



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS:

**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE BIODIÉSEL EN MÉXICO
VIA FEL I.**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA:

ANA KAREN BRITO LUVIANO



Ciudad Universitaria, Cd. Mx. 2017



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: **Profesor: JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ**

VOCAL: **Profesor: ALEJANDRA MENDOZA CAMPOS**

SECRETARIO: **Profesor: JOSE ARTURO MORENO XOCHICALE**

1er. SUPLENTE: **Profesor: JESUS ENRIQUE VARGAS MENDRANO**

2° SUPLENTE: **Profesor: LUIS ANGEL MORENO AVEDAÑO**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

FACULTAD DE QUÍMICA, C.U., CDMX, MÉXICO.

ASESOR DEL TEMA:

JOSE ARTURO MORENO XOCHICALE

SUSTENTANTE:

ANA KAREN BRITO LUVIANO

**“...Hold your own, know your name and go
your own way”**

-Dan Wilson y Jason Mraz

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por todas las oportunidades que me ha brindado y por la fortaleza que me otorga para seguir adelante cada día.

Quiero agradecer principalmente a mi mamá por todo su apoyo, por acompañarme a hacer el examen de ingreso y porque fue ella quien me animó a elegir a la UNAM como mi universidad. A mi papá porque su ejemplo de trabajo y perseverancia ha sido mi motor para levantarme aquellas veces que pensé en darme por vencida.

A mi hermana, Magaly por cuidar a mi mamá y ayudarla siempre.

A mi hermano, David porque, aunque no lo diga me ha demostrado que cree en mí.

A Mateo, mi sobrino por llenar de alegría la casa, por todas esas veces que me visitaba para preguntar si ya había terminado mi tarea (la tesis). Te quiero mucho.

A mis amigos: Daniela, Alejandro, Humberto, Citlalli y Daniel, por todas las fiestas y las risas que hicieron mucho más fácil y divertido mi paso por la facultad.

A Clau por estar ahí cuando sufría por materias y exámenes.

A Arturo por escucharme, por ayudar a entenderme. Gracias.

Agradezco a Elías Martínez y a Arturo Moreno por su ayuda y guía durante la elaboración de este trabajo y a TechnipFMC por la información otorgada.

Finalmente quiero agradecer a la Facultad de Química con el compromiso de poner tu nombre en alto y a la UNAM por ser la mejor, ya me llevo un cachito de ti.

ÍNDICE

Índice de abreviaturas.....	i
Índice de figuras.....	iii
Índice de tablas.....	v
Índice de Gráficas.....	viii
Capítulo I.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	1
Justificación.....	2
Objetivo general.....	3
Metodología.....	3
Capítulo II.....	4
2.1. Metodología Front End Loading.....	4
2.1.1. Etapas de la metodología FEL y sus componentes.....	5
2.2. FEL I y la viabilidad de un caso de negocio.....	8
2.3. Desarrollo de la primera etapa de la metodología FEL para la instalación de una planta de producción de biodiesel.....	8
Capítulo III.....	10
Marco Legal.....	10
3.1. Importancia del marco legal en los procesos de ingeniería.....	10
3.2. Principales leyes y normas en relación a la producción de biodiesel en México.....	11
3.3 Marco legal y su alineación con los objetivos del proyecto.....	11
3.4. Otros apoyos gubernamentales a la producción y consumo de biocombustibles en México.....	12
Capítulo IV.....	14
Marco Teórico.....	14
4.1. Biocombustibles.....	14
4.2. Biodiésel.....	15
4.3. Materias Primas.....	15
4.3.1. Piñón Mexicano.....	15
4.3.2. Higuera.....	18

4.4. Composición y características fisicoquímicas de los aceites.	21
4.5. Proceso de producción del biodiesel.....	25
4.5.1 Esterificación.....	26
4.5.2 Transesterificación.....	26
4.5.3 Transesterificación catalítica del biodiesel.....	27
4.6. Ventajas y desventajas del uso del biodiesel.....	33
Capítulo V.....	35
Estudio de Mercado.....	35
4.1. La dificultad del estudio de Mercado de biodiesel.....	36
5.2.1 Definición del Producto.....	36
5.2.2. Análisis de la demanda.....	38
5.2.3. Selección del mercado objetivo.....	39
5.2.4. Mercado del diésel en el sector transporte.....	43
5.2.5. Mercado de diésel en el sector agropecuario.....	45
5.2.6. Oferta y demanda histórica del diésel en México.....	45
5.2.7. Precios del diésel y el biodiesel en México y el Mundo.....	48
5.2.8. Proyección de la oferta, la demanda y el precio del diésel.....	53
5.2.9. Proyección del consumo del sector agropecuario y el sector transporte. 57	
5.3. Escenarios de la posible demanda del biodiesel B5, B20 y B100.....	59
Capítulo VI.....	61
Estudio técnico y evaluación de tecnologías para la producción de biodiesel.....	61
6. Métodos para la producción de biodiesel y descripción de las tecnologías existentes.....	61
6.1.1. Evaluación de la materias prima y de la tecnología para la producción de biodiesel.....	63
6.1.2 Evaluación de la materia prima.....	64
6.1.3. Resultados de la Evaluación de la materia prima.....	66
6.2. Evaluación de las tecnologías de producción de biodiésel.....	68
6.3. Análisis y determinación del tamaño óptimo de la planta.....	74
6.3.1. Resultados de la determinación de la localización óptima de la planta....	74
6.4. Memoria de calculo.....	75
6.4.1. Reactores.....	75

6.4.2 Intercambiadores de calor.....	76
6.4.3 Flash	76
6.4.5 Decantador.....	77
6.4.6 Columna de destilación	78
6.5. Balance de Materia y Balance de Energía	81
6.6 Bases de diseño	86
6.6.1 Especificaciones de la planta de producción de Biodiésel	86
I. Descripción del proceso.....	86
II. Especificaciones de la reacción.....	86
III. Especificaciones de Alimentación.....	86
IV. Especificaciones de los productos.....	87
V. Condiciones de entrada y de salidas del proceso.	87
VI. Capacidad de la planta y sitio de localización.	87
6.6.2 Condiciones ambientales de sitio de la planta	88
6.6.3 Criterios de diseño.	88
6.6.4. Lista de leyes, normas y reglamentos.....	89
6.6.4.1 Biodiésel	89
6.6.4.2 Equipos de proceso, control e instrumentación de planta.....	89
6.7 Diagrama de flujo de procesos.....	91
6.8. Diagrama de tuberías e instrumentación	92
6.9. Plot Plan.....	96
Capitulo VII.....	98
Estudio y evaluación económica de la producción del biodiésel en México.....	98
7.1. Estimado de costos de capital fijo	98
7.2 Estimado de costos de producción	101
7.3. Análisis de la rentabilidad del proyecto	102
7.4. Plantas de biodiésel en el mundo y su costo de inversión.	105
Capitulo VIII.....	108
Evaluación del impacto ambiental	108
8.1 Ciclo de vida del biodiésel.....	108
8.1.1 Cultivo de Jatropha.	109
8.1.2. Extracción de aceite	110

8.1.3 Producción de biodiésel.....	110
Capitulo IX.....	112
Impacto de la producción de biodiésel en el desarrollo económico nacional, análisis de resultados y conclusiones.....	112
9.1. Análisis de resultados	112
9.1.1 Análisis de resultados de estudio de Mercado	112
9.1.2. Análisis de resultados del estudio técnico.....	112
9.1.3. Análisis del resultados de estudio económico.....	113
9.1.4. Análisis de resultados del impacto ambiental.....	114
9.2. Impacto de la producción de biodiésel en desarrollo económico nacional.....	114
9.3. Conclusiones.....	115
9.4. Recomendaciones.....	117
Bibliografía	118
ANEXOS	125

Índice de abreviaturas

ARIMA *Modelo autorregresivo integrado de media móvil*

BANAMEX *Banco de México*

BCB *Banco Central de Brasil*

BLE *Agencia federal de agricultura y alimentos (Alemania)*

CaO *Óxido de calcio*

CO₂ *Dióxido de Carbono*

CONUEE *Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía*

CEPCI *Índice de costos para plantas químicas (Chemical Engineering Plant Cost Index)*

CRE *Comisión Reguladora de energía*

CFPP *Cold filter plugging point (punto de obstrucción de filtros en frío)*

DOF *Diario oficial de la federación*

DTI *Diagrama de tuberías e instrumentación*

EPA *Environmental Protection Agency (Agencia ambiental de los Estados Unidos)*

FEL *Front end loading (Carga frontal)*

FFA *Ácidos grasos libres*

GEI *Gases de efecto invernadero*

INEGI *Instituto nacional de estadística y geografía*

INIFAP *Instituto Nacional de Investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias*

KOH *Hidróxido de potasio*

MgO *Óxido de magnesio*

NaOH *Hidróxido de Sodio*

NO_x *Óxidos de Nitrógeno*

NRLT *Non-Random two liquid model*

PEMEX *Petróleos Mexicanos*

PFR *Plug flow reactor (reactor de lecho fluidizado)*

PJ *Petajoules*

PPM *Partes por millon*

PMR *precio medio rural*

SAGARPA *Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación*

SEFIPLAN *Secretaría de finanzas y planeación del estado de Veracruz*

SENER *Secretaría de energía*

SIAP *Servicio de información agroalimentaria y pesquera*

SOx *Óxidos de azufre*

SPSS *Producto de Estadística y Solución de Servicio*

UFOP *Unión para la promoción de aceite y la proteína de las plantas*

UNIFAC LL *Metodo de Grupos Funcionales de Coeficientes de Actividad para líquidos.*

INIFAP *Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias.*

Índice de figuras

Fig. 1	Curva de Influencia vs gasto en las etapas de un proyecto de ingeniería	5
Fig. 2	Diagrama de las etapas de la ingeniería de proyectos y su relación con la metodología FEL	7
Fig. 3	Diagrama de Flujo de las etapas del trabajo de tesis.	9
Fig. 4	Jerarquía Jurídica Mexicana.	10
Fig. 5	Emisiones de CO ₂ por la combustión de combustibles.	11
Fig. 6	Mapeo de las áreas con potencial para el cultivo de Jatropha Curcas en México	17
Fig. 7	Potencial productivo de Jatropha Curcas en México	18
Fig. 8	Mapeo de las áreas con potencial para el cultivo de Higuierilla en México	20
Fig. 9	Potencial productivo de higuierilla en México	21
Fig. 10	Reacción de esterificación	26
Fig. 11	Reacción de Transesterificación	27
Fig. 12	Diagrama de flujo general para catálisis homogénea	28
Fig. 13	Diagrama de flujo de biodiésel para catálisis heterogénea	29
Fig 14.	Comparación de precios entre B20 y diésel fósil	51
Fig. 15	Comparación de precios entre diésel fósil y B99/B100	51
Fig. 16	Precio histórico mensual de combustibles alternativos en Alemania	52
Fig. 17	Materias primas utilizadas para la producción de biodiesel en Alemania	52
Fig. 18	Clasificación gráfica de las materias primas. Promethee I	67
Fig. 19	Clasificación gráfica de las materia primas. Promethee II	68
Fig. 20	Evaluación de las tecnologías mediante la aplicación Promethee I	73
Fig. 21	Clasificación gráfica de las tecnologías de producción de biodiésel	73
Fig. 22	Clasificación de gráficas de sitios de localización de la planta	75

Fig. 23	Diagrama de flujo de Aspen versión 8.8	80
Fig. 24	Reacción de transesterificación	86
Fig. 25	Diagrama de flujo de procesos	91
Fig. 26	D.T.I. de la planta de producción de biodiésel	92
Fig 27	D.T.I. de la planta de producción de biodiésel	93
Fig 28	D.T.I. de la planta de producción de biodiésel	94
Fig. 29	D.T.I. de la planta de producción de biodiésel	95
Fig. 30	Vista Satelital del lugar elegido para la localización de la planta	96
Fig. 31	Plot-plan de planta de producción de biodiésel	97
Fig. 32	Etapas de producción de biodiésel	108

Índice de tablas

Tabla 1	Requerimientos de la zona geográfica para el cultivo de <i>Jatropha curcas</i> en México	16
Tabla 2	Requerimientos de la zona geográfica para el cultivo de Higuierilla en México	19
Tabla 3	Composición de ácidos grasos de los aceites provenientes de los cultivos oleaginosos de <i>Jatropha Curcas</i> e Higuierilla	22
Tabla 4	Propiedades fisicoquímicas de los aceites que influyen en la calidad del biodiesel	24
Tabla 5	Resumen del efecto de los parámetros estructurales en las propiedades básicas de los alquilésteres	25
Tabla 6	Especificaciones para el biodiesel. Norma EN 14214-03	32
Tabla 7	Especificaciones para el biodiesel. Norma ASTM 6751	33
Tabla 8	Ventajas y desventajas del biodiesel	35
Tabla 9	Clasificación de los biocombustibles	38
Tabla 10	Descripción de nombre de la mezcla de acuerdo a porcentajes de biodiesel	38
Tabla 11	Consumo final total de Energía.	40
Tabla 12	Consumo energético por sector.	40
Tabla 13	Demanda de diésel por sector hasta 2014	42
Tabla 14	Volumen de producción y de ventas de diésel en México; datos históricos	46
Tabla 15	Precio del diésel en diferentes países donde también se produce biodiesel.	50
Tabla 16	Comparativa de precios de combustibles.	53
Tabla 17	Resultados de los modelos encontrados para cada serie de datos de oferta, demanda y precio	54
Tabla 18	Demanda potencial insatisfecha de diésel en México	57

Tabla 19	Resultados de los escenarios para mezclas biodiésel- diésel	59
Tabla 20	Proceso de producción de biodiesel	62
Tabla 21	Criterios para evaluación de materia prima de primer uso	65
Tabla 22	Criterios y porcentajes para evaluación de materias primas	66
Tabla 23	Resultados de evaluación de materia prima	66
Tabla 24	Criterios técnicos de evaluación de tecnologías	70
Tabla 25	Criterios ambientales de evaluación de tecnologías	70
Tabla 26	Criterios económicos de evaluación de tecnologías	71
Tabla 27	Criterios y porcentajes para evaluación de tecnologías.	72
Tabla 28	Resultados de evaluación tecnológica	72
Tabla 29	Criterios de evaluación para la localización de la planta.	74
Tabla 30	Razón L/D según presión de tanque separador	77
Tabla 31	Identificación de la fase dispersa	78
Tabla 32	Resultados de materia y energía 1	82
Tabla 33	Resultados de balance y energía 2	83
Tabla 34	Resultados de balance y energía 3	84
Tabla 35	Característica del catalizador ZnAl ₂ O ₄	86
Tabla 36	Composición de las corrientes de los productos.	87
Tabla 37	Parametros ambientales de Tuxpan, Veracruz	88
Tabla 38	Dimensiones de equipos obtenidas por la simulación	89
Tabla 39	Resultado del estimado de costos de capital	98
Tabla 40	Costo por equipo de procesos y almacenamiento	100
Tabla 41	Resultados del estimado de costos para una año producción.	102
Tabla 42	Resultados de indicadores de la rentabilidad del proyecto	103
Tabla 43	Flujo de efectivo durante 10 años de proyecto	104
Tabla 44	Plantas de biodiésel en el mundo	107

Tabla 45	Inventario de Emisiones de la materia prima y servicios utilizados en el proceso	109
Tabla 46	Cantidad de recursos necesarios por hectárea para el cultivo de Jatropha en México	110
Tabla 47	Resultados de las emisiones asociadas a la extracción de aceite de Jatropha	110
Tabla 48	Resultados de las emisiones de CO ₂ en la etapa de producción de biodiésel.	111
Tabla 49	Resumen de resultados	117

Índice de Gráficas.

Gráfica 1	Consumo energético por sector	40
Gráfica 2	Consumo por tipo de combustible ene le sector transporte	41
Gráfica 3	Demanda de petrolíferos por sector	42
Gráfica 4	Consumo de diésel energético total por sector 2014	43
Gráfica 5	Consumo de diésel en sector transporte	43
Gráfica 6	Parque vehicular total	44
Gráfica 7	Crecimiento del parque vehicular de diésel 2004-2012	44
Gráfica 8	Consumo energético de diésel por transporte marítimo	45
Gráfica 9	Consumo energético del sector agropecuario	45
Gráfica 10	Producción de diésel y volumen de ventas de diésel	46
Gráfica 11	Importación de diésel a México en miles de barriles diarios	47
Gráfica 12	Valor de las ventas internas de diésel en México	47
Gráfica 13	Valor de las importaciones de diésel	48
Gráfica 14	Precio histórico del diésel	49
Gráfica 15	Proyección de la demanda de diésel en México en mbd	54
Gráfica 16	Proyección del consumo de diésel por SENER	55
Gráfica 17	Proyección de la oferta de diésel	56
Gráfica 18	Proyección de la oferta y la demanda de diésel	57
Gráfica 19	Proyección del consumo de diésel en en el sector agropecuario	58
Gráfica 20	Proyección del consumo de diésel en en el sector transporte	58
Gráfica 21	Costo en los límites de batería	99
Gráfica 22	Inversión fija	101

Capítulo I

1.1 Introducción

En México existe una alta demanda de combustibles fósiles principalmente de gasolina y diésel utilizados en el transporte, esta demanda no ha sido cubierta por el mercado nacional y en cambio se ha reducido la oferta en los últimos años por lo que se ha optado por la importación de estos productos petrolíferos para cubrir la demanda insatisfecha. Por otro lado, como se sabe la quema de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero, estos gases son los principales causantes del calentamiento global.

El biodiésel, un biocombustible proveniente de la transesterificación de los aceites vegetales, se presenta como alternativa para ayudar a disminuir las importaciones, diversificar el mercado energético además de contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero causados por la quema de combustibles petrolíferos.

Para poder conocer si México propicia un escenario adecuado para la realización e inversión en la construcción de una planta de producción de biodiésel. El presente trabajo desarrolla la ingeniería conceptual por medio de la metodología FEL con lo que se busca evaluar el plan de negocio: técnica, ambiental y económicamente para conocer la viabilidad de un proyecto de producción de biodiesel en México.

1.2 Antecedentes

Debido al cambio climático mundial causado por la emisión de Gases de Efecto invernadero por la quema de combustibles fósiles para producir energía, en los últimos años se han venido buscando formas diferentes y de menor impacto al medio ambiente. Una de las soluciones planteadas es el desarrollo y uso de biocombustibles para generar energía, en Europa y Estados Unidos ya existen varias plantas de producción biodiésel en su mayoría de catálisis homogénea, pero también las hay de catálisis heterogénea. (TechnipFMC, 2017)

En México el desarrollo y uso de biocombustibles aún se encuentra en una etapa temprana. En el 2008 se creó el Plan de Integración y Desarrollo Mesoamericano con el fin de lograr una mayor integración, desarrollo y cooperación entre Centroamérica y la zona sur y sureste de México. En su línea energética, entre otras cosas, pretende un mayor desarrollo e investigación en el área de los biocombustibles; para apoyar este plan se instauró la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos y su correspondiente reglamento. (Programa de Investigación en cambio climático, UNAM., 2014)

En este entorno político, como parte de la administración del Gobierno de Jaime Sabines en el estado de Chiapas (2006-2012), se ejecutó el programa conocido como “Chiapas Bioenergético”, en el que se planteaba la siembra de *Jatropha curcas*, el desarrollo de una planta de fabricación de biodiesel a partir del aceite

extraído de esta planta y el uso de este biocombustible en el transporte público de Tuxtla Gutiérrez y Tapachula. (Rodríguez J., 2014) .

Con este proyecto se logró construir y poner en operación una planta de extracción de aceite y una planta de producción de biodiésel. El biodiesel producido en este proyecto utilizó como materia prima aceites usados de cocina, aceite de palma y grasas animales; además del aceite extraído de la *Jatropha*. Sin embargo, la planta actualmente no se encuentra en operación, debido a: el cambio de administración de las instituciones, la falta de asesoría técnica a los productores de materia prima y la falta de interés de los factores sociales y culturales del área de localización de la planta. (Rodríguez J., 2014) Lamentablemente el proyecto de Chiapas bioenergético no se encuentra en funcionamiento actualmente.

En cuanto al apoyo en el área de investigación, a partir del Fondo de Sustentabilidad Energética, ayuda a diferentes grupos de trabajos para la elaboración de proyectos de Innovación energética, entre ellos se encuentra el Clúster de biodiesel avanzado, el cual está conformado por centros de investigación universidades y 5 empresas privadas con experiencia en la producción de biodiésel. Estas empresas cuentan con plantas de producción de este biocombustibles en distintos estados del país (CIATEJ, 2017) (Fondo de sustentabilidad Energética Conacyt-Sener, 2017)

Además, existen programas en diferentes universidades para la elaboración de biodiesel y su uso en el transporte escolar. (Hernández, 2016). La Facultad de Ingeniería en conjunto con la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México y la delegación Tlalpan, construirán una planta en Ciudad Universitaria que utilice aceite vegetal usado como materia prima para la producción de biodiésel.

Justificación

El aumento de la población mundial ha provocado una mayor demanda en el consumo de combustibles, lo cual a su vez ha aumentado la emisión de GEI; entre otros problemas ambientales. Esto ha provocado un aumento en la preocupación por los efectos causados al planeta y la salud de los seres vivos. Lo que ha llevado a la comunidad mundial a unir esfuerzos para generar alternativas que ayuden a reducir la contaminación ambiental.

Una de las alternativas propuestas es el uso de energías limpias como lo son los biocombustibles. En países como Inglaterra, Alemania y Nueva Zelanda el uso de biodiesel y bioetanol ya es una realidad.

En los últimos años la legislación mexicana ha buscado implementar la producción y uso de biocombustibles con el fin de contribuir a la diversificación energética, el desarrollo sustentable y apoyar al campo mexicano.

Además en el año 2016, México ratificó su compromiso en materia de cambio climático con el cual se comprometió a disminuir en 25% la emisión de gases de efecto invernadero. (IMCO, 2017)

Por todo lo anterior se propone la evaluación de un proyecto de producción de biodiésel, con el que se logrará conocer si este es viable desde el punto de vista económico, ambiental y tecnológico. Para esto se utilizará la metodología FEL en su etapa inicial, el cuál permite evaluar el caso de negocio y la perspectiva del proyecto para definir si éste es viable.

Objetivo general.

Desarrollar la metodología FEL I para definir la viabilidad de la instalación de una planta de producción de biodiesel en México en conformidad con el marco legal y normativo mexicano de acuerdo a las necesidades del país.

Metodología.

- Implementar la metodología FEL I para la evaluación del desarrollo del proyecto y la viabilidad del negocio.
- Realizar un estudio de mercado para evaluar el potencial comercial del biodiesel.
- Evaluar la materias primas que pueden ser utilizadas según el marco legal para la producción del biodiesel.
- Seleccionar el sitio de ubicación de la planta con base en la materia prima elegida y el sector de mercado objetivo
- Evaluar las tecnologías y definir cuál es la más apropiada.
- Definir la capacidad de producción de la planta
- Realizar un diseño preliminar para dimensionar la planta y el terreno requerido para su instalación.
- Realizar un estimados de costos clase V (-30% a +50%).
- Realizar el análisis ambiental de los desechos de la planta de producción de biodiesel.

Capítulo II

2.1. Metodología Front End Loading

Un proyecto de Ingeniería surge para tomar ventaja de una oportunidad de negocio o para cumplir con un mandato de regulación gubernamental, usualmente debido a la preocupación de la protección del medio ambiente. (Pablo Navarrete, 2001)

Un proyecto de Ingeniería presenta las siguientes etapas:

- Ingeniería Conceptual
- Ingeniería Básica
- Ingeniería de detalle
- Procura y Construcción
- Pruebas y Arranque.

No obstante, antes de emprender un proyecto es indispensable determinar si ejecutarlo será económicamente y técnicamente viable, es decir, si generará utilidades o brindará la oportunidad de recuperar el capital invertido. Y comparar técnicamente cual es la mejor opción para la producción de biodiésel.

La metodología FEL es una herramienta de gestión de proyectos, donde se busca que los objetivos de los proyectos se alinien con los objetivos del negocio, para desarrollar de manera eficiente el diseño del proceso y el plan de ejecución para lograr los objetivos del proyecto. (Independent Project Analysis. Inc. , 2015)

El FEL es una metodología ampliamente utilizada en Estados Unidos y tiene como ventaja la reducción del riesgo debido al alto flujo de información en las etapas iniciales del proyecto donde aún no se ha invertido gran cantidad de recursos. El FEL incluye una planeación, un diseño preliminar y un diseño detallado en las primeras etapas del ciclo de vida de un proyecto, en el momento en el cual la habilidad de influencia de cambio es relativamente alta y los costos para hacer estos cambios son relativamente pequeños. (Bastianelli L. Yeager Terry, 2016)

Otra característica importante de la metodología FEL es que en cada etapa se hace un estimado de costos con cierto grado de incertidumbre el cual se evalúa para considerar si vale la pena continuar con el proyecto.

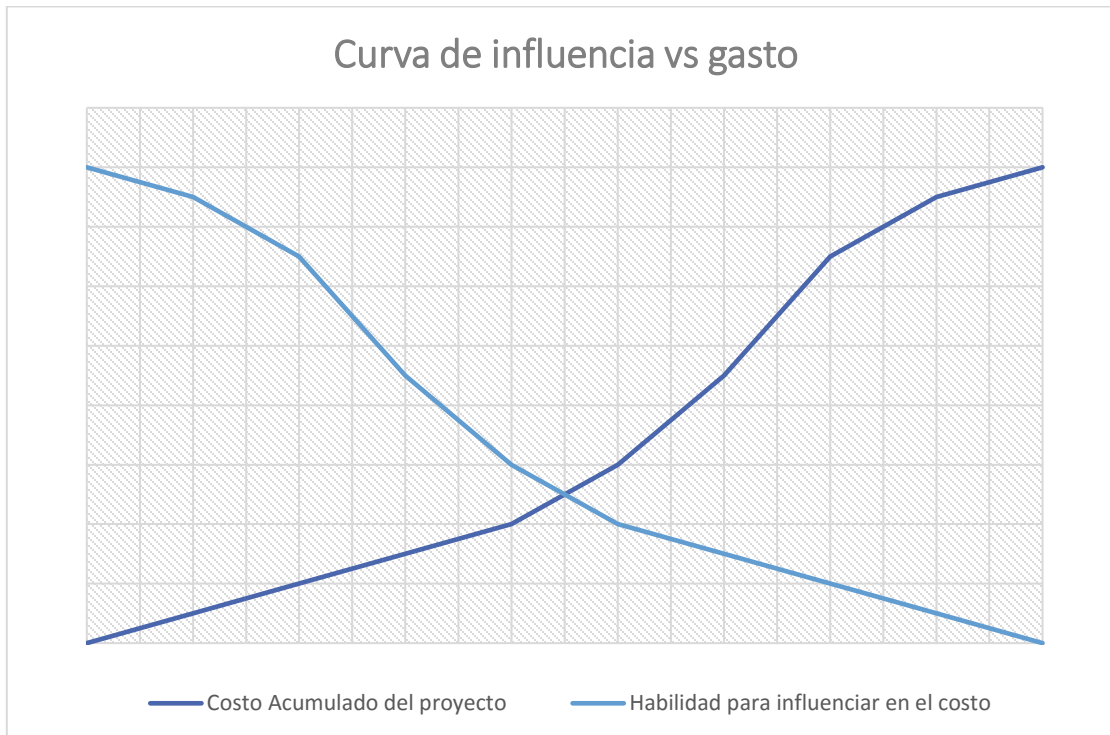


Fig.1 Curva de influencia vs gasto en las etapas de un proyecto de ingeniería. Elaboración propia.

2.1.1. Etapas de la metodología FEL y sus componentes

La metodología FEL permite que un proyecto se diseñe a través de etapas secuenciales, cada etapa de la fase de diseño y acreditación se caracteriza por documentos de ingeniería y estimados de costos; entregables que sirven como base para sustentar el correcto grado de definición del proyecto, así como para tomar decisiones respecto a su continuidad, cancelación o reevaluación.

FEL I

Planeación estratégica que resulta en la identificación de la oportunidad de mercado u otras necesidades operacionales del negocio. El resultado clave es establecer el caso de negocio identificando las necesidades y las expectativas esperadas para perseguir la oportunidad.

En esta etapa del proyecto se desarrolla la ingeniería conceptual; la cual consiste en identificar la viabilidad técnica y económica del mismo. Se definen los requerimientos del proyecto, características termodinámicas y cinéticas del proceso, para posteriormente iniciar con la elaboración de cálculos de equipos y líneas utilizando criterios, especificaciones, normas y procedimientos de ingeniería, con esta base se elaboran los entregables a nivel de ingeniería conceptual FEL I así como el modelo de negocio.

A nivel de Ingeniería Conceptual se generan los siguientes documentos en edición preliminar. (Macin de Santiago, 2012)

- Bases de diseño
- Descripción del proceso
- Balance de Materia y energía
- Diagrama de Flujo de proceso.
- Diagrama de Tuberías, Instrumentación y control.
- Plot plan
- Lista de Equipos y su hoja de datos.

FEL II

Se define la instalación necesaria para los objetivos de negocio por el análisis de alternativas aproximadas que resultaran en la identificación óptima del negocio y las soluciones técnicas para el caso de negocio. La deliberación es la selección de tecnología y el sitio para la inversión de capital.

En esta etapa además se desarrolla la ingeniería básica y se toma como punto de partida la información disponible del proceso generada en la Ingeniería Conceptual. La ingeniería básica define los lineamientos generales e ideas básicas del proyecto, etapa donde la ingeniería se aprueba para diseño. Estas ideas y definiciones del proyecto son los pilares en que se basara la ingeniería de detalle, para la ejecución de los planos constructivos.

Entre los documentos elaborados en la ingeniería básica por el área de procesos se encuentran los siguientes:

- Bases de diseño
- Criterios de diseño
- Descripción del proceso
- Diagrama de Flujo de proceso
- Filosofía de operación y control
- Balance de Materia y Energía
- Diseño y selección de equipo
- Plano de localización general (Plot Plan)
- Requerimientos de Servicios Auxiliares
- Lista de equipo
- Lista de instrumentos
- Índice de servicios
- Lista de líneas
- Hojas de Datos de equipo
- Diagrama de tubería e instrumentación
- Plano de localización general del equipo

Todos estos documentos elaborados con la intervención de todas las especialidades de ingeniería como son: proceso, instrumentación, tubería, mecánico, eléctrico, civil, procura y planeación. (Buendía Díaz J., 2013)

FEL III

Toma la selección del FEL II y la expande a un nivel de ingeniería de detalle para alcanzar las metas de negocio y proyecto identificadas en el FEL I y II. La Ingeniería de Detalle es el conjunto de información que da a conocer: cómo se va a construir la planta e instalar la planta y su aprobación da pie a la etapa de construcción.

La contratación y ejecución de la estrategia son seleccionadas en esta etapa. El resultado clave es la definición del alcance del proyecto, definido en el contrato establecido entre el vendedor del servicio y el contratante el costo y el plan de desarrollo que forman parte del caso base de financiamiento. También establece una línea base de desempeño para la evaluación de la implementación y operación de las fases subsecuentes. Para mejorar el costo del proyecto y la certeza del programa de desarrollo, los dueños desarrollan un alcance de proyecto suficientemente adecuado para dar un presupuesto y un programa preliminar en el cual puedan confiar. (Bastianelli L. Yeager Terry, 2016)

A continuación se presenta un diagrama sobre las distintas etapas y entregables de la metodología Front-end Loading.

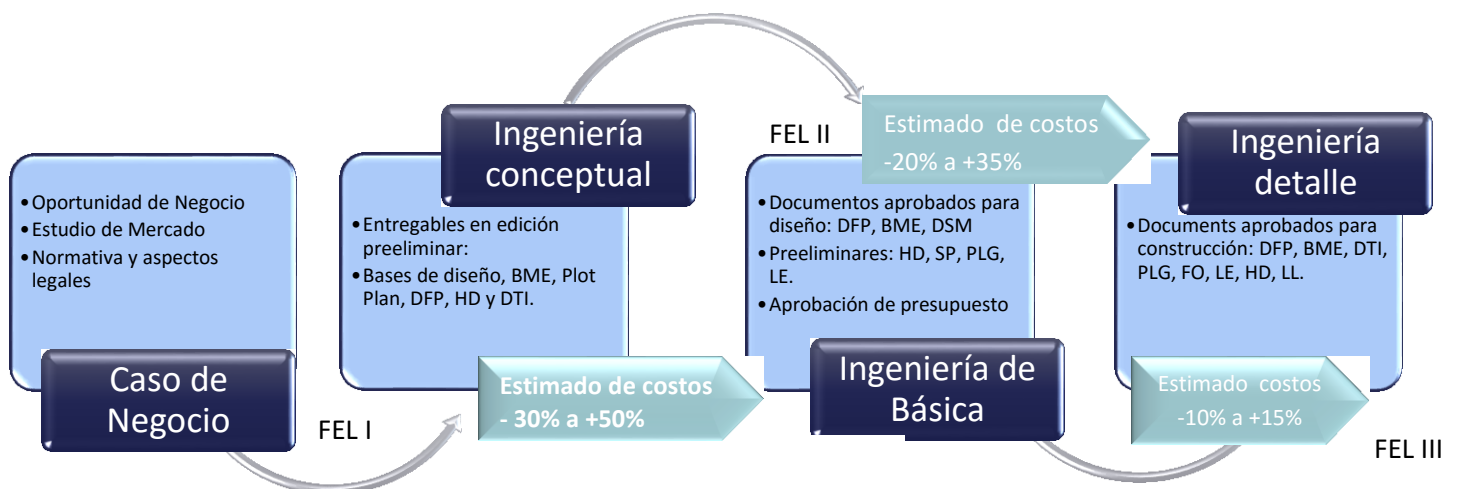


Fig. 2. Diagrama de las etapas de la ingeniería de proyectos y su relación con la metodología FEL.

2.2. FEL I y la viabilidad de un caso de negocio.

Como ya se describió en el apartado anterior en la primera etapa de la metodología FEL lo que se busca es alinear el proyecto con el caso de negocio que se desea realizar. (Pablo Navarrete, 2001)

Un negocio es una actividad que se traduce en un servicio o producto que se percibe como necesario o útil para un determinado grupo de consumidores siempre con un fin lucrativo; al decir que se tiene un caso de negocio es porque se distingue una necesidad que puede ser cubierta por un producto o servicio y un mercado posible el cual los pueda consumir. Una idea de negocio se puede traducir en la ejecución de un proyecto que permita elaborar un producto que busque cubrir una necesidad y que además su elaboración resulte viable, es decir que la inversión se pueda recuperar y se generen utilidades. ¹ (Anaya A. B. R., 2013)

Al evaluar los distintos entregables del FEL I se concluye si vale la pena o no seguir con el proyecto desde el punto de vista del negocio.

2.3. Desarrollo de la primera etapa de la metodología FEL para la instalación de una planta de producción de biodiesel.

El presente trabajo se enfocará en utilizar como guía la metodología FEL I para analizar la viabilidad de la instalación de una planta de producción de biodiesel en México, debido a que en países como Estados Unidos, Alemania y Nueva Zelanda este tipo de proyectos se ejecutan con éxito y resultan una buena alternativa a la demanda energética.

Primero se consultaran fuentes bibliográficas para conocer el estado del arte de las plantas de producción de biodiesel, el marco legal y normativo mexicano y las características de las posibles materias primas a utilizar. Con la información recabada se expondrá la influencia de la materia prima en el proceso y las tecnologías comerciales que se podrían utilizar para la conversión de los aceites en biodiesel.

¹ Se hace hincapié en la palabra “viable” porque al consultar distintas fuentes se utiliza la palabra “factible” y “viable” indistintamente.

Factible: Que se puede hacer

Viable: Dicho de un asunto: Que, por sus circunstancias, tiene probabilidades de poderse llevar a cabo. RAE

En seguida se realizará el estudio de mercado con el cual se limitará el sector objetivo, la competencia con otros combustibles dentro del sector elegido, el precio de venta y la posible demanda del biodiesel.

Una vez definido el caso de negocio, el mercado y el potencial de producción; se procederá con la elaboración de la Ingeniería Conceptual y un estimado de costos nivel V .

La ingeniería conceptual incluirá la ejecución de los documentos entregables y también la estrategia a seguir para la realización del proyecto. Se elaborará también un diagrama de flujo o algoritmo de ejecución como una guía a seguir y que sea aplicable a cualquier tipo de proyecto.

Se finalizará el trabajo con una lista de verificación del cumplimiento de los puntos acordados en el contrato, lecciones aprendidas, áreas de oportunidad, recomendaciones y beneficios. Se espera que por medio de este trabajo se logre demostrar que México es un país que tiene alto potencial para la producción de combustibles no fósiles y que un proyecto de producción de biodiésel representa una oportunidad de negocio y un menor impacto ambiental si se logra disminuir la generación de CO₂.

