limpio con una composición de ácidos grasos y triglicéridos, donde por lo regular la composición de ácidos grasos promedio libres

de los aceites usados es del 6% según los estudios realizados por Zhang y col. (2003) y el resto de triglicéridos.

Es importante dividir al aceite en 2 componentes como lo son los triglicéridos y los ácidos grasos libres, ya que, al realizar las reacciones de esterificación y transesterificación considerarán para realizar los balances de materia correspondientes, los ácidos grasos libres en el caso de la esterificación y los triglicéridos en el caso de la transesterificación. Para terminar el aceite limpio sale de la torre de ionización y pasa a un tanque de recepción del aceite limpio listo para pasar a la esterificación. En la Figura 4.8 se muestra el proceso general de refinación del ACD.

Dentro de este proceso se puede mostrar que el aceite reciclado que llega a la planta se agrega en el tanque de recepción V-001, este es donde se iniciarán cada una de las corridas para la producción de biodiésel. Posteriormente, pasa por la corriente 1 para entrar a la centrifuga, aquí se ejecuta una separación de productos que despliega la corriente 2 y la 4, la corriente 2 contiene aceite usado libre de residuos sólidos y agua, donde estos últimos mencionados pasan a la corriente 4 para ser recolectados en el tanque V-003. Posteriormente, la corriente 2 pasa por una columna de intercambio iónico VE-001 para purificar y limpiar el aceite (eliminar grupos fosfato, fosfolípidos y algunas sales presentes) e incrementar la calidad de la materia prima. Por último, el producto saliente de la columna de intercambio iónico pasa por la corriente 3 para llegar al recipiente V-002

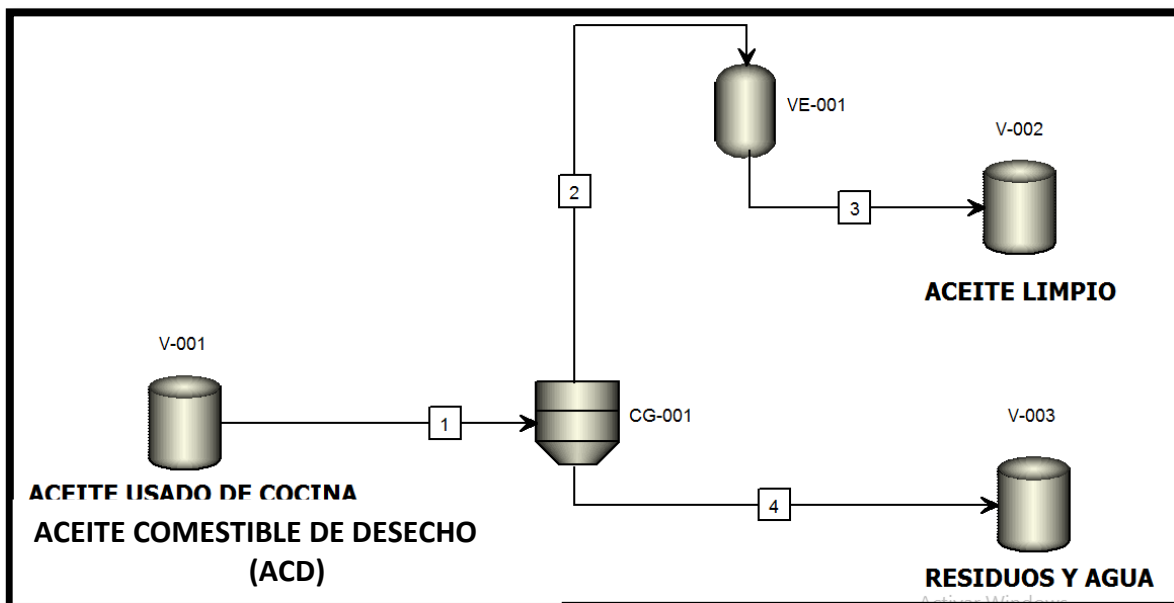


Figura 4.8 Proceso de refinación de aceite comestible de desecho

4.3.2 Preparación de mezcla reactiva para la esterificación

Esta operación consiste en mezclar metanol y ácido sulfúrico, ya que, es indispensable para la reacción, para esto se tienen 2 tanques donde se confina el metanol y el ácido sulfúrico. Estos 2 reactivos son vertidos en un mezclador para realizar una mezcla homogénea, y posteriormente llevarlo al reactor con el ACD para realizar la reacción de esterificación. Las cantidades óptimas elegidas para la mezcla son de 5 L de H_2SO_4 y 164 L de metanol por cada metro cúbico de ACD.

Para evitar la pérdida de metanol al momento del mezclado por la elevación de la temperatura a causa de la presencia del ácido se encuentra una línea conectada al mezclador para recuperar el metanol evaporado.

En la Figura 4.9 se muestra el sistema de mezclado para este paso del proceso. Este diagrama de flujo muestra la entrada de metanol por la corriente 5 depositado en el tanque V-004 y la entrada de H_2SO_4 por la corriente 6 depositado en el tanque V-005 al mezclado MX-001 para crear la mezcla catalizador/reactivo para el proceso de esterificación.

Este mezclador está conectado a la corriente 7 para recuperar el metanol evaporado y reincorporarlo al proceso. La corriente 7 está conectada a la corriente 15 que viene de uno de los productos de todo el proceso, esta corriente pasa por el condensador CC-001 saliendo por la corriente 8 y entrando al tanque de recuperación V-006.

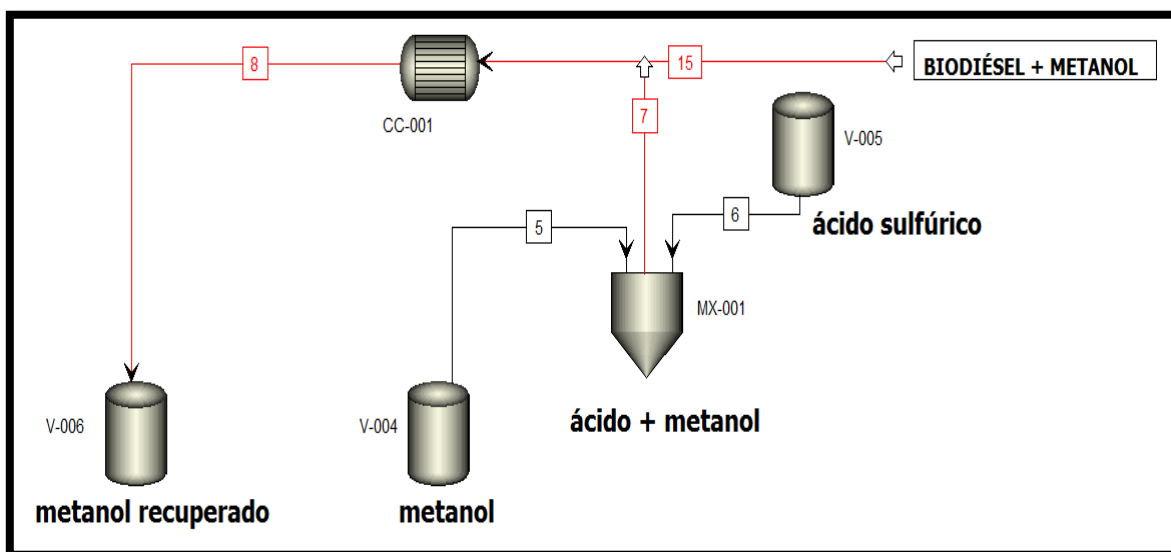


Figura 4.9 Proceso de mezclado de reactivos para la etapa de esterificación

4.3.3 Esterificación

El proceso de esterificación se realiza como pre-tratamiento del aceite para reaccionar los ácidos grasos libres (AGL) y estos no se encuentren presentes en la reacción principal del proceso. Ya que, si estos están presentes en la transesterificación, pueden provocar formación de jabones como reacción secundaria.

Para esta reacción se necesita la mezcla previa del metanol con H_2SO_4 y el aceite limpio, estos reactivos ingresan al reactor agitado a condiciones de presión atmosférica, temperatura de $65^\circ C$, con una velocidad de agitación entre 500 y 2,000 rpm durante una hora, y posteriormente otra hora más pero sin calentamiento. En esta reacción se alcanza un porcentaje de conversión 81.9% (Ibora y col., 2013).

Durante este proceso se está recuperando metanol el metanol evaporado para ser reutilizado en el proceso. Terminado el tiempo de reacción, el producto esterificado pasa a una centrífuga para separar la humedad producida en la reacción, el metanol y el catalizador en un tanque de desechos y en otro tanque el producto esterificado libre de contaminantes listo para la fase de transesterificación.

En la Figura 4.10 se muestra el proceso de esterificación como pre-tratamiento del aceite usado. En esta figura, se une la mezcla de metanol con H_2SO_4 por la corriente 9 (depositada en el mezclador MX-001) con el aceite limpio por la corriente 10 (depositado en el tanque V-002) en el reactor R-001 listo para la reacción. Al concluir la reacción, el producto esterificado sale por la corriente 11A entrando a la centrífuga CG-001 separando por la corriente 13, el metanol, agua y el H_2SO_4 depositándolos en el tanque V-008. Por otro lado, por la corriente 12 sale el producto esterificado para ser depositada en el tanque V-007.

Por último, las corrientes 14A, 7 y 23 están conectadas a sus respectivos contenedores para recuperar el metanol evaporado. Estas a su vez, están conectadas a la corriente 15 proveniente de uno de los productos del proceso, para condensarlas (por el CC-001) y el metanol líquido sea vertido en el tanque V-006 por la corriente 8.

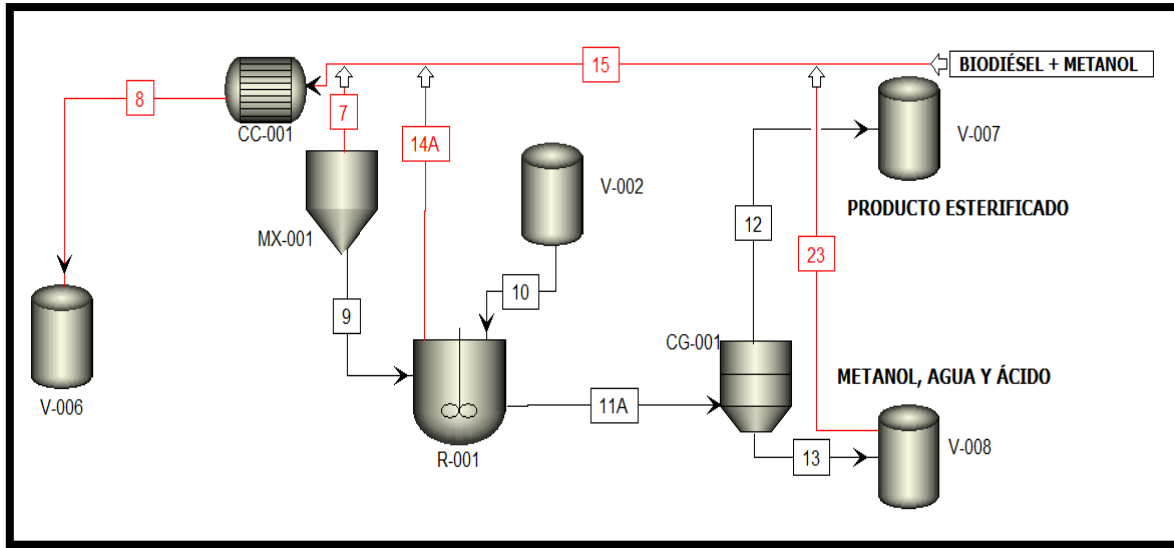


Figura 4.10 Proceso de esterificación

4.3.4 Preparación de reactivos químicos para la reacción de transesterificación

Aquí se hace una mezcla de metanol e hidróxido de potasio, formando una mezcla llamada metóxido. Esta mezcla se prepara con 329 L de metanol y 9 Kg de KOH (4.4 L ya que su densidad es de 2,040 Kg/m³) por cada metro cúbico de ACD, mezclado con una agitación vigorosa de 30 minutos.

Durante este proceso se estará recuperando el metanol evaporado para recircularlo y reutilizarlo en otra parte del proceso.

En la Figura 4.11 se muestra el proceso por el cual se formará la mezcla de metanol/KOH (metóxido). En este diagrama se prepara una mezcla de metanol proveniente del tanque V-004 por la corriente 16 con KOH proveniente del tanque V-009 por la corriente 17, estas entran en el mezclador MX-002 para ser convertidas a metóxido. Por último, la corriente 18 está conectada al mezclador MX-002 para recuperar el metanol evaporado. Esta corriente está conectada a la corriente 15, que a su vez, pasa por el condensador CC-001 cambiando de fase al metanol de vapor a líquido, este metanol pasa por la corriente 8 y es vertido en el tanque V-006.