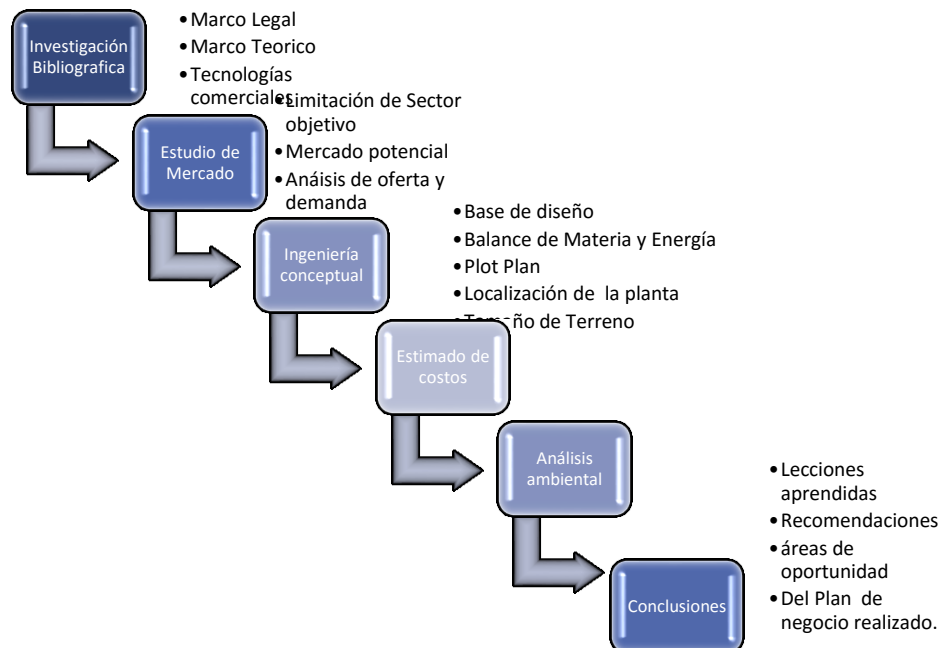


Fig 3. Diagrama de Flujo de las etapas del trabajo de Tesis.

Capítulo III

Marco Legal

3.1. Importancia del marco legal en los procesos de ingeniería.

En un proyecto de Ingeniería es muy importante tomar en cuenta el marco legal, por qué este condiciona el planteamiento y resultado de la viabilidad de cualquier proyecto. Por lo cual es necesario abordarlo de manera correcta y formal para dar congruencia entre lo que está permitido hacer y lo que se desea desarrollar. (Equipo de trabajo de la oficina de planeación Universidad Nacional de Colombia, 2007)

Es importante señalar que el marco legal suele ser complejo; principalmente por dos razones: tiene una jerarquía y se encuentra en constante cambio. En el caso de la legislación mexicana su jerarquía se muestra en la siguiente pirámide (Fig. 4), siendo la constitución la de mayor rango jerárquico.



Fig 4. Jerarquía Jurídica Mexicana

El Marco legal es el conjunto de disposiciones que regulan las acciones del proyecto; en el caso particular del proyecto abordado en este trabajo existen tratados internacionales y leyes mexicanas que sustentan la elaboración de proyectos que ayuden a mitigar los efectos sobre el cambio climático y a generar propuestas para satisfacer la creciente demanda de combustibles.

En las Anexo 1 se enlistan cada uno de los ordenamientos relacionados a la elaboración del proyecto abordado en la presente tesis y en general todos aquellos que norman la producción, quema, distribución y transporte del biodiesel; las cuales son de observación obligatoria.

3.2. Principales leyes y normas en relación a la producción de biodiesel en México.

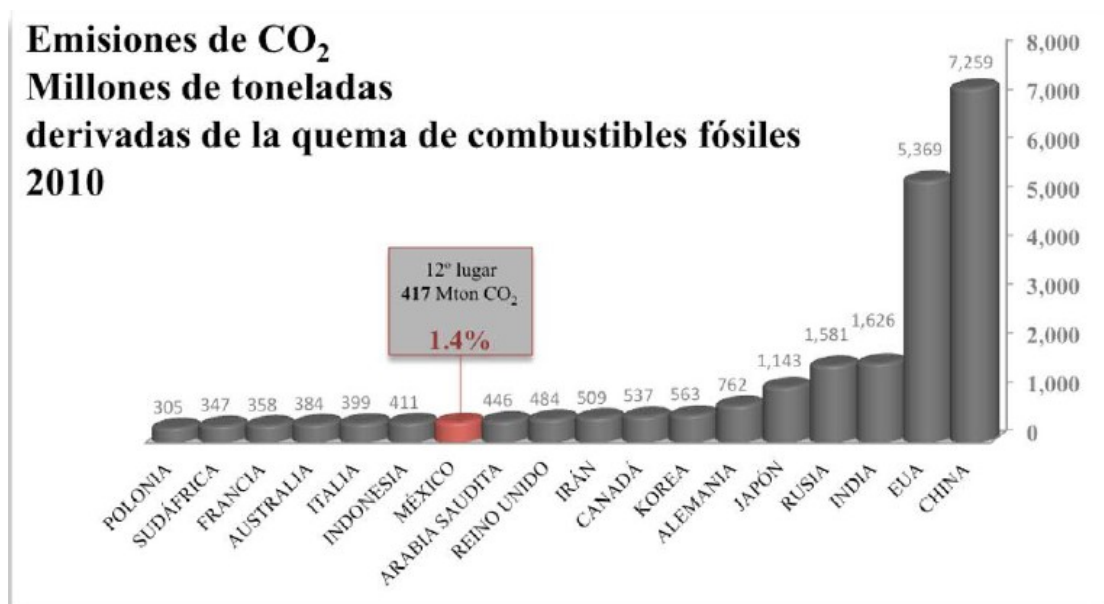


Fig. 5. Emisiones por la combustión de combustibles Agencia Internacional de energía 2012

México en el tratado de París se comprometió a reducir en 25% su emisiones de gases de de efecto invernadero (GEI) y en un 51% la de carbón negro, México es el 12° Emisor de GEI a nivel global.

En México la Ley de promoción y desarrollo de bioenergéticos es la principal reguladora de los proyectos relacionados con la producción de biodiésel y bioetanol.

La norma Mexicana PROY-NMX-AA-174-SCFI-2014, establece los requisitos necesarios para que un proyecto de producción de biodiésel o cualquier bioenergético, sea considerado como sustentable ambientalmente.

Actualmente no existe ninguna norma en México que establezca las propiedades físicas y químicas que debe de tener el biodiésel para ser considerado de calidad, sin embargo se puede recurrir a lo que establece la norma americana (ASTM 675) y la europea (EN 12214) para obtener un combustible que sea pueda utilizar en motores de diésel.

3.3 Marco legal y su alineación con los objetivos del proyecto

Por mandato constitucional y legal es derecho de los mexicanos vivir en un medio ambiente sano y que el estado busque medidas para regular la contaminación atmosférica.

La producción de biodiesel se ve justificada debido a que al ser un combustible renovable y según estudios se demuestra que su uso ya sea como mezcla (B5, B10, B20) con diésel fósil o puro (B100) disminuye las emisiones de los gases de efecto invernadero (FAO , 2008)

Estudios de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, indican que el biodiesel reduce las emisiones de material particulado, hidrocarburo (HC) y monóxido de carbono (CO) de los motores más modernos de diésel. Estos beneficios se dan debido a que el biodiesel tiene 11%de oxígeno en su peso. El oxígeno ayuda a que el combustible se queme de una manera más completa por lo que existen menos emisiones debido al combustible no quemado. (National Renewable Energy Laboratory , 2009)

Otros factores que justifican la elaboración de un proyecto de producción de biodiesel es el beneficio que obtiene las comunidades rurales y el desarrollo del campo por lo que hay un apoyo directo y beneficios de empleabilidad en zonas marginadas del país. Sin embargo y a pesar de que la Ley de promoción y desarrollo de bioenergéticos apoya la producción de biocombustibles como el biodiésel no existe una meta fija de cuales es el porcentaje de bioenergéticos de lo que se debe de utilizar nacionalmente por lo que es necesario que exista una ventaja monetaria sobre los combustibles fósiles para que los consumidores se vean atraídos al uso de combustibles alternos.

3.4. Otros apoyos gubernamentales a la producción y consumo de biocombustibles en México.

- 1. Estrategia nacional para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de energía 2013-2027:** Mecanismo mediante el cual el Estado Mexicano impulsará las políticas, programas, acciones y proyectos encaminados a conseguir una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias; promover la eficiencia y sustentabilidad energética; así como la reducción de la dependencias de México de los hidrocarburos como fuente primaria de energía. (Secretaría de Energía, 2016)
- 2. Fondo para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía 2011:** Es un instrumento de política pública de la secretaría de energía con el objetivo de apoyar la Estrategia Nacional para la transición Energética y el aprovechamiento Sustentable de la Energía. (Secretaría de Energía, 2016)

3. Fondo sectorial CONACYT SENER de sustentabilidad energética 2014:

Es un fideicomiso creado para atender las principales problemáticas y oportunidades en materia de Sustentabilidad Energética del país. Y tiene como objetivo impulsar la investigación científica y tecnológica aplicada, así como la adopción, innovación, asimilación y desarrollo tecnológico en materia de:

- Fuentes renovables de energía
- Eficiencia energética
- Uso de tecnologías limpias, y
- Diversificación de fuentes primarias de energía. (CONACYT, 2016)

Capítulo IV.

Marco Teórico

4.1. Biocombustibles

Los biocombustibles son combustibles derivados de la biomasa; la biomasa se define como cualquier material orgánico que está disponible de forma renovable o en una base recurrente, incluye cultivos energéticos, árboles destinados, residuos agrícolas, algas, plantas acuáticas, madera y residuos madereros, residuos animales, residuos provenientes de la comida y proceso de la alimentación y otros residuos materiales que puedan ser utilizados para producir energía, combustibles y químicos. También incluye la fracción de residuos municipales e industriales. (Sadhuaka J, 2014) (Biofuel Org. , 2016)

Los biocombustibles producidos por fuentes renovables pueden ayudar a minimizar la quema de combustibles fósiles y la emisión de CO₂ proveniente de esta actividad. Los biocombustibles producidos a partir de biomasa como lo son las planta o el material orgánico de desecho; pueden ayudar a reducir la dependencia por el petróleo y a disminuir la producción de CO₂. Esto es debido a que el CO₂ liberado en la quema del biocombustibles es igual al CO₂ que absorbe la planta durante la fotosíntesis así que no se incrementa la concentración de CO₂ en la atmosfera, por lo que se considera que la quema de biocombustible es neutra en emisiones de CO₂. (Naik S.N., 2010) (SAGARPA , 2013)

Los biocombustibles se clasifican según la materia prima de la cual procedan; los biocombustibles de primera generación provienen directamente de semillas utilizadas para la alimentación, por ejemplo: soya, maíz, canola, caña de azúcar, etcétera. La principal desventaja de producir este tipo de biocombustibles es que compite directamente con el mercado de los alimentos lo que se traduce en un aumento de precios debido al surgimiento de una actividad económica que incrementa la demanda de este tipo de materias primas de las cuales alguno países aún presentan déficit para cubrir las necesidades básicas de sus ciudadanos.

Los biocombustibles de segunda generación también conocidos como biocombustibles avanzados, diferencian de los biocombustibles de primera generación debido a que la materia prima utilizada para producir biocombustibles de segunda generación no proviene de cultivos alimenticios y el único momento en el que los cultivos alimenticios pueden actuar como insumo para producir biocombustibles de segunda generación es cuando ya cumplieron completamente su propósito como alimento. Por ejemplo, los aceites vegetales de desecho debido que ya cumplieron su finalidad como alimento y ya no pueden ser utilizados para consumo humano. Otros ejemplos de materia prima utilizada para la elaboración de

biocombustibles de segunda generación son: los pastos, los residuos sólidos municipales, *Jatropha* u otras semillas no aptas para el consumo humano.

Los biocombustibles de tercera generación se refieren a aquel biocombustible que proviene de algas. La diversidad y la cantidad de biocombustible que pueden ser producido a partir de algas es resultado de las características de los microorganismos. Primero, las algas producen un aceite que puede ser refinado fácilmente a diésel o incluso en ciertos componentes de la gasolina. Otra ventaja es que las algas pueden ser genéticamente manipuladas para producir desde etanol y butanol e incluso combustibles directos como la gasolina y el diésel. (Biofuel Org. , 2016)

4.2. Biodiésel

En los últimos años se ha producido un crecimiento exponencial en la industria relacionado con la producción de biocombustibles líquido, especialmente alrededor del biodiesel y bioetanol.

El biodiesel es un bioenergético renovable que puede ser producido a partir de aceites vegetales, grasas animales y aceite de micro-algas. El biodiesel puede ser definido como un biocombustible de esteres monoalquílico (base oxigenada); derivado de materia prima renovable como lo son los aceites vegetales nuevos o usados y las grasas animales. El biodiesel que resulta es similar diésel obtenido a partir del petróleo, sin embargo su principal característica es que puede ser mezclado en cualquier proporción con el diésel fósil para crear una mezcla estable.

4.3. Materias Primas

La ley de Promoción y desarrollo de Bioenergéticos prohíbe el uso de cultivos si estos también se destinan a consumo humano por lo que la SAGARPA propone el sorgo dulce y remolacha para la producción de etanol e higuierilla y piñón mexicano para la producción de biodiesel (SAGARPA , 2013). Por lo que para el presente trabajo se propondrán estas dos últimas como materia prima para la extracción de aceite, y su transformación en biodiesel, además se tomara en cuenta los aceites vegetales de desecho como otra posible alternativa de insumo para la fabricación de biodiésel.

4.3.1. Piñón Mexicano.

El piñón mexicano (*Jatropha curcas*) es un cultivo oleaginoso que contiene gran cantidad de aceite en su semilla (20% al 60 % de aceite (SAGARPA , 2011); y tiene potencial agroecológico de cultivo en las zonas son las siguientes características:

Requerimiento/Nivel de Potencial	Alto	Medio
Altitud (msnm)	0-900	900-1500
Pendiente (%)	0-20	20-30
Precipitación pluvial (mm)	900-1500	300-900
Temperatura (°C)	18-28	11-18 28-32
Suelos	Tolera Suelos Infértiles	
Textura de suelo	Gruesa y media	
Uso de suelo	Se consideraron zonas agrícolas de temporal	
Observaciones	Requiere suelos con buen drenaje	

Tabla 1. Requerimientos de la zona geográfica para el cultivo de *Jatropha Curcas* en México. (Benjumea Hernández Pedro Nel, 2009)

La especie posee algunas características potenciales para la producción de aceite que pueda ser convertido en biodiesel; tales como: rendimiento de grano y aceite, buena calidad del aceite para producción de biodiesel, adaptabilidad a diferentes regiones, precocidad, longevidad y alternativa de diversificación. Además el aceite de *Jatropha curcas* puede ser utilizado para producir biodiesel debido a que la *Jatropha curcas* es una semilla que no se utiliza para la obtención de aceite con fines alimenticios ya que las semillas de algunos compuestos tóxicos entre ellos la toxalbumina llamada *curcina*, la cual puede producir alteraciones en los tejidos y el sistema nervioso; por lo que su uso como insumo para la producción de biodiesel es aprobado por el marco legal mexicano. (Teniente R., 2011)

La Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) realizó un atlas del potencial de hectáreas productivas de *Jatropha curcas* en los distintos estados del país dando como resultado la siguiente distribución:

Potencial productivo de Piñon mexicano (*Jatropha Curcas*)



Fig 6. Mapeo de las áreas con potencial para el cultivo de *Jatropha Curcas* en México, Elaboración propia con información de INIFAP

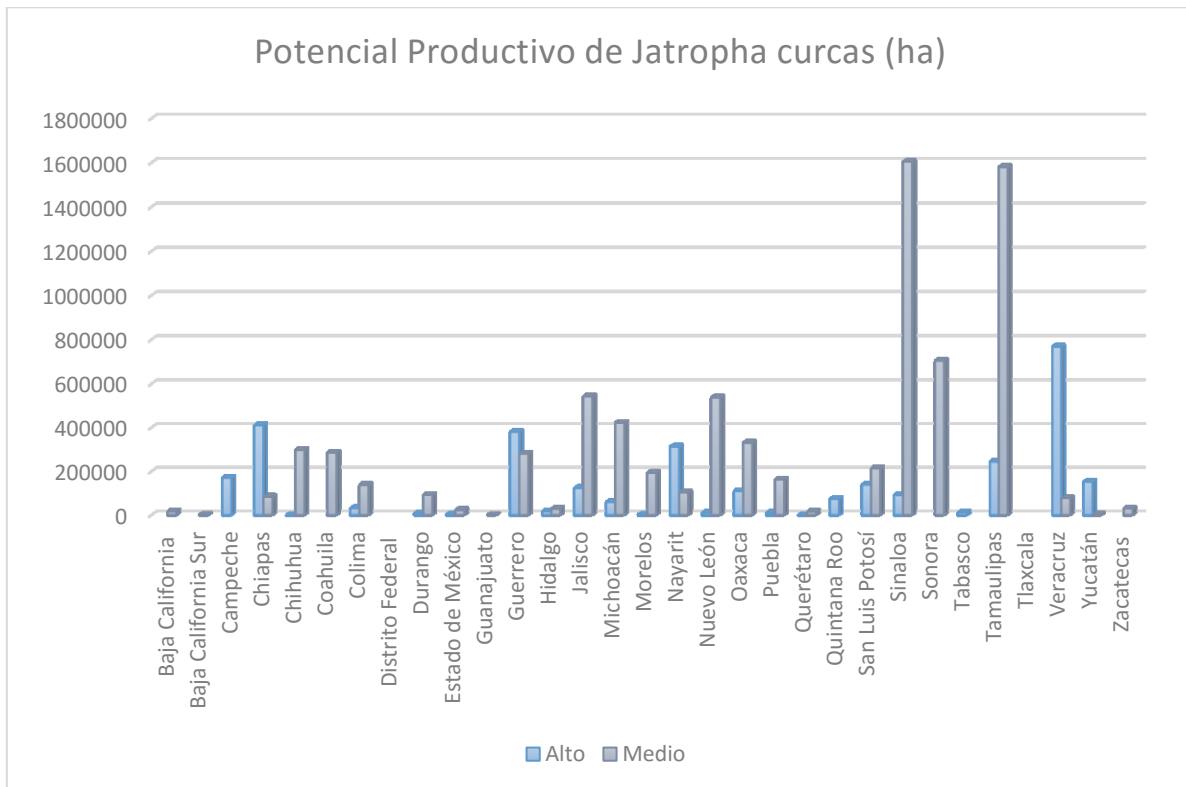


Figura 7. Potencial productivo de *Jatropha Curcas* en México.

Siendo Veracruz el estado con mayor número de hectáreas con potencial alto (768,238 ha), seguido de Chiapas con 411 292 ha y por Guerrero con 381,154 ha. (SAGARPA, 2012)

La *Jatropha Curcas* tiene un rendimiento de 1900 kg/ha, del cual muestra un rendimiento de 1058 L de aceite/ha y una conversión a biodiesel de 1015 L/ha. (Sadhuaka J, 2014)

4.3.2. Higuierilla

La higuierilla (*Ricinus Communis*) es un cultivo oleaginoso que se produce principalmente en países como India, China, Brasil y Paraguay; tiene un contenido de aceite de entre 26 y 66%. La Higuierilla presenta potencial para su producción en zonas con las siguientes características:

Requerimientos/ Nivel de potencial	Alto	Medio
Altitud (msnm)	0- 1,800	1,800-2,500
Pendiente (%)	0-5	
Precipitación pluvial (mm)	400-1,000	1,000-1,500
Temperatura (°C)	19-30	15-19 y 30-35
Suelos	Se excluyeron suelos vertisoles, considerados de textura pesada	
Textura de suelos	Gruesa y media	
Uso de suelos	Zona agrícola de riego	
Observaciones	Prospera bien en suelos de mediana o alta fertilidad, profundos, sueltos, con buen drenaje; no soporta la alcalinidad	

Tabla 2. Requerimientos de la zona geográfica para el cultivo de Higuierilla en México

Existen diferentes especies de higuierilla; en México la que presenta mayor ventajas agronómicas y tecnológicas es la *Ricinius Communis*, debido a su adaptación a zonas marginales, bajos requerimientos de agua, alto potencial de rendimiento, disposición de riqueza genética para la selección de variedades sumado a que no compite con la alimentación humana debido a la presencia de la toxalbumina, proteína tóxica presente en las semillas de la planta la cual puede producir irritación en el tracto gastrointestinal, dolor abdominal y náuseas; por lo que esta especie es apta para la producción de biodiesel en México. (Rico H., 2011) (Benjumea Hernández Pedro Nel, 2009)

El potencial de áreas productivas en México para el cultivo de higuierilla se presenta a continuación.

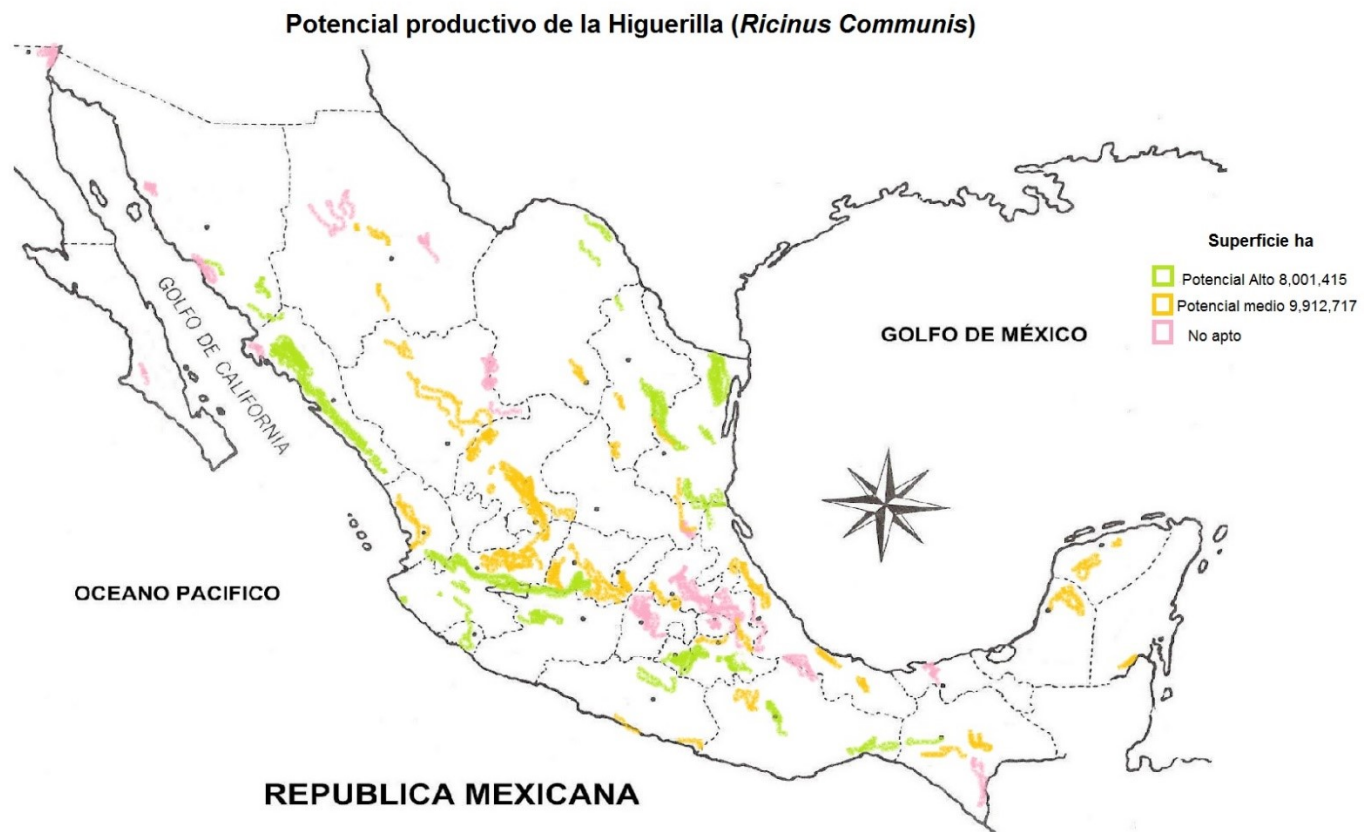


Fig 8. Mapeo de las áreas con potencial productivo de Higuera en México.

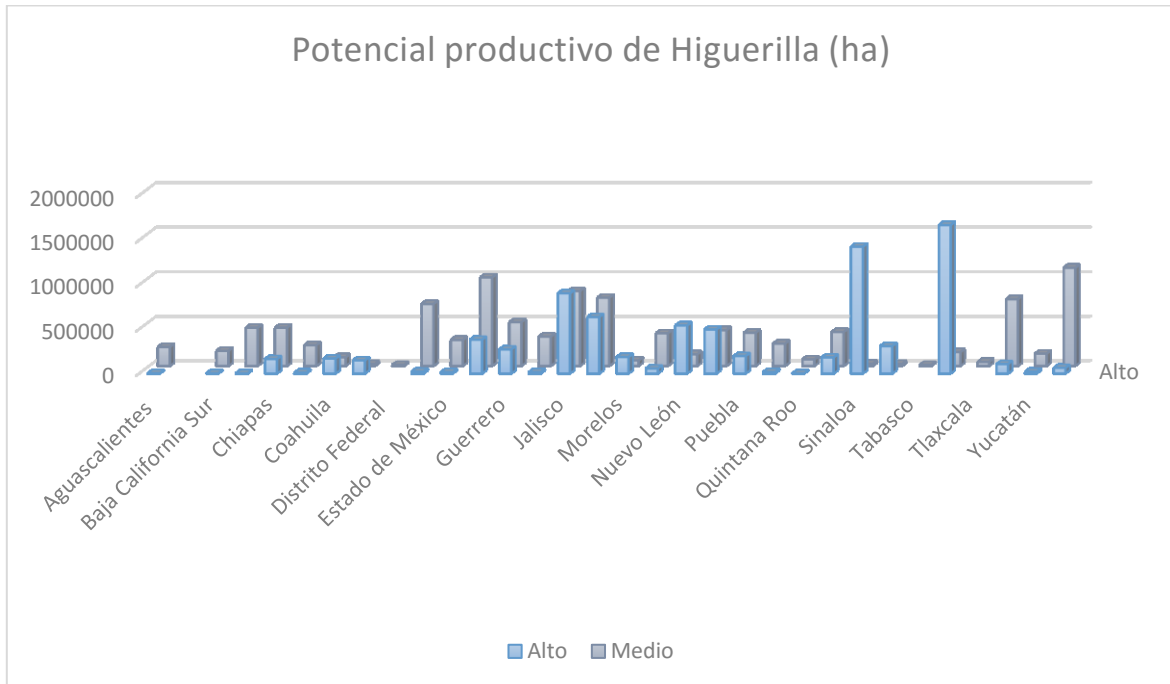


Figura 9. Potencial productivo de higuierilla en México

El estado con mayor potencial productivo alto de Higuierilla es Tamaulipas con 1,668, 103 ha, seguido por Sinaloa con 1, 426,786 ha y por Jalisco con 904, 922 ha de alto potencial productivo.

La Higuierilla tiene un rendimiento 2060 kg/ha, del cual muestra un rendimiento de 1211 litros de aceite/ ha, de la que se obtiene un rendimiento de 1151 litros de biodiesel/ha. (Sadhuaka J, 2014)

4.4. Composición y características fisicoquímicas de los aceites.

La calidad y la eficiencia del biodiésel dependen del proceso de transformación y la calidad del aceite. Las propiedades físicas y químicas de un aceite están relacionadas directamente con el número y la estructura química de los ácidos grasos unidos al glicerol, así como, con el grado de saturación de los ácidos grasos y su longitud de cadena; y son diferentes dependiendo de la materia prima de la cual provengan. Por ejemplo; el aceite de *Jatropha Curcas* está compuesto en su mayoría por ácido oleico y linoleico, además que es considerado un aceite de viscosidad alta; estas característica pueden beneficiar o afectar la calidad del biodiesel.

Tipo de ácido graso	Acrónimo común	<i>Ricinus Communis</i>	<i>Jatropha Curcas</i>
Saturados			
Decanoico	C10:0		0.1
Palmítico	C16:0	0.86	15.1
Esteárico	C18:0	1.01	7.1
Mirístico	C14:0		0.1
Densipólico	C18:0 , 2OH	0.7	
Araquidónico	C20:0	0.16	0.2
Behénico	C22:0		0.2
Saturados totales		2.73	22.8
Monoinsaturados			
Oleico	C18:1	2.63	44.7
Araquídico o Eicosanoico	C20:1	0.35	
Ricinoleico	C18:1, OH	89.54	
Palmitoleico	C16:1		0.9
Monoinsaturados totales		92.52	45.6
Poliinsaturados			
linolénico	C18:2	4.1	31.4
Linoleico	C18:3	0.36	0.2
Esteariadónico	C18:4	0.29	
Poliinsaturados totales		4.75	31.6

Tabla 3. Composición de ácidos grasos de los aceites provenientes de los cultivos oleaginosos de *Jatropha* e *Higuerilla*. (Benjumea Hernández Pedro Nel, 2009)

En la tabla 3 se pueden ver la proporción de ácidos grasos contenidos en los aceites elegidos como potenciales para la producción de biodiésel, los ácidos grasos tiene un impacto substancial en las propiedades del combustible especialmente en la oxidación y la estabilidad al frío: entre más alto sea el número de enlaces insaturados de los residuos del ácido graso (mayor índice de yodo) más baja la estabilidad de oxidación del combustible. En cambio, entre más alto sea el número de enlaces saturados, más baja la estabilidad a temperaturas menores (CFPP mayor).

Otras propiedades fisicoquímicas de los aceites que influyen en la calidad del biodiesel se mencionan a continuación:

Propiedad ***Influencia en la calidad del biodiesel***

Viscosidad	La viscosidad del biodiesel viene determinada por el aceite de origen. La viscosidad del biodiesel generalmente es mayor que la del diésel fósil y aumenta con la longitud de la cadena del éster y el grado de saturación. La alta viscosidad puede afectar la atomización del combustible, causar mala combustión y formación de depósitos de materiales insolubles en el motor.
Índice de refracción	El índice de refracción es un indicador de pureza y está relacionado con el grado de saturación, con la razón cis/trans de los dobles enlaces y puede estar influenciado por el daño que sufre el aceite tras la oxidación.
Densidad	La densidad del biodiesel depende de la composición del aceite. Es mayor cuando disminuye el largo de la cadena y aumenta el número de doble enlaces.
Punto de fusión	El punto de fusión de los aceites está relacionado con las propiedades físicas, tales como dureza, comportamiento térmico y grado de insaturación. A mayor cantidad de insaturaciones, el punto de fusión del aceite será menor; sin embargo los aceites naturales están compuestos por diversos ácidos grasos con distintos puntos de fusión por lo que solidifican en un rango amplio de temperaturas.
Índice de acidez	Esta medida indica que el aceite contiene alta cantidad de ácidos libres, generado por un alto grado de hidrólisis. Un alto contenido de ácidos grasos en los aceites reacciona con el catalizador básico (NaOH y KOH) en una reacción de saponificación formando jabones lo que dificulta la purificación del biodiesel
Índice de peróxido	El índice de peróxido mide el grado de oxidación primaria que han sufrido los aceites; los peróxidos son los productos de descomposición primaria de la oxidación de las grasas.
Índice de Yodo	El grado de insaturación está relacionado en forma directa con el índice de Yodo, a mayor índice de yodo del aceite se obtiene un biodiesel con menor índice de cetano (menor capacidad de combustión) y tiende a oxidarse más fácilmente, dando lugar a la formación de peróxidos y a partir de éstos, de polímeros. Estos polímeros, en el biodiesel, llevan a la formación de depósitos sólidos en el motor.

Índice de Saponificación	Los lípidos pueden ser saponificables y no saponificables. Existe material insaponificables comúnmente encontrado en aceites y grasas como lo es: el fosforo, los fosfolípidos y fosfatados. Si el aceite tiene alto contenido de fósforo, se formaran emulsiones durante el proceso de decantación (separación de la glicerina luego de la transesterificación) y durante el lavado del biodiesel, lo cual lleva finalmente a perdidas en el rendimiento del proceso. Siempre y cuando se utilice NaOH como catalizador.
Contenido de agua	El contenido de agua en un aceite produce la hidrólisis de los triglicéridos, reacciona con las uniones entre el glicerol y los ácidos grasos y las rompe, produciendo ácidos grasos libres, monoglicéridos y diglicéridos. Durante la transesterificación, la presencia de agua puede causar la saponificación de los ésteres y consumir catalizador.

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de los aceites que influyen en la calidad del biodiesel

Los aceites recomendados para la producción de biodiesel son aceite con bajo contenido de agua, ácidos grasos libres, gomas y materiales insaponificables, así como altos en ácidos grasos monoinsaturados y bajo contenido de ácidos grasos saturados son particularidades ideales para obtener biodiesel de calidad.

Los aceites residuales de cocina son considerados como una materia prima barata pero se debe tener en cuenta que al ser quemados; el calor y el agua aceleran la hidrólisis de los triglicéridos y aumenta el contenido de ácidos libres en el aceite, de agua y de material insaponificable. La presencia de estos compuestos requiere de varios procesos para acondicionar el aceite y realizar la transesterificación.

Otras características fisicoquímicas que se ven afectadas son la viscosidad y la densidad las cuales aumentan considerablemente debido a la formación de dímeros y polímeros ya que los aceites reciclados suelen presentar baja estabilidad a la oxidación por lo que se deben de agregar antioxidantes. Finalmente la calidad del biodiesel producido normalmente no cumple con las especificaciones de pureza requeridas, y debe ser sujeto a destilación para eliminar el material insaponificable, esto sucede en el biodiésel producido con catalizadores homogéneos. (SAGARPA, 2011)

Por lo que es importante caracterizar los aceites que se utilizaran para elaboración del biodiesel; para obtener un biocombustible de calidad. Algunas de las propiedades que deben controlar son: contenido de ácidos grasos libres, contenido de insaponificables, contenido de agua, contenido de fosforo e índice de yodo.

Propiedad	Cadena de ácido graso		
	Presencia grupo OH	Longitud cadena	Grado de insaturación
Densidad	Aumenta	Disminuye	Aumenta
Poder Calorífico	Disminuye	Aumenta	Disminuye
Viscosidad	Aumenta	Aumenta	Disminuye
Número de Cetano	Disminuye	Aumenta	Disminuye
Punto de Ebullición	Aumenta	Aumenta	Disminuye
Estabilidad a la oxidación	Empeora	Mejora	Empeora
Desempeño a bajas temperaturas	Mejor	Empeora	Mejora
Lubricidad	Mejora	Mejora	Mejora

Tabla 5. Resumen del efecto de los parámetros estructurales en las propiedades básicas de los alquilesteres. (Benjumea Hernández Pedro Nel, 2009)

En cuanto a los parámetros estructurales de los aceites que influyen en las propiedades básicas del biodiésel se encuentra; la presencia de enlaces dobles, su posición en la cadena y la configuración geométrica para los ácidos grasos. En la tabla 5 se resume como aumentan las propiedades ahí enlistadas según la estructura de los ácidos grasos.

4.5. Proceso de producción del biodiesel

El proceso para la producción de biodiesel depende del porcentaje de ácidos grasos libres (FFA) y la cantidad de agua que posea la materia prima a procesar. Si el porcentaje de ácidos grasos es menor al 5% se aplica el proceso de transesterificación; si es mayor al 5%, además de la transesterificación, se requiere de un proceso previo que se llama esterificación. Generalmente los aceites provenientes de plantas oleaginosas tienen menos de 5% de ácidos grasos, mientras los aceites usados o las grasas animales tienen más de 5%.

Si los aceites tienen una humedad mayor a 400 ppm es necesario disminuirla realizando un proceso pretratamiento de evaporación en un tanque precalentador. (Escobar J., 2014)

4.5.1 Esterificación

Este proceso se aplica a los aceites con alto contenido de ácidos grasos libres (alto grado de acidez). Sin un control de riguroso en el contenido de estos ácidos, las grasas pueden saponificarse, cuando se utiliza NaOH como catalizador y el biodiesel resultante se solidificara a temperaturas bajas.

La esterificación sirve para retirar a los ácidos grasos libres (FFA, por sus siglas en ingles) para dejar al aceite base con una concentración de éstos inferior al 1%. Es especialmente importante para el caso del biodiésel proveniente de grasas animales o aceites reutilizados, puesto que el nivel de ácidos grasos libres presentes en la materia prima varía de lote en lote. Por lo tanto, debe de haber un control de calidad estricto para en la planta. No sucede lo mismo con las grasas provenientes de cultivos, porque casi no tienen variaciones sobre el nivel de tales ácidos.