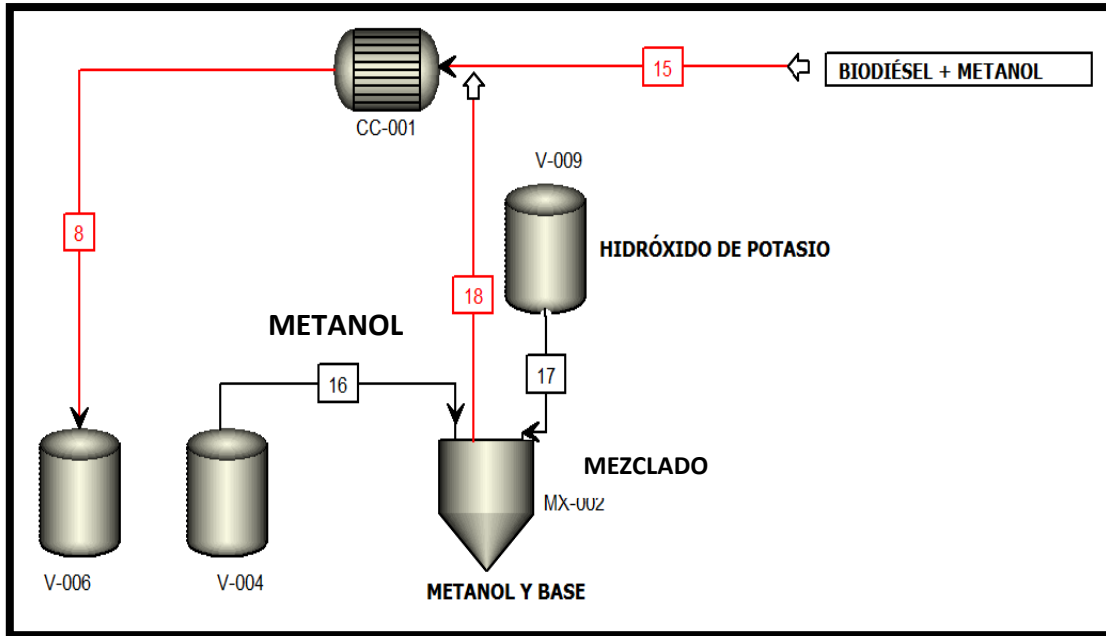


Figura 4.11 Proceso para elaborar metóxido para la reacción de transesterificación

4.3.5 Transesterificación

Este paso es el más importante del proceso, ya que es el paso que dará el producto (biodiésel) en masa. Para este paso del proceso se agregarán al reactor, el producto esterificado con solo triglicéridos (libre de ácidos grasos) y la mezcla de metóxidos (catalizador básico y reactivo de reacción).

Las condiciones a las que trabajará esta reacción serán a presión atmosférica y temperatura de 50°C durante 70 min, con una agitación constante entre 300 a 1.100 rpm obteniendo una conversión máxima de 92.1% para este proceso. Cuando el proceso en el reactor haya concluido, el producto obtenido pasará a la centrifuga para separar la glicerina, exceso de metanol y agua en un tanque, y en otro tanque el biodiésel obtenido con algún porcentaje pequeño de metanol.

En la Figura 4.12 se muestra el proceso de transesterificación que inicia al agregar la mezcla de metóxido por la corriente 19 proveniente del mezclador MX-001 y lagregarlo al producto esterificado proveniente del tanque V-007 por la corriente 20 , estos dos entran al reactor R-001. Terminada la reacción de transesterificación, el producto sale por la corriente 11B pasando a la centrifuga CG-001, esta separa la glicerina, metanol y agua por la corriente 22 depositándolos en el tanque V-011 y por la corriente 21 el biodiésel con metanol depositandolos en el tanque V-010.

Por último, las corrientes 18, 14B, y 24 se conectan a la corriente 15 que proviene del tanque V-010 para la recuperación del metanol, la corriente 15 pasa al condensador para hacer un cambio de fase a líquido. Posteriormente el metanol líquido pasa por la corriente 8 para ser vertido en el tanque de recuperación V-006.

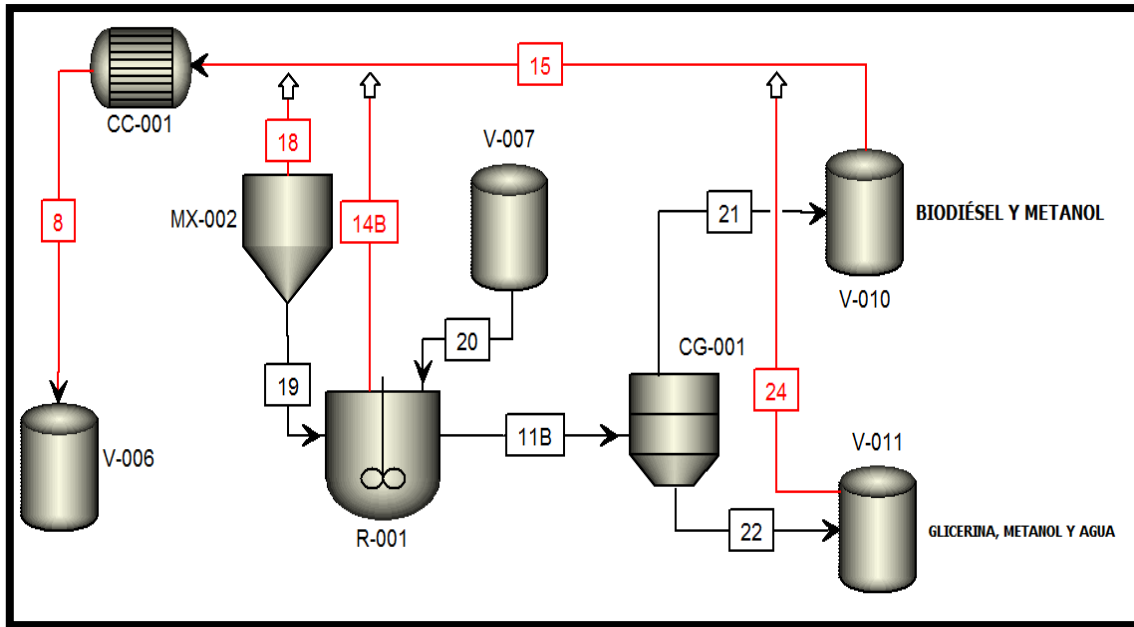


Figura 4.12 Proceso de transesterificación

4.3.6 Productos en el proceso y recuperación de metanol

Ya que terminan todos los procesos previos al producto, se tienen como resultado tres tanques, uno donde se tiene biodiésel con metanol, otro donde se tiene los desechos de la reacción de esterificación y por último, otro donde se tienen los desechos de la transesterificación.

Estos productos aún tienen una gran cantidad de metanol que se puede recuperar para el proceso. Por lo tanto, se tiene que aplicar un paso para realizarlo. Esto se lleva a cabo, elevando la temperatura de los 3 tanques a una temperatura de 60°C con una agitación baja y constante durante 40 minutos. Con esto, los 3 tanques quedarán libres de metanol y podrán ser separados en sus componentes, en especial el biodiésel libre de contaminantes químicos.

En la Figura 4.13 se muestra el diagrama de la recirculación del metanol solo en los productos del proceso para su reutilización. Este método de recuperación se lleva a cabo en todos los equipos del

proceso para evitar lo más que se pueda la pérdida del metanol, y así reducir el costo de las materias primas del proceso al igual que la emisión de este vapor que contamina el ambiente.

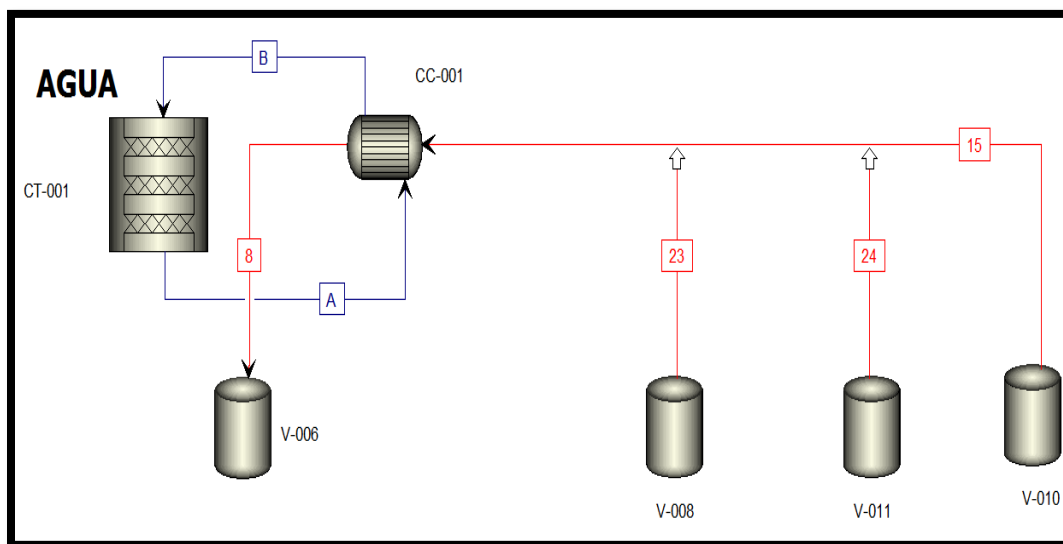


Figura 4.13 Proceso general de recuperación de metanol

En este proceso se generaliza el reciclado de metanol con los productos del proceso, se conectan las corrientes 23, 24 y 15 a los tanques V-008, V-011 y V-010 respectivamente. Las corrientes 23 y 24 están conectadas a la corriente 15 para ser conectada al condensador CC-001, que es enfriado por una torre de enfriamiento CT-001 para condensar el metanol. Posteriormente, éste pasa por la corriente 8 y es vertido en el tanque V-006 para su reutilización.

4.3.7 Control de calidad

Para evitar que el producto posea algún otro tipo de contaminantes provenientes desde la materia prima, este pasará por una columna de intercambio iónico para descartar cualquier tipo de impureza convirtiéndose en un B100, si por alguna razón el producto no cumpliera con la norma D6751. El producto recirculará a la parte del proceso donde no cumplan los parámetros. En la mayoría de veces, solo se tiene que pasar de nuevo por la torre de ionización para purificarlo; en otras se tiene que pasar al tanque de reacción o a la centrífuga.

En la Figura 4.14 se muestra el diagrama general de recirculación para mejorar la calidad del producto.

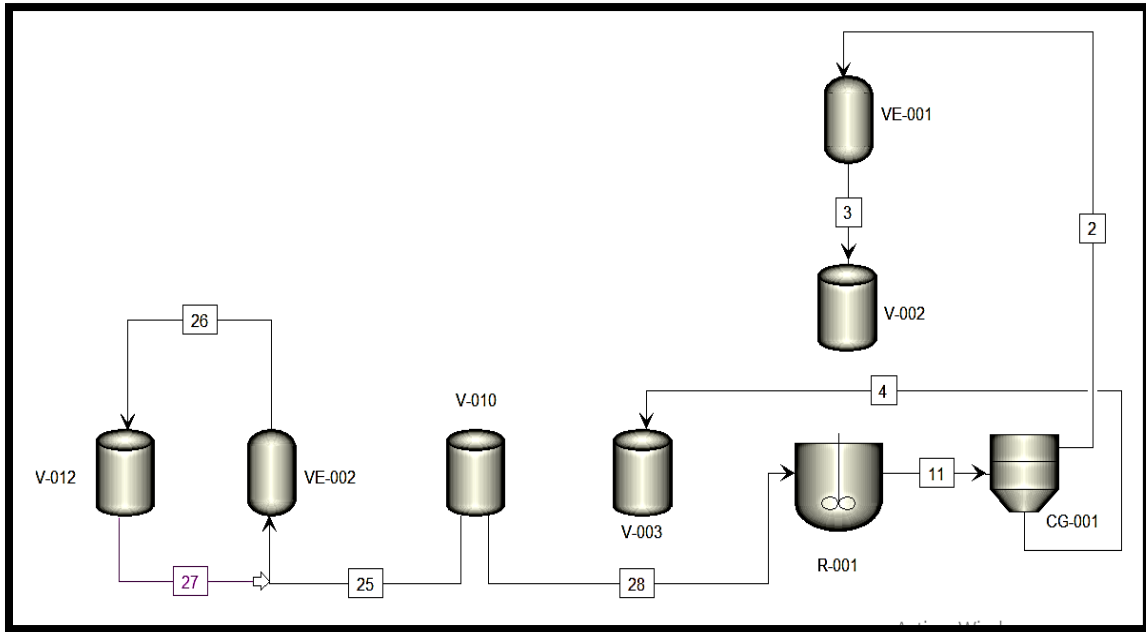


Figura 4.14 Proceso a realizar para control de calidad del biodiésel

El tanque V-010 después de elevar la temperatura para evaporar el metanol dentro de él solo queda biodiésel. Este pasa por la corriente 25 para entrar a una columna de intercambio iónico VE-002 y eliminar cualquier impureza restante proveniente de la materia prima. El biodiésel limpio pasa por la corriente 26 para ser vertido en el tanque V-012 como B100.

Por último, si por alguna razón no se cumpliera el estándar ASTM 6751, la corriente 27 y 28 permite una recirculación a cualquier parte del proceso para mejorar la calidad del producto. Por lo regular, solo se pasa de nuevo por la columna de intercambio iónico VE-002.

4.3.8 Lavado de tanque de reacción

Por último, es importante el lavado, ya que si por alguna razón el tanque de reacción queda contaminado, se podrá afectar la siguiente reacción. El lavado se lleva a cabo con el producto final, se toma una porción del producto y se recircula al tanque de reacción enjuagando todas las paredes con el biodiésel y eliminando las incrustaciones. Posteriormente, este pasa a la centrífuga para separar los contaminantes y el biodiésel. Para finalizar, el biodiésel que se utilizó pasa de nuevo por la torre de ionización para ser transformado a B100.