La esterificación se lleva a cabo agregando un catalizador ácido y un alcohol a la grasa, lo que hace que los ácidos grasos se separen, generando un aceite bajo en ácidos grasos libres.

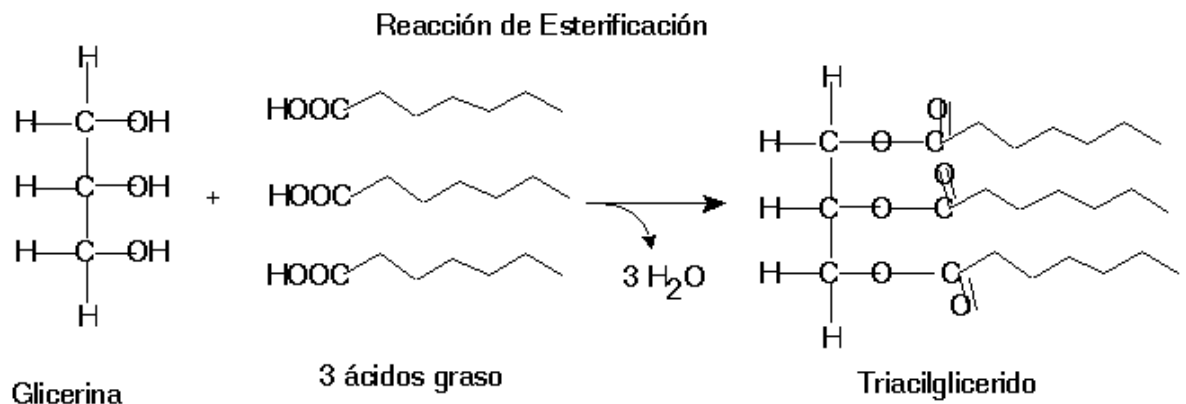


Fig 10. Reacción de esterificación

4.5.2 Transesterificación

La transesterificación consiste en la transformación de un tipo de éster en otro y es el proceso más común para la producción de biodiesel; ocurre cuando reacciona un triglicérido con un alcohol en presencia o no de un catalizador; como producto principal se obtiene el biodiésel (alquilésteres de ácidos grasos) y glicerol como producto secundario.

La transesterificación también se denomina alcoholólisis, cuando el éster original reacciona con un alcohol. Mediante la alcoholólisis con un monoalcohol, los triglicéridos se desdoblán en los monoalquilésteres de sus ácidos grasos constituyentes y en glicerol. De dicha reacción se infiere que el grupo hidroxilo del alcohol se une al esqueleto del triglicérido para formar el glicerol, mientras que el grupo alquílico determina el tipo de alquilésteres formado.

La reacción global es el resultado de tres reacciones consecutivas reversibles. Como se puede ver en la siguiente figura, el triglicérido se convierte consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerol de tal modo que de cada reacción intermedia se libera una molécula de alquiléster.

Las principales variables que influyen en el rendimiento, conversión y cinética de la reacción de transesterificación son: la calidad de la materia prima, el tipo, y la cantidad de alcohol, la transferencia de masa durante la reacción, el sistema catalítico y las condiciones de reacción: temperatura, presión y agitación. (Benjumea Hernández Pedro Nel, 2009)

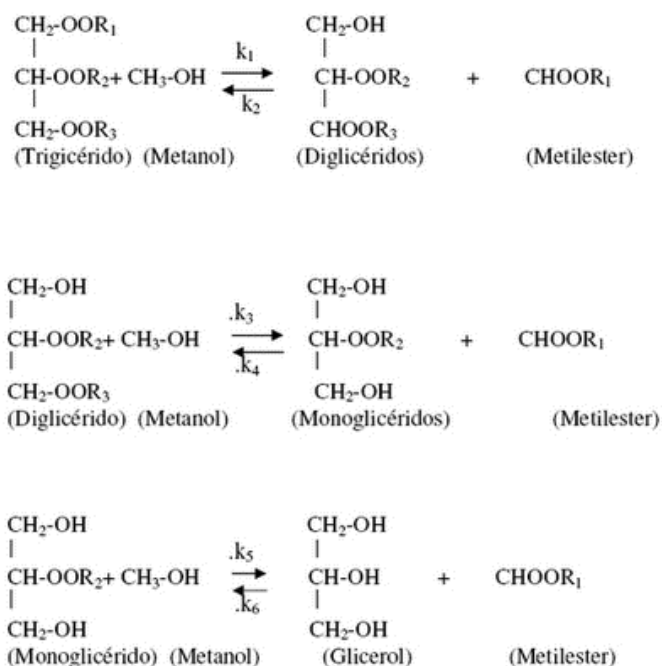


Fig 11. Reacción de Transesterificación.

4.5.3 Transesterificación catalítica del biodiesel

Los aceites vegetales pueden ser transesterificados al calentarlos con alcohol y un catalizador. La catálisis utilizada en la producción de biodiesel está dividida en dos categorías, homogénea y heterogénea.

a) Catálisis Homogénea

La catálisis homogénea ocurre cuando el catalizador se encuentra en la misma fase que los reactivos, y esta puede ser ácida o básica.

La catálisis básica homogénea ha sido el sistema catalítico más ampliamente estudiado y tradicionalmente utilizado para la transesterificación a escala industrial. Los catalizadores de este tipo se caracterizan por ser bases fuertes, siendo las más comunes los hidróxidos de sodio y potasio, y los correspondientes alcóxidos sódicos y potásicos. (Benjumea Hernández Pedro Nel, 2009)

El proceso catálisis básica homogénea requiere alta pureza de los aceites y un proceso de separación del catalizador, el producto secundario y el producto final. Estos requerimientos aumentan los costos del biodiesel. La forma general de la transesterificación catalítica homogénea se observa en el siguiente diagrama de flujo de procesos.

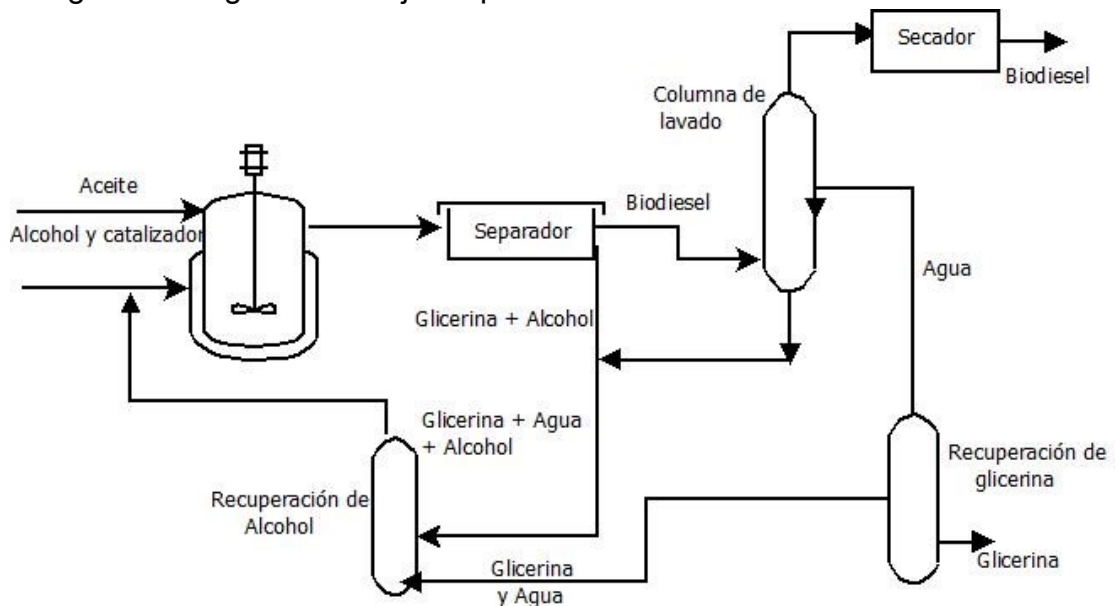


Fig 12. Diagrama de flujo general para catálisis homogénea.

La catálisis básica homogénea es utilizada comúnmente en la industria debido a muchas razones:

- i) Condiciones moderadas de operación
- ii) Conversiones altas pueden ser obtenidas en tiempos mínimos
- iii) Alta actividad catalítica
- iv) Ampliamente disponible y económico

Una alternativa al procesamiento de los triglicéridos para producir biodiesel es usar un catalizador ácido. Los catalizadores ácido utilizados en la reacción de

transesterificación pueden competir económicamente con el proceso de catálisis básica que utiliza aceites refinados, especialmente cuando se utiliza material de alimentación de bajo costo. Ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido sulfónico son usualmente preferidos como catalizadores ácidos.

La ventaja de los catalizadores homogéneos ácidos sobre los catalizadores homogéneos básicos es la baja susceptibilidad a la presencia de ácidos grasos libres. Sin embargo catálisis ácida es muy sensible a la concentración de agua.

Una desventaja de la transesterificación con catálisis homogénea ácida está asociada su alto poder corrosivo lo que obliga a utilizar equipo hecho con material que proteja de este tipo de ataques, más residuos debido a la neutralización, formación de productos secundarios, altas temperaturas de reacción, tiempos largos de reacción, baja velocidad de reacción, débil actividad catalítica y procesos ingenieriles elaborados. (Abbaszaadeh A., 2012)

b) Catálisis Heterogénea

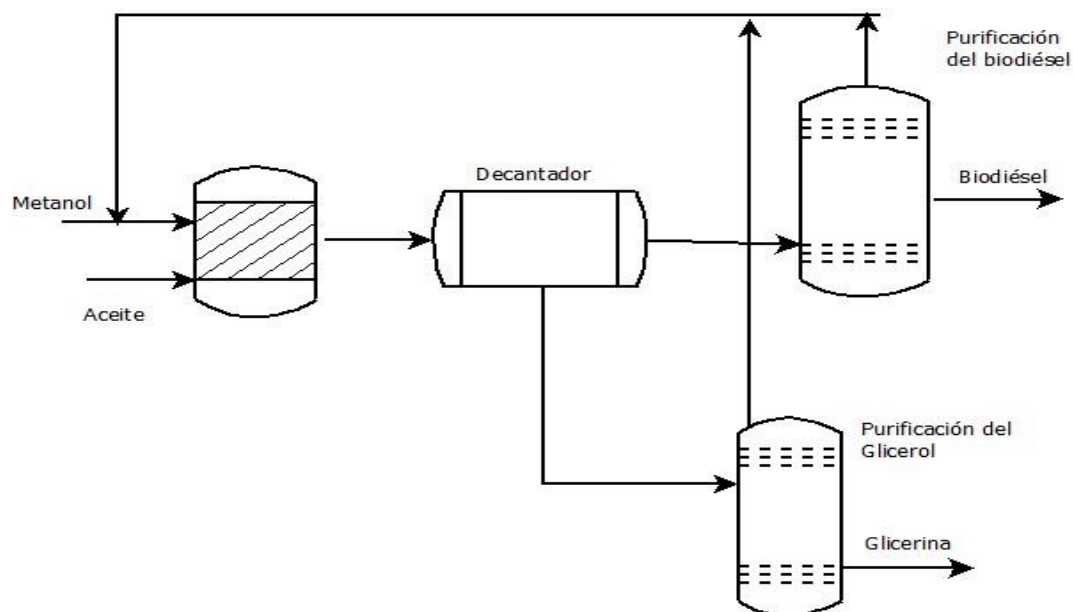


Fig 13. Diagrama general de flujo de producción de biodiésel catálisis heterogénea.

Al igual que la catálisis homogénea; la catálisis heterogénea puede ser ácida o básica. La catálisis heterogénea se da en una fase diferente a los reactivos, por lo que tiene la ventaja de una fácil separación con los productos y de que el catalizador pueda reusarse más fácilmente. El uso de catalizadores heterogéneos no provoca la formación de jabón. El uso de catalizadores heterogéneos elimina muchos pasos de lavado y recuperación del biodiesel y catalizador, asegurando mayor eficiencia y rentabilidad del proceso así como la reducción en costos de producción y también

la posibilidad de hacerse en un sistema continuo utilizando una cama catalítica. Además comparado con la catálisis homogénea este proceso puede aceptar condiciones extremas de operación.

En lo ambiental los sistemas de catálisis heterogéneos pueden reducir el riesgo asociado con el derrame o fuga de residuos peligrosos y químicos inflamables. Adicionalmente se pueden presentar beneficios ambientales debido a la ausencia de uso intenso de energía y generación de residuos debido a los procesos de purificación de la glicerina.

La mayoría de la catálisis heterogénea es básica debido a que presenta mayor actividad que la catálisis heterogénea ácida y se utilizan principalmente óxidos y carbonatos de metales alcalinotérreos, esta opción resulta atractiva debido a la amplia disponibilidad y el bajo costo de estos compuestos. Particularmente CaO y MgO son baratos, altamente disponibles y presentan actividad alta; sin embargo el CaO se filtra en la mezcla reaccionante por lo que se tienen que agregar etapas de purificación de los productos y los beneficios de la catálisis heterogénea se ven afectados. (Abbaszaadeh A., 2012)

Existen otros tipos de catalizadores que permiten que una reacción se de en medio continuo un ejemplo es el del catalizador heterogéneo de Zinc y Aluminio desarrollado por el Instituto Francés del Petróleo. (Hincapié G., 2011).

Aunque presenten menor actividad, los catalizadores heterogéneos ácidos han sido utilizados en varios procesos industriales debido a la variabilidad de contenido de sitios ácidos ya sea de Bronsted o Lewis comparada con la catálisis ácida homogénea. Estos catalizadores ofrecen como ventaja su alta estabilidad térmica y su capacidad de catalizar tanto la transesterificación de los triglicéridos como la esterificación de los ácidos grasos libres. Sin embargo, su mayor limitante está asociada con su baja actividad catalítica.

4.6. Normas de calidad del biodiesel

Una vez obtenido el biodiesel, es necesario asegurarse de que el producto obtenido sea de calidad. En México no existe normativa que describa los estándares del biodiesel, pero existe normativa internacional que se puede utilizar como guía para definirlos.

Las normas más utilizadas internacionalmente son la europea (EN 14214) y la estadounidense (ASTM 675). Como ya se mencionó anteriormente la calidad del biodiesel depende de la materia prima utilizada y el proceso que se utilice para su transformación. Sin importar la materia prima de la cual provenga el biodiesel debe de cumplir ciertas normas de calidad.

La norma europea define al biodiesel como un metiléster de ácido graso y tiene como objeto especificar los requerimientos de calidad y los métodos de prueba para definir si un combustible puede utilizarse como combustible para motores de diésel de acuerdo a los requerimientos del diésel fósil especificados en la norma EN 590. De este modo, la norma excluye de entrada los alquilésteres de ácidos grasos que se obtienen al usar alcoholes diferentes al metanol.

Métodos de ensayo	Designación	Especificación
Nombre de la prueba		
Contenido de Esteres	EN 14103	Mínimo 96,5 (%/p)
Densidad a 15 °C	EN ISO 3675 EN ISO 12185	Mínimo 860 kg/m ³ Mínimo 900 kg/m ³
Viscosidad cinemática a 40°C	EN ISO 3104	Mínimo 3.5 mm ² /s Máximo 5.0 mm ² /s
Punto de inflamación	EN ISO 2719	Mínimo 120°C
Contenido de azufre	EN ISO 20846 EN ISO 20884	Máximo 10 ppm (mg/kg)
Residuo carbonoso Ramsbotton (10% de fondos)	En ISO 10370	Máximo 0,30 (%/p)
Número de cetano	EN ISO 5165	Mínimo 51 (Adimensional)
Contenido de ceniza sulfatada	ISO 3987	Máximo 0.02% (%/p)
Contenido de agua	EN ISO 12937	Máximo 500 ppm (mg/kg)
Contaminación total	EN ISO 12662	Máximo 24 ppm (mg/kg)
Corrosión lámina de cobre	EN ISO 2160	Clase 1
Estabilidad a la oxidación a 110°C	EN 15751 En 14112	Mínimo 6 horas
Acidez	EN 14104	0,5 MG KOH/G
Índice de yodo	EN 1411	Máximo 120 (g yodo/100g)
Metilésteres de ácido linoleico	EN 14130	Máximo 12 (%/p)
Metilésteres poliinsaturados (≥4 enlaces dobles)		Máximo 1(%/p)
Contenido de metanol	EN 14110	Máximo 0.2(%/p)
Contenido de monoglicéridos	EN 14105	Máximo 0.8 (%/p)

Contenido de diglicéridos	EN 14105	Máximo 0.2 (%/p)
Contenido de triglicéridos	EN 14105	Máximo 0.2 (%/p)
Contenido de glicerol libre	EN 14105 EN 14106	Máximo 0.02 (%/p)
Contenido de glicerol total	EN14105	Máximo 0.25 (%/p)
Metales grupo i (Na+K)	EN 14108 EN 14109	Máximo 5 ppm (mg/kg)
Contenido de fosforo	EN 14107	Máximo 10(4)*ppm (mg/kg)

Tabla 6. Especificaciones para el biodiésel. Norma EN 14214-03

El estándar estadounidense define al biodiesel como mono alquil ésteres de ácidos grasos de cadena larga, producido a partir de aceites vegetales o grasas animales. Esta conceptualización tiene dos implicaciones significativas: 1) excluye aquellos tipos de biodiésel con contenidos importantes de monoalquilésteres de cadena corta e intermedia y 2) Admite, en principio alquilésteres producidos con alcoholes diferentes al metanol. La norma ASTM D 6751 tiene como objeto establecer las especificaciones para controlar la calidad del biodiésel (B100) para uso como componente de mezclas con combustibles destilados medios (diésel fósil).

Métodos de ensayo		Especificaciones
Nombre de la prueba	Designación	
Contenido de calcio y magnesio	EN 14538	Máximo 5 ppm (µg/g)
Punto de inflamación (capsula cerrada)	ASTM D93	Mínimo 93 °C
contenido de metanol	EN 14110	Máximo 0.2(%/p)
punto de inflamación asociado a alcohol	ASTM D93	Mínimo 130°C
Contenido de agua y sedimentos	ASTM D 2709	Máximo 0.05% (v/v)
Viscosidad cinemática a 40°C	ASTME D 445	Mínimo 1.9 mm ² /s Máximo 6.0 mm ² /s
Contenido de ceniza sulfatada	ASTM D 874	Máximo 0,02 (%/p)
Contenido de azufre	ASTM D 5453	Máximo 15 ppm (S15) Máximo 500 ppm (S500)
Número de Cetano	ASTM D 613	Mínimo 47 (adimensional)
Corrosión lámina de cobre	ASTM D 130	Máximo núm. 3
Punto de nube	ASTM D 2500	Reportar
Residuo Carbonoso Ramsbotton	ASTM D 4530	Máximo 0.05 (%/p)
Acidez	ASTM D 664	0.05 mg KOH/g
Potencial de bloqueo de filtros		Máximo 360 s
Contenido de glicerol libre	ASTM D 6584	Máximo 0.02 (%/p)
contenido de glicerol total	ASTM D 6585	Máximo 0.24 (%/p)

contenido de fosforo	ASTM D 4951	Máximo 0.001 (%/p)
Destilación Temperatura (equivalente a presión atmosférica) para el 90% del volumen recuperado	ASTM D 1190	Máximo 360 °C
Contenido de sodio y potasio	EN 14538	Máximo 5 ppm (µg/g)
Estabilidad a la oxidación a 110 °C	EN 14112	Mínimo 3 horas

Tabla 7. Especificaciones para el biodiésel. Norma ASTM D 6751

Además de las normas antes enlistadas, existe otra norma, la ASTM D975-08 que enlista las características que debe de cumplir el diésel si se desea mezclar con hasta 5% de biodiésel. (Benjumea Hernández Pedro Nel, 2009)

4.6. Ventajas y desventajas del uso del biodiesel

El del biodiesel ha sido estudiado principalmente en motores de combustión interna con ignición por compresión debido a que es similar al diésel fósil en sus principales características y se pueden hacer mezclas entre ellos sin tener que hacer cambios grandes en el motor.

El biodiesel presenta algunas ventajas principalmente ambientales en comparación con el diésel fósil como el ser biodegradable, no toxico, generar bajos perfiles de emisión, contribuyendo a la disminución de gases de efecto invernadero.

El uso del biodiesel se ha comparado con el del diésel proveniente de petróleo principalmente en el sector transporte. A continuación se enlistan algunas ventajas y desventajas que proporciona la CONUUE (2015) del uso del biodiésel como combustible vehicular.

Ventajas

Desventajas

El biodiesel es un recurso renovable, biodegradable y no tóxico	El biodiesel produce alrededor de 8% menos energía por litro que el diésel, viéndose afectada la potencia y el consumo del motor.
El biodiésel generalmente contiene 11% de Oxígeno; lo que hace que produzca menores emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y partículas de humo, contribuyendo a la disminución de gases de efecto invernadero.	Debajo de los 0°C pueden existir problemas de congelación y deposito en el motor

<p>Puede ser usado directamente en motores de inyección directa, sin necesidad de adaptaciones especiales.</p>	<p>Aumento de las emisiones de aldehídos y NOx</p>
<p>El desempeño de los motores registra diferencias significativas en relación con los combustibles fósiles, debidas a su alto poder lubricante.</p>	<p>Puede disolver sedimentos presentes en el sistema combustible del motor y causar obstrucciones de filtros en su primer uso en motores que operan con diésel por lo que se recomienda hacer limpieza al cambiar del diésel al biodiésel</p>
<p>El manejo es más seguro, pues posee un punto de inflamación (flash point) muy alto.</p>	<p>El biodiesel se oxida con más rapidez que el diésel, característica que puede ser un problema para su almacenamiento a largo plazo.</p>
<p>Los gases resultantes de la combustión no contienen SOx, principales causantes de la lluvia ácida</p>	<p>No es compatible con algunos tipos de materiales como plásticos, caucho, cobre, plomo y zinc.</p>
<p>El número de cetano del biodiesel generalmente varía entre 45 y 70, comparado con 40 y 52 del diésel fósil. El número de cetano del biodiesel depende de la distribución de ácidos grasos en el aceite original. Entre más larga sea la cadena y más saturada mayor el número de cetano. A mayor valor del número de cetano, más fácil se autoenciende el combustible y menor es el tiempo de retraso.</p>	<p>El biodiésel rezagado se vuelve ácido y forma sedimentos, fuera de los estándares de calidad.</p>
<p>El biodiésel tiene excelente propiedades antiespumantes. Lo que posibilita y garantiza el llenado del tanque, sin la formación de derrames o inundación causada por espumas.</p>	<p>La absorción del agua ligada a la presencia de oxígeno contribuye a la corrosión.</p>

<p>El contenido de oxígeno así como el de esterres conduce a que la combustión sea más suave, reduce el contenido energético y hace el biodiesel polar, a través del enlace con el hidrogeno (-OH). La polaridad otorga propiedades como solvencia, detergencia, facilidad de extenderse de inmediato de manera uniforme y conductividad.</p>	<p>El biodiesel es una mezcla más simple de pocos componentes, por lo que uno o dos componentes dominan la cristalización y la solidificación por lo que es mucho más rápido y difícil de controlar.</p>
<p>El biodiesel debido a su polaridad tiene excelente conductividad, mayor a 500 pS/m, y por lo mismo reduce el riesgo de chispas y fuego.</p>	<p>Dependiendo de la materia prima que se elija el costo puede ser muy elevado.</p>

Tabla 8. Ventajas y desventajas del uso del biodiésel

Capítulo V

Estudio de Mercado

Un paso importante dentro de la evaluación de proyectos es la elaboración de un estudio de mercado. Un estudio de mercado tiene la finalidad de determinar si existe o no demanda potencial insatisfecha, a partir de la recopilación de datos e información que ayudaran a decidir si vale la pena seguir con el proyecto o es mejor detenerse por que el mercado actual no resulta favorable. (Baca G., 2013).

La elaboración de un estudio de mercado conlleva una metodología basada en el método científico con la elaboración de los siguientes pasos:

- 1) Definición del problema
- 2) Hipótesis
- 3) Definir la necesidad información
- 4) Diseño de la recopilación de información

- 5) Análisis de datos recopilatorios.
- 6) Informe

4.1. La dificultad del estudio de Mercado de biodiesel.

En el caso particular del biodiesel un estudio de mercado permitirá definir la posible demanda futura del biocombustible en México; sin embargo es importante destacar que no existe demanda insatisfecha como tal del biodiesel, primero que nada porque el biodiesel no existe como producto comercial en México ya que su producción se limita a su uso en algunos programas pilotos de universidades, como en la UNAM donde en agosto del 2016 se cuenta con 25 unidades de Pumabus que utilizan biodiesel B5, sin embargo si hay una demanda de combustibles como la gasolina y el diésel principalmente, y en menor proporción de gas LP y gas natural, en el país debido al aumento del parque vehicular; además existen leyes que apoyan la producción de biocombustibles. (Hernández, 2016) (SENER, 2013)

No obstante, el biodiésel puede ser considerado como un complemento del mercado del diésel, con la finalidad de disminuir la importación de este combustible y así la dependencia externa, debido a que la producción en México es menor que la demanda de los consumidores.

Por todo lo anterior es necesario hacer un estudio de mercado detallado y elegir bien qué tipo de información se analizará para ver si hay cabida para comercializar este combustible dentro del país y conocer si su producción es viable comercialmente. Por lo que el análisis del mercado para evaluar se hará sobre su competencia directa el diésel; utilizando principalmente fuente secundarias.

5.2.1 Definición del Producto

El biodiesel es un biocombustible que se produce a partir de la reacción de transesterificación entre un alcohol y un aceite vegetal o grasa animal para producir metil oleato (Biodiesel). A partir de la materia prima utilizada para la elaboración de biocombustibles se aceptan la siguiente clasificación.

Generación	Definición	Ejemplos de materia prima
1° Generación	La clasificación de biocombustibles de primera generación se refiere al biodiesel y bioetanol proveniente de la parte alimenticia de las plantas; las cuales tienen alto contenido de almidón, azúcares y aceites. El	Jugo de la caña de azúcar, granos de maíz, aceite de semilla de girasol, aceite de palma, aceite de soya, aceite de coco y todo aquel que sea un alimento.

	proceso de conversión de la materia prima a biocombustible utiliza tecnología convencional.	
2° Generación	Los biocombustibles de segunda generación tienen la característica principal que sus insumos son residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa y estos no compiten de forma directa con los alimentos. Para producir biocombustibles de segunda generación, los procesos tienen un nivel de complejidad mayor que los de primera generación; algunos ejemplos de biocombustibles son: el etanol, el metanol, gas de síntesis, biodiesel, etc.	Bagazo de la caña de azúcar, el rastrojo de maíz, paja de trigo, aserrín, jatropha curcas, higuierilla.
3° Generación	La definición más aceptada de biocombustible de tercera generación es la de combustibles producidos a partir de la biomasa de algas. El proceso para la elaboración de estos tipos de biocombustibles aún se encuentra investigación teniendo buenas conversiones a nivel de planta piloto.	Algas

Tabla 9. Clasificación de biocombustibles por generación. (biofuel.org.uk, 2016)

El biodiesel puede ser utilizado como combustible en el sector eléctrico, sector transporte, sector industrial y sector petrolero; según el sector al que este dirigido, el biodiesel debe cumplir con cierta normativa para poder ser comercializado. Además del marco normativo; el biodiesel en México tiene que cumplir con lo expuesto en la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos, en esta ley se hace hincapié en que la materia prima utilizada para la producción del mismo no puede provenir de un alimento, ni afectar a este mercado; por esta razón el biodiesel manufacturado y comercializado en México solo puede provenir de la materia prima que corresponde a la segunda y a la tercera generación sin embargo es necesario elaborar un estudio técnico para conocer qué tipo de tecnología es viable de manera comercial para la producción de biodiesel. El biodiesel se ha utilizado en forma de mezcla con el diésel fósil en otros países principalmente en el sector de autotransporte; algunos ejemplos de los tipos de mezcla se encuentran en la siguiente tabla. (National Renewable Energy Laboratory , 2009)

Nombre	Contenido de Biodiesel
B5	5% vol. de biodiesel
B10	10% vol. de biodiesel
B20	20% vol. de biodiesel
B100	100 % vol. de biodiesel

Tabla 10. Descripción de nombre de la mezcla de acuerdo a porcentajes de biodiesel. Fuente: Elaboración propia

Las mezclas se hacen principalmente porque el desempeño de las propiedades del B100 pueden ser significativamente diferentes y al hacer mezclas se conservan los beneficios del biodiesel sin tener afectaciones en el motor del automóvil. (SENER/GTZ, 2010)

El biodiesel tiene como principal característica diferenciadora con su competidor directo el diésel; provenir de materia prima renovable y según varios estudios la disminución de CO₂ y otras partículas contaminantes sobre el medio ambiente. (EPA, 2002)(Kian Fei Yee, 2009)(Pleanjai S., 2009). Por lo que esta es una de sus características más importantes.

5.2.2. Análisis de la demanda.

El principal propósito que se persigue con el análisis de la demanda es determinar y medir cuales son las fuerzas que afectan los requerimientos del mercado respecto a un bien o servicio, así como establecer la posibilidad de participación del producto del proyecto en la satisfacción de dicha demanda. (Baca G., 2013)

En el caso particular del biodiesel en México; como ya se explicó anteriormente, no existe demanda real de biodiesel, no obstante, existen proyectos pilotos en

diferentes universidades en los cuales se produce y se utiliza biodiesel en el transporte escolar. También debido al apoyo del gobierno se estableció una planta productora de biodiésel en Chiapas; donde se logró producir y comercializar biodiesel sin embargo por el momento la planta no está en funcionamiento. (Rodríguez J., 2014)

A pesar del panorama negativo a nivel comercial, el interés en la producción y quema del biodiesel se debe a la reducción en la emisión de GEI que producen el cambio climático que le adjudican algunos estudios.

Existe información estadística por parte de PEMEX, SENER e INEGI; de los diferentes sectores que utilizan diésel, a partir de esta información se harán proyecciones del posible mercado a cubrir.

5.2.3. Selección del mercado objetivo.

En México el consumo nacional de energía para el año 2014 totalizó 8,624. 26 PJ, el cual comprende: el consumo del sector energético; es decir la energía que se utiliza para la transformación y consumo dentro del sector y el consumo final total.

El consumo final total energía, definido como la suma del consumo no energético total y el consumo energético total, mostró un incremento del 0.3% con respecto al 2013, totalizando 5, 128.01 PJ y representa la energía que se destina al mercado interno o a las actividades productivas de la economía nacional.

Consumo Nacional de energía (PJ)	Consumo no energético (PJ)	Consumo energético total (PJ)
5,128.01	232.22	4, 895.79

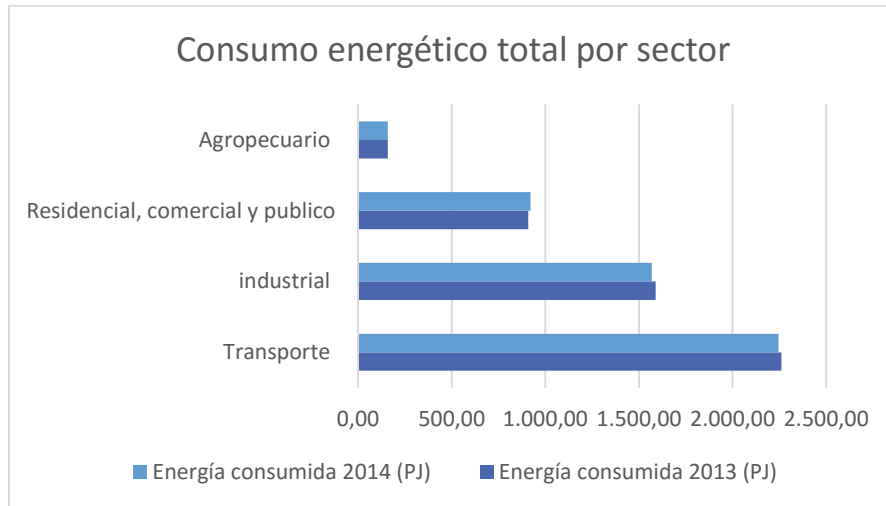
Tabla 11. Consumo final total de Energía. Fuente: SENER. 2014

El consumo energético total, se refiere a la energía destinada a la combustión en los procesos y actividades económicas y a satisfacer las necesidades energéticas de la sociedad. Este representa el 56.77% del consumo nacional de energía y el 95.5% del consumo final.

Dentro del consumo energético total, el sector con mayor consumo energético es el sector transporte; 2246.39 PJ, el cual representa el 45.88% del total.

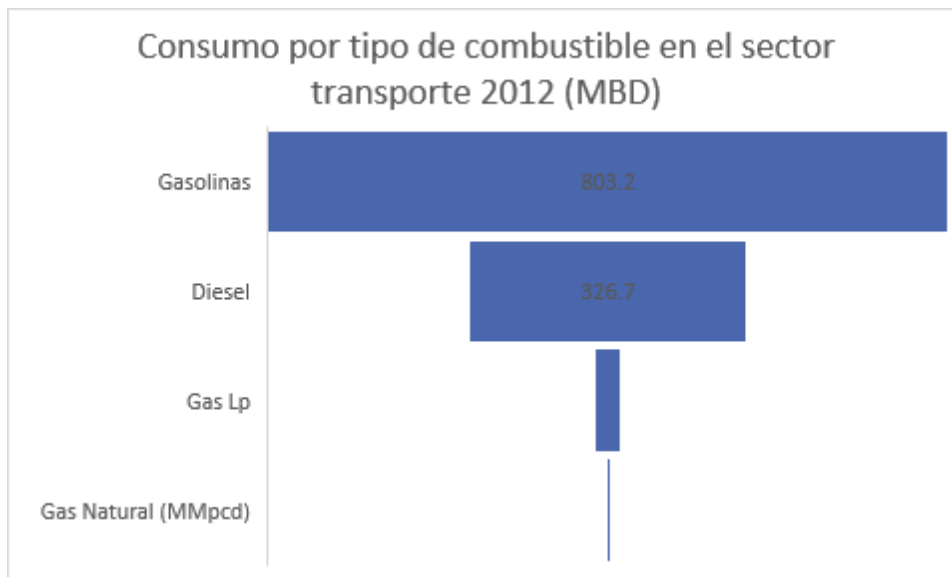
Sector	Energía consumida 2013 (PJ)	Energía consumida 2014 (PJ)
Transporte	2,261.27	2246.39
industrial	1590.42	1568.44
Residencial, comercial y publico	909.56	921.48
Agropecuario	158.62	159.48

Tabla 12. Consumo energético por sector. Elaboración propia con información de SENER. 2014.



Gráfica 1. Consumo energético por sector. Fuente: SENER. (2014)

Dentro del sector transporte, los combustibles con mayor consumos son la gasolina y el diésel.



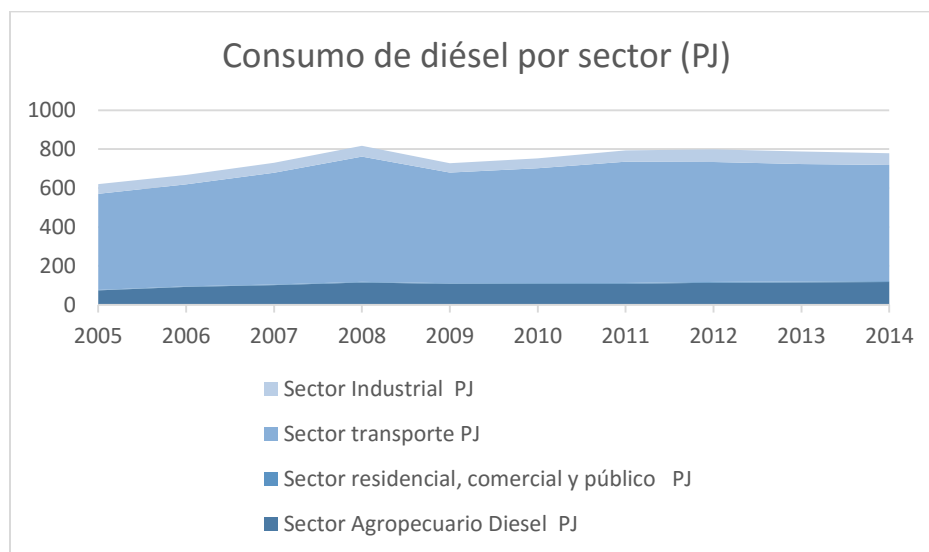
Gráfica 2. Consumo por tipo de combustible en el sector transporte. Fuente: SENER (2013).

El grado de desarrollo de los países, su nivel de industrialización y la evolución de sus parques vehiculares, determinaran el consumo de petróleo y sus derivados de cada región. En el panorama mundial el crecimiento en consumo de petrolíferos se encuentra encabezado por las economías emergentes, particularmente el destinado al transporte, en China, la India y Oriente Medio.

En México el consumo de productos provenientes del petróleo ha aumentado 11.7% del 2002 al 2012; este crecimiento se debió principalmente a la mayor demanda de petrolíferos en el sector transporte; además se puede observar que este sector presenta el mayor consumo de productos petrolíferos.

Sin embargo y a partir del 15 de noviembre del 2016, existen estímulos fiscales a las personas que realicen actividades empresariales en general, siempre y cuando sean utilizados en maquinaria para las actividades agropecuarias o silvícolas, al uso de vehículos marítimos y al uso de vehículos automotrices que se destinen exclusivamente al transporte público y privado, de personas o de carga, así como el turístico. DOF 23-12-2016

El estímulo fiscal o la acreditación es diferente para las personas físicas y morales y tienen especificaciones según el ingreso, no obstante, la finalidad del estímulo es traspasar o retirar el Impuesto Especial Sobre Producción del diésel o de biodiésel y sus mezclas, con el fin de apoyar a los empresarios.



Gráfica 3. Demanda de petrolíferos por sector . (SENER 2014)

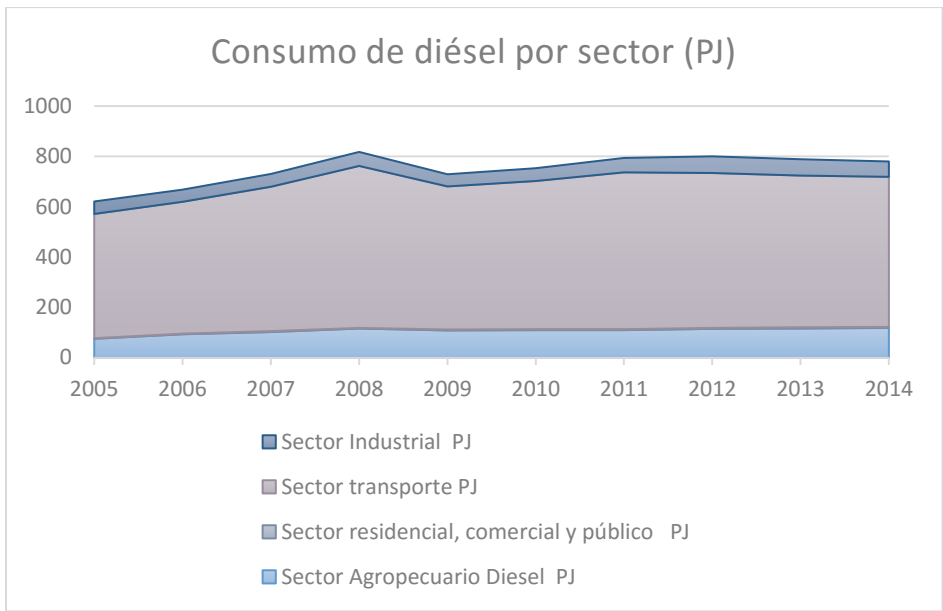
En la gráfica 3 se muestra la demanda de petrolíferos (incluye gasolina, gas natural, diésel, combustóleo, coque de petróleo y gas LP) por sector y se puede observar

que el sector con mayor demanda es el sector transporte. Es necesario aclarar que en el sector industrial se encuentra incluidas las actividades agropecuarias y de silvicultura. (SENER, 2014)

En lo que respecta al consumo de diésel por sector; el sector con mayor demanda es el sector transporte, con un consumo total de 597.07 PJ en el 2014, el segundo sector con mayor consumo de diésel es el sector agropecuario con 117.28 PJ. Con esta información se observa que los sectores apoyados con el crédito y devolución del IEPS de diésel y biodiésel y sus mezclas, son los mayores consumidores de diésel. (SENER, 2014)

	Sector Agropecuario Diésel	Sector residencial, comercial y público	Sector transporte	Sector Industrial
Año	PJ	PJ	PJ	PJ
2005	74.37	2.35	493.95	49.72
2006	92.26	2.85	524.24	48.23
2007	101.42	3.14	574.36	51.18
2008	114.63	3.55	643.67	55.53
2009	107.79	3.33	568.85	47.95
2010	108.39	3.72	589.97	50.8
2011	108.34	4.17	623.23	58.04
2012	113.42	4.24	616.49	64.99
2013	115.55	4.4	603.7	64.53
2014	117.28	4.48	597.07	60.37

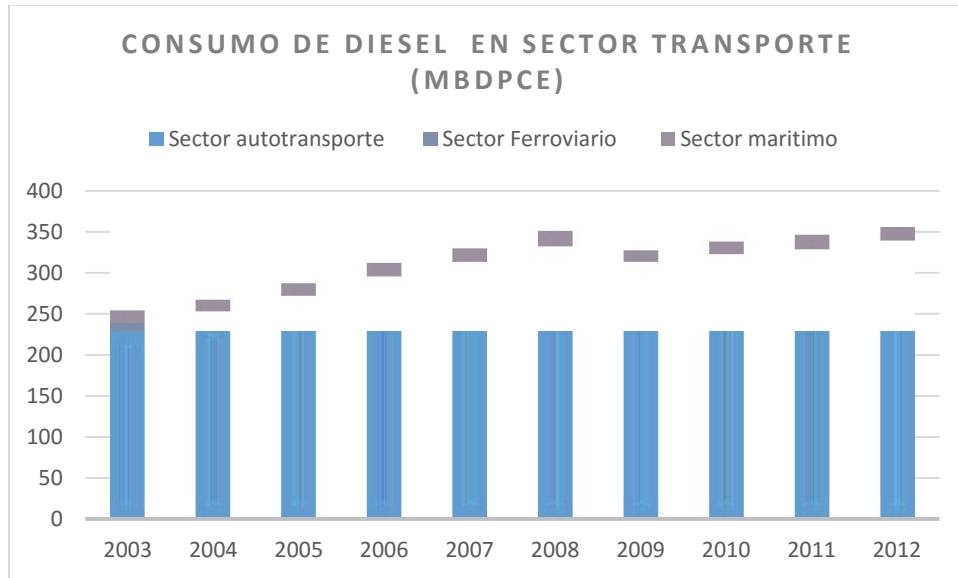
Tabla 13. Demanda de diésel por sector, PetaJoules. FUENTE : INEGI. 2015



Gráfica 4. Consumo de diésel energético total por sector 2014. Fuente: SENER

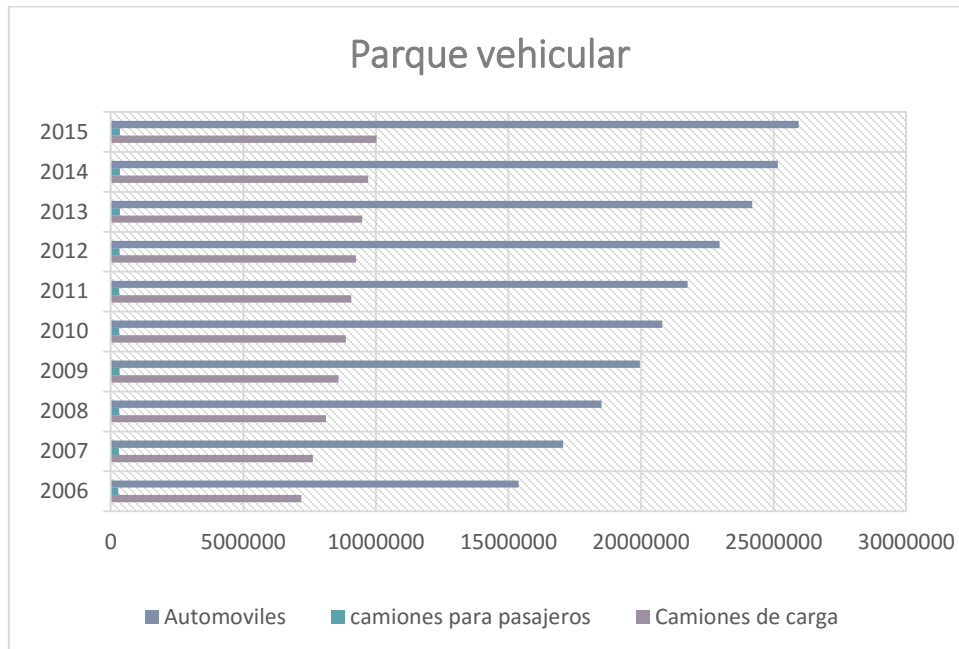
5.2.4. Mercado del diésel en el sector transporte.

El sector transporte en México se encuentra dividido en: autotransporte, transporte aéreo; transporte marítimo y ferroviario. Este sector se consumen principalmente combustibles como gasolina, diésel, turbosina e intermedio 15. El mayor consumo de diésel se da en el sector autotransporte con 92 % (para el 2012) del total de diésel consumido por este sector.



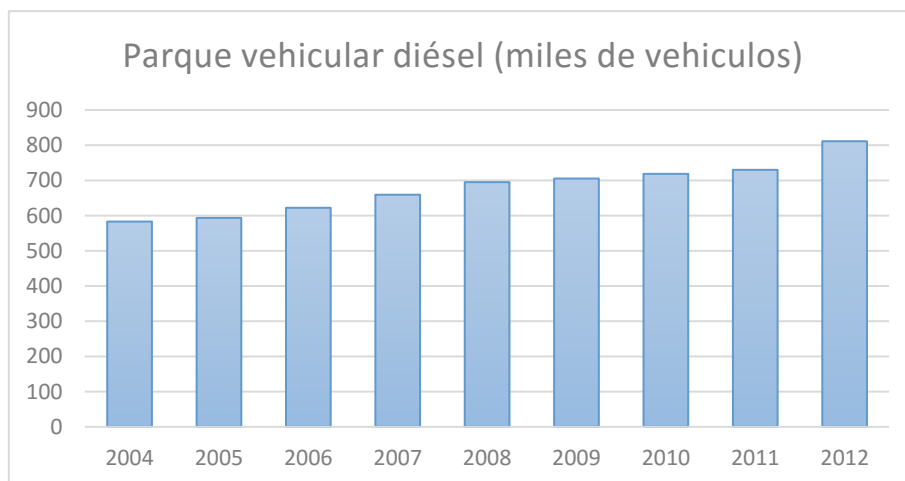
Gráfica 5. Consumo de diésel en sector transporte. Fuente: SENER 2013

El consumo de combustibles en el sector autotransporte está integrado por gasolinas y diésel. El aumento del consumo de combustibles en este sector se debe al aumento en el parque vehicular de los últimos años. Los combustibles más utilizados en el sector autotransporte son la gasolina y el diésel.



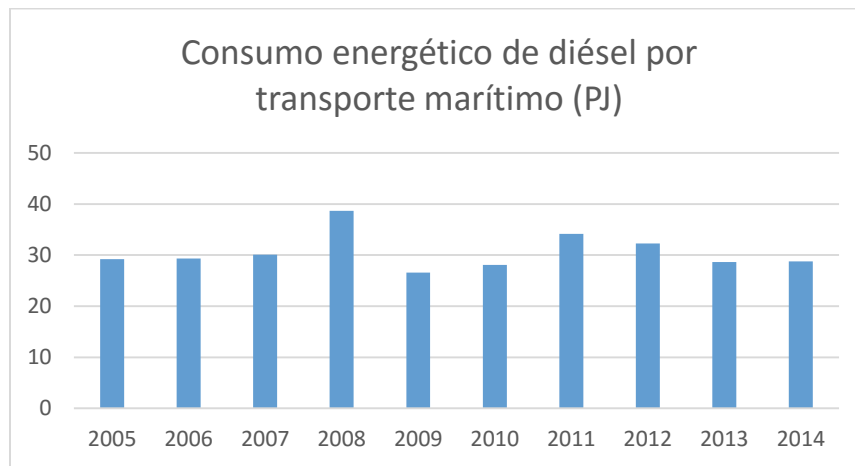
Gráfica 6. Parque vehicular total. Fuente: INEGI. 2016

Según datos de la SENER, el diésel tuvo un crecimiento promedio anual de 4.2% en el periodo entre el 2002-2012. Este crecimiento se asocia a factores como un mayor parque vehicular de carga, mejor eficiencia de motores de diésel, nueva infraestructura carretera y al movimiento del autotransporte de pasajeros. El número de vehículos hasta el 2012 que utiliza diésel como combustible es de aproximadamente 811 4000 vehículos.



Gráfica 7. Crecimiento del parque vehicular de diésel 2004-2012.

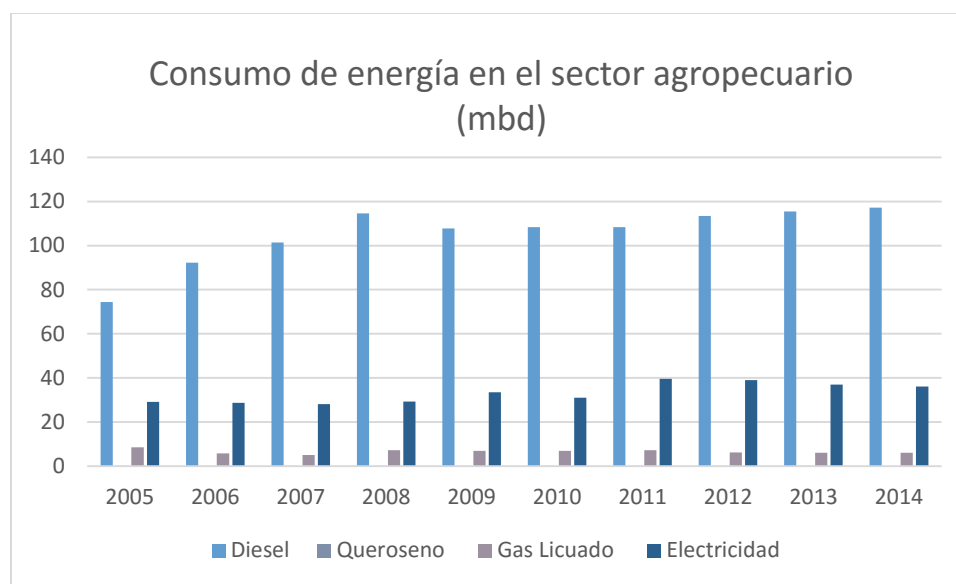
El transporte marítimo utiliza casi en su totalidad diésel como combustibles, principalmente debido al uso de combustibles más limpio. Otro combustible también utilizado por el transporte marítimo es el combustóleo.



Gráfica 8. Consumo energético de diésel por transporte marítimo. Fuente: INEGI.

5.2.5. Mercado de diésel en el sector agropecuario.

En lo que se refiere al sector agropecuario, el mayor consumo energético se da por el uso de diésel, el cual representa el 73.5% del consumo total del energéticos para el año 2014.



Gráfica 9. Consumo energético del sector agropecuario. Fuente: INEGI.

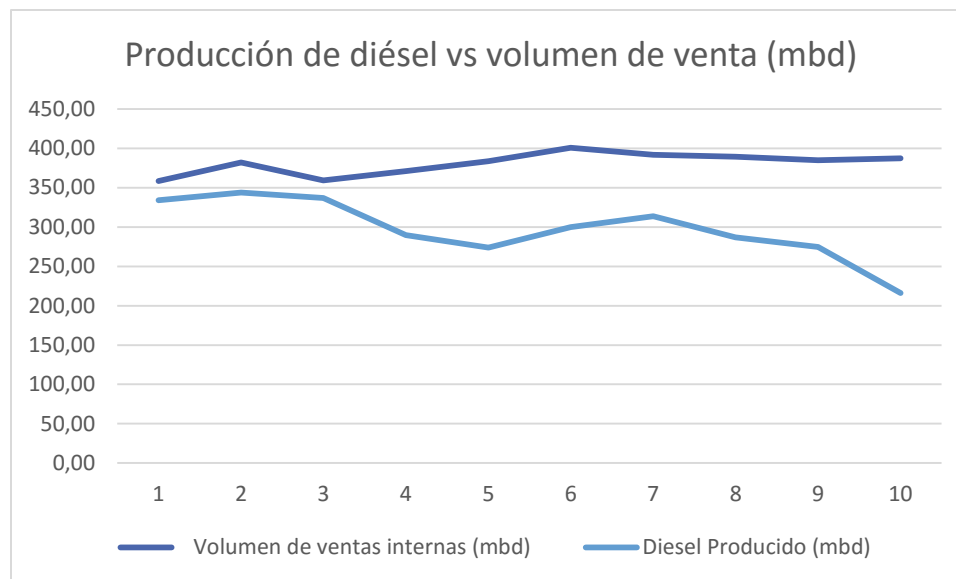
El diésel es utilizado principalmente en la maquinaria para la producción agrícola como los son los tractores.

5.2.6. Oferta y demanda histórica del diésel en México

Sin embargo y a pesar de la creciente demanda de diésel, la producción de este combustible por parte de PEMEX continúa disminuyendo; ocasionando que las importaciones aumenten para así satisfacer la demanda del diésel en México.

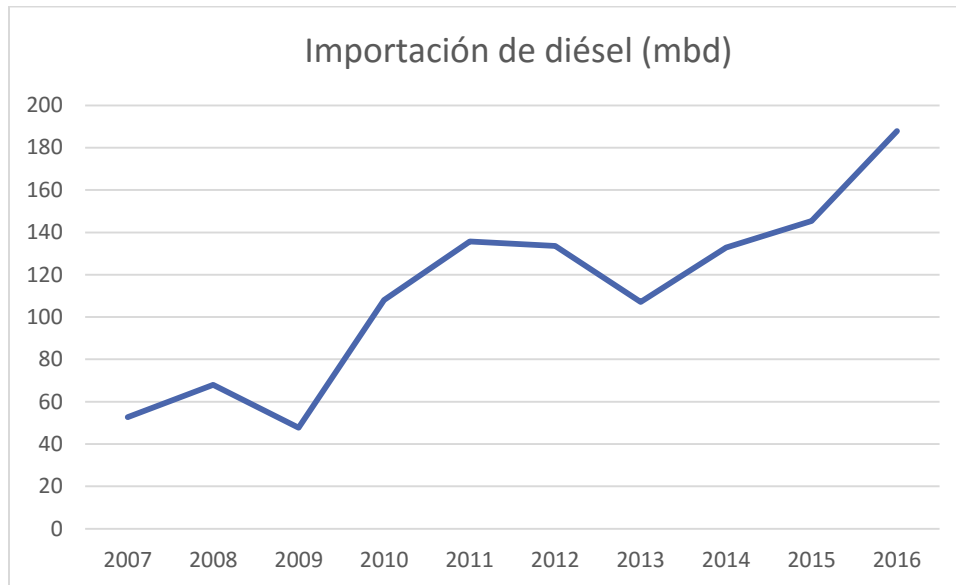
Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Volumen de ventas internas (mbd)	358.38	381.97	358.98	371.07	383.58	400.53	391.71	389.40	384.75	387.22
Diésel Producido (mbd)	334.04	343.50	337.00	289.51	273.77	299.61	313.42	286.62	274.66	216.21

Tabla 14. Volumen de producción y de ventas de diésel en México; datos históricos. Miles de barriles diarios Fuente: PEMEX 2017.



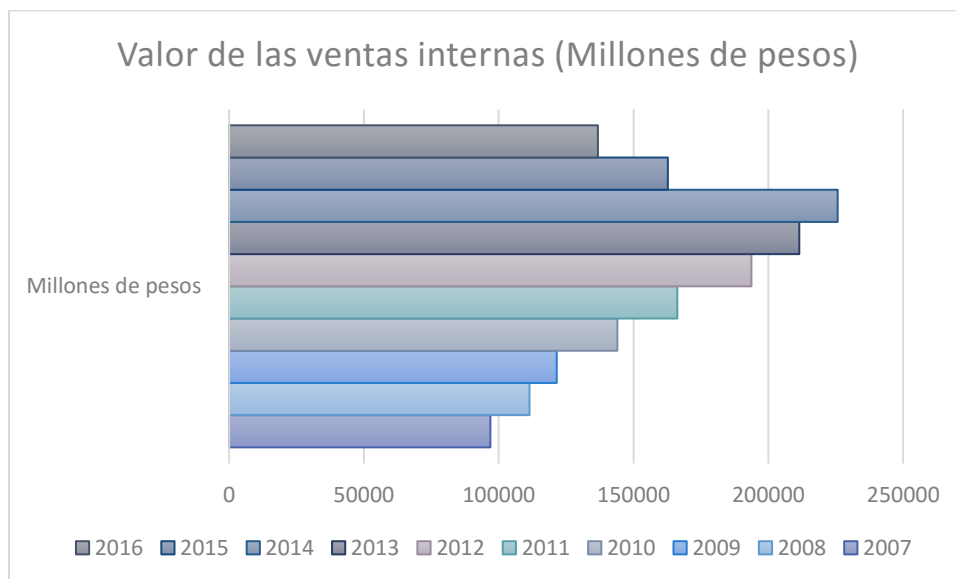
Gráfica 10. Producción de diésel y volumen de ventas en miles de barriles diarios . Fuente: PEMEX. 2017

Las importaciones diésel para el año 2016 fueron de 187 846 barriles diarios lo que representa el 48.51 % del total del volumen de venta en el mercado nacional. Para el año 2012; el diésel representó el 23.8% del total de las importaciones de petrolíferos y el único país del cual se importa es Estados Unidos. (SENER, 2013)



Gráfica 11. Importación de diésel a México en miles de barriles diarios. Fuente: PEMEX 2017

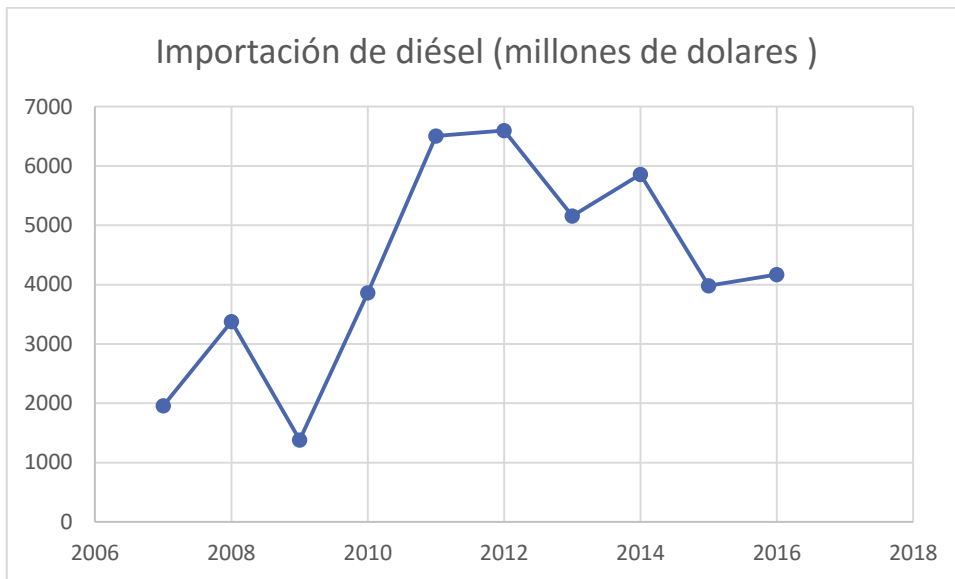
En cuestiones económicas el mercado del diésel para el año 2016 tuvo un ingreso total de 136 792 millones de pesos y el gasto de importaciones llego a los 4 170. 27 millones de pesos. Resulta que interesante porque y a pesar de que hubo una mayor demanda del combustible en el 2016; el valor de las ventas haya disminuido. La disminución en el valor de las ventas pudo ser debido a un menor precio del petróleo en el mundo.



Gráfica 12. Valor de las ventas internas de diésel en México. Fuente: PEMEX 2017

En la grafica 12 se puede observar el valor de la ventas de diésel en el periodo 2007 al 2016, es importante observar que aunque existe un aumento en la demanda del combustible con el paso de los años (Gráfica 10), hay una disminución en el valor

de las ventas internas, esto se puede deber al no aumento de la tarifa de estos combustibles e inclusive a una disminución en el precio de los mismos.



Gráfica 13. Valor de las importaciones de diésel. Fuente PEMEX 2017.

En cuanto al valor de la importaciones de diésel también se presenta una disminución a pesar del aumento de las misma, esto puede ser debido a la reducción en el precio del diésel, sin embargo para saber las principales causas es necesario indagar más en el tema.

El precio es por barril de diésel, tomando como precio el costo al que vende en las gasolineras del país (Gráfica 15). Se puede observar que el precio tiene una tendencia a la alza, sin embargo en el año 2015 disminuyo su precio y en el 2016 hubo un aumento súbito pero el precio se mantuvo durante todo el año por subsidio gubernamental.

5.2.7. Precios del diésel y el biodiesel en México y el Mundo.

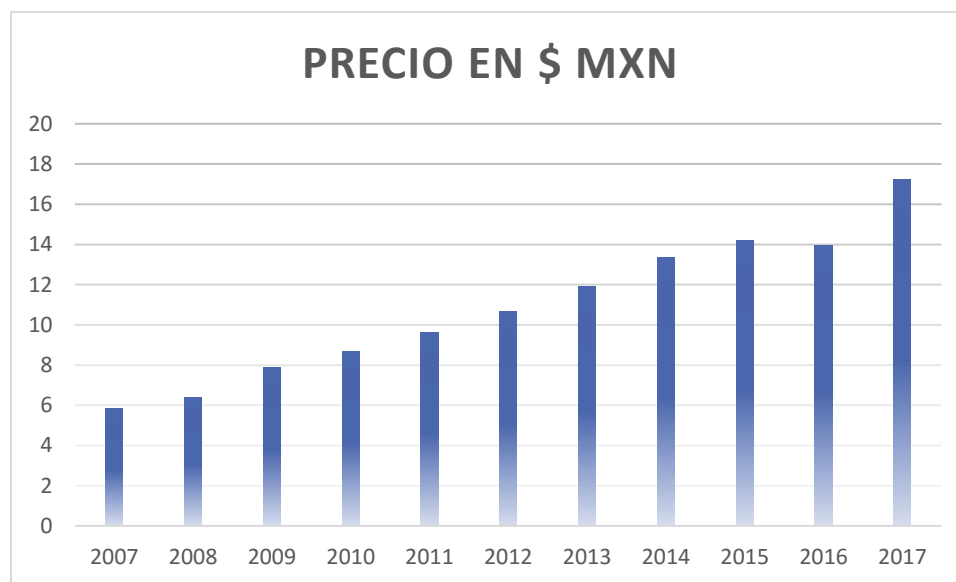
Una parte importante del estudio de mercado es conocer cómo se comporta la competencia dentro del mercado al que se pretende ingresar; por lo que es necesario conocer el precio del producto que se desea comercializar y el comportamiento del mercado, además de las cuestiones políticas que lo influncian.

En México; los combustibles son ofrecidos bajo esquemas no competitivos puesto que los provee el Gobierno Federal, como consecuencia, la determinación de sus precios no responde a criterios de mercado. (Reyes M., 2015). Para reducir los subsidios a la gasolina y el diésel, el Gobierno Federal optó por instrumentar una política de deslizamientos semanales y mensuales en los precios de estos petrolíferos, revirtiendo la relación de precios en diciembre del 2008.

A partir de enero del 2009, los precios internacionales de los hidrocarburos repuntaron, el tipo de cambio se depreció, sumado a la política de congelamiento. Dado este escenario externo e interno adverso, los precios en los Estados Unidos se deslizaron más rápidamente que en nuestro país, conformándose nuevamente un subsidio a favor de los consumidores nacionales. Lo que ocasionó que se reiniciara la política de deslizamientos mensuales, eliminándose con el tiempo la existencia del subsidio de estos petrolíferos a favor de los consumidores nacionales y ocasionando que el diésel y la gasolina tuvieran un costo mayor al de Estados Unidos.

En el 2013 el Presidente de la Republica; Enrique Peña Nieto propuso una reforma constitucional. La llamada Reforma Energética, se aprobó en el 2014, entre todos sus objetivos plantea principalmente la inversión privada en el sector petrolero y la liberación de los precios de la gasolina y el diésel a las condiciones internacionales del mercado; por lo que para el 2018 el precio de los combustibles será determinado en su totalidad por la ley de oferta y demanda. (SENER, 2016)

Por todo lo ya expuesto el precio del diésel ha fluctuado en los últimos años y continuara fluctuando en los años siguientes. (SENER, 2016)



Gráfica 14. Precio histórico del diésel. Fuente: INEGI

- 1) Para el 2017 se considera el promedio de todas las zonas y días hasta el mes de octubre.

El precio es por barril de diésel, tomando como precio el costo al que vende en las gasolineras del país (Gráfica 14). Se puede observar que el precio tiene una tendencia a la alza, sin embargo en el año 2015 disminuyó su precio y en el 2016 hubo un aumento súbito pero el precio se mantuvo durante todo el año por subsidio gubernamental.

El precio del diésel en México para diciembre del 2016 fue de \$14.63 MXN por litro, para enero del 2017 se prevé un cambio en el precio del diésel de 16.5% por lo que el precio diésel será de \$17.05 MXN/Litro, el cambio del precio del diésel se debe a que el Gobierno prevé el adelantó de la liberación del precio de los combustibles al 2017; sin embargo el precio fijado es más alto comparado con el precio del diésel en EUA, que es nuestro principal punto de comparación debido a que la mayoría de los combustibles se importan de este país. (CRE, 2016)

A partir del 2017 se eliminara el subsidio al precio de los combustibles y dependerá de cuatro factores: tipo de cambio, precio del petróleo según el mercado internacional, impuestos y costo de la logística que dependerán de la cercanía a fronteras y plantas de refinación.

En comparación con el precio del diésel por ejemplo en Estados Unidos; que se encuentra liberado al comportamiento del mercado por lo que la variación sucede de manera casi diaria.

La tabla que se muestra a continuación tiene la finalidad de hacer una comparativa del precio del diésel en distintas partes del mundo.

País/ Moneda	Tipo de cambio en Pesos Mexicanos	Precio del diésel en divisa	Precio del diésel (\$MXN)
Estados Unidos/ dólar	20.6321	2.540 Dólares / gal	52.40 por galón ⁽¹⁾
Alemania/ Euro	21.5969	1.194 € ⁽²⁾	25.7967 por litro
Brasil/ Real Brasileño	6.3940	3.230 R\$	20.65 por litro

(1) Por litro el precio del diésel en Estados Unidos se encuentra en 13.84 pesos el litro.

(2) Este precio incluye el VAT. (3) Todos los datos mostrados en esta tabla se tomaron el día 26/12/2016.

Tabla 15. Precio del diésel en diferentes países donde también se produce biodiesel. Elaboración propia con información de: DOF. CSA, BCB BenzinPreis Aktuell, BANAMEX

En Estados Unidos de América el precio de B20 se reporta en \$2.46 dólares por galón para octubre del 2016, y en \$3.18 dólares para el B100 por galón para la misma fecha; el valor promedio del dólar según el DOF fue de \$18.91 MXN para el mes de octubre. (U.S. Department of Energy, 2016)

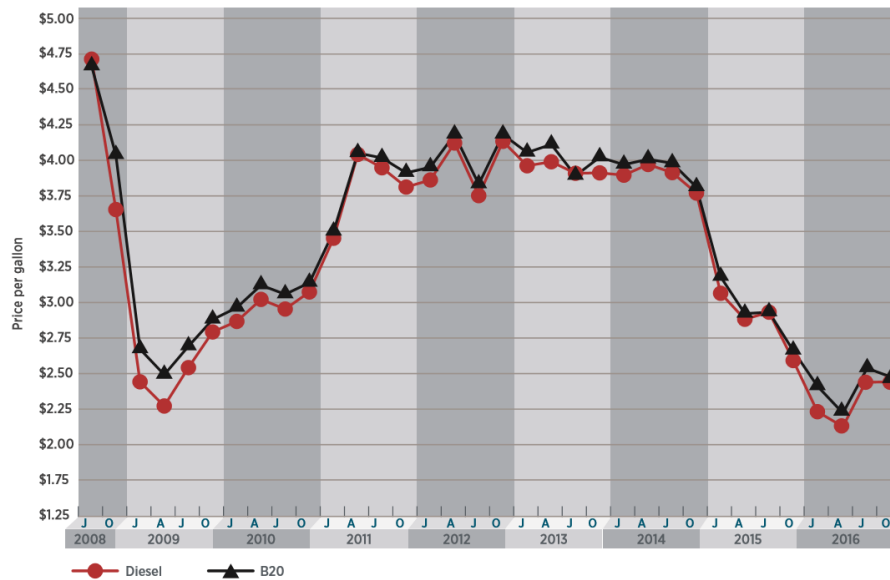


Fig 14. Comparación de precios entre B20 y diésel fósil. Fuente: Department of energy U.S. 2016

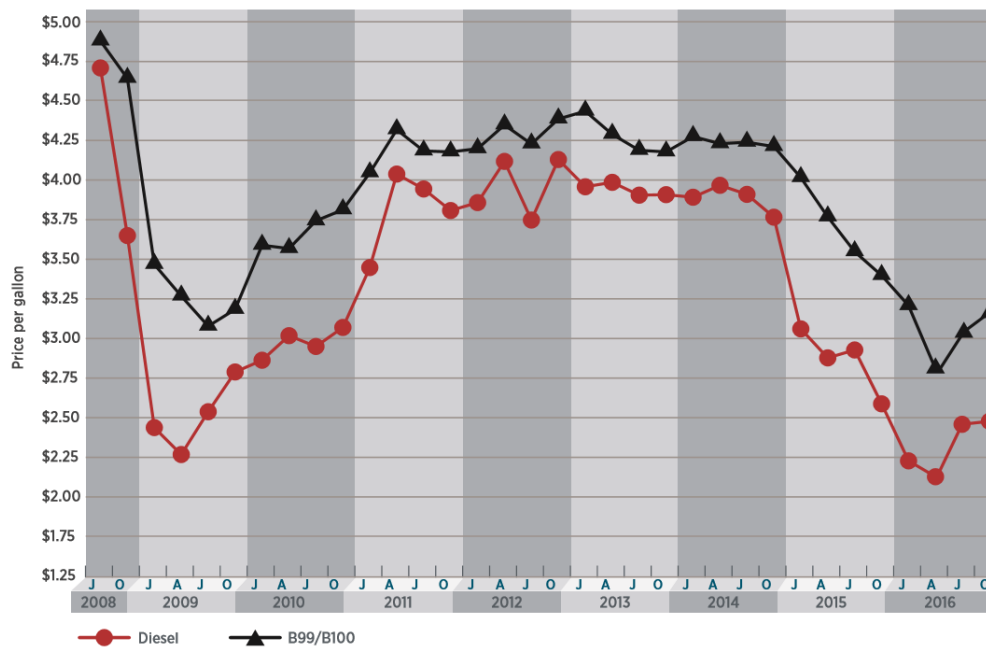


Fig 15. Comparación de precios entre diésel fósil y B99/B100. Fuente: Department of energy U.S. 2016

En Brasil la mezcla de biodiésel y diésel B7, en agosto del 2016 tenía un precio de \$2,3989 Reales en promedio*. En julio del mismo año el precio de venta directo del productor para el B100 se encontraba en \$2.41 Reales/Litro, sin embargo su precio de venta al consumidor final rebaso los \$3.20 Reales/Litro en el norte de Brasil^{(**)(1)}. (Departamento de Combustíveis Renováveis, 2016). Las principales materias primas utilizadas en Brasil son el aceite de soya y la grasas de animales.

En Alemania, el precio de biodiesel sin incluir IVA, ni transporte, fue de 78 centavos por litro para octubre del 2016 y en venta final su precio sube a 1.3233 €/litro. La materia prima principal utilizada en Alemania para la producción de biodiesel es la Canola, seguido de aceites de residuo de cocina, aceite de palma y por ultimo aceite de soya. (UFOP, 2016).