En la Figura 4.15 se muestra el diagrama general del proceso para el lavado de tanque de reacción. Este proceso se debe llevar a cabo cada que se realiza un nuevo lote de producción. El cual consiste en dejar una pequeña porción del producto en el tanque V-012 y recircularlo por la corriente 27 al tanque V-010. Posteriormente, este pasa por la corriente 28 para ser ingresado al reactor R-001 y realizar el lavado. Cuando este paso concluye, pasa por la corriente 11 a la centrifuga CG-001 separando los residuos que se generaron con el lavado del reactor depositándolos en el tanque V-003, y el biodiésel centrifugado pasa al tanque V-001 para su respectivo lavado. El biodiésel se recircula por la corriente 29 para separar los residuos generados por este tanque cuantas veces sea necesario. Al final esta porción de biodiésel se queda en el tanque V-001 para ser mezclado por el nuevo lote de ACD e iniciar un nuevo lote de biodiésel.

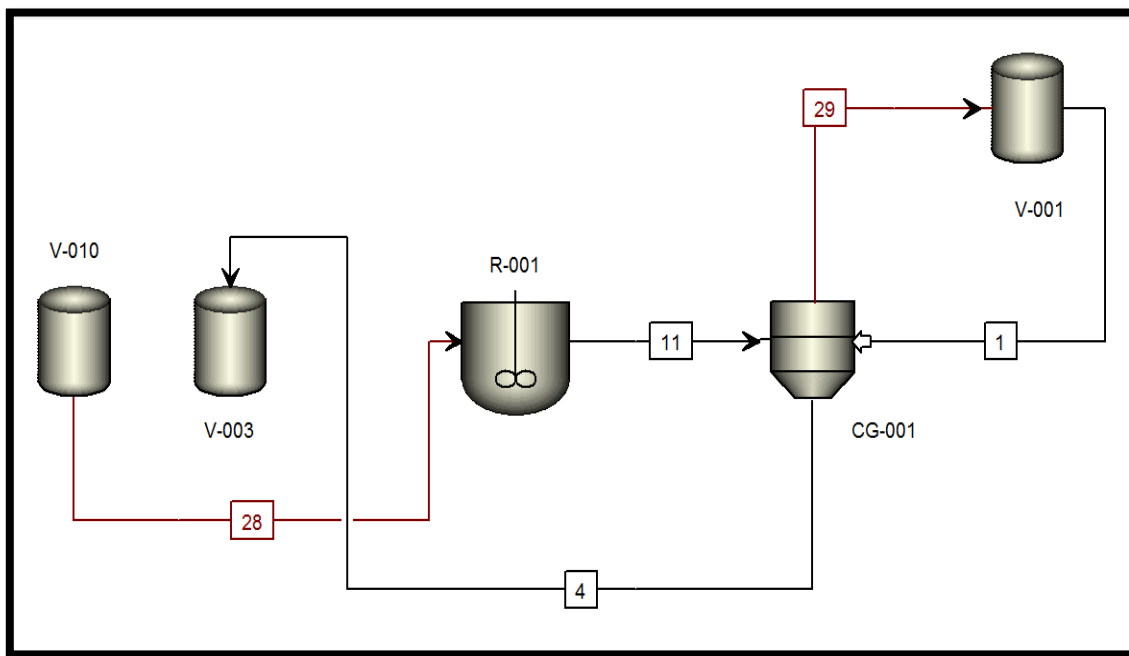


Figura 4.15 Proceso de lavado del tanque de reacción

4.4 DIAGRAMAS DE FLUJO PROCESO

Una de las maneras más adecuadas y fáciles de analizar un proceso industrial es con los diagramas de flujo, ya que, con base a esto se puede visualizar cada una de las rutas por las que pasan las sustancias, también en estos se pueden mostrar tuberías, corrientes y equipos. Así mismo, se pueden establecer los balances de materia y energía del proceso.

4.4.1 Diagrama de bloques del proceso (DBP)

El diagrama de bloques de la planta de biodiésel se basa en las operaciones unitarias y los productos que se obtienen al aplicarlas. En la Figura 4.16 se muestra el diagrama de bloques que ilustra el seguimiento del proceso para la transformación de ACD a biodiésel.

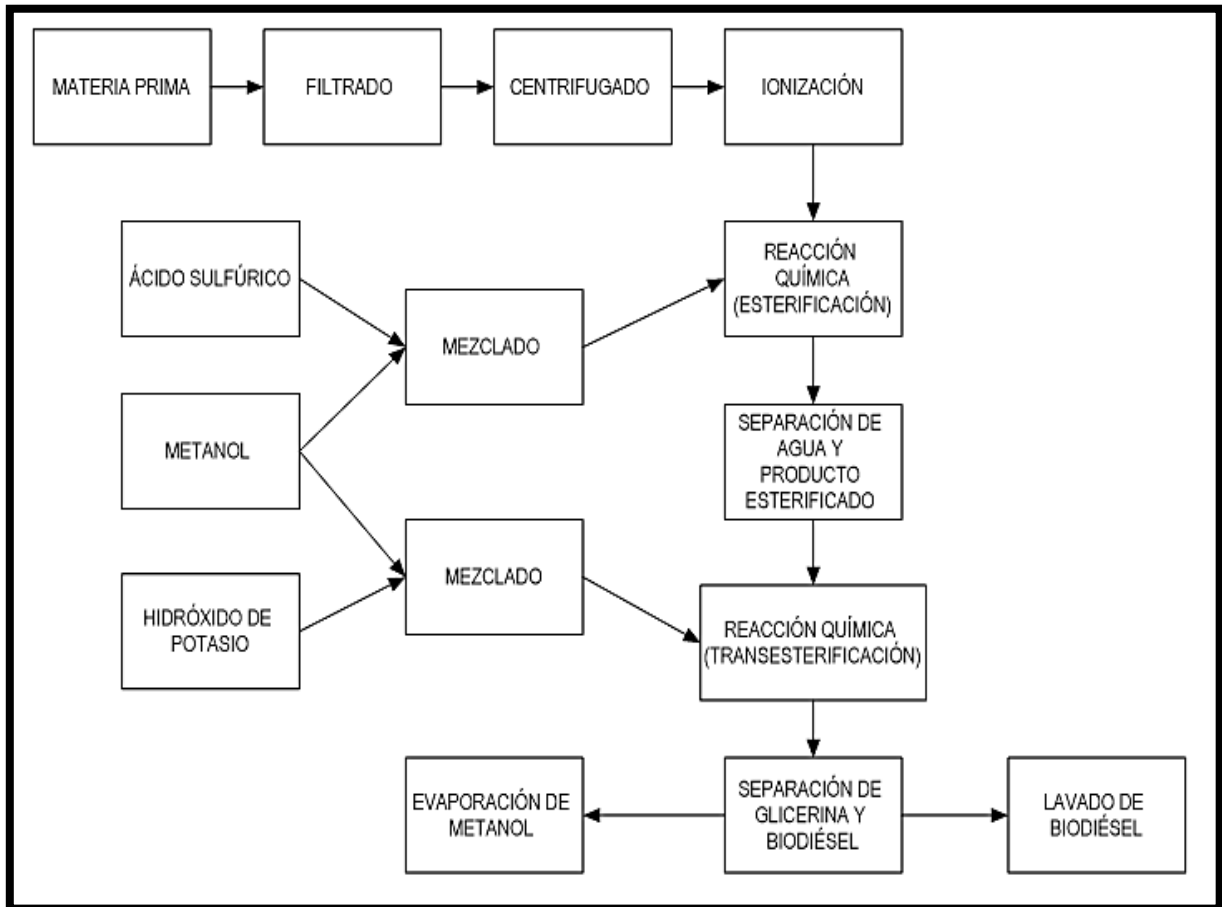


Figura 4.16 Diagrama de bloques propuesto para la producción de biodiésel

4.4.2 Diagrama de flujo del proceso (DFP)

El diagrama de flujo de proceso realizado en el simulador Edraw Max, da una representación del inicio del diagrama de tubería e instrumentación (DTI), ya que, en él se transmiten los datos de forma completa y precisa, debido a que es una representación gráfica de todo el sistema y en él se describe el proceso. Se proporcionan datos como entradas y salidas de sustancias, equipos, conexiones entre equipos y servicios auxiliares. En la Figura 4.17 se muestran el diagrama de flujo de proceso para la planta de biodiésel en la central de abastos.

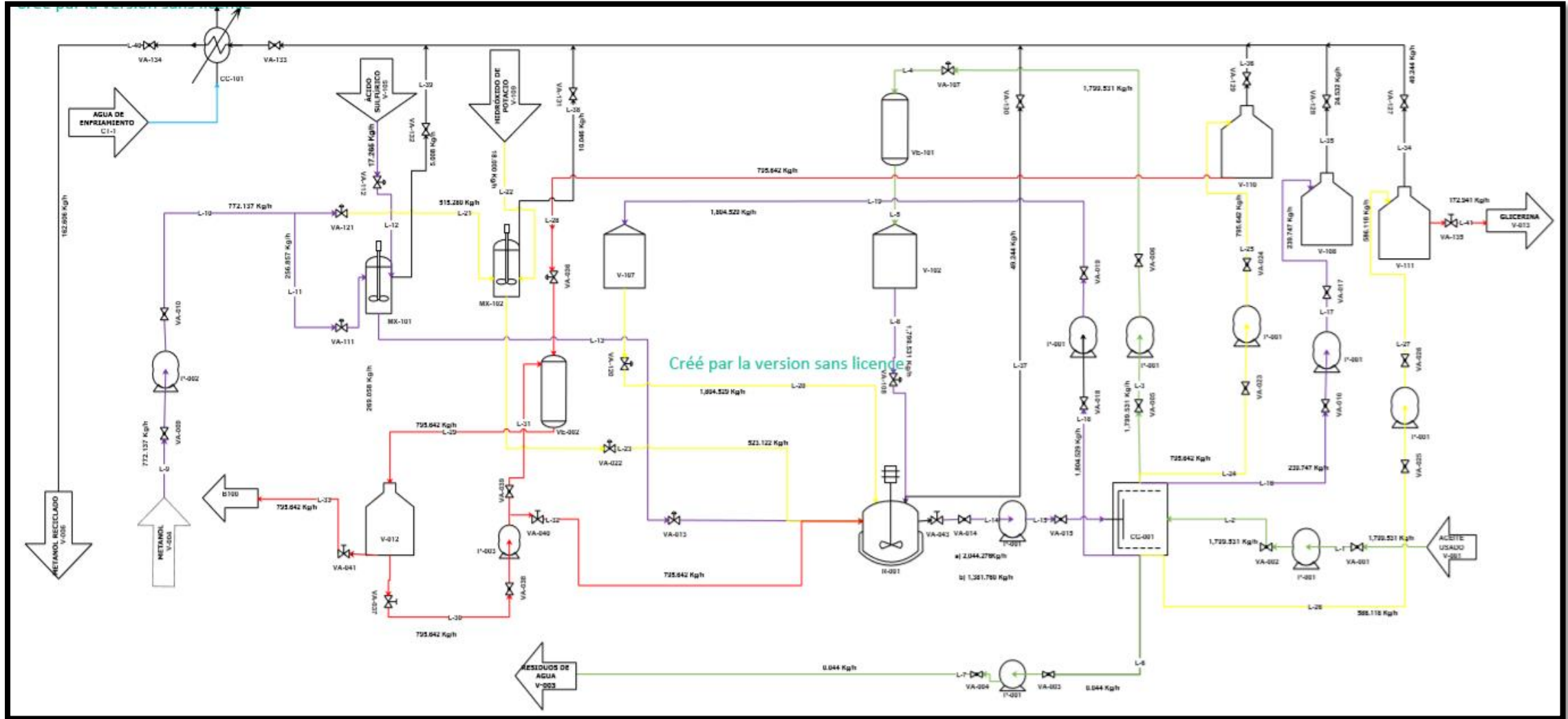


Figura 4.17 Diagrama de flujo del proceso (DFP) para la planta de biodi esel

La Tabla 4.3 muestra los datos de cada una de las líneas que se encuentran presentes en el proceso. Estos datos son los flujos másicos y los flujos volumétricos, estos se muestran parcialmente en las líneas del Diagrama de Flujo del Proceso (DFP) para la planta de biodiésel. Los datos obtenidos de flujos másicos y volumétricos fueron obtenidos por la suma total de los flujos de cada una de las sustancias que circulan a lo largo de las líneas presentes en el proceso.