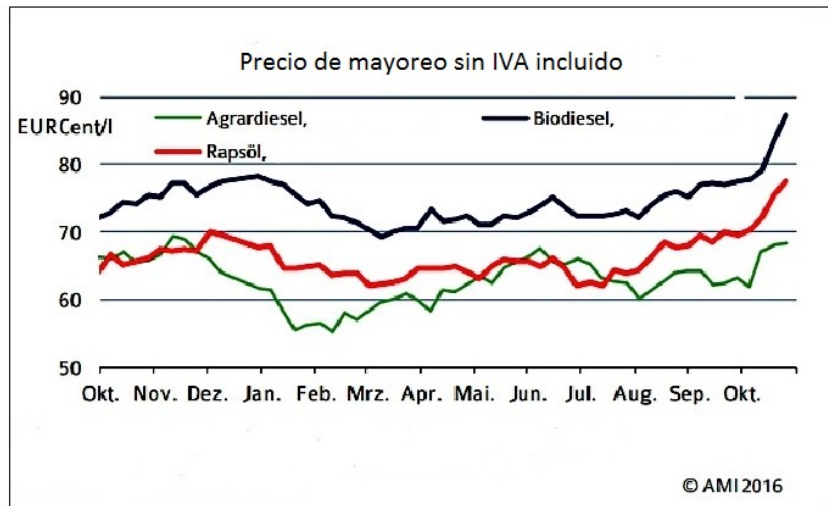


Figura 16. Precio histórico mensual de combustibles alternativos en Alemania. Fuente: UFOP 2016

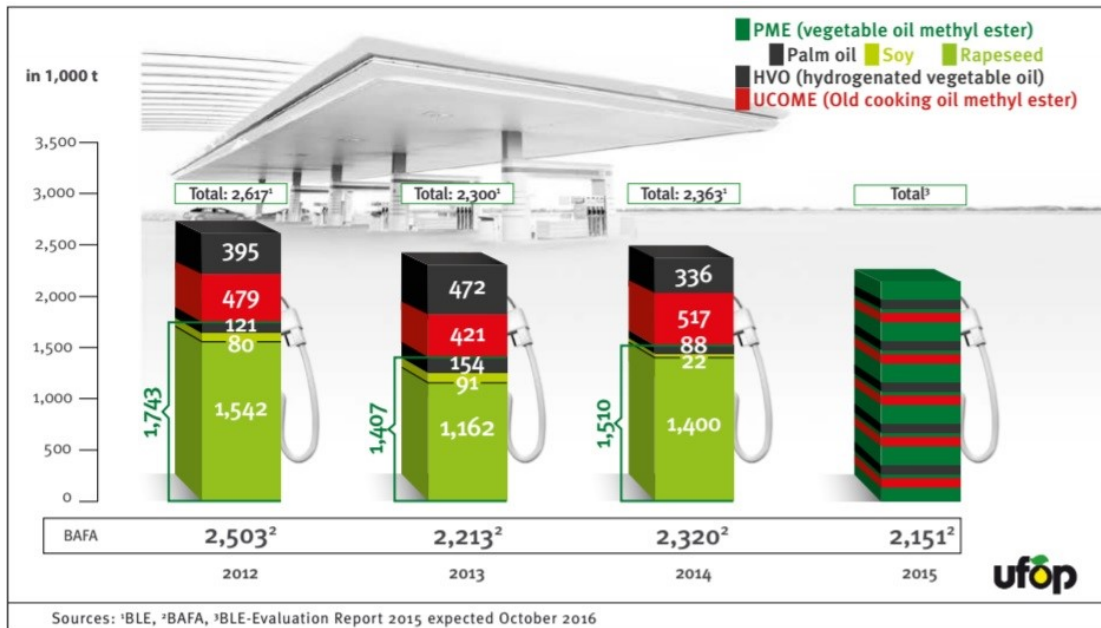


Fig 17. Materias primas utilizadas para la producción de biodiesel en Alemania. Fuente: BLE

* El valor del Real para Julio fue de \$ 5.6783 MXN y para agosto del 2016 era de \$ 5.6783 MXN

** La mayoría de la plantas productoras de biodiesel en Brasil se encuentra en el sur del país.

(1) El precio del diésel en Brasil en Julio del 2016 tenía un máximo de R\$3.980 y un mínimo de R\$ 2.539.

Otros combustibles que compiten con el biodiésel en México son la gasolina, y el gas natural; se exponen a continuación los precios por litros en pesos mexicanos para estos combustibles.

Combustible	Diciembre 2016(\$MXN)	Julio 2017⁽¹⁾ (\$MXN)
Gasolina Magna	\$ 13.98	\$16.25
Gasolina Premium	\$ 14.81	\$ 17.99
Gas Natural⁽²⁾	\$ 7.06	\$7.99
Diésel	\$ 14.63	\$17.09
Gas licuado ⁽³⁾	\$13.39	\$15.77

Tabla 16. Comparativa de precios de combustibles. Fuentes: PEMEX

(1) Se exponen los precios de julio del 2017 debido a que se utilizó este para calcular el de la mezcla B5.

(2) El uso del gas natural requiere hacer cambios en el motor lo cual conlleva una inversión que debe ser considerada por el consumidor.

(3) Pesos por kg. Promedio de los precios autorizados (Fuente: CRE)

5.2.8. Proyección de la oferta, la demanda y el precio del diésel.

Para hacer la proyección de la oferta, la demanda y el precio del diésel, se utilizaron los datos histórico de la producción, las ventas internas y el precio del diésel respectivamente.

Las proyecciones se hicieron por medio de series de tiempo, utilizando los software Stata/MP y el software de análisis predictivo IBM SPSS Statistics 20.

El software Stata/MP 13 es un paquete estadístico diseñado para el análisis descriptivo de datos desarrollado por StataCorp este software se utilizó para definir el *modelo autorregresivo integrado de promedios móviles* (ARIMA).

Los pasos para definir el modelo ARIMA son los siguientes y están basados en la Metodología Box-Jenkins:

- 1) Definir si la serie de tiempo tiene un comportamiento estacionario o no estacionario.
- 2) Hacer pruebas de raíz unitaria Dickie Fuller y Philips-Perron para comprobar si efectivamente no son estacionarias.
- 3) Si las series no son estacionaria, es necesario hacerla estacionaria por medio de una técnica de suavizamiento ya sea por diferencias o por logaritmos.
- 4) Se comprueba de nuevo por medio de raíces unitarias si las series de tiempo ya suavizadas presentan un comportamiento estacionaria si es así se continua con el siguiente paso.

- 5) Se comienza la evaluación del correlograma en conjunto para conocer el valor de ARMA y se hace una revisión de las gráficas de autocorrelación simple y parcial. Con estos gráficos se propone el modelo.
- 6) A partir del paso anterior se corrieron los modelos propuestos hasta encontrar la parte significativa, es decir donde se tenga una probabilidad <0.05 . (Damoadar Gujarati, 2009)

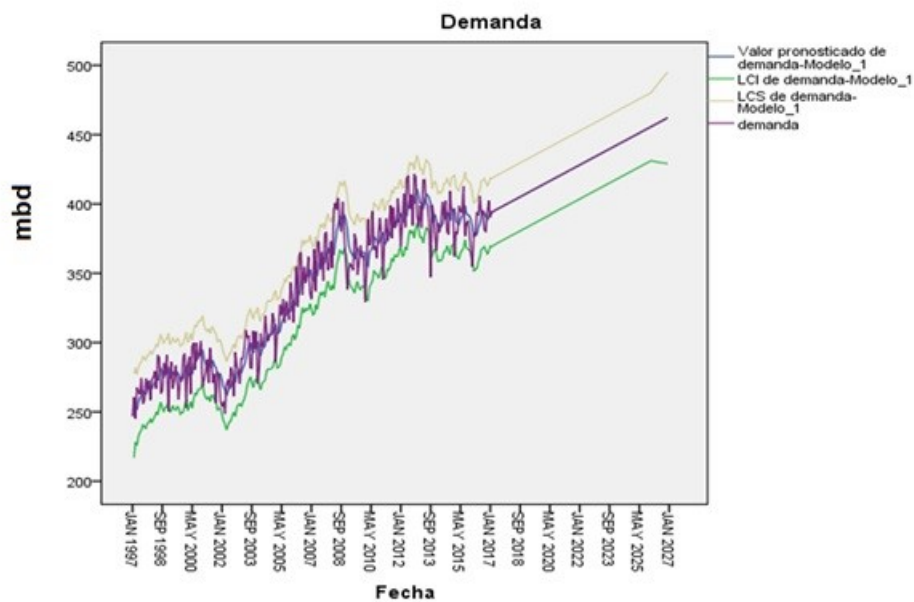
Todos los gráficos, se encuentran adjuntos en el Anexo 2 y 3. Los modelos encontrados para cada cada serie fueron los siguientes:

Serie	Modelo
Oferta	IMA (0,1,1)
Demanda	IMA (0,1,1)
Precio	ARIMA (1,1,1)

Tabla 17. Resultados de los modelos encontrados para cada serie de datos de oferta demanda y precio.

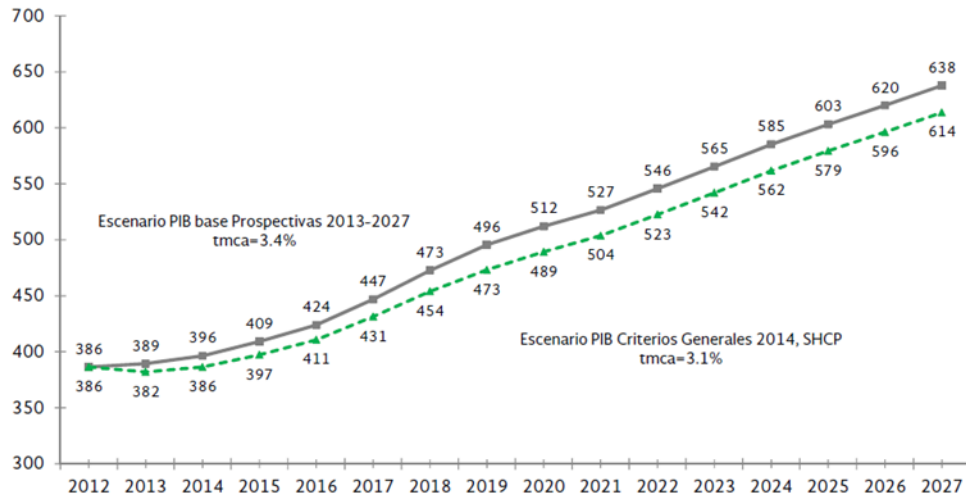
El software SPSS es un programa estadísticos predictivo utilizado ampliamente por las empresas, gobierno, fundaciones y académicos para la toma de decisiones. Es uno de los softwares más utilizados en el estudio de mercados con este programa se hicieron las predicciones de la oferta, la demanda y el precio del diésel para 10 años, es decir el último año proyectado es el 2026.

Es importante aclarar que no se utilizó ningún otro dato macroeconómico para las proyecciones aquí propuestas, debido a que el método no requiere esta información.



Gráfica 15. Proyección de la demanda de diésel en mbd.

Figura 6.3
Sensibilidad de la demanda interna de diésel
(miles de barriles diarios)

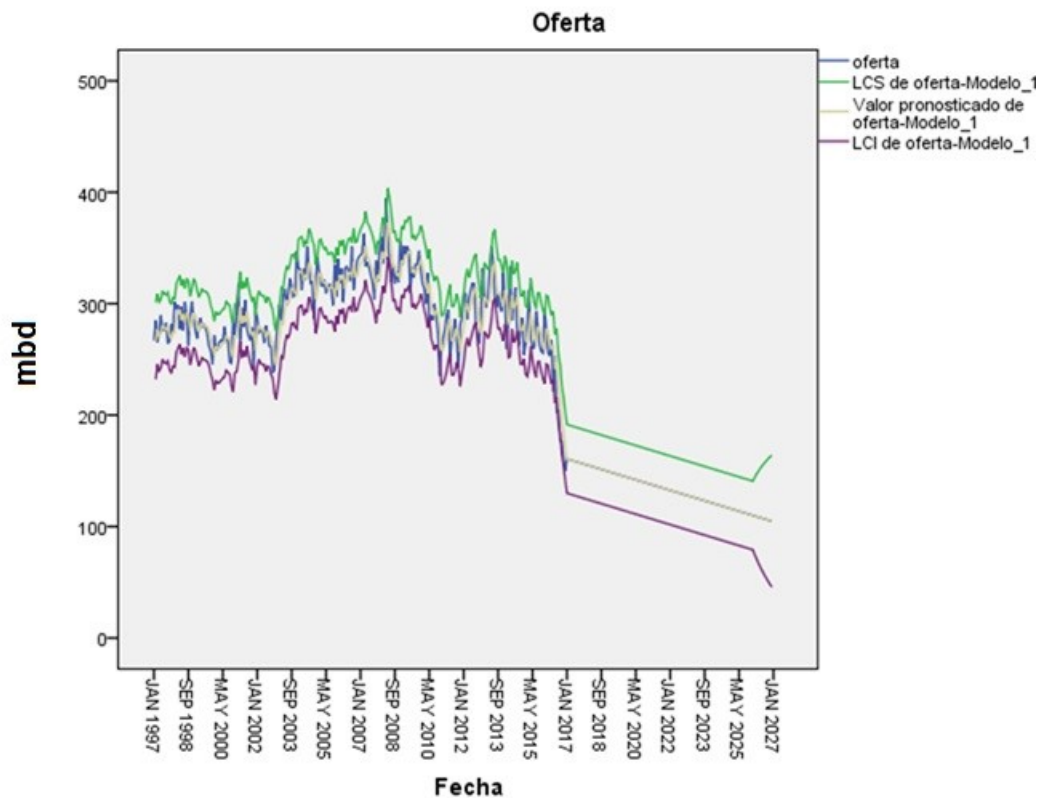


Fuente: Elaborado por IMP, con base en información de BANXICO, CFE, CNIAA, CONAGUA, CONAPO, CONUEE, CRE, EIA, EPA, IEA, INEGI, PEMEX, SENER y empresas privadas.

Gráfica 16. Proyección del consumo de diésel. SENER 2012

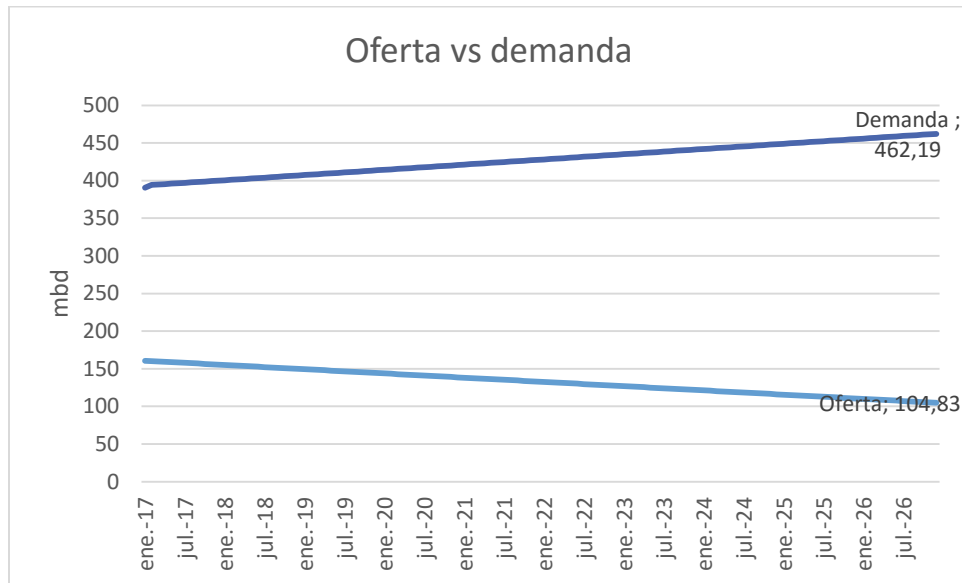
En la gráfica 15 se puede observar la proyección de la demanda de diésel para los siguientes 10 años, la proyección presenta una pendiente positiva es decir se espera que la demanda de diésel aumente.

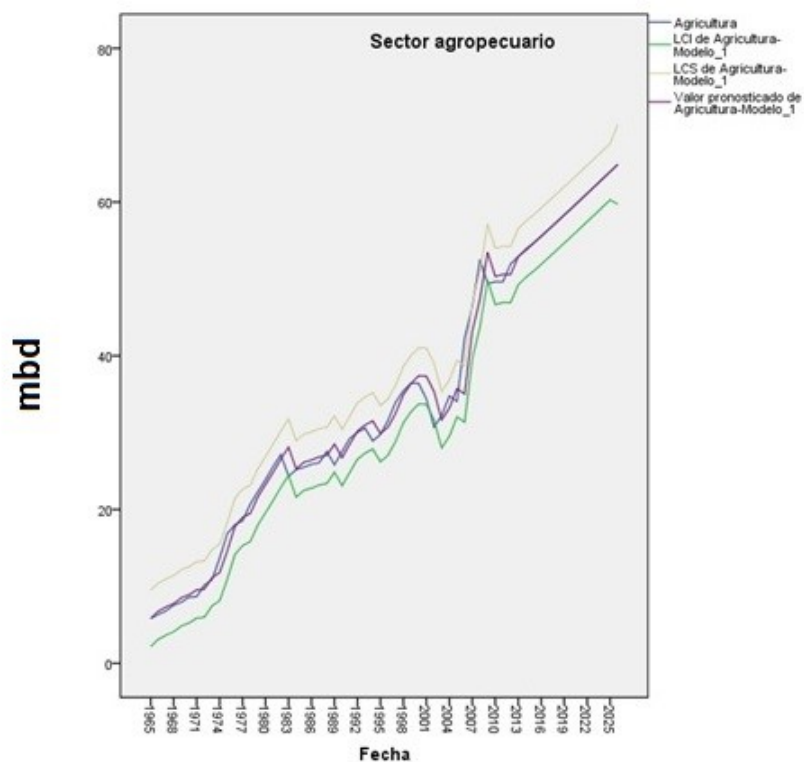
En el documento *Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2014-2027* de SENER, se puede encontrar una proyección de la demanda de diésel hasta el año 2027 en la cual se considera el Producto Interno Bruto como variable descriptiva, sin embargo no se utilizó esta proyección porque consideramos que se encuentra muy alejados del panorama económico nacional actual, porque considera un precio de \$ 11.9 pesos durante todo el periodo y un PIB de 4.0% para el periodo 2014-2018 y 3.9% para el 2020 y de hasta 3.5% para el 2027, cuando los últimos datos reportados son de un precio del diésel de \$14.63 pesos para diciembre del 2016 y un PIB de 2.3%.



Gráfica 17. Proyección de la oferta del diésel.

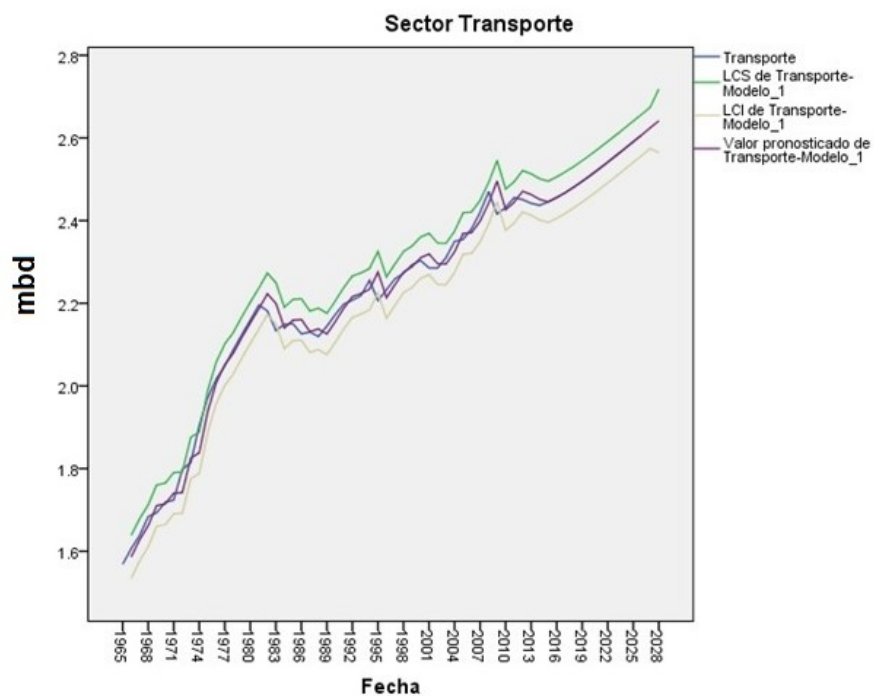
En cuanto a la proyección de la oferta del diésel, el comportamiento presenta una pendiente negativa por lo que podemos observar que la producción; de seguir con la tendencia hasta ahora mostrada, disminuirá con el tiempo por lo que siguiendo este escenario para cubrir la demanda insatisfecha será necesario aumentar las importaciones, que, en el caso de México, para el diésel provienen principalmente de Estados Unidos. (SENER, 2014). La tabla de demanda potencial insatisfecha para cada año se muestra a continuación, si las condiciones de oferta y demanda siguen el mismo comportamiento que se ha tenido hasta la fecha, la importaciones aumentaría en la misma cantidad que la demanda potencial insatisfecha.





Gráfica 19. Proyección del consumo de diésel en el sector agropecuario.

La demanda de diésel por parte del sector transporte se estima que aumentará. La demanda de este combustible se centra principalmente en el transporte de carga y de pasajeros.



Gráfica 20. Proyección del consumo de diésel en el sector transporte.

Es importante mencionar que el aumento del consumo de diésel está relacionado de manera directa con el crecimiento de estos sectores y además con la influencia del uso de gas natural como reemplazo de diésel, sin embargo gran cantidad del gas natural consumido en México es importado, de la demanda nacional total de 7614.8 millones de pies cúbicos diarios del año 2015; 3548 millones de pies cúbicos diarios son importados de diferentes países como Perú, Nigeria y Trinidad y Tobago. (SENER, 2015)

Por lo que otra forma de evaluar la proyección del consumo de diésel en estos sectores es hacer la proyección del crecimiento económico de ambos sectores y conocer como se ha comportado el mercado del gas natural para finalmente relacionar estas variables con el consumo de diésel.

5.3. Escenarios de la posible demanda del biodiésel B5, B20 y B100.

En el Anexo 4, se muestran los diferentes escenarios de la posible demanda de biodiésel si en los siguientes 10 años se utilizaran mezclas de 5%, 10%, 20%; así como del 100% para cubrir la demanda insatisfecha de diésel, el consumo de diésel en el sector agricultura y el consumos de diésel en el sector transporte.

A continuación se muestra un resumen de los promedios para el periodo 2017-2026 obtenidos para oferta, demanda, demanda insatisfecha, demanda del sector agropecuario y demanda del sector transporte para las difentes mezclas del biodiésel.

Promedio periodo 2017-2026	Demanda	Oferta	Demanda insatisfecha	Agricultura	Transporte
	toneladas al año	toneladas al año	toneladas al año	toneladas al año	toneladas al año
B5	1,037,960.47	322090.523	715,869.948	147123.739	837785.67
B10	2,075,920.94	644181.046	1431739.9	294247.478	1675571.34
B20	4,151,841.88	1288362.09	2863479.79	588494.957	3351142.68
B100	20,759,209.4	6441810.46	14317399	2942474.78	16755713.4

Tabla 19 . Resultados de los escenarios para las mezclas biodiésel- diésel.

La proyección de estos escenarios tiene la finalidad de:

- a) Definir el mercado objetivo
- b) Definir la capacidad de la planta.

Esta información además ayudará a elegir el sitio de ubicación de la planta.

La demanda que se plantea cubrir es la que corresponde al sector agropecuario en mezclas de B5, este sector tiene la ventaja de que la materia prima para la producción de biodiésel puede ser obtenida en un perímetro cercano a la venta del combustible, por otro lado la contribución al mercado del diésel por parte del biodiésel sería del 0.7% para el periodo antes proyectado, una contribución pequeña, sin embargo al seleccionar este sector se contribuye de manera directa a la reactivación del sector rural, la generación de empleos y una mejora en la calidad de vida de esta población, como lo marca la Ley de promoción y desarrollo de Bioenergéticos.

Otra razón por la que se eligió esta capacidad para la planta, es debido a que en la literatura no se encontraron plantas de producción mayor a 250,000 toneladas de biodiésel.

Capítulo VI.

Estudio técnico y evaluación de tecnologías para la producción de biodiesel

6. Métodos para la producción de biodiesel y descripción de las tecnologías existentes.

La selección de la tecnología es una de las etapas más importante para conocer la viabilidad de un proyecto; dado que esta define la calidad del producto, los costos de operación, el número de empleados y el impacto al medio ambiente.

Existen varios métodos para la elaboración del biodiesel sin embargo pocos se han desarrollado para hacerse industrial y en régimen continuo.

A continuación algunos de los diferentes métodos para la producción de biodiesel:

Método	Descripción	Ventajas	Desventajas
Transesterificación Supercrítica	Método no catalítico para la producción de biodiesel que consiste en utilizar condiciones altas de temperatura y presión para lograr la reacción de transesterificación. La reacción se lleva de forma rápida y conversión tiene un rango de 50-95% y requiere rangos de temperatura desde 250 -400°C Presión de 35 a 60 MPa	<ul style="list-style-type: none">• Manipula tanto al triglicérido y los ácidos grasos por lo que la transesterificación y la esterificación se hacen de manera simultanea• No es necesario el uso de catalizador• No hay formación de jabones	<ul style="list-style-type: none">• Costos de operación altos• El proceso opera a temperaturas y presiones altas• Se necesita cantidades grandes de metanol, debido a que la estequiometría es 40:1.
Proceso Batch	El proceso batch o por lotes para producción de biodiesel; generalmente	<ul style="list-style-type: none">• Alta flexibilidad en la materia prima de alimentación	<ul style="list-style-type: none">• Uso de catalizador homogéneo

	<p>utiliza NaOH y KOH como catalizador.</p> <p>El proceso se lleva en dos etapas o una dependiendo de la pureza de los aceites.</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de separación catalizador-producto.
Proceso Enzimático	<p>La principal diferencia de este proceso con los demás es el uso de enzimas como catalizadores y la condiciones a temperatura ambiente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidades pequeñas de energía necesarias • Condiciones de operación ambientales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento reducido • Tiempo de reacción alto • Poca investigación en la industria
Hidropirolisis	<p>Emplea una ruta química diferente, los triglicéridos son convertidos en combustible al hidrogenarse y después se pirolisan.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcla de hidrocarburos 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo complejo • Requerimiento de hidrogeno
Proceso continuo	<p>El proceso continuo para la producción de biodiesel, se hace generalmente con un catalizador heterogéneo, generalmente sólido. Lo que hace posible una separación más fácil.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor uso en la industria • No es necesario utilizar métodos de separación costoso • Catalizador heterogéneo. • No hay generación de jabones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones altas de operación.

Tabla 20. Proceso de producción de biodiesel. (Kiss A., 2012) (Abbaszadeh A., 2012)

FuelMatic comercializada por la empresa Green Fuels opera por medio de un proceso de lotes y con catalizador homogéneo; esta es una de las tecnologías más convencionales ya que el catalizador utilizado es NaOH o KOH en estado

homogéneo, su principales ventajas son: condiciones moderadas de operación, conversiones altas en poco tiempo, alta actividad catalítica, altamente disponible y económica. La capacidad de producción es de 10000 litros por día y las operación de la planta no es compleja. (Rodríguez J., 2014)

Como sistema de separación utiliza el sistema Amberlite™ para remover la producción de jabones y el exceso de catalizador. (Green Fuels, 2010)

La segunda tecnología utiliza el proceso Esterfip-H, el cual fue patentado por el instituto Frances del petróleo y comercializado por Axens. Este proceso utiliza un catalizador heterogéneo con la finalidad de eliminar los pasos de neutralización y lavado comparado con el método convencional. (Oien M., 2012)

El punto más interesante del proceso Esterfip- H es el uso de una cama catalítica de Aluminato de Zinc Oxigenado, lo que ayuda a que no exista formación de emulsiones y no sea necesario añadir operaciones de separación. Además se obtiene productos secundarios (glicerina) con alta pureza, la cual puede ser utilizada para hacer pinturas o en la industria cosmética.

Esta tecnología puede producir hasta 250 000 t/año de biodiesel ya que trabaja de manera continua, la operación de la planta es más compleja y semiautomatizada. (TechnipFMC, 2017)

6.1.1. Evaluación de la materias prima y de la tecnología para la producción de biodiesel.

La metodología que se utilizará para evaluar las materias primas y las tecnologías; estará basado en el análisis multicriterio para la toma de desiciones:

- 1) Definición del problema o proyecto: Se identifica los objetivos del proyecto y sus posibles consecuencias.
- 2) Identificación de alternativas: Recabar toda la información posible que sea significativa para la evaluación
- 3) Establecer los criterio de decisión: Se establecen los criterio de evaluación que se considerará que tiene peso en la correcta toma de decisión.
- 4) Seleccionar el modelo: Existen varios tipos de métodos de análisis multicriterio; para el presente trabajo se utilizará el método promethee, creado por el Dr. Jean Pierre Brans.
- 5) Definición de la escala de ponderación de los criterios: Consiste en determinar el sistema de ponderación y el peso de cada uno de ellos.

El Software Visual Promethee 1.3, el cual utiliza el método de desición multicriterio PROMETHEE (Preferences Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluation), el cual evalua las diferentes posibilidades con la información que se le cargue, jerarquizando las desiciones basado en las preferencias del tomador de desiciones. Este programa contiene dos tipos de rankings, el primero el

PROMETHEE I, sirve para obtener una calificación parcial de las tecnologías a comparar, en este caso se toman en cuenta la incomparabilidad de las alternativas y se basa en la comparación del flujo de salidas ϕ^+ y el flujo de entrada ϕ^- (Pérez-Valle, 2014)

El segundo tipo de ranking es PROMETHEE II, el cual toma en cuenta el valor de flujos netos de información, realizando una jerarquización completa mediante la diferenciación de los flujos más y menos dominantes, por lo que se basa en la comparación de Phi, que es el indicador global de desición.

6.1.2 Evaluación de la materia prima

Antes de evaluar el tipo de tecnología, resulta conveniente evaluar la materia prima que se utilizará para producir el biodiesel, debido a que esto tendrá influencia en la localización y los costos de operación. Para este proyecto se plantean las siguientes tres: *Jatropha Curcas*, Higuera y aceite vegetal usado.

Como método de evaluación se proponen dos matrices, una para las materias prima recicladas y otra para la materia prima de primer uso.

Para la evaluación de la materia prima de primer uso, se utilizan los siguientes criterios:

- Área potencial cultivable: Se define como la superficie del país que presenta las condiciones hidrológicas adecuadas para que la especie de interés pueda ser cultivada.
- Sensibilidad a los cambios climáticos: Capacidad del cultivo a soportar cambios de temperatura y humedad.
- Rendimiento de aceite: Cantidad de aceite obtenido por hectárea cultivada
- Rendimiento de biodiesel por área cultivada: Cantidad de biodiesel obtenida por hectárea de materia prima cultivada.
- Rendimiento de producción de semilla: Masa de semilla obtenida por superficie cultivada
- PMR: Precio medio rural; precio pagado al productor en la venta de primera mano en su parcel o predio y/o en la zona de producción, por lo cual no debe incluir los beneficios económicos que a través de Programas de Apoyo a Productores puedan otorgar el Gobierno Federal y/o Estatal, ni gastos de traslado y clasificación cuando el productor lo lleva al centro de venta.
- Impacto ambiental: Cantidad de g de equivalentes de CO₂ por litro de biodiesel utilizado.
- Superficie cultivada: Hectáreas cultivadas en el año 2016.
- Precio de Aceite por litro: Precio de un litro de aceite en dólares.
- Impacto ambiental positivo: CO₂ fijado por vida útil de 20 años del cultivo.

Criterio	Higuerilla	Jatropha Curcas
Área cultivable en México (ha) ^a	8,001,415	3,138, 302
Sensibilidad a los cambios climáticos ^b	Media	Baja
Rendimiento de aceite (litro de aceite/ha) ^c	1211	1058
Rendimiento de litro de biodiésel por hectárea cultivada (Litro de biodiésel/ha) ^b	1151	1015
Rendimiento de producción de semillas (2016) (ton/ha) ^d	1.41	0.68
PMR (\$ USD/Ton) ^d	354.91	224.85
Impacto Ambiental producción (g de CO2/litros de biodiesel) ^e	987.15	1625.184
Precio por litro de aceite (USD) ^f	\$ 0.4478	\$ 0.1531
Superficie Cultivada en México (ha) ^d 2016	9520	281.50
Impacto ambiental positivo (ton de CO ₂ /ha)	34.6	46.75

Tabla 21. Criterios para evaluación de materia prima de primer uso.

- a) (SAGARPA, 2012)
- b) b) (SAGARPA , 2013)
- c) (Sadhuaka J, 2014)
- d) (SIAP, 2017)

- e) (Martinez-Hernandez E., 2013) (Amouri M., 2016))
- f) (Sayegh A., 2011) (CODESIN, 2011)
- g) (Van Eijck J., 2013) (Amouri M., 2016)

Criterio	Ponderación
Área Cultivable en México	10%
Sensibilidad a los cambios climáticos	10%
Rendimiento de aceite (l de aceite/ha)	10%
Rendimiento de producción de semillas	10%
PMR(\$ peso/ton)	15%
Impacto Ambiental	10%
Precio por litro de aceite	20 %
Superficie cultivada en México	5%
Impacto ambiental positivo	10 %
Total	100%

Tabla 22. Criterios y porcentajes para evaluación.

6.1.3. Resultados de la Evaluación de la materia prima

A continuación se muestran los resultados de la evaluación multicriterio de la materia prima: Jatropha e Higuierilla realizada por el software Promethee Academic.

Materia prima	Phi	Phi+	Phi-
Jatropha	0,1528	0,3972	0,1528
Higuierilla	-0,1528	0,5500	0,3972

Tabla 23. Resultados de evaluación de materia prima

En el escenario propuesto la materia prima con mejor calificación (PHI) es la Jatropha Curcas con 0.1528.

En la figura 18 se muestra gráficamente la relación entre los aspectos positivos (Phi+) columna izquierda y negativos (Phi-) columna derecha de las materias primas evaluadas. Mientras la intersección sea más alta en ambas columnas, en este caso para la Jatropha, se observa que es la alternativa de preferencia porque se encuentra más cerca al número 1 en la columna izquierda, es decir presenta más aspectos positivos, por otro lado, en la columna izquierda es la que más se aleja del cero, por lo que presenta menos aspectos negativos.

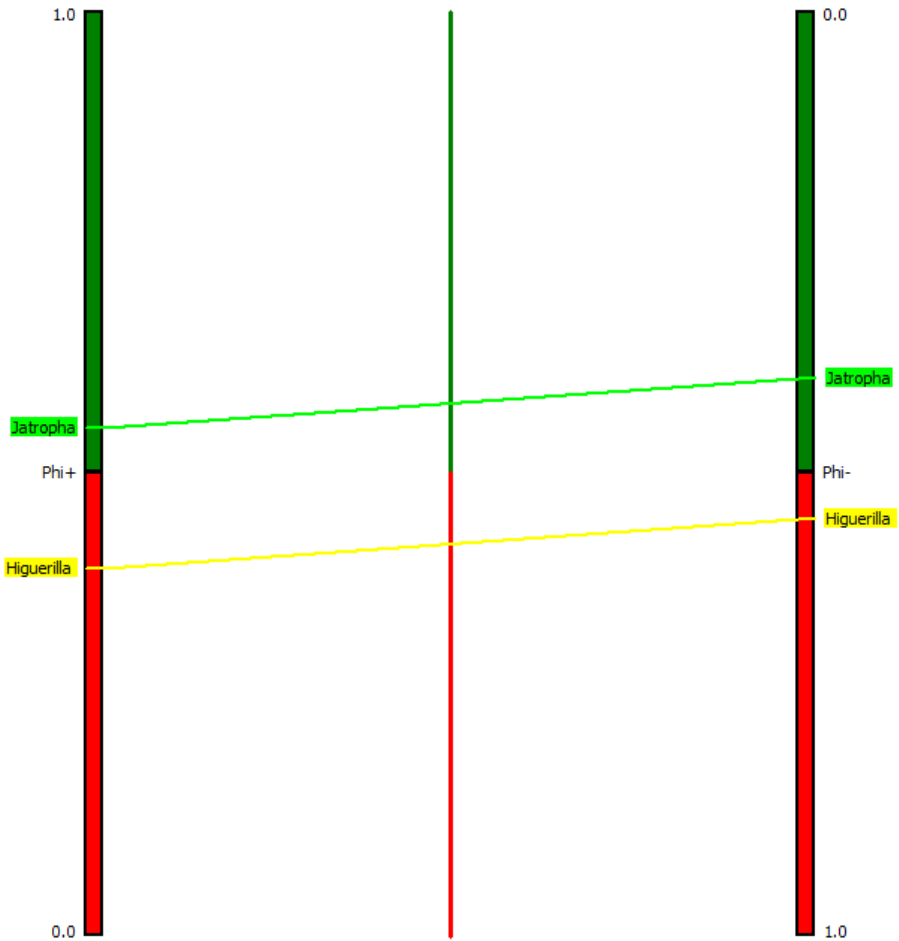


Fig 18. Clasificación gráfica de las materias primas. Elaborado mediante el software Visual Promethee I.

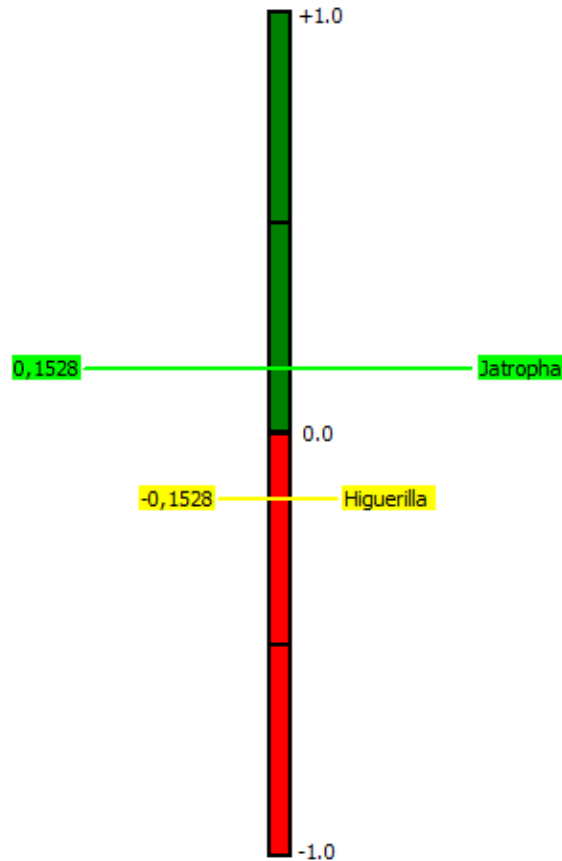


Fig 19. Clasificación gráfica de las materias primas. Elaborado mediante el software Visual Promethee II

En la figura 19 , se puede observar las diferencias entre las distintas materias primas de manera global, este resultado se obtiene mediante el método promethee II, el cual realiza un balance global sumando los aspectos positivos y negativo. Con este método se comprueba que la materia prima con mayores ventajas es la Jatropha Curcas, principalmente por que el precio del aceite y la semilla son mucho menores que los de la higuerilla.

6.2. Evaluación de las tecnologías de producción de biodiésel.

Se hizo la comparación entre la tecnología de proceso homogéneo y la de proceso heterogéneo; se tomaron en cuenta criterios técnicos, ambientales y económicos; los cuales se definirán a continuación:

Técnicos

- **Pretratamiento:** Necesidad de hacer pruebas del calidad del aceite, si este contiene más de 0.5% de ácidos grasos libre y más de 0.05% de agua, es necesario hacer una esterificación y/o evaporar el exceso de agua antes de procesar.
- **Número de equipos en función del límite de batería:** El límite de batería es el perímetro dentro del cual se encuentran los principales equipos directamente

relacionados con el proceso, sin incluir los equipos que suministran los servicios necesarios para llevar a cabo la producción. (Anaya A. B. R., 2013) Por lo que aquí se incluye el número de equipos en este perímetro para cada tecnología.

- **Calidad de la materia prima** : Es necesario evaluar que tipo de aceite se puede procesar, debido a que entre mayor calidad del aceite mayor serán los costos de operación. En este caso se toman en cuenta la cantidad de ácidos grasos libres y de agua.
- **Experiencia a nivel mundial:** Para poder implementar un proceso, es necesarios saber cuánta experiencia tiene el mercado por lo que se tomará en cuenta la cantidad de plantas de cada tipo de proceso, sin embargo, se hará en forma de intervalo, debido a que la información no se encuentra actualizada y no sé sabe la cantidad precisa de plantas que aún se encuentran en operación.
- **Eficiencia del proceso:** Se define como el porcentaje del aceite que se transforma en biodiesel.
- **Calidad de los subproductos:** Pureza en peso del glicerol obtenido en el proceso.
- **Cantidad de vapor utilizada:** De manera cualitativa se toma en cuenta la cantidad de vapor utilizada para calentar las corrientes de proceso porque influyen en las necesidades energéticas y ambientales del mismo.
- **Electricidad:** Energía necesaria en el proceso para producir una tonelada de biodiesel
- **Experiencia en México:** Uso de las tecnologías dentro del país.

Crterios Técnicos	Homogénea	Heterogénea
<i>Pretratamiento</i> ¹⁾	Si	No
<i>Número de equipos en función del límite de batería</i> ^{2a) 2b)}	51	48
<i>Calidad de la materia prima</i> ³⁾	Sin pretratamiento FFA < 0.05% p/p de agua	No es necesario controlar el % de FFA, ni de agua
<i>Experiencia a nivel mundial (número de plantas en el mundo)</i> ⁴⁾	> 100	5-10
<i>Eficiencia en la producción de biodiésel</i> ^{5a 5B}	96.80 %	99.70%

<i>Calidad de los subproductos</i> ^{6a 6b}	80% p/p	99.8%
<i>Cantidad de Vapor utilizada</i> ⁷⁾	Baja	Alta
<i>Electricidad (KWh/Ton biodiésel)</i> ⁸⁾	36.25	31.33
<i>Experiencia en México</i> ⁹⁾	Experiencia en planta industrial	Experiencia en planta piloto

Tabla 24. Criterios técnicos para evaluación de tecnologías

1) (Kiss F., 2010)

5a) (Escobar J., 2014) 5b) (Oien M., 2012)

2a) (Haas M., 2006) 2b) (Oien M., 2012)

6a) (Haas M., 2006) 6b) (Oien M., 2012)

3) (Escobar J., 2014)

7) (Kiss F., 2010)

4) (Kiss A., 2012) (TechnipFMC, 2017)

8a) (Kian Fei Yee, 2009) 8b) (IMP, 2017)

Ambientales

- **Emisión de gases de efecto invernadero:** Cantidad de CO₂ liberada en el proceso; tomando en cuenta la energía (calor y electricidad) así como los suministros necesarios para producir una tonelada de biodiesel.
- **Cantidad de agua de desecho:** Agua utilizada en el proceso que debido a los residuos contaminantes que arrastra no puede ser desechada y necesita ser tratada antes de su disposición final.

Criterios Ambientales **Homogénea** **Heterogénea**

Emisión de gases de efecto invernadero por producción (g CO₂/Ton Biodiesel) ^{1a 1b}	2110.7746	2535.588
Cantidad de agua de desecho ²	Gran Cantidad de agua de desecho	Pequeña cantidad de agua de desecho.

Tabla 25. Criterios ambientales de evaluación de tecnología

1a) (Kian Fei Yee, 2009) 1b) (Martinez-Hernandez E., 2013)

2) (Kiss F., 2010)

Económicos

- **Costo de capital inversión:** La suma del capital fijo y el capital de trabajo. El capital de inversión fijo, representa el capital necesario para la instalación de los equipos de proceso con todos los componentes necesarios para completar la operación de procesos y los costos necesarios para construir la planta, sin que estos estén involucrados en la operación del proceso.

El capital de trabajo es todo lo necesario para operar la planta. (Peters M., 2003)

- **Costo de operación:**

Costos asociados a los suministros necesarios para llevar a cabo el proceso, incluye servicios auxiliares y costos administrativos.

Criterios económicos	Homogénea	Heterogénea
Costos de Inversión (\$ USD)	\$ 7, 327, 000	\$ 5,151,000
Costo total de operación (\$ USD)	\$ 18, 359,000	\$18,896,000

Tabla 26. Criterios económicos de evaluación de tecnologías (Marchetti J.M, 2008)

Escala de Evaluación

Criterio	Subcriterio	Ponderación
Técnicos	• Pretratamiento	5%
	• Número de Equipos	5%
	• Calidad de la materia prima necesaria	5%
	• Experiencia a nivel mundial	5%
	• Eficiencia en la producción de biodiésel	10%
	• Calidad de los subproductos	5%
	• Cantidad de Vapor utilizada	5%
	• Electricidad	5%
	• Experiencia en México	5%
	Subtotal	
Económicos	• Costo de Inversión	15%
	• Costo de operación	20%
5Subtotal		35%

Ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de gases de efecto invernadero • Cantidad de agua de desecho 	10%
		5%
Subtotal		15%
Total		100%

Tabla 27. Criterios y porcentaje para evaluación de tecnologías.

6.3.1. Resultados de la evaluación de las tecnologías.

Para la evaluación de la tecnología también se utilizó el software promethee y se siguieron los mismos pasos que en el apartado 6.1.1.

Una vez realizado el análisis, se obtuvieron los siguientes resultados de todos los atributos positivos y negativos de las tecnologías:

Tecnología	Phi	Phi+	Phi-
Heterogénea	0,1467	0,4967	0,3500
Homogénea	-0,1467	0,3500	0,4967

Tabla 28. Resultados de evaluación tecnológica

La tecnología que presenta mejor calificación es la tecnología heterogénea. En la figura 20 se muestra el método parcial promethee I, en ella se observa la relación entre los aspectos positivos (Phi+) y los aspectos negativos (Phi-) de las tecnologías evaluadas.

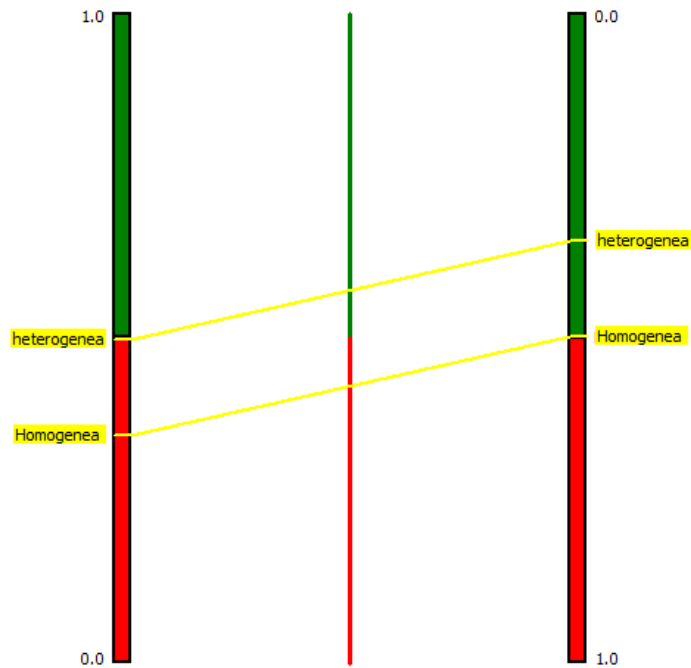


Fig 20. Evaluación de las tecnologías mediante la aplicación Promethee I.

Como se mencionaba anteriormente, la columna de lado izquierda de la figura representa los aspectos positivo y la columna de la derecha los aspectos negativos. Como se puede observar en la figura 20 mediante este método ambas tecnologías no presentan tantos aspectos positivos, sin embargo, es la tecnología heterogénea en Phi + la que más se acerca al 1.

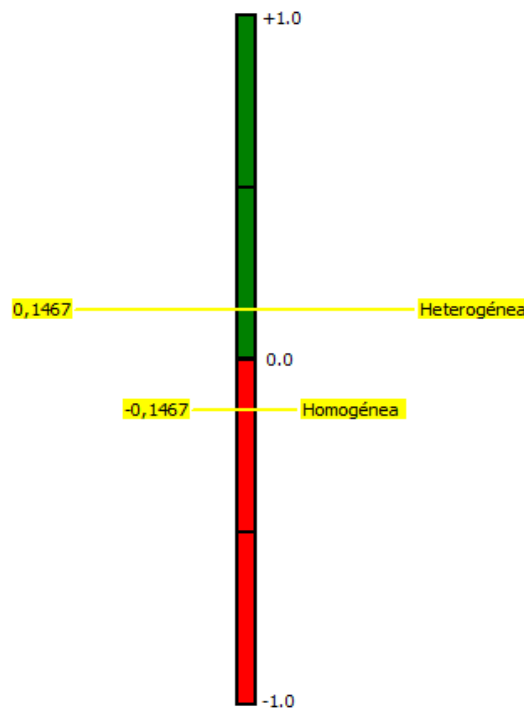


Fig 21. Clasificación gráfica de las tecnologías de producción de biodiésel, usando promethee 2

Mediante el método promethee II se obtuvo el resultado global de la evaluación de tecnologías, en la figura 21, se confirma que la tecnología heterogénea presenta la mejor calificación, por lo cual será la tecnología utilizada para el presente proyecto.

6.3. Análisis y determinación del tamaño óptimo de la planta.

Para la determinación del tamaño de la planta, se hizo un estudio de mercado con fuentes secundarias, con este estudio y con las proyecciones de la oferta y de la demanda de diésel, se determinó como mercado objetivo, al sector agropecuario, del mismo se establece como objetivo se cubrirá el 5% del promedio de la demanda de los siguientes 10 años partiendo del 2017 con mezclas B5 de biodiésel.

El resultado en toneladas métricas que se obtuvo a partir de esta proyección es de 147,123 toneladas de biodiésel al año, por lo que se determinó que la planta debe de producir 148,000 toneladas al año de biodiésel.

6.3.1. Resultados de la determinación de la localización óptima de la planta.

Utilizando el mapa de potencial productivo de *Jatropha Curcas*, se seleccionaron tres posibles estados para establecer la planta de producción de biodiésel: Tamaulipas, Veracruz y Sinaloa.

Por medio de una evaluación de los siguientes factores se determinó cuál de estos sería el lugar más apropiado para la localización de la planta.

Concepto	Peso asignados
<i>Disponibilidad de lugar de siembra</i>	25
<i>Disponibilidad de mano de obra</i>	10
<i>Disponibilidad de agua</i>	10
<i>Costo de servicios industriales</i>	10
<i>Cercanía a mercado de consumidores</i>	20
<i>Calidad de vida</i>	10
<i>Impacto social y ambiental</i>	15

Tabla 29. Criterios de evaluación para la localización de la planta

Con base en estos factores y con ayuda del software promethee se obtuvieron los siguientes resultados, con ello podemos observar que el Estado de Veracruz es el

estado con mayor puntuación por lo que será este el estado elegido para la localización de la planta.

Al observar el estado de Veracruz en la figura 6 del mapa de potencial productivo de *Jatropha*, se puede notar que la zona con mayor potencial abarca desde el norte hasta el centro del Estado; entre los municipios de Chicontepec y San Rafael, el municipio de Tuxpan será el elegido como el lugar para la localización de la planta debido a que tiene una alta actividad portuaria, agrícola y pesquera por lo que representa un mercado potencial para la venta del biodiésel además el municipio con el que vecina, Álamo de Temapache presenta una gran actividad agrícola debido a su importancia a nivel nacional y mundial en la venta de naranja. (SEFIPLAN, 2015) (alamotemapache.gob.mx, 2017)

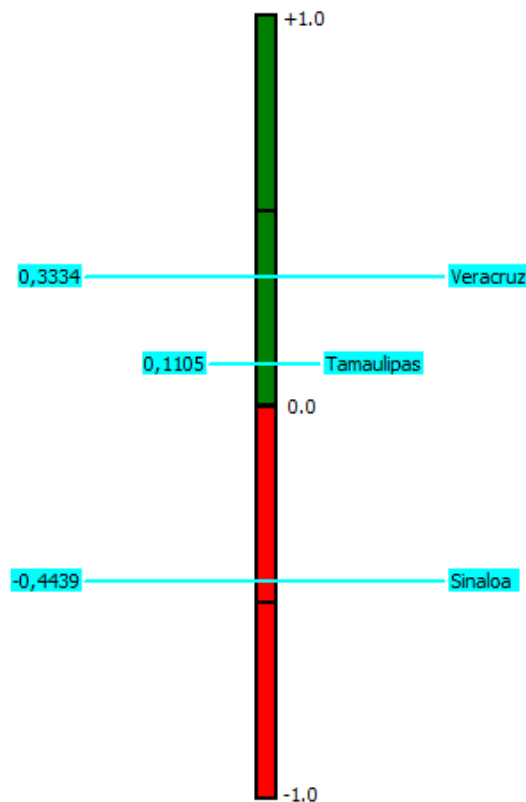


Fig. 22 . Clasificación gráfica de sitios de localización de la planta.

6.4. Memoria de calculo

A continuación se describe como se obtuvieron la dimensión de los equipos y en el anexo 5 se encuentran las especificaciones de cada uno de ellos.

6.4.1. Reactores

Los reactores elegidos para el proceso fueron dos reactores PFR de tipo Isotérmico con una temperatura de 210 °C, la longitud y el diámetro del reactor fueron especificados dentro del simulador mediante prueba y error comprobando la conversión de la trioleína y sus intermediarios a biodiésel y glicerol.

6.4.2 Intercambiadores de calor

El dimensionamiento de los intercambiadores fue hecho de manera modular siguiendo los pasos enlistados a continuación.

- 1) Se simularon los intercambiadores mediante el block HEATX con un modelo shortcut y se especificó la temperatura de salida de cada uno de los intercambiadores y tipo de servicio. (Los servicios utilizados en los intercambiadores son vapor de calentamiento de alta presión y agua de enfriamiento)
- 2) Se utilizó modelo EDR para hacer un cálculo más riguroso en el cual se simula el tipo de geometría TEMA utilizada, el material y el arreglo del intercambiador.

En el Anexo 5 se encuentran las hojas de datos y los planos de los intercambiadores, realizados con el modelo EDR.

6.4.3 Flash

Los recipientes flash son simulados con la finalidad de remover el exceso de metanol utilizado para llevar a cabo la reacción. Sin embargo los resultados de aspen no incluyen datos de dimensionamiento, estos fueron calculados de la siguiente manera (Wankat, 2012):

$$Up = K * \sqrt{\frac{\rho L - \rho V}{\rho V}}$$

Donde K se calcula de la siguiente manera

$$k = \exp(A + B * \ln Flv + C * (\ln Flv)^2 + D * (\ln Flv)^3 + E * (\ln Flv)^4)$$

$$A = -1.8774 \quad D = -0.01452$$

$$B = -0.8145 \quad E = -0.0010$$

$$C = -0.1870$$

$$Flv = \left(\frac{Wl}{Wv}\right) * \sqrt{\frac{\rho V}{\rho L}}$$

Donde Wl y Wv son el flujo másico del líquido y el vapor, respectivamente.

$$Ac = \frac{N * Mv}{Up * \rho V}$$

Donde N es el flujo molar y Mv la masa molar de Ivapor.

$$D = \sqrt{\frac{4 * AC}{\pi}}$$

A partir del diámetro se calcula la longitud utilizando la tabla que se presenta a continuación, para este caso se utiliza un L/D= 3

Presión (psig)	L/D
Vacío	1.5
Hasta 100	3
Hasta 300	4
Hasta 600	5

Tabla 30. Razón L/D según presión de tanque separador. (Silla, 2003)

6.4.5 Decantador.

La separación entre el glicerol y la fase del biodiésel se hace por medio de densidades en un decantador. . Utilizando este principio la fase del biodiésel corresponder a la fase que se encuentra en la superficie y la fase del glicerol a la fase que se encuentra en los fondos.

Para simular el decantador se utilizó el método UNIFAC LL, como se indica en la literatura (Sousa A., 2013) (Andreatta A., 2008), a una temperatura de 50°C y presión de 1 bar.

El dimensionamiento del decantador se hizo con las siguientes ecuaciones (Ludwig, 1999)

$$\theta = \frac{QL}{QH} * \left(\frac{\rho L * \mu H}{\rho H * \mu l}\right)^{0.3}$$

Donde

VL= Flujo volúmetrico fase ligera

μH= viscosidad fase pesada

VH= Flujo volúmetrico fase pesada

μL= viscosidad fase ligera

ρL= Densidad de la fase ligera pesada

ρV= Densidad fase pesada

Parametro θ	Resultado
<0.3	Fase ligera siempre esta dispersa
0.3-0.5	Fase ligera probablemente dispersa
0.5-2.0	Probable Inversion de fase
2.0-3.3	Fase pesada probablemente dispersa
>3.3	Fase pesada siempre dispersa

Tabla 31. Identificación de fase dispersa.

$$Vd = \frac{d^2 g * (\rho d - \rho c)}{18 \mu c}$$

Donde

D= diámetro de la fase disperse μc = viscosidad fase continua.

g= aceleración de la gravedad ρc = densidad fase continua

ρd = densidad fase dispersa

$$D = 0.5 * \sqrt{\frac{Qc}{Vd}}$$

Se selecciono un L/D= 5

$$r = \frac{D}{2} \quad h = r - 1ft$$

donde h es

$$V = L \left(R^2 \arccos \left(\frac{R-h}{R} \right) - \left((R-h) * \sqrt{(2Rh) - h^2} \right) \right)$$

6.4.6 Columna de destilación

La purificación del metil éster, para que este cumpliera con las especificaciones de la norma europea, se hizo mediante una columna de destilación.

Para simular la columna se siguieron los siguientes pasos:

- 1) Se utilizó el block de simulación simple DSTWU debido a que se tenía muy poca información de las condiciones de operación de la columna, el uso de este bloque es muy útil ya que te arroja información como: la etapa de alimentación, la razón de reflujo, el calor requerido y removido por el reboiler y el condensador, respectivamente. Para correr la simulación, se dio un estimado de número de etapas, de las presiones del condensador y el reboiler, finalmente se fijó la recuperación del metanol y la trioleína
- 2) Una vez obtenida la información arriba mencionada, se cambió la torre DSTWU por una rigurosa RadFrac. En este bloque se alimenta la información obtenida en la simulación DSTWU.

Al utilizar el método riguroso, Aspen te arroja el diámetro de la torre, la altura de la torre se obtiene al multiplicar el número de etapas por el espaciamiento entre platos y agregándole un 20% para proveer altura al condensador y al reboiler

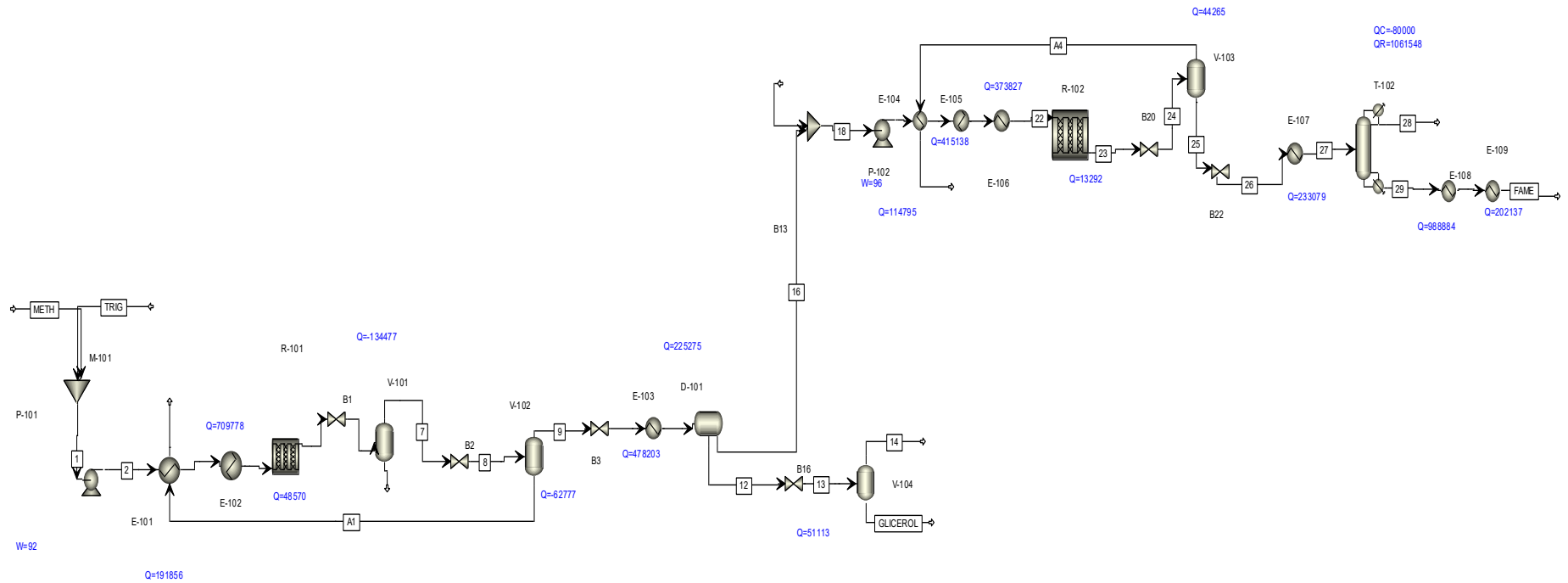


Fig 23 . Diagrama de flujo de Aspen, versión 8.8.

6.5. Balance de Materia y Balance de Energía

	METH		TRIG									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	M-101	M-101	P-101	E-101	E-102	R-101	B1	V-101	B2	V-102	B3	E-103
			M-101	P-101	E-101	E-102	R-101	B1	V-101	B2	V-102	B3
	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID	MIXED	LIQUID	LIQUID	LIQUID	MIXED
Mole Flow kmol/hr												
TRIOLEINA	0.0	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DIOLEINA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MONOLEINA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
METANOL	203.8	0.0	203.8	203.8	203.8	203.8	138.9	138.9	77.1	77.1	13.8	13.8
GLICEROL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.8	19.8	19.8	19.8	18.8	18.8
METHY-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.0	65.0	65.0	65.0	64.8	64.8
WATER	0.4	1.0	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.0	1.0	0.4	0.4
Total Flow kmol/hr	204.2	23.7	227.9	227.9	227.9	227.9	227.9	227.9	165.7	165.7	100.6	100.6
Total Flow kg/hr	6537.7	20072.3	26610.0	26610.0	26610.0	26610.0	26610.0	26610.0	24617.9	24617.9	22444.3	22444.3
Total Flow l/min	137.4	346.4	712.0	715.2	743.9	856.7	628.5	15701.3	544.3	544.3	507.1	4870.5
Temperature C	25.0	25.0	24.7	30.2	75.4	210.0	210.0	180.2	170.0	170.0	200.0	196.5
Pressure bar	1.0	1.0	1.0	63.0	63.0	62.6	62.0	5.0	12.0	2.5	5.0	1.5

Vapor Frac	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1
Liquid Frac	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	0.9
Solid Frac	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Enthalpy cal/mol	-56961.8	-504000.0	-103420.0	-103070.0	-100040.0	-88830.4	-88063.1	-88063.1	-106610.0	-106610.0	-136830.0	-136830.0
Enthalpy cal/gm	-1779.1	-594.7	-885.7	-882.7	-856.7	-760.7	-754.1	-754.1	-717.6	-717.6	-613.2	-613.2
Entropy cal/mol-K	-57.3	-1372.1	-193.9	-192.7	-183.6	-157.9	-149.5	-148.0	-199.4	-199.4	-290.9	-290.7
Entropy cal/gm-K	-1.8	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6	-1.4	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3
Density mol/cc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Density gm/cc	0.8	1.0	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7	0.0	0.8	0.8	0.7	0.1
Average MW	32.0	847.6	116.8	116.8	116.8	116.8	116.8	116.8	148.6	148.6	223.2	223.2

Tabla 32. Resultados de balance de materia y energía 1.

	11	12	13	14	GLICEROL	16	17	18	19	20
	D-101	B16	V-104			B13	B13	P-102	E-104	E-105
	E-103	D-101	B16	V-104	V-104	D-101		B13	P-102	E-104
	LIQUID	LIQUID	LIQUID	VAPOR	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID
Mole Flow kmol/hr										
TRIOLEIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DIOLEIN	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1

MONOLEIN	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	2.7	2.7	2.7
METANOL	13.8	9.2	9.2	8.2	1.0	4.6	203.8	208.5	208.5	208.5
GLICEROL	18.8	18.7	18.7	0.0	18.6	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
METHY-01	64.8	0.0	0.0	0.0	0.0	64.8	0.0	64.8	64.8	64.8
OLEIC-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
WATER	0.4	0.4	0.4	0.1	0.2	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4
Total Flow kmol/hr	100.6	28.2	28.2	8.4	19.8	72.4	204.2	276.6	276.6	276.6
Total Flow kg/hr	22444.3	2020.1	2020.1	268.9	1751.2	20424.2	6537.8	26962.0	26962.0	26962.0
Total Flow l/min	450.1	28.5	28.4	4908.4	25.2	404.8	137.4	541.7	544.5	558.4
Temperature C	70.0	50.0	48.2	150.0	150.0	50.0	25.0	39.5	44.7	69.6
Pressure bar	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	63.0	62.7
Vapor Frac	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Liquid Frac	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Solid Frac	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Enthalpy cal/mol	-153950.0	-	-	-47194.2	-	-168700.0	-56961.8	-86209.0	-85909.2	-84415.1
		124070.0	124070.0		147270.0					
Enthalpy cal/gm	-689.9	-1730.7	-1730.7	-1469.3	-1665.8	-598.0	-1779.1	-884.4	-881.3	-866.0
Entropy cal/mol-K	-332.8	-111.4	-111.9	-26.7	-123.1	-428.2	-57.3	-154.0	-153.1	-148.7
Entropy cal/gm-K	-1.5	-1.6	-1.6	-0.8	-1.4	-1.5	-1.8	-1.6	-1.6	-1.5
Density mol/cc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Density gm/cc	0.8	1.2	1.2	0.0	1.2	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Average MW	223.2	71.7	71.7	32.1	88.4	282.1	32.0	97.5	97.5	97.5

Tabla 33. Resultados de balance de materia y energía 2.

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	FAME
	E-106	R-102	B20	V-103	B22	E-107	T-102		E-108	E-109	
	E-105	E-106	R-102	B20	V-103	B22	E-107	T-102	T-102	E-108	E-109
	LIQUID	LIQUID	LIQUID	MIXED	LIQUID	MIXED	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID

Mole Flow kmol/hr												
TRIOLEIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DIOLEIN	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MONOLEIN	2.7	2.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
METANOL	208.5	208.5	205.6	205.6	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	0.0	0.0	0.0
GLICEROL	0.1	0.1	2.8	2.8	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0
METHY-01	64.8	64.8	67.7	67.7	67.6	67.6	67.6	67.6	0.5	67.1	67.1	67.1
OLEIC-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
WATER	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total Flow kmol/hr	276.6	276.6	276.6	276.6	84.1	84.1	84.1	17.0	67.2	67.2	67.2	67.2
Total Flow kg/hr	26962.0	26962.0	26962.0	26962.0	20734.6	20734.6	20734.6	810.8	19923.8	19923.8	19923.8	19923.8
Total Flow l/min	612.5	666.7	661.9	23150.6	452.2	2198.9	423.0	16.3	577.9	406.0	383.5	383.5
Temperature C	150.0	210.0	210.0	161.0	170.0	167.1	100.0	87.3	378.2	100.0	30.0	30.0
Pressure bar	62.5	62.5	62.0	5.0	5.0	2.5	2.4	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Vapor Frac	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Liquid Frac	1.0	1.0	1.0	0.3	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Solid Frac	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Enthalpy cal/mol	-79011	-74146	-73973	-73973	-134560	-134560.	-144530.	-71332.0	-110410.	-163410.0	-174240.	-174240.
Enthalpy cal/gm	-810.5	-760.6	-758.9	-758.9	-546.0	-546.0	-586.5	-1491.8	-372.3	-550.9	-587.5	-587.5
Entropy cal/mol-K	-135.0	-124.9	-123.3	-121.1	-325.7	-325.6	-350.0	-74.0	-317.4	-421.4	-453.5	-453.5
Entropy cal/gm-K	-1.4	-1.3	-1.3	-1.2	-1.3	-1.3	-1.4	-1.5	-1.1	-1.4	-1.5	-1.5
Density mol/cc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Density gm/cc	0.7	0.7	0.7	0.0	0.8	0.2	0.8	0.8	0.6	0.8	0.9	0.9
Average MW	97.5	97.5	97.5	97.5	246.5	246.5	246.5	47.8	296.6	296.6	296.6	296.6
Liq Vol 60F l/min	526.9	526.9	526.8	526.8	396.7	396.7	396.7	15.2	381.5	381.5	381.5	381.5

Tabla 34. Resultados de balance de materia y energía 3.

Con ayuda del software Aspen plus 8.8 se obtuvo el balance de materia y energía.

El método NRTL fue utilizado como el paquete apropiado para la simulación, debido a la presencia de compuestos polares como los son el metanol y el glicerol. Además se utilizó la biblioteca de Aspen para conocer las propiedades de los compuestos presentes en el proceso. El aceite de *Jatropha* fue modelado como trioleína.

Para simular cada uno de los equipos, se utilizaron las especificaciones descritas en: Biodiesel Production by Esterfip-H Process por Marianne Oien.

En este proceso se propone el uso de un catalizador de Aluminato de Zinc ($ZnAl_2O_4$), debido a que presenta resistencia mecánica al no lixiviarse en glicerina ni en ésteres, además no presenta desactivación observable comparada con otros catalizadores. Es importante señalar que este catalizador fue desarrollado por el Instituto Francés del Petróleo y lo comercializa la empresa AXENS. (Allain F., 2016)

La alimentación fue de 9:1 molar de metanol y trioleína con 0.1 % p/p de agua. En el software se programó la alimentación con un flujo de 22.648 kmol/hr de trioleína y 203.83 kmol/hr de metanol.

Al finalizar todas las etapas del proceso, se obtuvo un flujo de 67.07 kmol/hr de biodiésel y 18.62 kmol/hr de glicerol. Por lo que todo el proceso presenta una eficiencia de conversión del 99.2%.

Tomando en cuenta todo lo antes mencionado y considerando 7446 horas de operación de la planta por una año, se obtiene una producción anual de 148,352.

6.6 Bases de diseño

6.6.1 Especificaciones de la planta de producción de Biodiésel

I. Descripción del proceso

El proceso para la obtención de biodiésel se realiza a partir de la transesterificación de un aceite vegetal por medio de un alcohol a biodiésel (metil éster).

Reacción:

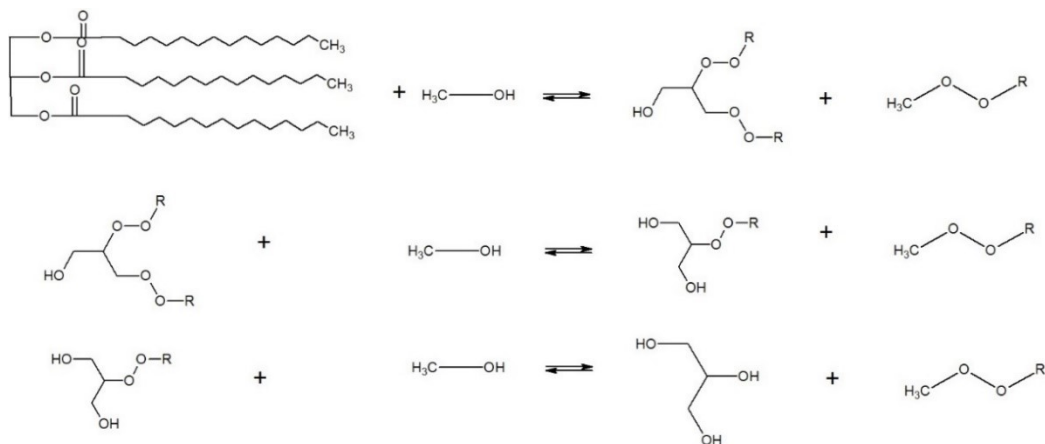


Fig. 24. Reacción de transesterificación

II. Especificaciones de la reacción

La reacción debe llevarse a cabo en un rango de temperatura de 140 °C a 220 °C. La reacción se lleva a cabo en un reactor de lecho fluidizado utilizando un catalizador con las siguientes características: (Allain F., 2016).

Propiedades del Catalizador

Relación molar Zn/Al	0.3
Área Específica (m^2/g)	160
Área del mesoporo (nm)	9-100
Densidad (kg/m^3)	1188
Tortuosidad	2.5
Porosidad	0.512
Cantidad de catalizador utilizado (kg) por catalizador	7054

Tabla 35. Características del catalizador ZnAl_2O_4 Según Allain, el catalizador de ZnAl_2O_4

III. Especificaciones de Alimentación

La alimentación es de 9:1 molar de Metanol a Aceite Vegetal ambos alimentados a 1 bar de presión con pureza de 0.1% p/p.

IV. Especificaciones de los productos.

Para el biodiésel se requiere que cumpla con la norma europea EN 14214-03 y en el caso del glicerol que tenga una pureza por encima del 80%.

V. Condiciones de entrada y de salidas del proceso.

a) Alimentación

La alimentación es 20,072 kg/hr de aceite de *Jatropha Curcas* (flujo molar de 22.648 kmol/hr) y de 6, 538 kg/hr (203.83 kmol/hr) para la corriente de metanol y la corriente 17 con 1% p/p en agua, todas las corrientes de alimentación se encuentran a 25°C con una presión de 1 bar.

b) Productos

Las corrientes de glicerol tiene un flujo total de 1751.18 kg/hr y la corriente de biodiésel 19923.8 kg/hr, a continuación se muestran las especificaciones para cada uno de los productos obtenidos en el proceso.

Glicerol		Biodiesel	
Compuesto	KMOL/HR	Compuesto	KMOL/HR
Metanol	0.906367	Metanol	1.9853×10^{-7}
Glicerol	18.6157	Glicerol	4.74×10^{-9}
Biodiésel	0.0004	Trioleina	6.28×10^{-6}
Dioleina	1.62×10^{-3}	Biodiésel	67.0691
Monoleina	0.003971	Dioleina	9.08×10^{-4}
Agua	0.2017	Monoleina	0.1056
		Agua	2.27×10^{-12}
Temperatura (°C)	150	Temperatura (°C)	30
Presión	1	Presión bar	2

Tabla 36. Composición de las corrientes de los productos.