Tabla 4.3 Flujos másicos y volumétricos que circulan por las líneas del proceso

Corriente	Flujo másico (Kg/h)	Flujo volumétrico (m ³ /h)	Corriente	Flujo másico (Kg/h)	Flujo volumétrico (m ³ /h)
L-1	1,799.531	1.999	L-21	515.280	0.647
L-2	1,799.531	1.999	L-22	18.000	0.009
L-3	1,799.487	1.999	L-23	523.122	0.637
L-4	1,799.487	1.999	L-24	795.642	0.902
L-5	1,799.487	1.999	L-25	795.642	0.902
L-6	0.044	0.000	L-26	586.118	0.663
L-7	0.044	0.000	L-27	586.118	0.663
L-8	1,799.487	1.999	L-28	795.642	0.902
L-9	772.137	0.969	L-29	795.642	0.902
L-10	772.137	0.969	L-30	795.642	0.902
L-11	256.857	0.322	L-31	795.642	0.902
L-12	17.265	0.010	L-32	795.642	0.902
L-13	269.058	0.329	L-33	795.642	0.902
L-14 Ester.	2,044.276	2.413	L-34	49.244	0.062
L-14 Trans.	1,381.760	1.563	L-35	24.532	0.031
L-15	2,044.276	2.413	L-36	0.000	0.000
L-16	239.747	0.289	L-37 Trans.	49.244	0.062
L-17	239.747	0.289	L-38	10.046	0.013
L-18	1,804.529	2.012	L-39	5.008	0.006
L-19	1,804.529	2.012	L-40	162.606	0.204
L-20	1,804.529	2.012	L-41	172.941	0.137

4.4.2.1 Descripción del proceso

En la Figura 4.6 se observa el inicio del proceso en el tanque de abastecimiento de aceite usado V-001 ya antes filtrado. Esta materia prima necesita un refinamiento adecuado para ingresarla al proceso. El ACD ingresa en la línea L-1 con ayuda de la bomba P-001 hacia la centrifuga CG-001 para eliminar el exceso de agua y sedimentos que son recibidos por el tanque V-003. Después, el ACD libre de agua es impulsado por la bomba P-001 hacia la columna de ionización VE-101 con flujo controlado para no saturarla. Posteriormente, el aceite limpio sale por la línea L-5 y entra al tanque de recepción V-102. Antes de ingresar el aceite limpio al reactor R-001, es necesaria que esté lista la mezcla de ácido sulfúrico/metanol en el mezclador MX-101 para comenzar con la reacción de esterificación. El metanol que se requiere para la mezcla se alimenta al MX-101 por la línea L-11 con ayuda de la bomba P-002 descargando al tanque V-004. En la línea L-11 se encuentra la válvula VA-111 que es la encargada de cerrarse cuando el tanque se encuentre al nivel requerido de metanol. Así mismo, se agrega el ácido sulfúrico por la línea L-12 proveniente del tanque V-105; con la misma técnica en esta línea se encuentra la válvula VA-112 que se cierra cuando se alcanza el nivel requerido de ácido sulfúrico.

Ya preparados el aceite limpio y la mezcla ácido/metanol se envían al tanque de reacción por caída libre, con ayuda de la válvula VA-008; se regula el nivel de aceite dentro del R-001 al igual que la VA-013 se regula el nivel de la mezcla proveniente del MX-101. Es importante mencionar que, al tanque de reacción se debe suministrar una temperatura de 50° a 65 °C para que las reacciones que se lleve a cabo en él, y esto se logra con una resistencia eléctrica dentro del equipo.

Finalizada la reacción de esterificación, se abre la válvula VA-043 para ingresar a la centrifuga CG-001 con ayuda de la bomba P-001 que separará el agua que se generó por la reacción. El ácido sulfúrico y el metanol en el tanque de recepción V-108 se bombea por P-001, y por otro lado, el producto esterificado se almacena en el tanque de recepción V-107 impulsado por la misma bomba P-001.

Para llevar a cabo la reacción de transesterificación, se necesita el producto del tanque V-107 y la mezcla de metóxido del mezclador MX-102. Para este último paso, se necesita metanol de la Línea L-21 al mezclador MX-102 con ayuda de la bomba P-002 y el mezclador MX-101; este tiene un regulador de nivel para el metanol, que se asocia a la válvula VA-121 para controlar el ingreso de

metanol. Después se ingresa la potasa proveniente del tanque V-109 al MX-102 por la línea L-22 y comienza el mezclado.

Terminados los procesos de preparación de los reactivos, estos ingresarán al reactor R-001 para llevar a cabo la transesterificación. El producto esterificado (V-107) ingresará por caída libre al R-001 por la línea L-20, regulando el nivel de ingreso con la válvula VA-120, y después ingresará el metóxido (MX-102) de igual manera en caída libre por la línea L-23, regulando el nivel ingresado con la válvula VA-022.

Concluida la reacción de transesterificación, el producto debe ingresar a la centrifuga CG-001 impulsado por la bomba P-001 para su separación. Esta consiste en, separar la glicerina, la potasa y el metanol en el tanque de recepción V-111 impulsados por la bomba P-001. Por otra parte, se separa el biodiésel obtenido impulsado por la misma bomba P-001 al tanque de recepción V-110.

Para recuperar el metanol es importante calentar los tanques V-108 (L-35), V-110 (L-36) y V-111(L-34), el vapor desprendido se transporta por sus respectivas tuberías hasta llegar al condensador CC-101 alimentado con agua de enfriamiento proveniente de la torre de enfriamiento CT-1. Terminando el paso de condensación del metanol, éste es vertido por caída libre al tanque de recepción V-006. De igual manera pasa con los MX-101 (L-39), MX-102 (L-38) y R-001 (L-37). Estos tanques al llevar a cabo su trabajo, desprenden vapores de metanol, por lo que, de igual manera se necesitan recuperar. Cada uno posee su línea de recuperación, estos pasan al CC-001 para su condensación y ser vertidos en el tanque V-006.

Para finalizar, se realiza el tratamiento de los productos ya libres de metanol, primero el biodiésel obtenido pasa por la línea L-28 para ingresar a la columna de ionización VE-002, regulando el flujo para evitar su saturación, al salir de la columna ingresa al tanque VE-012. Si el biodiésel cumple con el estándar ASTM D6751, estará listo para ser almacenado y se saca del tanque por la línea L-33. Si el biodiésel no cumple con la limpieza adecuada, este se recircula a la columna VE-002 por la bomba P-003 cuantas veces sean necesarias. Pero si los parámetros que no se cumplen son diferentes a los que puede limpiar la columna, se tendrá que recircular al proceso donde esté la falla por la corriente L-32 impulsado por la bomba P-003 entrando al reactor R-001. En el caso de los tanques V-003 y V-108, se realiza el tratamiento de residuos adecuado, y en el tanque V-111 se separa la glicerina en el tanque V-006 de los demás residuos para su almacenamiento.

En la Tabla 4.4 se muestran las condiciones de trabajo de cada uno de los equipos presentes en el proceso.

Tabla 4.4 Condiciones de operación para los equipos presentes en el proceso del biodiésel

Equipo	Simbología	Condiciones de operación	Equipo	Simbología	Condiciones de operación
Tanques	V-001	Ambientales	Mezcladores	MX-101	30°C
	V-102	Ambientales		MX-102	35°C
	V-003	Ambientales	Centrífuga	CG-001	Ambientales
	V-004	Ambientales	Condensador	CC-101	min. 17°C/max.60°C
	V-105	Ambientales	Torre de enfriamiento	CT-1	min. 17°C/max.60°C
	V-006	20°C	Reactor químico	R-001	min. 50°C/max.65°C (agitación 300-1,100 rpm)
	V-107	Ambientales	Columnas de intercambio iónico	VE-101	Ambientales
	V-108	60°C		VE-002	Ambientales
	V-109	Ambientales	Bombas	P-001	Ambientales
	V-110	60°C		P-002	Ambientales
	V-111	60°C		P-003	Ambientales
	V-012	Ambientales			
	V-013	Ambientales			

4.4.2.2 Balance de materia

El balance de materia se realizó para cada una de las corrientes que intervienen en el proceso, con ayuda de las propiedades de cada una de las sustancias, de su capacidad y las reacciones químicas que se lleven a cabo. Cabe mencionar que el balance se encuentra en unidades de Kmol para facilitar de cálculos, ya que, intervienen dos reacciones en el proceso. En la Tabla 4.5 se muestra el balance de materia para la planta de biodiésel especificando la carga parcial y total de cada una de las tuberías en Kmol, con presión y temperatura asociadas.

Tabla 4.5 Balance de materia de la producción de biodiésel

Corriente	Temp. (°C)	Presión (atm)	FLUJOS MÁSICOS (Kg)								Flujo másico total
			Triglicéridos	Ácidos grasos	Ácido sulfúrico	Hidróxido de potasio	Metanol	Agua	Glicerina	B100	
L-1	18	0.770	845.603	54.140	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	899.765
L-2	18	0.770	845.603	54.140	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	899.765
L-3	18	0.770	845.603	54.140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	899.743
L-4	18	0.770	845.603	54.140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	899.743
L-5	18	0.770	845.603	54.140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	899.743
L-6	18	0.770	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.022
L-7	18	0.770	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.022
L-8	18	0.770	845.603	54.140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	899.743
L-9	18	0.770	0.000	0.000	0.000	0.000	380.559	5.509	0.000	0.000	386.068
L-10	18	0.770	0.000	0.000	0.000	0.000	380.559	5.509	0.000	0.000	386.068
L-11	18	0.770	0.000	0.000	0.000	0.000	126.596	1.833	0.000	0.000	128.428
L-12	18	0.770	0.000	0.000	8.550	0.000	0.000	0.083	0.000	0.000	8.633
L-13	30	0.770	0.000	0.000	8.550	0.000	124.064	1.915	0.000	0.000	134.529
L-14 Ester.	18	0.770	845.603	9.799	8.550	0.000	106.519	4.804	0.000	46.862	1,022.138
L-14 Trans.	18	0.770	66.803	9.799	0.000	9.000	193.912	3.676	86.470	321.219	690.880
L-15	18	0.770	845.603	9.799	8.550	0.000	106.519	4.804	0.000	46.862	1,022.138
L-16	18	0.770	0.000	0.000	8.550	0.000	106.519	4.804	0.000	0.000	119.874
L-17	18	0.770	0.000	0.000	8.550	0.000	106.519	4.804	0.000	0.000	119.874
L-18	18	0.770	845.603	9.799	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	46.862	902.265
L-19	18	0.770	845.603	9.799	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	46.862	902.265
L-20	18	0.770	845.603	9.799	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	46.862	902.265
L-21	18	0.770	0.000	0.000	0.000	0.000	253.964	3.676	0.000	0.000	257.640
L-22	18	0.770	0.000	0.000	0.000	9.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.000

Tabla 4.5 (Continuación) Balance de materia de la producción de biodiésel

Corriente	Temp. (°C)	Presión (atm)	FLUJOS MÁSICOS (Kg)								Flujo másico total
			Triglicéridos	Ácidos grasos	Ácido sulfúrico	Hidróxido de potasio	Metanol	Agua	Glicerina	B100	
L-23	35	0.890	0.000	0.000	0.000	9.000	248.884	3.676	0.000	0.000	261.561
L-24	18	0.770	66.803	9.799	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	321.219	397.821
L-25	18	0.770	66.803	9.799	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	321.219	397.821
L-26	18	0.770	0.000	0.000	0.000	9.000	193.912	3.676	86.470	0.000	293.059
L-27	18	0.770	0.000	0.000	0.000	9.000	193.912	3.676	86.470	0.000	293.059
L-28	18	0.770	66.803	9.799	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	321.219	397.821
L-29	18	0.770	66.803	9.799	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	321.219	397.821
L-30	18	0.770	66.803	9.799	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	321.219	397.821
L-31	18	0.770	66.803	9.799	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	321.219	397.821
L-32	18	0.770	66.803	9.799	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	321.219	397.821
L-33	18	0.770	66.803	9.799	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	321.219	397.821
L-34	60	1.070	0.000	0.000	0.000	0.000	24.280	0.342	0.000	0.000	24.622
L-35	60	1.070	0.000	0.000	0.000	0.000	12.086	0.180	0.000	0.000	12.266
L-36	60	1.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
L-37 Ester.	65	1.070	0.000	0.000	0.000	0.000	12.086	0.180	0.000	0.000	12.266
L-37 Trans.	50	1.070	0.000	0.000	0.000	0.000	24.280	0.342	0.000	0.000	24.622
L-38	35	0.890	0.000	0.000	0.000	0.000	4.951	0.072	0.000	0.000	5.023
L-39	30	0.890	0.000	0.000	0.000	0.000	2.468	0.036	0.000	0.000	2.504
L-40	18	0.770	0.000	0.000	0.000	0.000	80.150	1.153	0.000	0.000	81.303
L-41	18	0.770	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	86.470	0.000	86.470

4.5 EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES

Para este proceso se desean diseñar algunos equipos que hacen falta para la instalación de la planta, ya que, la mayoría de ellos ya están dentro del inventario del proyecto y listos para instalar.

4.5.2 Simbología

Para la mejor comprensión del diagrama completo de la planta se realizó la Tabla 4.6 donde se muestra el equipo, su simbología y las sustancias que contienen para agilizar los cálculos y el diseño de los equipos.