VI. Capacidad de la planta y sitio de localización.

Capacidad de la planta: 150000 toneladas/año

Sitio de localización de la planta: Tuxpan, Veracruz

VII. Servicios Auxiliares

Vapor 250 °C y 572 psia

Agua de enfriamiento a 20°C

6.6.2 Condiciones ambientales de sitio de la planta

Parámetro	Valor
Temperatura mínima (°C)	11.6
Temperatura Máxima (°C)	40.4
Temperatura bulbo seco (°C)	37
Temperatura bulbo húmedo (°C)	27
Vientos Dominantes	ESE de agosto a abril y E de abril a julio Con efecto "Norte" de octubre a abril
Vientos Reinantes	ESE
Precipitación Pluvial	En verano y otoño

Tabla 37. Parámetros ambientales de Tuxpan, Veracruz. (SEP, 2017)

6.6.3 Criterios de diseño.

		L x D (m)
P-101	Bomba para aumentar presión de reacción	1x 0.28
E-101	Intercambiador de calor para el aumento de la temperatura de la corriente de alimentación	6.47 x 0.6
E-102	Calentador de la alimentación al reactor.	6.7 x 0.56
R-101	Reactor para transesterificación del aceite vegetal	4.8 x 1.5
V-101	Flash separador de productos y reactivos	1.76X 0.44
V-102	Flash separador de productos y reactivos	1.67 x 0.56
E-103	Enfriador de productos para su separación	5.6 x 0.7
D-101	Decantador de glicerol y biodiésel	3.72 x 1.24
E-104	Intercambiador para calentamiento corriente del segundo reactor	5.1 x 0.55
P-102	Bomba para aumentar presión de reacción	1.067 X0.31

E-105	Calentador de corriente de alimentación R-102	6.2 x 0.5
E-106	Calentador de corriente de alimentación R-102	6.78x 0.50
V-103	Separador segundo reactor	2.058 x 0.68
R-102	Reactor para transesterificación	4.8 x 1.5
E-107	Enfriador de corriente proveniente de R-102	3.4x 0.6
V-104	Separador glicerol-metanol	0.89 X0.3
T-101	Torre de purificación biodiésel.	10.97 x 2.4
E-108	Enfriador de biodiésel	4.17x0.46
E-109	Enfriador de biodiésel	

Tabla 38. Dimensiones de equipos obtenidas por la simulación

6.6.4. Lista de leyes, normas y reglamentos.

6.6.4.1 Biodiésel

ASTM D6751: Especificaciones estándares estadounidenses para la calidad de combustible biodiésel.

EN 14214: Estándar europeo para biocombustibles.

6.6.4.2 Equipos de proceso, control e instrumentación de planta

NOM-020-STPS-2011. Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas - funcionamiento-condiciones de seguridad.

NOM-025-STPS-1991. Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

NOM-026-STPS-2008. Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

NRF-035-PEMEX-2012. Sistemas de tubería en plantas industriales-instalación y pruebas

Norma RF-010- PEMEX- 2014. Localización y espacio entre equipos.

NRF-050-PEMEX-2012. Bombas centrifugas.

NRF-139-PEMEX-2012. Soportes para tuberías-diseño.

NRF-148-PEMEX-2011. Instrumentos para medición de temperatura.

NRF-242-PEMEX-2010. Instrumentos transmisores de temperatura

NRF-243-PEMEX-2010. Instrumentos interruptores de nivel. Instalaciones y servicios

NOM-001-STPS-2008. Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-condiciones de seguridad.

NOM-001-SEDE-2012. Instalaciones eléctricas

6.7 Diagrama de flujo de procesos

Producción de biodiésel

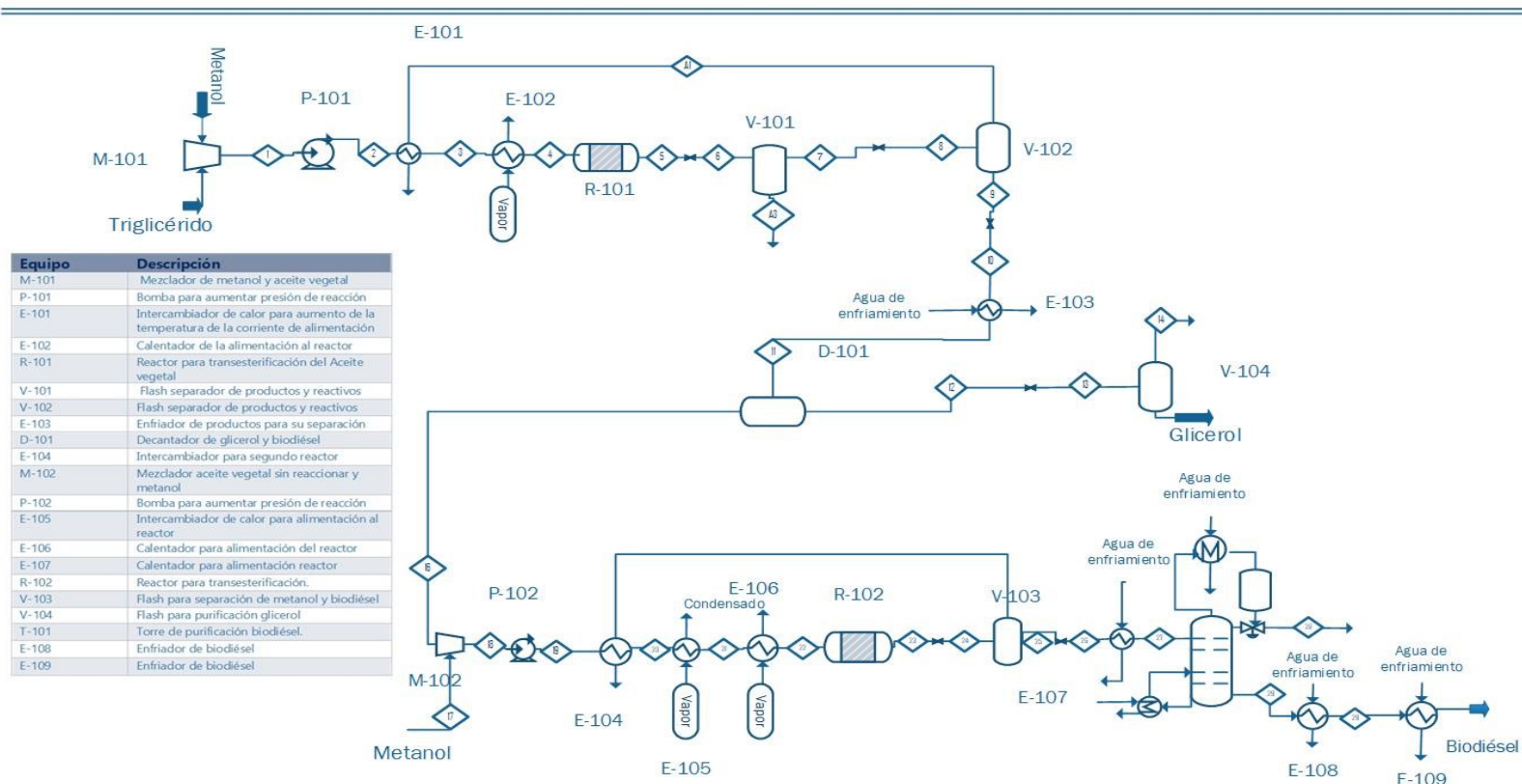
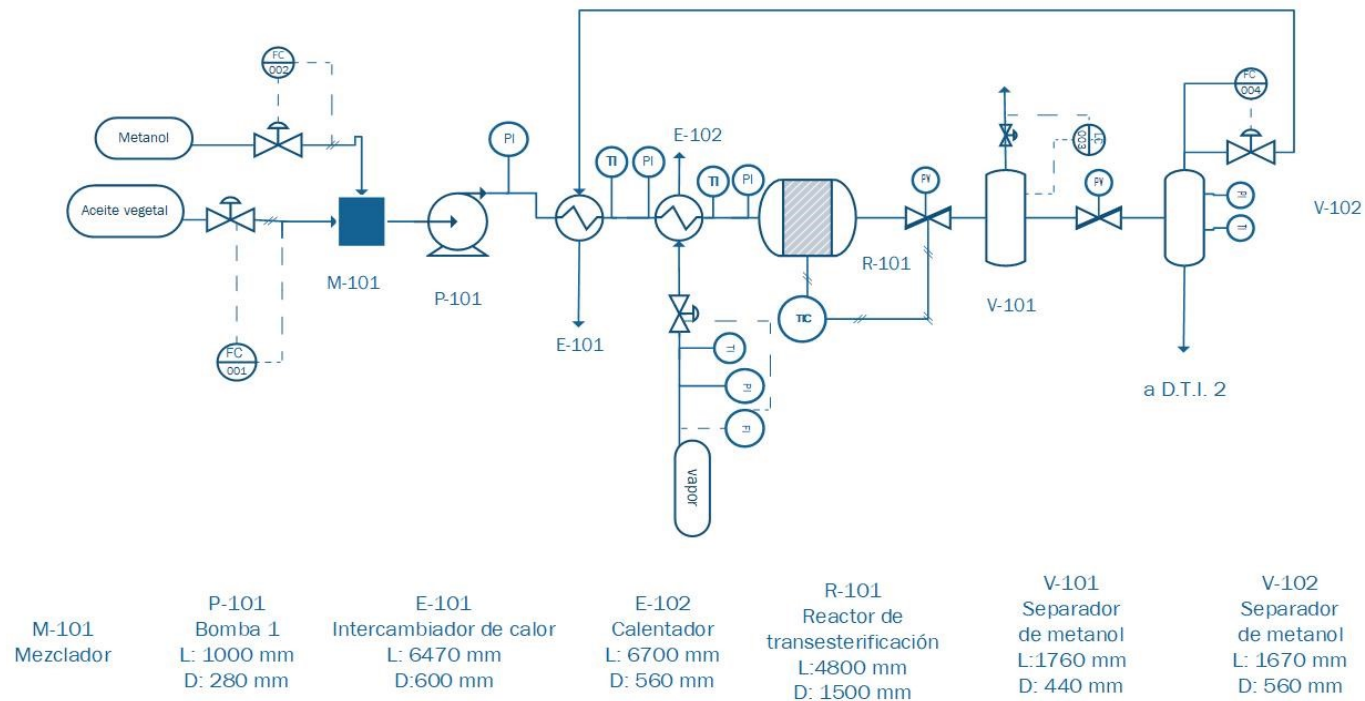


Fig 25. Diagrama de flujo de procesos.

6.8. Diagrama de tuberías e instrumentación

DTI Proceso de producción de biodiésel 1



13 de noviembre de 2017

Página 1

Fig. 26. D.T.I. de planta de producción de biodiésel. Elaboración propia.

DTI Proceso de producción de biodiésel 2

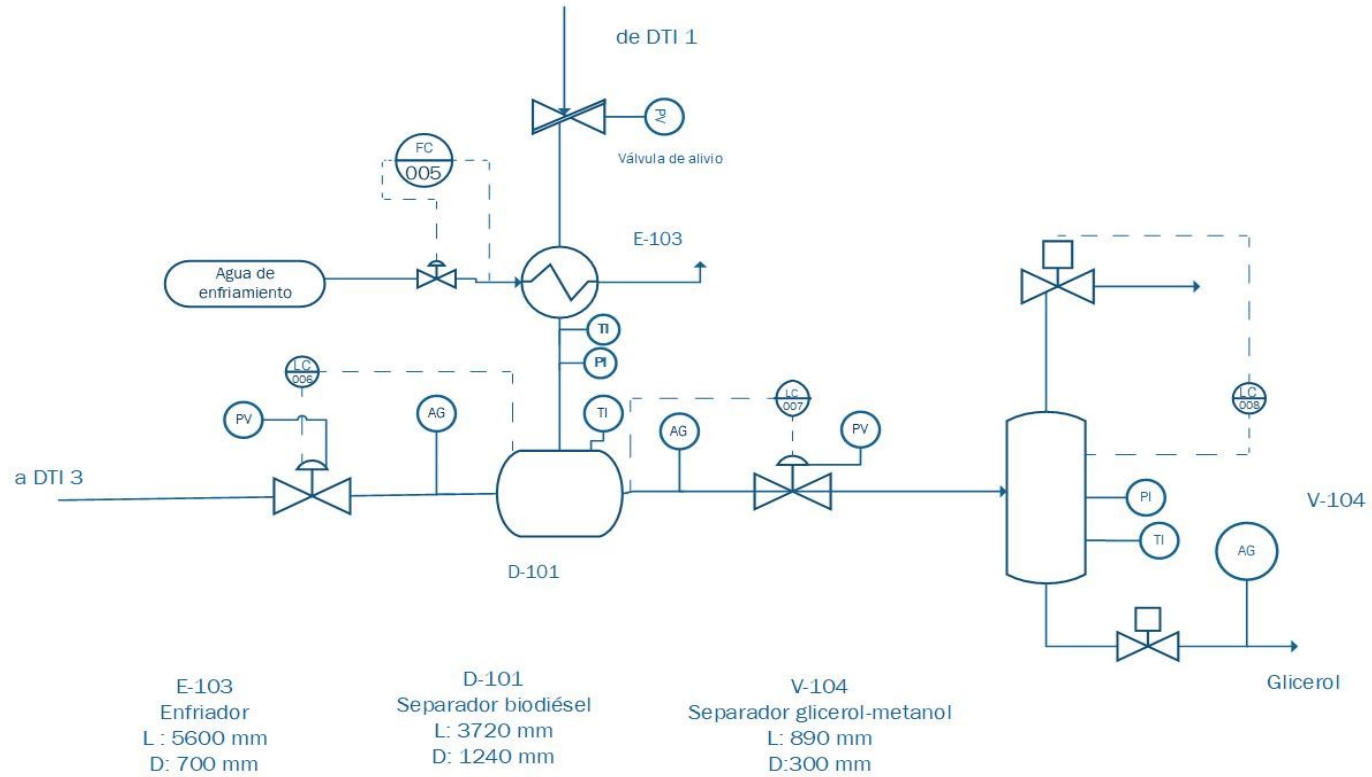


fig. 27 D.T.I. de planta de producción de biodiésel. Elaboración propia.

DTI Proceso de producción de biodiésel 3

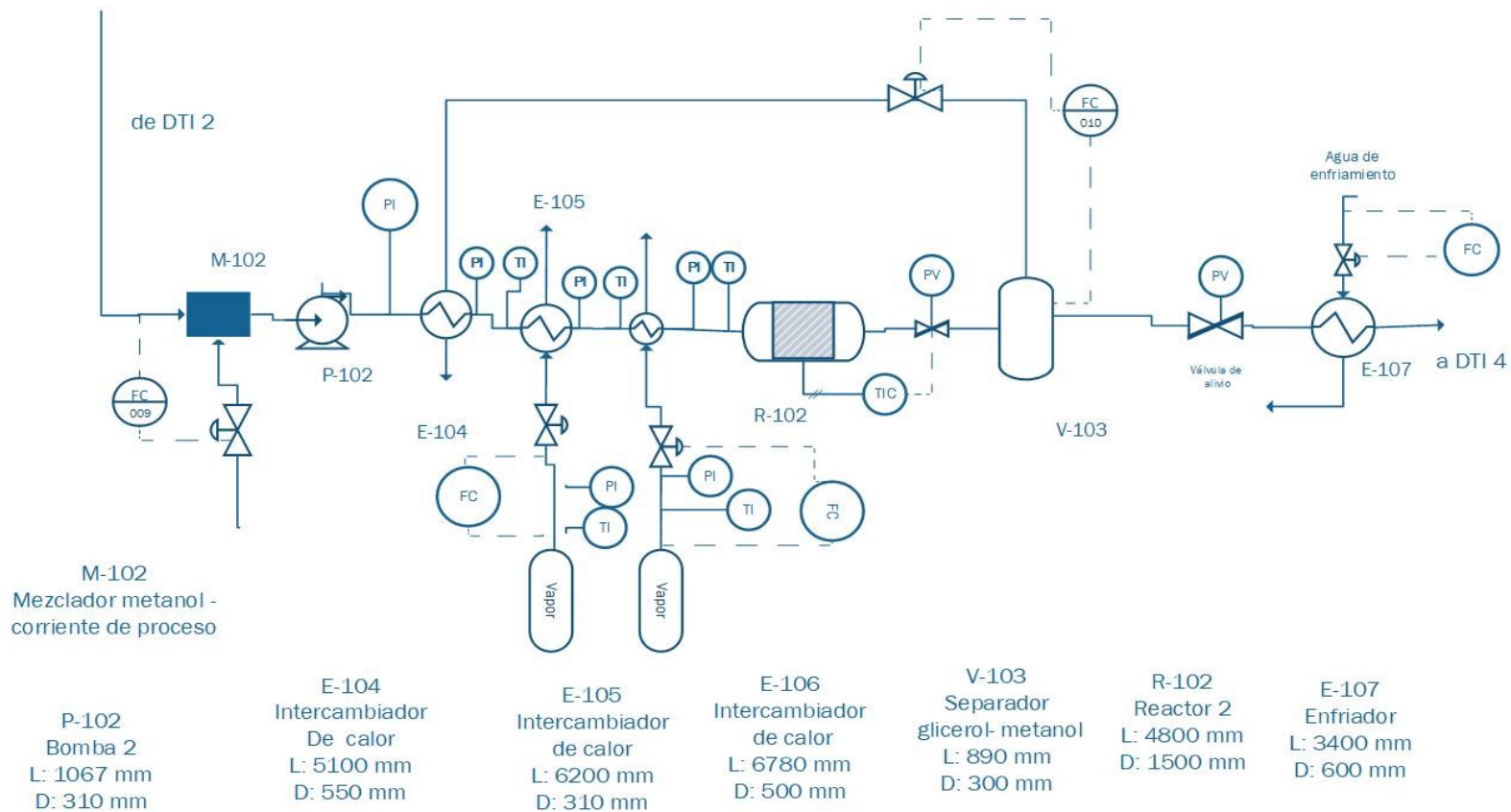


Fig. 28 D.T.I. de planta de producción de biodiésel. Elaboracion propia

DTI Proceso de producción de biodiésel 4

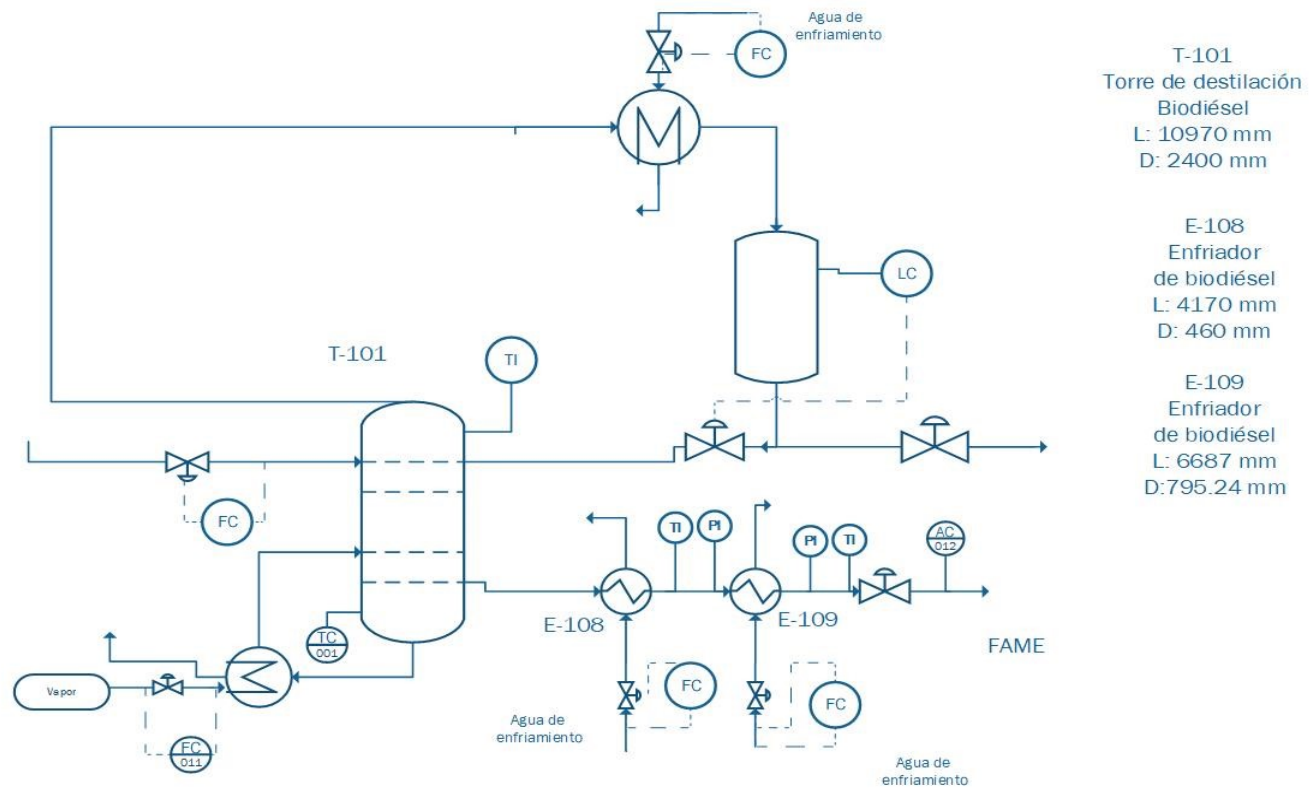


Fig. 29 D.T.I. de planta de producción de biodiésel. Elaboracion propia

6.9. Plot Plan

En el punto 6.3.1 se indica el lugar seleccionado para la localización de la planta; el municipio de Tuxpan en Veracruz. El terreno seleccionado para la construcción de la planta se encuentra en la carretera a Cobos cerca del río Pantepec en la coordenadas: 20 ° 56' 13.1" N y 97° 22' 18.2 " W.

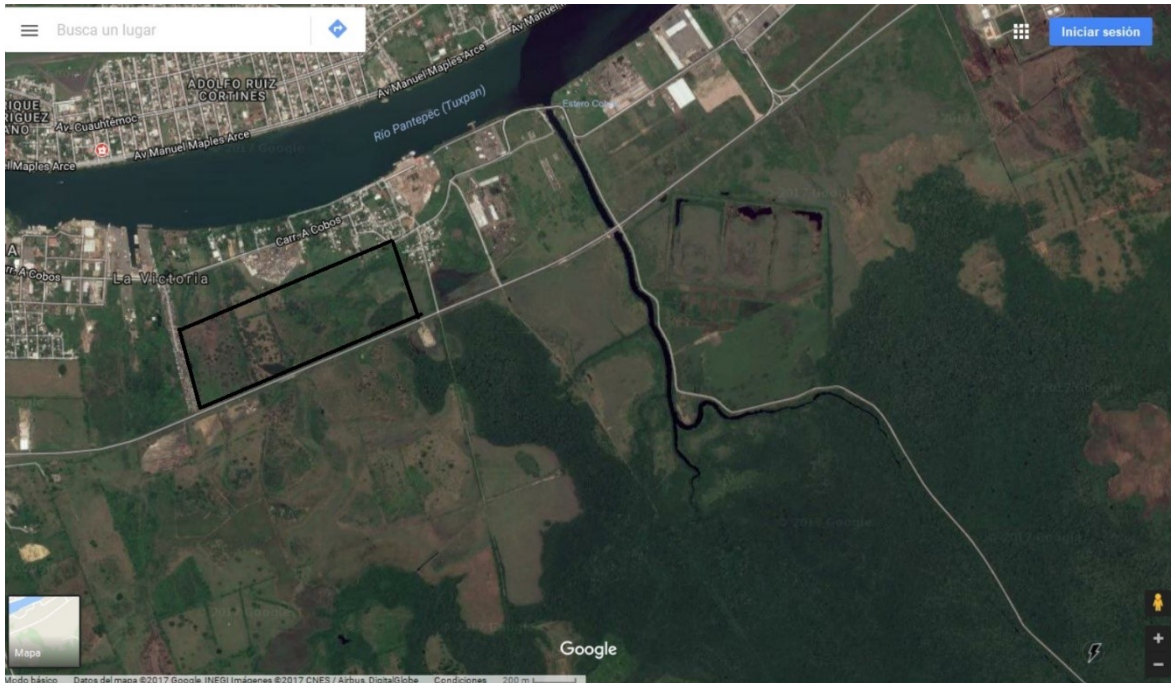


Fig 30. Vista satelital del lugar elegido para localización de la planta

En el plot plan se muestra la localización preliminar de los equipos de la planta, este diagrama se realizó con base en la Norma RF-010- PEMEX- 2014, de manera que cumpla el espaciado mínimo entre equipos.

Usando este diseño, la planta debe de medir como mínimo 32 m de largo y 25 m de ancho, sin considerar el área requerida para los tanques de almacenamiento.

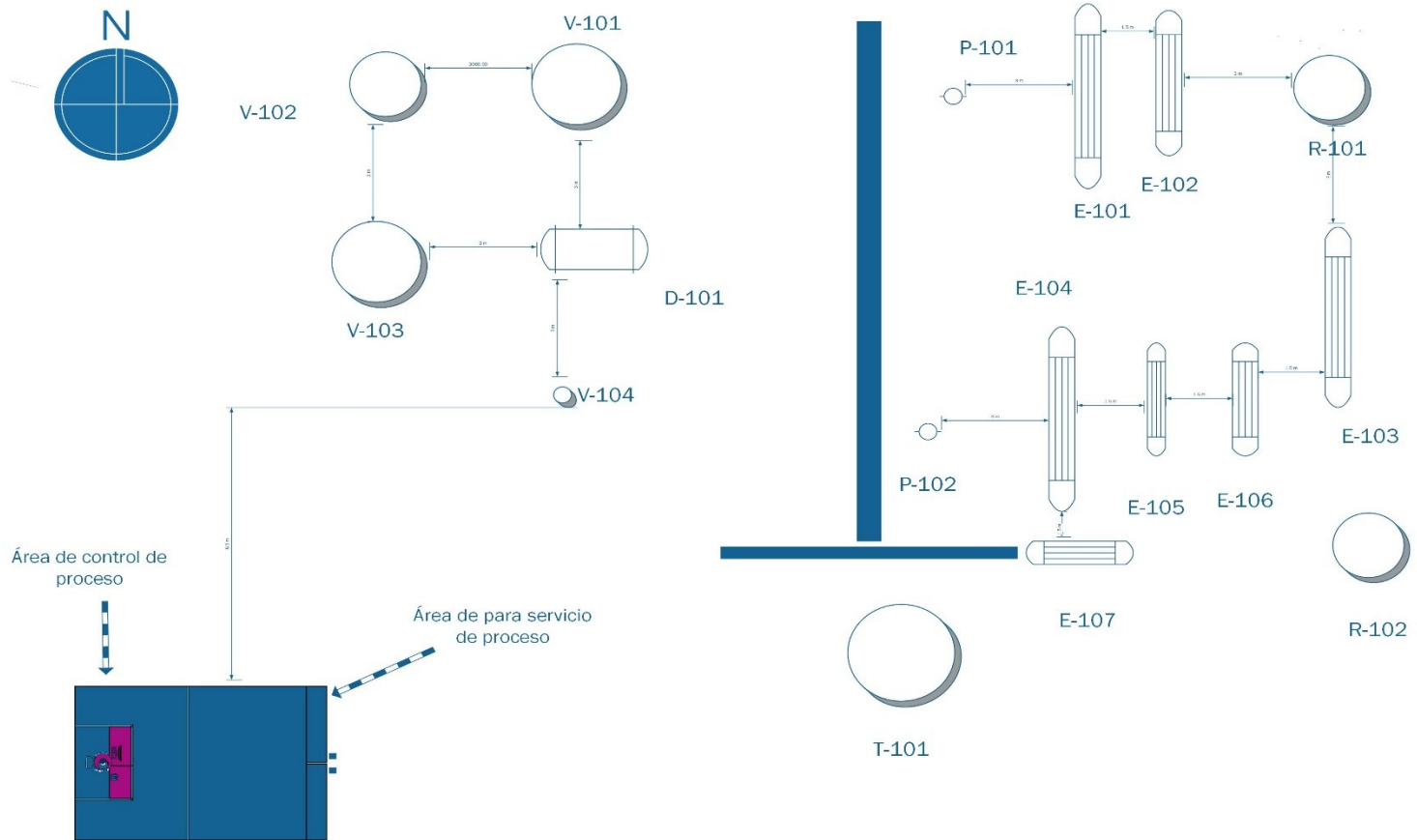


Fig. 31. Plot plan de planta de producción de biodiésel

Capítulo VII

Estudio y evaluación económica de la producción del biodiésel en México.

7.1. Estimado de costos de capital fijo

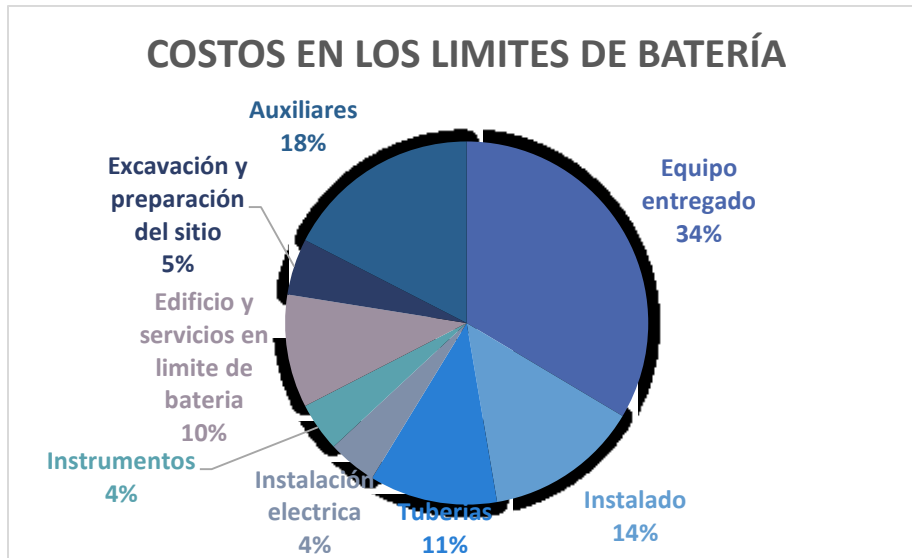
A continuación se muestran los costos de inversión necesarios para la instalación de la planta.

CONCEPTO	MONTO (\$ Dólares)
Costo de equipos principales entregados	\$5,963,070.24
Costos de la planta en los límites de batería.	\$17,769,949.32
Capital de trabajo	\$7,581,863.76
Capital total de inversión	\$34,073,167.68
Costo de terreno (4000 m2)	\$ 969, 363.27
Inversión total de capital fijo	\$26,491,303.91

Tabla 39. Resultado del estimado de costo de capital

Cada uno de los costos mostrados en la tabla anterior fue estimado mediante los factores expuestos por Bauman para plantas nuevas considerando costo de entrega (DEL) . (Perry R., 2012)

En la gráfica siguiente se muestra como está integrado el costo en los límites de batería.



Gráfica 21. Costo en los límites de batería

En la gráfica se observa que el mayor costo se debe al equipo entregado con un porcentaje de 34% del total de los costos en el límite de batería.

El costo de los equipos principales incluye a todos los mostrados en el diagrama de flujo y los equipos de almacenamiento para 2 semanas de trabajo, es decir el inventario de metanol y el aceite de Jatropha necesario para la producción de biodiésel y glicerol de 14 días de producción, además del biodiésel y el glicerol producido en ese mismo tiempo.

El costo de cada uno de los equipos se estimó a partir de un costo base mediante un método exponencial utilizando los índices de la Tabla 9.50 del Perry, volumen II. Además, se utilizó el método de índices para traer el costo obtenido mediante el método exponencial a valor presente, para esto se utilizó el CEPCI de febrero del 2017 publicado en la revista Chemical Engineering.

Fórmula utilizada para el escalamiento de los equipos:

$$Costo2 = Costo1 * \left(\frac{Capacidad2}{Capacidad1} \right)^n$$

- Costo 1: Costo base del sistema
- Capacidad 1: Capacidad del sistema base
- Capacidad 2: Capacidad del sistema después de escalarlo.
- Costos 2: Costo de Equipo después de escalar

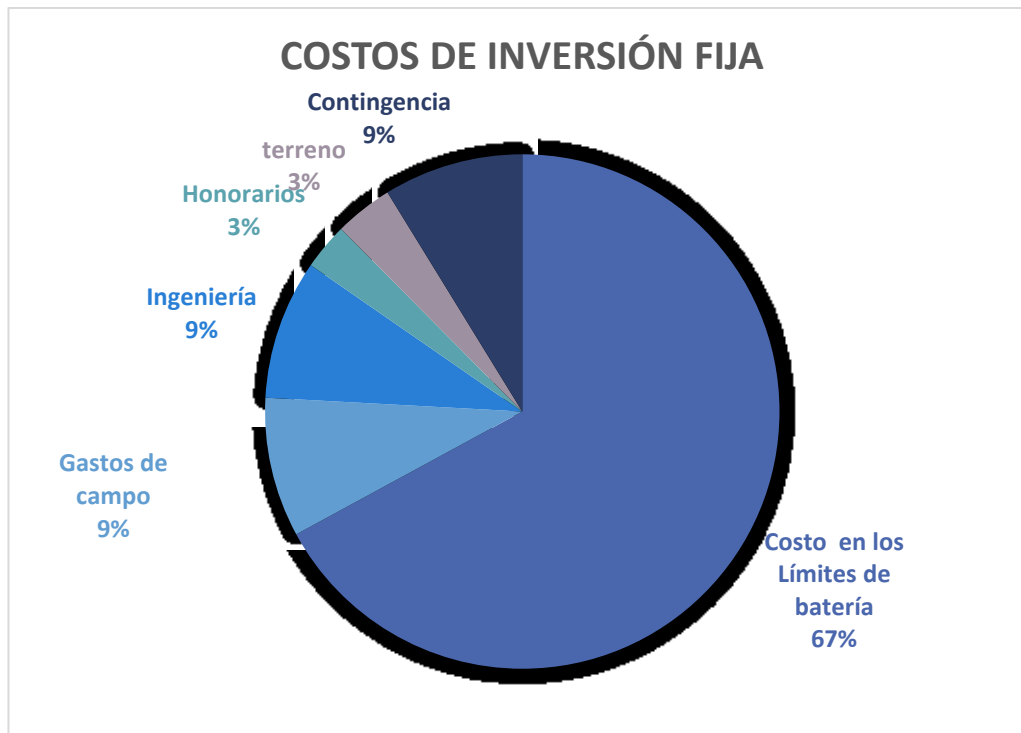
TAG	Descripción	Costo de Equipo entregado
TAB	Almacenamiento de biodiesel	\$ 1,056,574.36
TAA	Almacenamiento de aceite	\$ 1,061,451.00
TAG	Almacenamiento de glicerol	\$ 233,967.02
TAM	Almacenamiento de metanol	\$ 529,484.42
P-101	Bomba	\$ 8,909.34
E-101	Intercambiador de calor 1	\$ 812,340.07
E-102	Intercambiador de calor 2	\$ 874,293.53
R-101	Reactor #1 Instalado	\$ 101,302.21
V-101	Separador metanol, glicerol y biodiésel	\$ 3,760.57
V-102	Separador biodiesel-glicerol	\$ 3,698.33
E-103	Intercambiador de calor 3	\$ 88,956.83
D-101	Decantador instalado	\$ 204,344.21
V-104	Separador de metanol glicerol	\$ 2,398.59
P-101	Bomba	\$ 9,198.06
E-104	Intercambiador de calor 4	\$ 44,540.57
E-105	Intercambiador de calor 5	\$ 47,994.04
E-106	Intercambiador de calor 6	\$ 86,476.09
E-107	Enfriador 7	\$ 44,830.32
E-108	Enfriador 8	\$ 70,853.97
E-109	Enfriador 9	\$ 107,150.25
R-102	reactor 2	\$ 152,402.92
V-103	Flash 3	\$ 5,105.05
T-101	Torre de destilación	\$ 413,038.49
	Total	\$5,963,070.24

Tabla 40. Costo por equipo de procesos y almacenamiento.

El capital de trabajo se obtuvo considerando:

- La materia prima para dos semanas de producción, es decir lo que se almacena cerca de la planta para una operación continua.
- El inventario de biodiésel y glicerol para el mismo periodo
- Un mes de cuentas por pagar
- Inventario de piezas de repuesto estimado como el 1% de la inversión dentro los límites de batería más fuera de los límites de batería. (Turton R., 2009)

Finalmente los componentes del costo de inversión de capital fijo se encuentran en el siguiente gráfico.