Tabla 4.6 Simbología de equipos y contenido para diseño de la planta de biodiésel

Equipo	Simbología	Sustancias presentes	Equipo	Simbología	Sustancias presentes
Taques	V-001	Aceite comestible de desecho	Mezcladores	MX-101	Ácido sulfúrico y metanol
	V-102	Aceite limpio		MX-102	Metanol e hidróxido de potasio
	V-003	Residuos y agua	Centrífuga	CG-001	Todas las sustancias presentes en el proceso
	V-004	Metanol de entrada al proceso	Condensador	CC-101	Metanol recirculado y agua
	V-105	Ácido Sulfúrico	Torre de enfriamiento	CT-1	Agua de enfriamiento
	V-006	Metanol recirculado	Reactor químico	R-001	Todas las sustancias presentes en el proceso
	V-107	Producto esterificado	Columnas de intercambio iónico	VE-101	Aceite comestible de desecho
	V-108	Metanol, agua, y ácido sulfúrico		VE-002	Biodiésel
	V-109	Hidróxido de potasio	Bombas	P-001	Todas las sustancias presentes en el proceso
	V-110	Biodiésel y metanol		P-002	Metanol de entrada al proceso
	V-111	Glicerina, metanol, agua e hidróxido de potasio		P-003	Biodiésel
	V-012	B100			
	V-013	Glicerina			

4.5.3 Costos de inversión

En la Tabla 4.7 se muestran los equipos que se utilizarán para la planta de biodiésel, para esto, se consideró la reutilización de algunos equipos recuperados de algunas empresas, de los cuales, son de gran utilidad para las necesidades del proyecto.

Tabla 4.7 Costo de equipos involucrados en el proceso de biodiésel

Cantidad	Descripción equipo	Precio unitario	Importe total	Uso
1	Tanque de acero inoxidable con capacidad de 250 litros	\$26,639.66	\$26,639.66	MX-101
2	Tanque de acero inoxidable con capacidad de 1,500 litros	\$48,875.00	\$97,750.00	R-001 V-110
1	Tanque de acero inoxidable endurecido con capacidad de 1,000 litros	\$60,730.00	\$60,730.00	V-111
2	Tanque de acero inoxidable con capacidad de 1,000 litros	\$43,700.00	\$87,400.00	MX-102 V-108
7	Totes de 1,000 litros	\$2,000.00	\$14,000.00	V-001 V-102 V-004 V-013 V-107 V-012
5	Tambores cilíndricos de 200 litros	\$550.00	\$2,750.00	V-003 V-006 V-105 V-009
1	Centrífuga a prueba de explosiones con flujo de 1500 litros/hora	\$255,000.00	\$255,000.00	CG-001
1	Bomba centrífuga de acero inoxidable con potencia de 2 Hp anti explosión	\$14,000.00	\$14,000.00	P-003
1	Bomba centrífuga con potencia de 1 Hp	\$35,000.00	\$35,000.00	P-001
1	Bomba centrífuga con potencia de 1 Hp anti explosión	\$78,000.00	\$78,000.00	P-002

Los equipos restantes para el proceso se tendrían que adquirir según las especificaciones que se requieran, estos son un condensador para la recuperación del metanol en el proceso y las columnas de intercambio iónico para limpiar la materia prima y el biodiésel producido. En la Tabla 4.8 se muestran las características que deben cumplir los equipos y su costo aproximado.

Tabla 4.8 Equipos restantes diseñados

Cantidad	Descripción equipo	Precio unitario	Importe total	Uso
2	Columnas de intercambio iónico con una capacidad de 1m ³	\$70,000.00	\$140,000.00	VE-101 VE-002
1	Condensador tubos y coraza con una carga térmica por lote de -406 KJ	\$20,000.00	\$20,000.00	CC-101

4.6 LÍNEAS DE CONDUCCIÓN

En la Figura 4.18 se muestra el diagrama de tubería e instrumentación (DTI) para la planta de biodiésel generado a partir de diagrama de flujo de proceso y del diagrama de bloques (DBP).

Gracias a este diagrama se puede realizar un análisis más detallado con respecto a la planta de biodiésel. Esto con el propósito de identificar cuáles son las líneas del proceso y que sustancias se transportan en cada una de estas líneas para ingresar a sus respectivos equipos, así la dirección de las mismas. Así mismo, se puede ver un mejor panorama de la planta de biodiésel, como lo es, la instrumentación que poseerá cada uno de los equipos, la dirección de los servicios auxiliares y la posible colocación de cada uno de los equipos propios del proceso. De igual manera, se muestran las entradas y las salidas de reactivos y productos de todo el proceso para la formación del biodiésel.

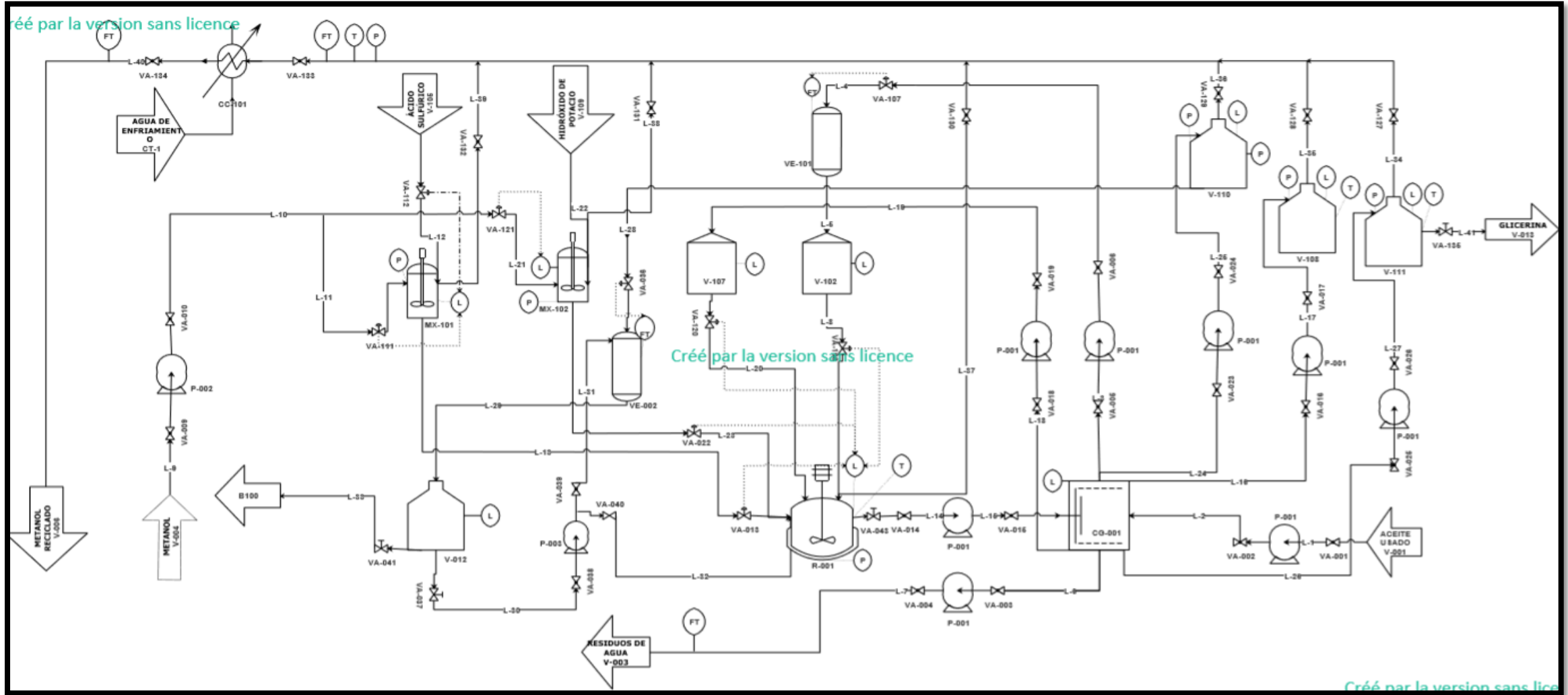


Figura 4.18 Diagrama de tubería e instrumentación (DTI) para la planta de biodiésel

4.5 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Los esquemas de equipos en el diagrama de tubería e instrumentación (DTI) poseen medidores e indicadores que hacen que el proceso sea automatizado y exista un menor grado de falla y por lo tanto una mayor seguridad.

Los indicadores adicionados al proceso se encuentran en las torres de ionización VE-101 y VE-002 que sirven para regular el flujo (FT) que entra al equipo para evitar que se sature y se tape. Ya que, este contiene resinas limpiadoras y podrían taparse por la densidad del líquido y/o la velocidad a la que sale el fluido por la bomba P-001 en el caso de la columna VE-101, o de la consecuencia de la caída libre en el caso de la columna VE-002. A este indicador de flujo (FT) lo acompaña una válvula de control, en el caso de la columna VE-101 es la válvula VA-107 y para la columna VE-002 es la válvula VA-036 que abren o cierran según el flujo deseado en el equipo. Otro equipo controlado es el reactor R-001, este es uno de los equipos más importantes en la planta, por lo tanto, se debe tener muy bien controlado, a él están conectadas las válvulas que son las encargadas de llenar el reactor para llevar a cabo las reacciones químicas. En el caso de la esterificación son las válvulas VA-108 y VA-013, y en el caso de la transesterificación son las válvulas VA-120 y VA-022. Estas válvulas están sujetas al mando de un indicador de nivel (L) conectado en el reactor, cuando este ya haya cumplido el nivel deseado para cada uno de los reactivos que ingresan. El indicador manda una señal a las válvulas asociadas y estas se cierran, a este también están conectados un indicador de presión (P) y uno de temperatura (T) para mejor control en las condiciones de reacción.

En el caso de los tanques V-108, V-110 y V-111 se muestran indicadores de presión (P), temperatura (T) y nivel (L). El indicador de nivel es para identificar cuando esos tanques se encuentren llenos y vaciarlos para evitar derrames, y los de presión y temperatura son para regular la evaporación de metanol, ya que, estos tanques se someten a calentamiento para recuperar el metanol. En el caso del resto de los tanques de recepción y la centrífuga en la planta solo tienen instalado un indicador de nivel, ya que, estos no se someten a ningún proceso donde se deban regular otras variables físicas.

Otros sistemas controlados, son los mezcladores MX-101 y MX-102, en el caso del mezclador MX-101 se regula la entrada de metanol (CH_3OH) por la válvula VA-111 y la entrada de ácido sulfúrico (H_2SO_4) con la válvula VA-112. Estas son controladas por un indicador de nivel, cuando el nivel de

cada sustancia ya sea completado, estas se cierran e inicia el mezclado. En el caso del mezclador MX-102 solo tiene una válvula VA-121 que controla el nivel de metanol (CH₃OH), ya que el hidróxido de potasio (KOH) se agrega sólido.

Por último, el condensador CC-101 tiene reguladores en la tubería que conecta al equipo, estos son de presión (P), temperatura (T) y flujo (FT), esto para evitar una saturación en el equipo o llegue a una falla técnica.

4.5.1 Especificaciones de tuberías

Dentro de las especificaciones de tubería se muestran los diámetros requeridos para cada una de las líneas del proceso, pero por lo regular, estos diámetros no se encuentran estandarizados y no se pueden comprar como tal, a menos que se mandarán a fabricar, pero siempre se recomienda, comprar la tubería con el diámetro comercial más próximo a lo requerido. En la Tabla 4.9 se muestran todos los diámetros de tubería calculados y recomendados para la planta de biodiésel. También se muestra el material de las tuberías y la cédula que se necesita para la instalación, como datos adicionales se muestran los flujos máscicos, la densidad y los flujos volumétricos de las líneas.

Para el cálculo del diámetro de tuberías se requiero tuberías se requirieron aplicar las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \dots\dots\dots 4.1$$

$$Q = A * V \dots\dots\dots 4.2$$

Dando como resultado la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*V}} \dots\dots\dots 4.3$$

Dónde:

A: área transversal D: Diámetro Q: Flujo volumétrico V: velocidad

Con la sustitución y el despeje adecuado, se calcularon los diámetros de tubería para cada una de las corrientes presentes en el proceso. Cabe mencionar, que el material de tubería y la cedula seleccionada se consideraron por la carga de fluidos que se transporta por las líneas. Para ello, se eligió polipropileno, ya que este resiste la corrosión del ácido sulfúrico y del hidróxido de sodio. La

cedula 40 de las tuberías se eligió para que estas duraran un mayor tiempo debido a su mayor grosor.

Tabla 4.9 Especificaciones de líneas de tubería

Corriente	Densidad del flujo (Kg/m ³)	Flujo másico (Kg/s)	Flujo volumétrico (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Diámetro (cm)	Diámetro comercial (pulg)	Material	Cédula
L-1	900.12	5.0E-01	5.6E-04	2.70	1.62	¾	Polipropileno	40
L-2	900.12	5.0E-01	5.6E-04	2.70	1.62	¾	Polipropileno	40
L-3	900.02	5.0E-01	5.6E-04	2.70	1.62	¾	Polipropileno	40
L-4	900.02	5.0E-01	5.6E-04	2.70	1.62	¾	Polipropileno	40
L-5	900.02	5.0E-01	5.6E-04	2.70	1.62	¾	Polipropileno	40
L-6	999.97	1.2E-05	1.2E-08	2.43	0.01	½	Polipropileno	40
L-7	999.97	1.2E-05	1.2E-08	2.43	0.01	½	Polipropileno	40
L-8	900.02	5.0E-01	5.6E-04	2.70	1.62	¾	Polipropileno	40
L-9	797.03	2.1E-01	2.7E-04	3.05	1.06	½	Polipropileno	40
L-10	797.03	2.1E-01	2.7E-04	3.05	1.06	½	Polipropileno	40
L-11	797.03	7.1E-02	9.0E-05	3.05	0.61	½	Polipropileno	40
L-12	1760.00	4.8E-03	2.7E-06	1.38	0.16	½	Polipropileno	40
L-13	818.86	7.5E-02	9.1E-05	2.97	0.63	½	Polipropileno	40
L-14 Ester.	847.25	5.7E-01	6.7E-04	2.87	1.72	¾	Polipropileno	40
L-14 Trans.	884.19	3.8E-01	4.3E-04	2.75	1.42	¾	Polipropileno	40
L-15	847.25	5.7E-01	6.7E-04	2.87	1.72	¾	Polipropileno	40
L-16	830.79	6.7E-02	8.0E-05	2.93	0.59	½	Polipropileno	40
L-17	830.79	6.7E-02	8.0E-05	2.93	0.59	½	Polipropileno	40
L-18	897.07	5.0E-01	5.6E-04	2.71	1.62	¾	Polipropileno	40
L-19	897.07	5.0E-01	5.6E-04	2.71	1.62	¾	Polipropileno	40

Tabla 4.9 (Continuación) Especificaciones de líneas tubería

Corriente	Densidad del flujo (Kg/m ³)	Flujo másico (Kg/s)	Flujo volumétrico (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Diámetro (cm)	Diámetro comercial (pulg)	Material	Cédula
L-20	897.07	5.0E-01	5.6E-04	2.71	1.62	¾	Polipropileno	40
L-21	797.03	1.4E-01	1.8E-04	3.05	0.87	½	Polipropileno	40
L-22	2040.00	5.0E-03	2.5E-06	1.19	0.16	½	Polipropileno	40
L-23	821.64	1.5E-01	1.8E-04	2.96	0.87	½	Polipropileno	40
L-24	881.95	2.2E-01	2.5E-04	2.76	1.08	½	Polipropileno	40
L-25	881.95	2.2E-01	2.5E-04	2.76	1.08	½	Polipropileno	40
L-26	884.56	1.6E-01	1.8E-04	2.75	0.92	½	Polipropileno	40
L-27	884.56	1.6E-01	1.8E-04	2.75	0.92	½	Polipropileno	40
L-28	881.95	2.2E-01	2.5E-04	2.76	1.08	½	Polipropileno	40
L-29	881.95	2.2E-01	2.5E-04	2.76	1.08	½	Polipropileno	40
L-30	881.95	2.2E-01	2.5E-04	2.76	1.08	½	Polipropileno	40
L-31	881.95	2.2E-01	2.5E-04	2.76	1.08	½	Polipropileno	40
L-32	881.95	2.2E-01	2.5E-04	2.76	1.08	½	Polipropileno	40
L-33	881.95	2.2E-01	2.5E-04	2.76	1.08	½	Polipropileno	40
L-34	796.89	1.4E-02	1.7E-05	3.05	0.27	½	Tubería flexible (Carbón galvanizado)	-----
L-35	797.18	6.8E-03	8.5E-06	3.05	0.19	½	Tubería flexible (Carbón galvanizado)	-----
L-36	0.00	0.0E+00	0.0E+00	0.00	0.00	½	Tubería flexible (Carbón galvanizado)	-----
L-37 Ester.	797.18	6.8E-03	8.5E-06	3.05	0.19	½	Tubería flexible (Carbón galvanizado)	-----
L-37 Trans.	796.89	1.4E-02	1.7E-05	3.05	0.27	½	Tubería flexible (Carbón galvanizado)	-----
L-38	797.05	2.8E-03	3.5E-06	3.05	0.12	½	Tubería flexible (Carbón galvanizado)	-----
L-39	797.07	1.4E-03	1.7E-06	3.05	0.09	½	Tubería flexible (Carbón galvanizado)	-----
L-40	796.99	4.5E-02	5.7E-05	3.05	0.49	½	Polipropileno	40
L-41	1260.00	4.8E-02	3.8E-05	1.93	0.50	½	Polipropileno	40

4.6 EQUIPOS AUXILIARES

Los equipos auxiliares son de suma importancia en la instalación de una planta, ya que, de esto depende que la producción no se detenga si llegará a ocurrir alguna falla en el proceso. Por lo regular, los equipos auxiliares también proporcionan protección en el proceso para evitar que algún otro equipo se descomponga como consecuencia de la falla. En la Tabla 4.10 se muestran los equipos que requieren un respaldo auxiliar para la producción de biodiésel.

Tabla 4.10 Equipos auxiliares para la planta de producción de biodiésel

EQUIPO	CLAVE	CARACTERISTICA
Bombas	P-001	1 HP
	P-002	1 HP
	P-003	1 HP
Condensador	CC-101	-406 KJ
Válvulas	VA-107	
	VA-108	
	VA-036	
	VA-120	
	VA-022	
	VA-013	
	VA-111	
	VA-112	
	VA-121	

4.7 SISTEMA DE DESFOGUE

El objetivo de los sistemas de desfogue es la protección del equipo y el personal de la planta. Los equipos están diseñados para tolerar una presión máxima, pero si la presión excede por alguna falla, los fluidos se desalojan del equipo por el sistema de desfogue para evitar una catástrofe.

Estos sistemas incluyen válvulas de seguridad que se activan inmediatamente cuando la presión del sistema está sobrepasando la tolerancia del equipo. En el caso de la planta de biodiésel, el sistema

de relevo se diseñará para los quipos que se encuentren en presencia de metanol, ya que, es la única sustancia que se evapora y podría causar un problema grave en el proceso. En la figura 4.19 se muestra el sistema de desfogue donde se conectarán las válvulas de seguridad a los equipos. V-111, V-108, V-110, R-001, MX-101, MX-102 y CC-101. Estas válvulas de seguridad están identificadas con las siglas PSV-n que se conectan a los equipos donde puede haber una falla por la presión de vapor del metanol, liberando el vapor por las tuberías D-n hasta llegar a un equipo de condensación. En la Figura 4.18 también se muestran las válvulas de seguridad PSV-n que se conectan a los equipos donde puede haber una falla por presión de vapor de metanol, liberando el vapor por las tuberías D-n hasta llegar a un equipo de condensación en el caso de la planta.

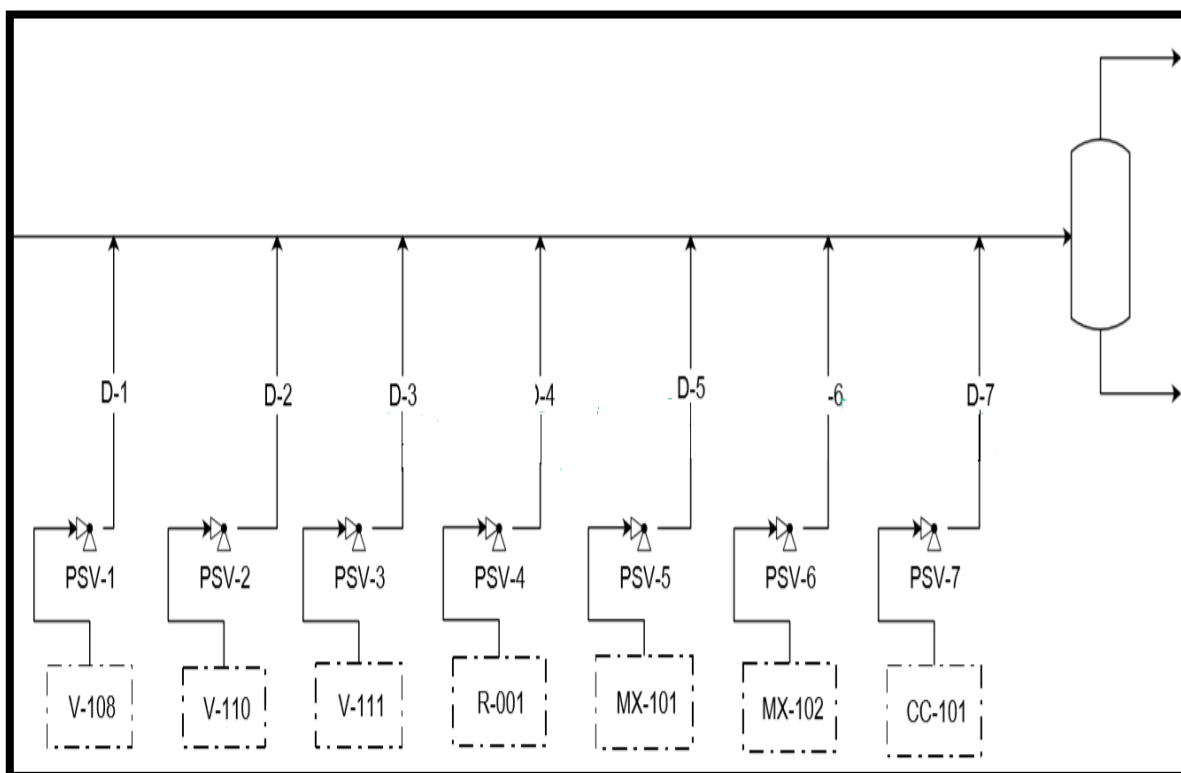


Figura 4.19 Planteamiento de diseño del sistema de desfogue para la planta de biodiésel

4.8 DIAGRAMA DE LOCALIZACIÓN

El diagrama de localización general de equipos muestra la ubicación de cada uno de los equipos que se encuentran en la planta los incluyendo los equipos de servicio. El plano es indispensable para la instalación de la planta, ya que, dependiendo del acomodo se tomarán en cuenta las trayectorias de

tuberías, posición favorable de equipos, áreas de almacenamiento, caminos, etcétera. En la Figura 4.20 se muestra el diagrama de localización para la planta de biodiésel a instalar. Las longitudes que se toman entre equipos se obtuvieron del manual de riesgo de ingeniería según las separaciones básicas en una planta (PDVSA, 1983).

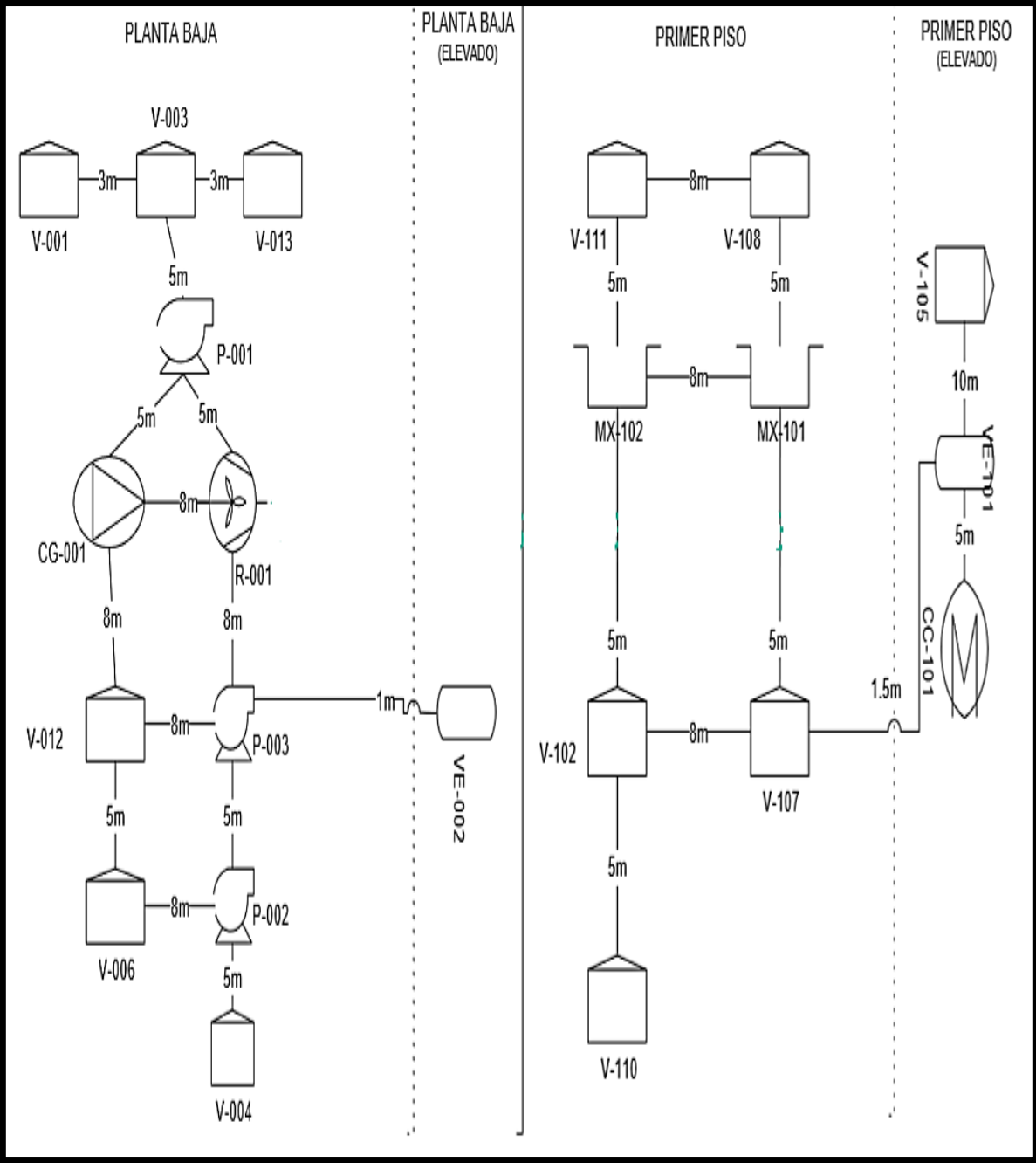


Figura 4.20 Localización de equipos en la planta de biodiésel por niveles (vista superior)

4.9 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

Dentro de la evaluación económica considera el costo de inversión inicial, el costo de materia prima por lote y el costo de energía para calcular el costo marginal por litro de biodiésel y así establecer un precio comercial adecuado para los compradores del biodiésel.

Con esto se espera que el precio del biodiésel producido se encuentre de igual o menor precio al de la competencia. En los 2 años el precio del biodiésel a nivel internacional se mantuvo hasta el mes de mayo (2018), después de este mes tuvo un alza importante, donde este paso de \$15.45 a \$18.22 pesos (MEM, 2018).

Para comenzar en análisis, se establecerá un periodo de tiempo para el retorno de la inversión inicial. Para ello, se propone un retorno de capital a 5 años (mediano plazo), con esto, el precio del biodiésel será más tentador para el consumidor y creará un impacto favorable en la demanda del producto. Por lo tanto, la contribución al precio del biodiésel por parte de la inversión inicial será de \$3 pesos. Posteriormente, se procede a realizar el costeo de materia prima por litro de biodiésel, los precios promedio de la materia prima se muestran en Tabla 4.11 especificando el precio por litro de las materias primas involucradas en la producción de biodiésel.

Tabla 4.11 Costeo de materias primas involucradas en la producción de biodiésel

Materia prima	Cantidad utilizada	Precio por unidad (pesos)	Precio acumulado (pesos)
Hidróxido de potasio	4.2 Kg	\$100.00	\$420.00
ACD	1,000.0 Lts	\$2.00	\$2,000.00
Ácido sulfúrico	5.0 Lts	\$135.00	\$675.00
Metanol	493.0 Lts	\$27.00	\$13,331.00
Total			\$16,406.00

Ya obtenido el valor total para la producción de biodiésel por materia prima, se puede sacar la contribución del costo de biodiésel. Por lo tanto, si se requieren \$16,406.00 pesos/m³ de biodiésel, pero tomando en cuenta que el 50% de metanol se recicla para lotes futuros, este disminuye su costo a la mitad, por lo tanto, el precio a repartir por litro será de \$9,760.50 pesos, obteniendo como

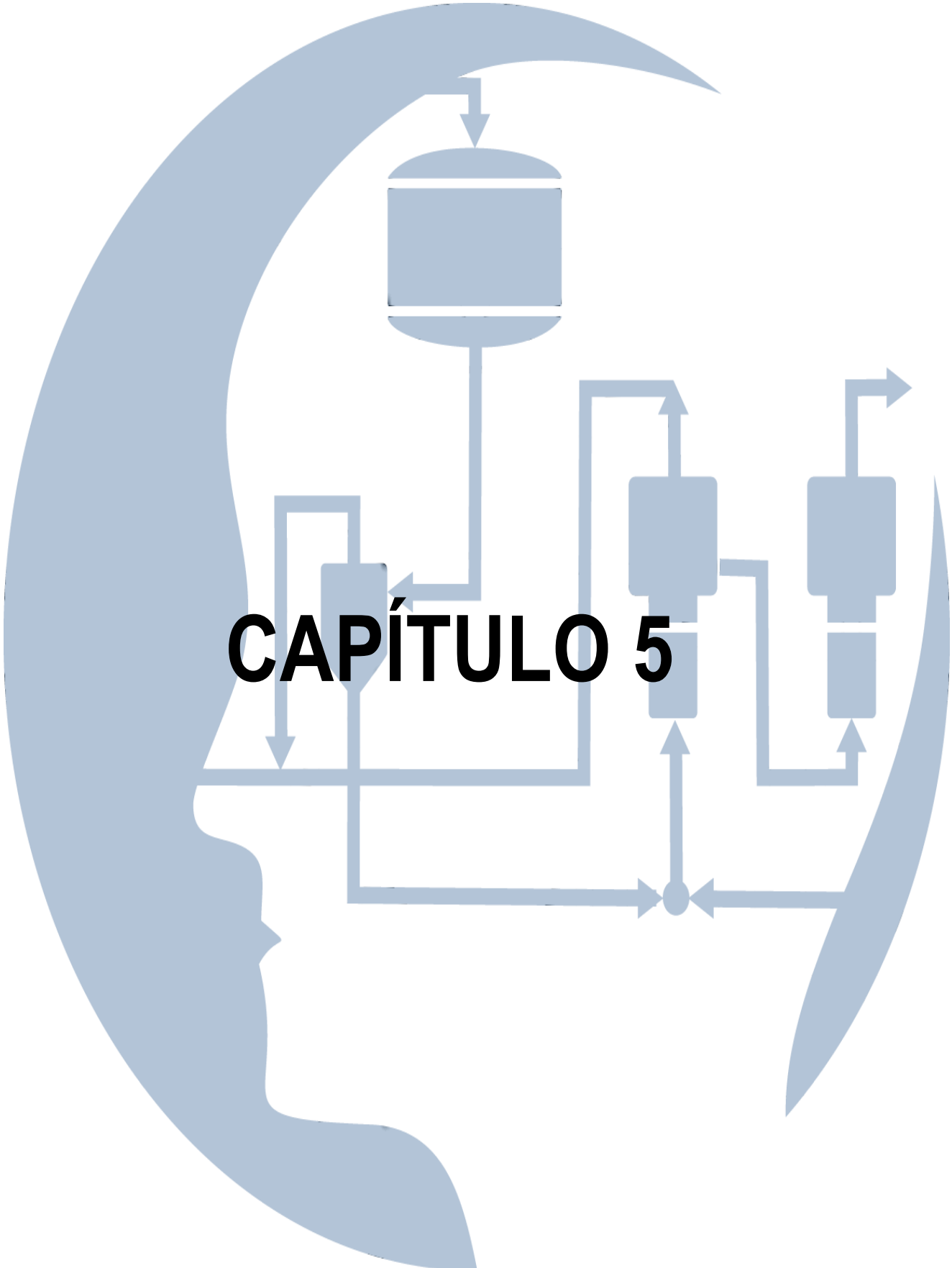
contribución final en el precio del biodiésel un monto por materia prima de \$9.76 pesos. Con esto puede constatar que la recuperación de metanol es de suma importancia en el proceso.

Otro de los contribuyentes importantes en los costos es el uso de energía eléctrica. En la Tabla 4.12 se muestran los gastos generados por electricidad en la producción de un metro cúbico de biodiésel. Así mismo, se muestran los consumos energéticos de los equipos que requieren energía eléctrica.

Tabla 4.12 Consumos energéticos de los equipos de la planta de biodiésel

Equipo	Potencia (Kw)	Precio de electricidad (Kw-h)(pesos)	Costo total por 5 horas (pesos)
P-001	0.746	\$ 0.929	\$3.47
P-002	0.746	\$ 0.929	\$3.47
P-003	0.746	\$ 0.929	\$3.47
CG-001	1.492	\$ 0.929	\$6.93
Total			\$17.34

Terminando el costeo de biodiésel, la contribución de la luz eléctrica por litro de biodiésel es de aproximadamente \$0.50 pesos. Por lo tanto, el costo total por litro de biodiésel será de \$13.26 pesos al público.



CAPÍTULO 5

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Para el diseño de la planta, se realizaron rasgos generales para realizar el proyecto, desde la administración del proyecto, inversión inicial, antecedentes para la formación de la planta, rentabilidad, estudios de factibilidad en México, hasta nivel ingenieril, como la ingeniería básica, el diseño de diagramas de proceso para la planta, balances de materia, cálculo de equipos y tubería, etcétera. Todo esto para generar una planta de biodiésel a partir de aceites comestibles de desecho (ACD) de la CDMX para producir un mínimo de $1\text{m}^3/\text{día}$ de biodiésel, pero la planta tiene una capacidad máxima de alrededor de $5\text{m}^3/\text{día}$ para abastecer una pequeña cantidad de camiones de la red de transporte público, esto se realizará generando mezclas B20 con el producto obtenido.

Cabe mencionar que todos los objetivos particulares fueron abatidos y cubiertos en esta investigación. Se inició con la evaluación del costo del proyecto que fue de \$1,680,000 pesos considerando una planta ya establecida y comparando ambas utilizando la ecuación del costo unitario. Posterior al estudio económico de la realización de la planta, se generaron los diagramas del proceso que constan del Diagrama de Flujo del Proceso, el Diagrama de Tubería e Instrumentación, El diagrama de Localización de los Equipos y El diagrama de Desfogue. Esto basado en toda la ingeniería y cálculos realizados durante la investigación. Con esto se generaron los balances de materia requeridos para las reacciones de esterificación y transesterificación con 1m^3 de aceite comestible obteniendo como máximo 400 Kg de biodiésel a óptima operación. En base a los balances se realizaron los cálculos necesarios de tubería obteniendo diámetros por debajo de una pulgada de diámetro. Además, se logró realizar un lavado para el proceso donde se generará un ahorro de agua de aproximadamente 100L por lote, ya que, este se realizará con una pequeña cantidad de biodiésel transportado por todos los equipos importantes para limpiar todos los residuos que pudieran contaminar los lotes futuros.

Con el uso de biodiésel en mezclas, se quiere lograr un ahorro importante con uso de diésel, ya que, este incremento en los últimos 5 años alrededor del 40% en valor. Con este proyecto se pretende ahorrar hasta un 10% del gasto por litro.

A su vez, con el uso de este biocombustible se creará un impacto favorable en la generación de gases contaminantes, reduciendo notoriamente la emisión de CO_x y SO_x entre un 15 y 20 por ciento. Otro de sus beneficios se encuentra en el uso automotriz, ya que, por el hecho de no contener azufre, este ayuda a extender la vida del motor de automóvil.

Por otro lado, Existen algunas desventajas por el uso de biodiésel, como la producción de NO_x , ya que, estos se emiten al aire, y provocan lluvia ácida. Otras de las desventajas se encuentran en el motor del automóvil, ya que, el biodiésel tiende a disolver las mangueras de inyección y estos ocasiona que frecuentemente se tengas que cambiar.

Con este proyecto se pretende realizar un análisis arduo en el producto para que cumpla la norma ASTM 6751 y este se pueda distribuir sin ningún problema, cabe mencionar que si el proceso funciona, este podría ser el principio de una nueva generación en el uso de energías renovables en la CDMX.



BIBLIOGRAFÍA

BLIBLIOGRAFÍA

- Acuña, G., Caffrone, S., Isaurralde, F., Martínez y A., Moens, F. 2015. Construcción de una planta de biodiésel. Proyecto de Ingeniería Industrial. Publicación del Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Universidad Privada. Buenos Aires, Argentina.
- Álvarez, C. 2008. Biocombustibles. Desarrollo histórico – tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. **Económica informa**. 359(4):63-89.
- Amaris, M., Manrique, D. y Jaramillo, J. 2015. Biocombustibles líquidos en Colombia y su impacto en motores de combustión interna. Una revisión. **Fuentes**. 13(2): 23-34.
- Anaya, A., Barragán, R. y Vega, A. 2013. Manual de Temas Selectos de Ingeniería de Proyectos. Editado por la Facultad de Química. Pag. 1-400. Publicado por la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, CDMX, México.
- Arriagada, G. 2013. Liderazgo y trabajo en equipo. Master Ejecutiva en Administración y Dirección de empresas. Publicación de la Escuela de Organización Industria (EOI). Madrid, España.
- Arteaga, H., Pagador, S. y Cáceres, H. 2010. Efecto de la temperatura y tiempo de transesterificación en el rendimiento y poder catalítico de biodiésel a partir de grasa refinada de pollo. **Scientia Agrpecuaria**. 1(1): 37-45.
- ASTM, 2014. ASTM D7651 Standard Specification for Biodiésel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels. Publicación de la American Section of the International Association for Testing Materials. EE.UU.
- ASTM, 2014. Standard Specification for Biodiésel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels. Publicación de ASTM international. Philadelphia, EE.UU.

- Botín, A. 2008. El 18 de Marzo nació Rudolf Diesel ingeniero alemán inventor del motor de combustión. Educación Superior e internet (UNIVERSIA). Publicado por la Universidad de España. Madrid, España.
- Bouaid, A., Vázquez, R., Martínez, M., Aracil, J. 2016. Effect of free fatty acids contents on biodiesel quality, pilot plant studies. **Mebranes**. 174: 54 - 62.
- Branan, C. 1998. Rules of thumb for Chemical Engineers. Editado por Gulf Publishing Company, ELSEVIER. 2ª edición. Pág. 1-442. Ocford, Reino Unido.
- Bruciaga, W. 2016. Biocombustibles: Sana alimentación para motores y alivio de la contaminación ambiental. Publicado por ProyectoFSE. CDMX, México.
- Cabello, F. y Ollero, P. 2012. Biocarburantes presente y futuro, claves de sostenibilidad. Departamento de Tecnología Química y Ambiental. Publicado por la Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
- Castaño, L., Torres, J., Cardona, C. y Orrego, C. 2004. Producción de biodiésel a partir de aceites vegetales utilizando enzimas libres: Estudio preliminar. Ingeniería de Recursos Naturales y de Ambiente. **Eidenar**. 2(1): 32-37. Publicación de la Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Castellanos, J., Guevara, E. 2014. Ingeniería básica de una planta de biodiésel a partir de una mezcla de aceites comestibles vegetales de desecho para el transporte de la Ciudad de México. Tesis mancomunada para grado de Ingeniero Químico. Publicación de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, CDMX, México.
- Castillo, M. 2015. Mexicano que creó tecnología para biodiésel va al BID. Sección de emprendedores. Publicado por el periódico Grupo Milenio. CDMX, México.

- Castro, V. 2015. El mercado mundial de los biocombustibles. Departamento de Asuntos Extranjeros. Alimentos Energía Renovable Cosméticos. Publicado por Cámara Argentina de Biocombustibles (CARBIO). Rosario, Argentina.
- Cuevas, R. 2009. Introducción a los reactores químicos. Notas de curso. Administración de Manuales y documentos de la Facultad de Química (AMyD). Publicado por el Departamento de Fisicoquímica de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. CDMX, México.
- Couper, J., Penney, J. y Fair, J. 2009. Chemical Process Equipament. Selection and Desing. Pág. 1-812. Gulf Professional Publishing. EE.UU.
- DGCS, 2017. Contará Ciudad Universitaria con planta de biodiésel a final de año. Boletín UNAM-DGCS-154. Publicado por la Dirección General de Comunicación Social de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, CDMX, México.
- Dorado, P., Ballesteros, E., Almeida, J., Schellet, C., Lohrlein, H. y Krause, R. 2002. An alkalicatalyzed transesterification process for high free fatty acid oils. Trans. **ASAE**. 45(3): 525–9.
- Dufey-Annie, 2006. Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas. Earthprint Limited. Pág. 1-69. International Institute for Environment and Development, Reino Unido.
- Dufour J. 2009. Catalizador ecológico para la producción de biodiésel. Sección de Energía y sostenibilidad. Publicación de Fundación para el conocimiento Madrid. Madrid, España.
- EFT, 2009. American and European Biodiésel Quality Standards. Publicación por EuroFuelTech. Salford, Reino Unido.
- Evangelista, A., Alcántar, F., Ramírez, N., Cohen, A., Robledo, J. y Cruz, M. 2014. Diseño de un proceso continuo de producción de biodiésel. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**.

2(13): 483-491. Publicación de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. CDMX, México.

- FAO, 2013. La Bioenergía en América Latina y El Caribe. Oficina Regional para América Latina Y El Caribe. Publicación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Santiago, Chile.
- Farfán, L. 2013. Diseño para un sistema de gestión de aceites vegetales usados en cañete para producir biodiésel. Repositorio institucional PIRHUA. Área departamental de ingeniería industrial y de sistemas. Publicado por la Facultad de Ingeniería Universidad de Piura. Lima, Perú.
- Fernández, N. 2002. Manual de proyectos. Editado por la Junta de Andalucía. Consejería de Gobernación. Almería, España.
- Flores, M. y Rojas, A., 2009. Efecto de la proporción de mezclas biodiésel/petrodiésel en el desempeño mecánico-ambiental de motores. *Ingeniería y competitividad*. 2(11): 63-78.
- FNBC, 2001. Biocombustibles: Bioetanol y Biodiésel. Boletín N°165. Área de Diseño y desarrollo. Publicado por Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Ganduglia, F., León, J., Gaparini, R., Rodríguez E., Huarte, G., Estrada, J. y Filgueiras, E. 2009. Manual de biocombustibles. Sección 2. Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en la Latinoamérica y el Caribe. Comité de refinería (ARPEL) Publicación del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Montevideo, Uruguay.
- García, D. y Jáuregui, U. 2006. Hidrodinámica en tanques agitados con turbinas de disco con paletas planas. Revista Facultad de Ingeniería. 38: 97-113. Publicada en el Departamento de Desarrollo Tecnológico. Centro Química Farmacéutica. Habana, Cuba.

- García, J. y Laborda, A. 2006. Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol. Editado por Elecé Industria Gráfica. Vol. 4. pág. 32-101. Madrid, España.
- Geankoplis, C. 1998. Procesos de transporte y operaciones unitarias. Editado por Continental. 3ª edición. Pag. 1-1024. México.
- Google, 2018. Central de Abastos de la CDMX Delegación Iztapalapa. Publicado por Google LLC. CA, EE.UU.
- Grey, C., Ortega, C., Mercado, R., Cardozo, A. 2014. Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. *Prospect magazine*. 12(2): 90-104.
- Hamelinck, C. y André P. 2006. Production of advanced biofuels. *INTERNATIONAL SUGAR JOURNAL*. 1287(108):168-175.
- Herrera, A., Domínguez, A. y Mercelín, R. 2014. Reactores químicos continuos en la cinética química no lineal. SOMI Congreso de instrumentación. Edición 29. Información Publicada por el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT) de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, CDMX, México.
- Herrera, M. y Palomino, G. 2012. Resinas de intercambio iónico: Desarrollo tecnológico aplicado para la eliminación de olor de metanol puro. *Tecnología, Ciencia, Educación*. 1(27): 24-35. Publicación por el Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C. Monterrey, Nuevo León, México.
- Hincapié, G., Moreno, A. y Lopez, D. 2011. Transesterificación de aceites de higuera cruda utilizando catalizadores heterogéneos - estudio preliminar. *DYNA*. 169 (78):176-181. Publicada por la Universidad Nacional de Colombia.
- Iborra, M., Tejedo, J. y Cunill, F. 2013. Reactores multifasicos. Apuntes de Catálisis y Cinética Aplicada. Publicación de la Universidad de Barcelona. Barcelona, España.

- Izaguirre, J. 1997. Diplomado en ingeniería de calderas y recipientes sujetos a presión. Calderas de potencia. División de Educación Continua. Publicación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, CDMX, México.
- Jachmanián, I. 2000. Propiedades del biodiésel. Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Publicado por la Facultad de Química de la Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay.
- Lamoureux, J. 2007. Diseño conceptual de una planta de biodiésel. Licenciatura de Ingeniero Civil Mecánico. Memoria de investigación. Departamento de Ingeniería Mecánica. Publicación de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Lara, F., Ramírez, A. y Pérez, S. 2005. Informe Climatológico Ambiental del Valle de México. Publicación de la Secretaria del Medio Ambiente. CDMX, México.
- López, L., Bocanegra, J. y Malagón, D. 2015. Production of biodiésel from waste cooking oil by transesterification. *Ingeniería y Universidad*. 19(1) 155-172. Publicada por Scielo.
- Lorenzo, R. 2015. Informe biodiésel 2015. Oficinas de Madrid. Publicado por Infinita renovables. Galicia, España.
- Machicado, F., Gutiérrez, M. 2016. Estudio de localización de un proyecto. *Ventana Científica*. 11(7): 29-33.
- Medina, M., Ospino, Y. y Tejada, L. 2014. Esterificación y trasesterificación de aceites residuales para obtener biodiésel. *Luna Azul*. 40: 25-34. Publicada por Scielo.
- MEM, 2018. Precios de biodiésel. Publicación del Ministerio de Energía y Minería. Presidencia de la Nación. Buenos Aires, Argentina.

- Mendoza, M., 2007. Metodología para la administración de proyectos: Una nueva cultura de trabajo. *InnOvaciOnes de NegOciOs*. 4(1): 36-61. Publicación de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México.
- Minsal, D. y Pérez, Y. 2007. Organización funcional, marcial...En busca de una nueva estructura adecuada para la organización. *Acemed*. 16(4): 1-14.
- Mittelbach, M. y Enzelsberger, H. 1999. Transesterification of heated rapeseed oil for extending diesel fuel. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76 (5):545-550.
- Moreira, E. 2012. Las materias primas utilizadas en la producción de biodiésel: La influencia del contenido y la concentración de los ácidos grasos. *INGENIUM*. 25(1): 1-61.
- Mosqueda, S., Giraldo, A., Ospina, M. y Vélez, E. 2016. Biocombustibles a partir de materia orgánica. Experimentación e investigación de la sección Química. Publicado por Institución Educativa San Juan Bosco. Medellín, Colombia.
- MS, 2017. Inventory Index Factors for 2017. *Chemical Engineering*. Recopilación de factores desde el 2014 al 2017. Index Code A-S. Pág. 1-13.
- Mulongoy, K., Gianinazzi, S., Roger P. y Dommergues, Y. 2013. Biofertilizers: agronomic and environmental impacts and economics. Publicado por Biotechnology: Economic and Social Aspects: Issues for Developing Countries. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra.
- Muños, M. 2017. Biodiésel avanzado para México. Agencia informativa. Publicación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). Guadalajara, Jalisco, México.
- Muños, P. 2013. Estudio técnico-económico de una planta de producción de biodiésel. Tesis de Licenciatura de Ingeniería de Minas. Departamento de Sistemas Energéticos. Escuela

Técnica Superior de Ingeniería de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

- National Biodiesel Board (NBB), 2014. Biodiésel: General Properties. Publicación del Departamento de Energía de EE. UU. Washington, EE.UU.
- NOM-001-SEDE-2012. Instalaciones eléctricas (utilización) (continua en la segunda sección). Norma Oficial Mexicana. CDMX, México.
- Ocampo, W. 2002. Fundamentos de procesos industriales. Anotaciones de curso para Ingenieros Químicos. Publicación de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana. Santiago de Cali, Colombia.
- Olga, P. 2015. Atlas de la agroenergía y los biocombustibles: Biodiésel. Programa hemisférico de agroenergía y biocombustibles. Publicado por Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica.
- Ortega, L. 2016. Máster en Gestión de Calidad y Reingeniería de Procesos. Segunda semana, Documento de Estudio. Publicación de la Escuela de Organización Industria (EOI). Madrid, España.
- Peña, R. 2001. Gestión de proyectos. Blog de notas. Sección de administración. Publicación de gestiopolis. Bogotá, Colombia.
- Peters, M., Timmerhaus, K. y West, R. 2004. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Editado por McGraw-Hill. Fourth Edition. Pag. 910. Nueva York, EE.UU.
- PDVSA, 1983. Manual de Ingeniería de Riesgos. Separación de entre equipos e instalaciones. Publicación de Petróleos de Venezuela. Gobierno Bolivariano de Venezuela.

- Pineda, C. y Guerrero, E. 2011. Aprovechamiento de los residuos grasos generados en los restaurantes y comidas rápidas de Pereira. **Scientia Et Technica**. 47 (17): 264-269. Publicación de la Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- Polhill, R. 2015. The Papilionoideae. Por Polhill, R. M.; Raven, P. H. Advances in Legume Systematics part 1. Editado por The Chicago Manual of Style. Pag. 1- 1,050. Publicado por Royal Botaniic Gardens, Estados Unidos.
- Ramírez, D. 2011 Evaluation of the performance of a stationary diesel engine using biodiesel/diesel fuel blends for the environmental conditions of Cali. Publicado en memorias de EUPEC 2011-Energy, Utility & Environment Conference. Phoenix Convention Center. Estados Unidos.
- REG, 2015. Petróleo y mezcla de combustibles: biodiésel. Información de difusión. Publicado por Renewable Energy Group. Estados Unidos.
- Reza, C. 1989. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. Editado por McGraw-Hill. Pág. 1-215. CDMX, México.
- Rionda, R., Muños, L., Guerrero, L., Rodriguez, F., Ubaldo, A. y Ramos, B. 2016. Prospectiva de energías renovables 2016-2030. Secretaria de Energía (SENER). CDMX, México.
- Ríos, L. y Mustafá, Y. 2008. Guías prácticas para los sistemas de flujo. **Scientia et Technica Año XIV**. 40: 250-255.
- Roel, R. 2015. Guía de Seguridad en Procesos de Almacenamiento y Manejo de Cargas. Edita FREMAP. Manual n°61. Publica la Secretaria de Estado de la Seguridad Social del Ministerio de Empleo y Seguridad Social. España.

- Rodríguez, G. y Ribeiro, M. 2002. Estudio comparativo entre el combustible diésel y biodiésel. Extensión del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Publicación de la Universidad Politécnica de Tecámac (UPT). Estado de México, México.
- Rosas, P. 2001. La inversión europea en la industria energética de América Latina. Serie de seminarios y conferencias N°10 (LC/L. 1557-P). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de la Naciones Unidas. Santiago, Chile.
- Salcedo, R., Martín, I. y Font, R. 2011. Mecánica de fluidos. Tema 2. Impulsión de fluidos. Editado por Universidad de Alcalite. Pág. 1-64. California, Estados Unidos.
- Sparano, H. 2011. Impacto de las áreas de conocimiento de la administración de proyectos a través del PMBOK 2008. **Dimens. Empres.** 1(9): 64-73.
- Taboada, L. y Osnaya, S., 2009. El diésel para autotransporte en México. Situación actual y prospectiva. **Revista El Cotidiano.** 157: 65-74.
- Tapia, P. y Valadez, R. 2017. Biodiésel a la espera de brillar en México. Sección de negocios. Publicado por el periódico Grupo Milenio. Puebla, México.
- Yang, L., Zhang, A. y Zheng, X. 2009. Shrimp Shell Catalyst for Biodiesel Production. **Energy Fuels.** 23(8): 3859-3865.
- Wu, X. y Leung, D. 2011. Optimization of biodiesel production from camelina oil using orthogonal experiment. **Applied Energy.** 88(1): 3615-3624.
- Zhang, Y., Dubé, M., McLean, D. y Kates, M. 2003. Biodiesel production from waste cooking oil. Process desing and technological assessment. **Bioresource technology.** 89(1): 1-16.