Gráfica 22. Inversión fija.

En la gráfica 22 el costo mayor corresponde a lo invertido dentro del límite de batería, que está integrado por los rubros mostrados en la gráfica 21.

7.2 Estimado de costos de producción

Para obtener los costos de producción se obtuvieron:

- El costo de la materia prima; metanol y aceite de *Jatropha* para un año
- Los costos asociados a mano de obra; para esto se calculó el número de personas empleadas en la operación de la planta (9 personas en total) y el sueldo semanal de cada una de ellas. Con base en este costo se obtuvieron los costos de supervisión y trabajo de oficina.
- También se obtuvieron los costos de mantenimiento de la planta, suministros de operación, cargos de laboratorio y regalías. (Peters M., 2003)
- Con los resultados obtenidos de la simulación de la planta se obtuvo la cantidad de electricidad, servicios (agua de enfriamiento y vapor de calentamiento) y catalizador necesario para el proceso y con ello se calcularon sus costos.
- Además se obtuvieron los costos asociados a cargos fijos (impuestos, seguros y renta) y los costos extras.

Costos de producción

	\$/anual
Materia Prima	\$ 61,298,207.19
Mano de obra	\$ 39,726.07
Supervisión y trabajo de oficina	\$ 5,958.91
Mantenimiento de la planta	\$ 1,854,391.27
suministros de operación	\$ 278,158.69
Cargos de laboratorio	\$ 5,958.91
Electricidad	\$ 131,615.92
Servicios	\$ 923,245.03
Regalias	\$ 2,451,928.29
Catalizadores	\$ 230,699.73
Total	\$ 67,219,890.01

Tabla 41. Resultados del estimado de costos para una año producción.* Precio estimado, no real, por lo que puede variar considerablemente.

Es importante que señalar que el precio de compra del aceite de *Jatropha Curcas* se fijó en \$0.26 dólares por litro.

7.3. Análisis de la rentabilidad del proyecto

Para realizar el escenario económico se hicieron las siguientes suposiciones: se consideró un tiempo de vida del proyecto de 10 años, con una capacidad de producción del 100% durante este periodo.

Los precios de compra y de venta de los productos no cambian con respecto al tiempo, es decir no sufre cambios debido a la inflación, esta supoción es correcta para una ingeniería conceptual, sin embargo el cambio en los precios debe considerarse para siguientes pasos. (Marchetti J.M, 2008)

El precio considerado para venta del biodiésel es de \$0.46 dólares por litro y de \$700 dólares por tonelada para el glicerol, justificado por precios de mercado. (HBI, 2017)

A continuación se muestran los indicadores del análisis de rentabilidad del proyecto:

Concepto

Monto (\$ dólares)

Porcentaje correspondiente costo de materia prima por costo total de operación.	88.42%
Costos totales de operación al 100% de capacidad	\$69,323,724.60
Costo de producción por litro de biodiésel (\$/l)	\$ 0.416
Margen bruto	16 %
Costo de venta	0.4643
Retorno sobre Inversión (ROI)	23%
Valor presente neto (15%)	\$16,357,422.33
Tasa de retorno	19.4 %
Índice de rentabilidad	48 %

Tabla 42. Resultados de indicadores de la rentabilidad del proyecto.

Como se puede observar en la tabla anterior el margen bruto es del 16% lo que representa el porcentaje que el proyecto conserva después de cubrir los costos directos asociados a la producción. En cuanto al retorno de la inversión, es decir el porcentaje de rentabilidad del proyecto, es de 23%.

La tasa de retorno que aquí se muestra (19.4%) es equivalente a la máxima tasa de interés después de impuestos a la que el dinero puede ser prestado para financiar el proyecto bajo la condición de que el flujo neto de efectivo para el proyecto durante su tiempo de vida va a ser suficiente para pagar lo invertido y el interés acumulado de lo invertido. Es decir, debido a que la tasa de retorno es mayor que la tasa de rendimiento mínima aceptable elegida (TREMA) de 15%, la inversión se puede efectuar. La TREMA, además fue utilizada para calcular el VPN del proyecto, el cual resulta en \$16,357,422.33 dólares.

Como ya se discutió anteriormente, la venta del biodiésel es viable desde el punto de vista económico; sin embargo es necesario señalar que la estrategia de venta del biodiésel es venderlo en mezclas B5 por lo que el precio final de venta de la mezcla dependerá del precio diésel, y esto puede no ser tan atractivo para el comprador debido a que el precio final de la mezcla es de \$ 0.81 dólares y al compararlo con el precio de venta del diésel (\$ 0.83 dólares), el ahorro resultante es de solo 2.4%.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10	
Capital de inversión fijo	\$ 26,491,303.91										
Capital de trabajo	\$ 7,581,863.76										
Capital total invertido	\$ 34,073,167.68										
Ventas anuales con inflación	\$ 79,632,928.41	\$ 81,225,586.98	\$ 81,225,586.98	\$ 81,225,586.98	\$ 81,225,586.98	\$ 81,225,586.98	\$ 81,225,586.98	\$ 81,225,586.98	\$ 81,225,586.98	\$ 81,225,586.98	\$ 81,225,586.98
Ventas anuales biodiésel	\$ 79,632,928.41	\$ 79,632,928.41	\$ 79,632,928.41	\$ 79,632,928.41	\$ 79,632,928.41	\$ 79,632,928.41	\$ 79,632,928.41	\$ 79,632,928.41	\$ 79,632,928.41	\$ 79,632,928.41	\$ 79,632,928.41
Ventas anuales glicérol	\$ 9,127,489.97	\$ 9,127,489.97	\$ 9,127,489.97	\$ 9,127,489.97	\$ 9,127,489.97	\$ 9,127,489.97	\$ 9,127,489.97	\$ 9,127,489.97	\$ 9,127,489.97	\$ 9,127,489.97	\$ 9,127,489.97
Costo de manufactura	\$ 69,323,724.60	\$ 69,323,724.60	\$ 69,323,724.60	\$ 69,323,724.60	\$ 69,323,724.60	\$ 69,323,724.60	\$ 69,323,724.60	\$ 69,323,724.60	\$ 69,323,724.60	\$ 69,323,724.60	\$ 69,323,724.60
Materia prima	\$ 61,298,207.19	\$ 61,298,207.19	\$ 61,298,207.19	\$ 61,298,207.19	\$ 61,298,207.19	\$ 61,298,207.19	\$ 61,298,207.19	\$ 61,298,207.19	\$ 61,298,207.19	\$ 61,298,207.19	\$ 61,298,207.19
Mano de obra	\$ 39,726.07	\$ 39,726.07	\$ 39,726.07	\$ 39,726.07	\$ 39,726.07	\$ 39,726.07	\$ 39,726.07	\$ 39,726.07	\$ 39,726.07	\$ 39,726.07	\$ 39,726.07
Servicios	\$ 923,245.03	\$ 923,245.03	\$ 923,245.03	\$ 923,245.03	\$ 923,245.03	\$ 923,245.03	\$ 923,245.03	\$ 923,245.03	\$ 923,245.03	\$ 923,245.03	\$ 923,245.03
Electricidad	\$ 131,615.92	\$ 131,615.92	\$ 131,615.92	\$ 131,615.92	\$ 131,615.92	\$ 131,615.92	\$ 131,615.92	\$ 131,615.92	\$ 131,615.92	\$ 131,615.92	\$ 131,615.92
Mantenimiento y reparación	\$ 1,854,391.27	\$ 1,854,391.27	\$ 1,854,391.27	\$ 1,854,391.27	\$ 1,854,391.27	\$ 1,854,391.27	\$ 1,854,391.27	\$ 1,854,391.27	\$ 1,854,391.27	\$ 1,854,391.27	\$ 1,854,391.27
Suministros de operación	\$ 278,158.69	\$ 278,158.69	\$ 278,158.69	\$ 278,158.69	\$ 278,158.69	\$ 278,158.69	\$ 278,158.69	\$ 278,158.69	\$ 278,158.69	\$ 278,158.69	\$ 278,158.69
Cargos de laboratorio	\$ 5,958.91	\$ 5,958.91	\$ 5,958.91	\$ 5,958.91	\$ 5,958.91	\$ 5,958.91	\$ 5,958.91	\$ 5,958.91	\$ 5,958.91	\$ 5,958.91	\$ 5,958.91
Patente y regalías	\$ 2,682,628.02	\$ 2,682,628.02	\$ 2,682,628.02	\$ 2,682,628.02	\$ 2,682,628.02	\$ 2,682,628.02	\$ 2,682,628.02	\$ 2,682,628.02	\$ 2,682,628.02	\$ 2,682,628.02	\$ 2,682,628.02
Impuestos locales y seguros	\$ 927,195.64	\$ 927,195.64	\$ 927,195.64	\$ 927,195.64	\$ 927,195.64	\$ 927,195.64	\$ 927,195.64	\$ 927,195.64	\$ 927,195.64	\$ 927,195.64	\$ 927,195.64
Otros	\$ 1,182,597.87	\$ 1,182,597.87	\$ 1,182,597.87	\$ 1,182,597.87	\$ 1,182,597.87	\$ 1,182,597.87	\$ 1,182,597.87	\$ 1,182,597.87	\$ 1,182,597.87	\$ 1,182,597.87	\$ 1,182,597.87
Administrativo	\$ 285,011.44	\$ 285,011.44	\$ 285,011.44	\$ 285,011.44	\$ 285,011.44	\$ 285,011.44	\$ 285,011.44	\$ 285,011.44	\$ 285,011.44	\$ 285,011.44	\$ 285,011.44
Venta y distribución	\$ 115,975.54	\$ 115,975.54	\$ 115,975.54	\$ 115,975.54	\$ 115,975.54	\$ 115,975.54	\$ 115,975.54	\$ 115,975.54	\$ 115,975.54	\$ 115,975.54	\$ 115,975.54
I&D	\$ 3,185,317.14	\$ 3,185,317.14	\$ 3,185,317.14	\$ 3,185,317.14	\$ 3,185,317.14	\$ 3,185,317.14	\$ 3,185,317.14	\$ 3,185,317.14	\$ 3,185,317.14	\$ 3,185,317.14	\$ 3,185,317.14
Interés	\$ 1,703,658.38	\$ 1,703,658.38	\$ 1,703,658.38	\$ 1,703,658.38	\$ 1,703,658.38	\$ 1,703,658.38	\$ 1,703,658.38	\$ 1,703,658.38	\$ 1,703,658.38	\$ 1,703,658.38	\$ 1,703,658.38
Otros											
Total de la 6	\$ 5,289,962.50	\$ 5,289,962.50	\$ 5,289,962.50	\$ 5,289,962.50	\$ 5,289,962.50	\$ 5,289,962.50	\$ 5,289,962.50	\$ 5,289,962.50	\$ 5,289,962.50	\$ 5,289,962.50	\$ 5,289,962.50
GASTOS CON INFLACIÓN	\$ 74,613,687.09	\$ 76,105,960.84	\$ 76,105,960.84	\$ 76,105,960.84	\$ 76,105,960.84	\$ 76,105,960.84	\$ 76,105,960.84	\$ 76,105,960.84	\$ 76,105,960.84	\$ 76,105,960.84	\$ 76,105,960.84
Costo total del producto	\$ 74,613,687.09	\$ 74,613,687.09	\$ 74,613,687.09	\$ 74,613,687.09	\$ 74,613,687.09	\$ 74,613,687.09	\$ 74,613,687.09	\$ 74,613,687.09	\$ 74,613,687.09	\$ 74,613,687.09	\$ 74,613,687.09
Entrada anual de operación	\$ 14,146,731.29	\$ 14,146,731.29	\$ 14,146,731.29	\$ 14,146,731.29	\$ 14,146,731.29	\$ 14,146,731.29	\$ 14,146,731.29	\$ 14,146,731.29	\$ 14,146,731.29	\$ 14,146,731.29	\$ 14,146,731.29
Margen Bruto	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%
Depreciación anual	\$ 2,092,813.01	\$ 2,092,813.01	\$ 2,092,813.01	\$ 2,092,813.01	\$ 2,092,813.01	\$ 2,092,813.01	\$ 2,092,813.01	\$ 2,092,813.01	\$ 2,092,813.01	\$ 2,092,813.01	\$ 2,092,813.01
Ganancias antes de impuestos	\$ 12,053,918.28	\$ 12,053,918.28	\$ 12,053,918.28	\$ 12,053,918.28	\$ 12,053,918.28	\$ 12,053,918.28	\$ 12,053,918.28	\$ 12,053,918.28	\$ 12,053,918.28	\$ 12,053,918.28	\$ 12,053,918.28
Entrada después de impuestos	\$ 7,955,586.06	\$ 7,955,586.06	\$ 7,955,586.06	\$ 7,955,586.06	\$ 7,955,586.06	\$ 7,955,586.06	\$ 7,955,586.06	\$ 7,955,586.06	\$ 7,955,586.06	\$ 7,955,586.06	\$ 7,955,586.06
Entrada de efectivo	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07
Flujo de efectivo anual	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07	\$ 10,048,399.07
Factor de 15%	0.869565217	0.756143667	0.657516232	0.571753296	0.497176735	0.432377596	0.37593704	0.326901774	0.284262432	0.247894706	
Valor anual presente	\$ 8,737,738.32	\$ 7,598,033.33	\$ 6,606,985.50	\$ 5,745,204.78	\$ 4,995,830.25	\$ 4,344,200.21	\$ 3,777,565.40	\$ 3,284,839.48	\$ 2,856,382.16	\$ 2,483,810.57	
Valor presente total de los flujos de efectivo anual	\$ 50,430,590.01										
Valor presente neto	\$ 16,357,422.33										

Tabla 43. Flujo de efectivo durante 10 años de proyecto.

7.4. Plantas de biodiésel en el mundo y su costo de inversión.

En la tabla 44 se muestran los costos de algunas plantas de producción de biodiésel.

El costo de las plantas se calculó en valor presente (CEPCI FEB 2017) con la capacidad que se estimó en el balance para el presente proyecto (150000 t/año) como se puede observar, el costo de las plantas difiere mucho entre ellas, las razones de estas diferencias es variada puede ser el material utilizado en la elaboración de los equipos, el grado de automatización, la forma de financiamiento y si tuvo más inversión para aumentar su capacidad inicial en los años que precedieron al arranque de la planta, el tipo de tecnología como por ejemplo las plantas homogéneas requieren de mayor número de equipos de separación y purificación debido a que es necesario separar el catalizador de la corriente de glicerol y biodiesel, esto conlleva a mayor uso de servicios y por lo tanto a que los costos fijos aumenten.

Se obtuvo el costo a valor presente con una capacidad de 150,000 t/año, tomando como base el costo otorgado por la empresa TechnipFMC (CAPEX) obteniendo como resultado \$ 36,459,560.17, comparando este valor con el que se obtuvo en este trabajo, \$26,491,303.91 dólares, existe una diferencia de \$9,968,256.26 un 27.34% más de lo que se obtuvo,

El costo otorgado por TechnipFMC, nos da un punto de comparación porque permite conocer que tan alejados a la realidad se encuentra el estimado aquí realizado y saber si hasta esta etapa de ingeniería la planeación se está llevando de manera adecuada.

En cuanto a los costos más parecido al estimado para este proyecto dentro de la tabla se encuentran el de New Natural Energy West GmbH y el de Stocks del Valle.

Nombre	Pais	Tecnología	Capacidad (ton)	Año	Inversión (EUROS)	Valor Presente de la inversión €	Valor presente capacidad 150000 ton/año €	Valor presente capacidad 150000 ton/año dólares
Biodiesel Kärnten GmbH in Arnoldstein	Austria	Bio-Diesel-International Ges.mb.H	50000	2003	\$14,500,000.00	\$ 21,187,313.43	\$ 40,958,933.91	\$ 39,129,172.26
Biodiesel Raffinerie GmbH in Zistersdorf	Austria	ENERGEA	40000	2003	\$ 5,000,000.00	\$ 7,305,970.15	\$16,147,178.79	\$ 15,425,834.61
Agripodnik, akciová společnost	República Checa	AT Agrartechnik	50000	2003	\$ 7,300,000.00	\$ 10,666,716.42	\$ 20,620,704.66	\$ 19,699,514.31
ADM Oelmühle Leer Connemann GmbH	Alemania	CD Process System Connemann ADM	110000	1995	\$10,000,000.00	\$ 15,413,277.36	\$ 18,565,820.09	\$ 17,736,427.76
Bio-Ölwerk Magdeburg	Alemania	Cimbria Sket	50000	2003	\$ 20,000,000.00	\$ 29,223,880.60	\$ 56,495,081.25	\$ 53,971,272.08
EOP Elbe-Oel Prignitz AG	Alemania	Cimbria Sket	30000	2003	\$30,000,000.00	\$43,835,820.90	\$115,136,002.41	\$109,992,522.79
MUW Mitteldeutsche Umesterungswere GmbH & CoKG	Alemania	Dr Ing Pollert	150000	2001	\$25,000,000.00	\$37,243,215.83	\$ 37,243,215.83	\$ 35,579,446.74
New Natural Energy West GmbH	Alemania	Lurgi life science	100000	2002	\$12,000,000.00	\$ 17,817,997.98	\$ 22,725,511.17	\$ 21,710,292.64

SARIA bioindustries GmbH	Alemania	Bio-Diesel-International Ges.mb.H	12000	2003	\$10,000,000.00	\$ 14,611,940.30	\$ 66,504,938.61	\$ 63,533,958.30
ThüRINGER methylesterwerk GmbH&Co Kg	Alemania	Bio-Diesel-International Ges.mb.H	45000	2001	\$14,500,000.00	\$ 21,601,065.18	\$ 44,483,854.80	\$ 42,496,624.08
Novaol SRL	Italia	Novaol	250000	1992	\$ 7,000,000.00	\$11,479,061.98	\$ 8,448,841.27	\$ 8,071,405.52
Stocks del Valle	España	BDI	31000	2002	\$ 4,500,000.00	\$ 8,649,541.88	\$ 22,275,673.58	\$ 21,280,550.67
Esterefip-H	Francia	Axens/ TechnipFMC	160000	2004	\$30,000,000.00	\$ 39,671,319.23	\$ 38,164,485.20	\$ 36,459,560.17

1) Euro a \$ 21.5969 peso mxn el 26/12/2016 (2) Dólar a 20.6321.

Tabla 44. Plantas de biodiésel en el mundo.

Capítulo VIII.

Evaluación del impacto ambiental

Otra parte importante en la evaluación de un proyecto, es la evaluación de su impacto ambiental. La evaluación del ciclo de vida es una herramienta que permite valorar objetivamente la carga ambiental de un producto, servicio, proceso o actividad, identificando los materiales usados y los desechos liberados al ambiente, además de evaluar e identificar posible oportunidades de mejora que disminuyan la emisión de GEI al ambiente. (GDRC, 2017)

Se utilizó esta herramienta para conocer el impacto ambiental del biodiésel en las etapas de cultivo, extracción de aceite y producción de biodiésel considerando como indicador equivalente de CO₂.

Es importante señalar que, para obtener la información, se consideró la información del artículo de (Martinez-Hernandez E., 2013) como caso base y se adecuo al presente proyecto.

8.1 Ciclo de vida del biodiésel.

A continuación, se muestran los límites del ciclo de vida de la cadena de proceso del biodiésel y los diferentes tipos de materia prima y servicios utilizados en cada paso.

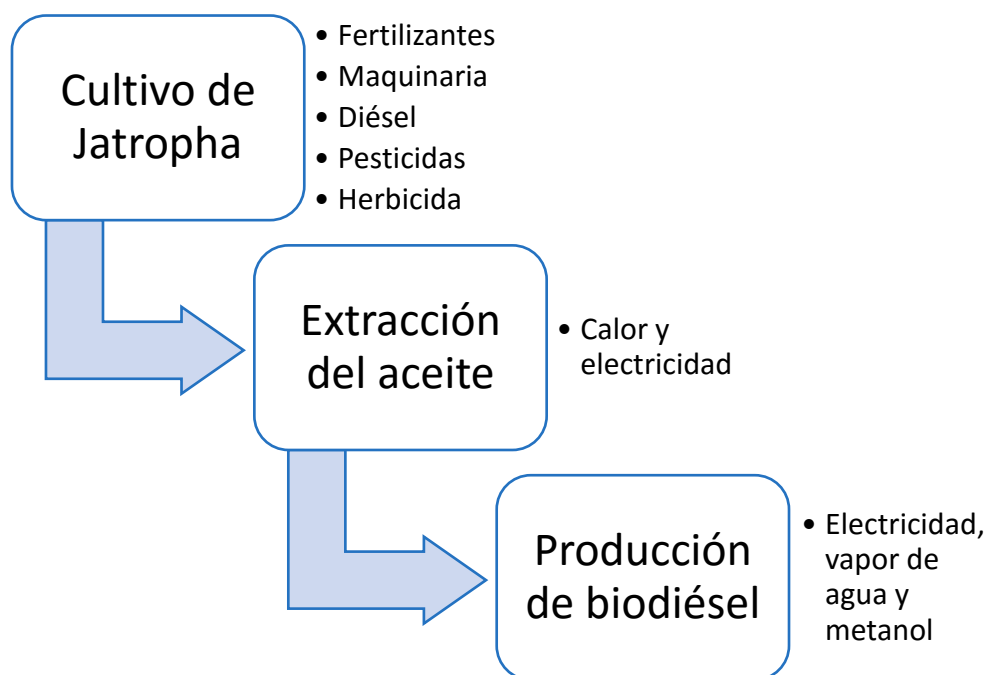


Fig 32. Etapas de la producción de biodiésel, Elaboración propia.

Para obtener la cantidad de equivalentes de CO₂, se utilizó el siguiente inventario de emisiones.

Materia prima o servicio	Cantidad	Unidades
N fertilizante	2940	g CO ₂ eq/kg
P fertilizante	1160	g CO₂ eq /kg
K fertilizante	380	g CO ₂ eq/kg
Manufactura y almacenamiento	2.912	g CO ₂ eq/h
Diesel	74.4	g CO ₂ eq/ MJ
Mezcla de Electricidad	173.4	g CO ₂ eq/ MJ
Pesticida	13.12	g CO ₂ eq/ L
Herbicida	13.12	g CO ₂ eq/ L
Metanol	2836	g CO ₂ eq/kg
Gas natural	61.2	g CO ₂ Eq/MJ

Tabla 45. Inventario de Emisiones de la materia prima y servicios utilizados en el proceso (Martinez-Hernandez E., 2013)

8.1.1 Cultivo de Jatropha.

Para obtener la emisión de los gases de efecto invernadero correspondiente al cultivo de Jatropha se calculó la superficie necesaria para producir el aceite de alimentación. La superficie calculada para obtener la cantidad de aceite para producción fue de 91 908 ha.

Con la información de la tabla 40 se obtuvo la cantidad de insumos suministrados en un año de producción de la semilla.

Finalmente, considerando el inventario de emisiones de la materia prima se obtuvo el impacto ambiental de esta etapa de producción .

Siembra de semillas	unidad	Cantidad necesaria		Ton CO2 Eq	
N fertilizante	162	kg/ha	14889254.76	Kg	43774.41
P fertilizante	162	kg/ha	14889254.76	Kg	17271.54
K fertilizante	162	kg/ha	14889254.76	Kg	5657.92
Maquinaria	2	h/ha	183817.96	H	0.54
Diesel	6584	MJ/ha	605128724.3	MJ	45021.58
Electricidad	27.8	MJ/ha	2555069.644	MJ	443.05
Pesticida	2	l/ha	183817.96	L	2.41
Herbicida	2	l/ha	183817.96	L	2.41
				Total	112173.85

Tabla 46. Cantidad de recurso necesarios por hectárea para el cultivo de Jatropha en México.

El total de emisiones estimados para esta etapa de producción es de: 112, 173.85 toneladas/año de equivalentes de CO₂.

8.1.2. Extracción de aceite

De la misma manera que en el punto anterior se obtuvo la cantidad de CO₂ liberado en esta etapa a partir de la cantidad de servicios e insumos utilizados.

	MJ	g de CO ₂ eq	ton de CO ₂ eq/año
Gas natural	5.70E+08	61.2	34884
Electricidad	8.50E+07	173.4	14739
	Total		49623

Tabla 47. Resultados de las emisiones asociadas a la extracción de aceite de Jatropha

8.1.3 Producción de biodiésel.

Para este punto se utilizó la información del balance de materia y energía, con el cual se obtuvo la cantidad necesaria de insumos y servicios para llevar a cabo el proceso durante un año.

A partir de esto se calculó la cantidad de CO₂ equivalente asociada a la etapa de producción.

Materia prima	cantidad	g CO2 eq/Kg	ton Eq de CO2
Metanol kg/hr	7995	2836	168846.17
Gas natural MJ/hr	22589.75	61.2	10294.04
Electricidad MJ/hr	995.3748	173.4	1285.17
		Total	180425.38

Tabla 48. Resultados de las emisiones de CO₂ en la etapa de producción de biodiésel.

El resultado esta etapa es de 180 425.38 ton de CO₂ equivalentes/año y es la etapa con mayor impacto ambiental debido principalmente al uso de metanol proveniente del petróleo.

En total por todo el proceso de producción de biodiésel en un año de producción se emiten 342, 221.85 ton de CO₂ eq al año.

Al dividir las emisiones totales entre la producción anual de biodiésel obtenida del balance de materia (148351 ton/año) y dividir lo obtenido entre la energía contenida por masa de biodiésel 37.3 MJ/Kg de biodiésel, se obtiene la emisión de CO₂ eq/MJ de biodiésel.

$$\left(\frac{342,221.85 \text{ ton de CO}_2 \text{ eq}}{148351 \text{ ton de biodiésel}}\right) \left(\frac{1000 \text{ kg}}{1000 \text{ kg}}\right) \left(\frac{1 \text{ Kg de biodiésel}}{37.3 \text{ MJ}}\right) \left(\frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}\right)$$

$$= 61.85 \frac{\text{g de CO}_2 \text{ eq}}{\text{MJ de biodiésel}}$$

El resultado es comparable con el de Martínez et al, y menor que el emitido por la producción de diésel de 74.4 g de CO₂ eq/MJ de biodiésel.

Capítulo IX

Impacto de la producción de biodiésel en el desarrollo económico nacional, análisis de resultados y conclusiones.

9.1. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos en los distintos estudios de evaluación permiten decidir si continuar con la siguiente etapa de la metodología FEL o abandonar el proyecto porque no se presentan ventajas en su ejecución.

9.1.1 Análisis de resultados de estudio de Mercado

A partir del estudio de mercado, podemos observar que en México existe déficit en la producción de diésel, para cubrir esta demanda PEMEX se ha inclinado por la importación de los mismos, siendo Estados Unidos nuestro único proveedor por lo que la dependencia energética de México hacia este país es muy elevada.

En las proyecciones realizadas en el capítulo V se observa que la demanda de diésel va en aumento y la oferta en descenso (Gráfica 15 y 17) por lo que es necesario hacer algo para cubrir la demanda insatisfecha y evitar que siga creciendo, el biodiésel se presenta como una alternativa para cubrir la demanda establecida por lo que se justifica la continuidad del proyecto por cuestiones de mercado.

Las proyecciones también permitieron delimitar el mercado a mezclas de biodiésel B5 de la demanda del sector agropecuario y con ello conocer la capacidad de la planta.

9.1.2. Análisis de resultados del estudio técnico

El estudio técnico permitió elegir: la materia prima a utilizar, la tecnología y la localización de la planta.

Como materia prima se eligió el aceite de *Jatropha* debido principalmente a su bajo precio, es importante mencionar que la tecnología de catálisis heterogénea “Esterfip-H” permite utilizar diferentes tipos de aceite, por lo que, aunque no se consideran en el presente trabajo, el aceite vegetal usado y la grasa animal los cuales también pueden ser utilizados como materias primas.

El equipo determinante en cualquier planta de procesos es el reactor, el volumen obtenido para el reactor fue de 8.5 m^3 el cual comparado con la literatura es muy pequeño, 60 m^3 en (Oien M., 2012). Una de las posibles explicaciones podría ser el tiempo de residencia obtenido, al compararlo con lo reportado experimentalmente en Allain *et al*, el tiempo de residencia obtenido es la mitad de lo reportado, se obtuvieron 12 minutos como tiempo de residencia en el simulador.

Es importante mencionar que en Oien, las expresiones cinéticas utilizadas son diferentes a las utilizadas en la presente tesis, por otro lado, en la literatura se menciona el uso de dos reactores para el proceso Esterfip-h y en el experimento para las condiciones de 200 °C y 9:1 molar sólo se utilizó un reactor (Allain F., 2016).

La conversión mencionada en el primer reactor en Oien es de 91.2 % la cual es menor comparada con el 95.6% que se obtuvo en este trabajo, sin embargo para el segundo reactor la conversión es similar, siendo de 99.5% respecto al 99.6 % que se obtuvo en esta simulación.

En la literatura para la purificación del glicerol se sugiere el uso de una columna de destilación, sin embargo al utilizarla en este modelo la dimensiones de la torre eran muy pequeñas(1.28 m³ de volumen) por lo que se decidió prescindir de ella y utilizar un flash bifásico como equipo de separación. (West A., 2008) (Oien M., 2012)

La composición final del biodiésel como se muestra en la tabla 36 es aceptable según la norma EN-14 214. En este trabajo no se calcula el índice de cetanos pero en la literatura se reporta como de 51 para el biodiésel proveniente de jatropha curcas. (Mofijur M., 2013)

En cuanto a la pureza del glicerol obtenida es mayor a 80% no obstante no cumple con la pureza necesaria para uso farmacéutico, 99.7%. (Posada J., 2010). La pureza obtenida es de 98.7%, el grado de pureza del glicerol, si como método de separación final se usara una torre de destilación y no un tanque flash.

En cuanto a la localización de la planta, Tuxpan presenta muchas ventajas competitivas como lo es la demanda de combustible debido a que la entidad presenta alta actividad agrícola y pesquera además de la ausencia de problemas para el abastecimiento de los servicios y por su condición de entidad portuaria la zona presenta alta actividad industrial principalmente petrolera.

9.1.3. Análisis del resultados de estudio económico

El estimado de costos que se busca para una Ingeniería conceptual es un clase V (-30% a +50%).

Se obtuvo una inversión de capital fijo de: \$26,491,303.91 y de capital total de inversión de \$34,073,167.68 . Los resultados de los costos obtenidos se pueden comparar con los de la tabla 44 donde se puede observar que los que más se acercan a lo obtenido son los costos de la planta New Natural Energy West GmbH y la de Stocks del Valle . Sin embargo, al comparar el costo de la planta con una que utiliza la tecnología Esterfip-H en Francia, con la capacidad de la planta del presente proyecto y al año 2017 es de \$36,459,560.17 es decir la inversión es mayor en un 27.34 %, entre las posibles diferencias entre las plantas está el tipo de material utilizado y el precio del catalizador, el precio real de este último no se logró conseguir por lo que solo se estimó.

La diferencia entre lo estimado para el presente proyecto y el costo de la planta en Francia, se le atribuye principalmente al volumen calculado para el reactor, ya que al no tener tiempos de residencia conocidos, el volumen del reactor resulta muy pequeño comparado con la literatura. (Oien M., 2012)

Los resultados obtenidos serán comparados con lo expuesto por (Marchetti J.M, 2008). El precio de las materias primas constituye el 88.42% del costo total de operación, esto se debe principalmente al precio del metanol, el cual es de \$366 USD. El precio del aceite considerado en Marchetti *et al* es de \$400 dólares/ ton .

El precio de producción por litro de biodiésel es de \$ 0.416 dólares y para la venta se considera un precio de \$ 0.4643 dólares, el precio de venta considerado por Marchetti es de \$0.52 dólares/kg considerando una densidad de 0.88 kg/l para el biodiésel, el precio por litro resulta en \$0.458.

Es importante señalar que el precio del diésel en pesos MXN considerado para este proyecto es de \$17.09 (\$ 0.823 dólares) y el precio de venta del biodiésel es de \$8.62, por lo que el precio de la mezcla B5 sería de \$16.66 pesos lo que representa un ahorro de 2.49%, el cual aumentaría si las mezclas tuvieran mayor cantidad de biodiésel.

9.1.4. Análisis de resultados del impacto ambiental

Los resultados obtenidos en Ciclo de vida, son comparables en magnitud con los del caso base. No obstante, este trabajo no tiene tales alcances y no se considera el crédito positivo por la obtención de glicerol, el uso de la *Jatropha* como alimento de animales y el CO₂ utilizado por la *Jatropha* para su fotosíntesis, los cuales serían necesarios considerar para obtener un ciclo de vida más detallado.

La producción de biodiésel presenta una emisión de 61.85 g de CO₂ eq/ MJ es decir un 16.86% menos comparado con los 74.4 g de CO₂ eq/ MJ de diésel. (Melgarejo L., 2017)

En la literatura se menciona que por litro de biodiésel obtenido de aceite de palma hay una reducción del 38% en las emisiones de gases de efecto invernadero. (Kian Fei Yee, 2009)

9.2. Impacto de la producción de biodiésel en desarrollo económico nacional.

México presenta una dependencia energética muy alta a Estados Unidos debido a la importación de combustibles como lo son gasolina y diésel, utilizados principalmente en el sector transporte, esta dependencia ha ido aumentando debido a que no se ha invertido en infraestructura y las refinerías ya establecidas han disminuido en su producción. (Secretaría de Energía, 2016)

El biodiésel se presenta como una alternativa para disminuir esta dependencia, sin embargo más que una solución a largo plazo, se presenta como una medida de transición y de apoyo al sector energético.

Otro beneficio del uso del biodiésel es el apoyo al crecimiento del sector agrícola, lo que potencia el desarrollo de la zonas rurales.

9.3. Conclusiones.

Con el desarrollo de la ingeniería conceptual de la planta de producción de biodiésel, se lograron cumplir los objetivos planteados.

Por cuestiones de mercado se logró determinar la capacidad de la planta dirigidos hacia el sector de transportes de la industria agropecuaria en mezclas B5, la cual es de 148 351 Ton/año. Estas mezclas si bien no reducen en gran medida el precio del combustible sí presentan algunas ventajas como la mejora de la lubricidad del diésel y su mejor aprovechamiento sin tener que hacer ningún cambio en el motor del vehículo.

Se eligió el municipio de Tuxpan, Veracruz debido principalmente a la capacidad de producción de materia prima seleccionada, la *Jatropha curcas*. Se requieren 920 km² para obtener el aceite necesario para la producción de biodiésel por la la planta.

Uno de los puntos más importantes dentro del trabajo, fue la selección de la tecnología. La tecnología heterogénea Esterfip-h, presenta varias ventajas con respecto a la tecnología homogénea como reducir el número de etapas de purificación, evitar la formación de jabón y reducir la producción de residuos que afectan al medio ambiente, por lo que se eligió como la tecnología más adecuada para la planta.

La simulación del proceso permitió obtener el balance de materia y energía y el dimensionamiento de equipos con los cuales fue posible realizar el estimado de costos y el análisis del impacto ambiental. Con esto se comprueba la viabilidad técnica del proyecto, ya que la calidad del biodiésel considera lo especificado por la norma EN-14214 y se logra aceptar el seguimiento del proyecto, soportado por los indicadores de rendimientiento y rentabilidad (TIR 19.4%, ROI 23 %)

El costo de capital fijo \$26,491,303.91 presenta una diferencia del 27.34% con respecto al mostrado en la tabla 44 para la tecnología elegida para el proyecto. No obstante estos costos consideran el tipo de cambio por lo que la desviación podría ser mayor o menor dependiendo del mismo.

Además de estimar el costo de capital fijo, también se estimó el costo de producción utilizando el precio de materia prima y de los servicios utilizados, siendo este de \$8.57 pesos/litro (\$0.416 dólares), para la venta se consideró la ganancia de \$1

peso por litro. Con este precio de venta, se proyectó el estado de resultados para los siguientes 10 años (Tabla 43)

Asimismo se calcularon diferentes indicadores sobre la rentabilidad del proyecto. Las ganancias a 10 años después de pagar lo invertido inicialmente serán aproximadamente de \$16,357,422.33 dólares considerando una tasa de descuento del 15%.

La tasa de descuento considerada es mayor a la utilizada normalmente debido a que se considera que el proyecto presenta un alto riesgo, ya que al ser un producto poco conocido por los consumidores, se dificulta su entrada al mercado, además la venta en mezclas B5 considera un ahorro de solamente el 2.75% por lo será necesario utilizar algún tipo de subsidio como el establecido en el título 9 de la Ley de ingresos a la federación para hacer más atractivo su consumo.

En cuanto sus beneficios ambientales, la producción de biodiésel reduce la emisión de gases de efecto invernadero, en 12.55 g de CO₂ eq/ MJ es decir en un 16.86 %, comparándolo con el diésel fósil, esto sin considerar el CO₂ que asimilan las plantas de *Jatropha*, su utilización como alimento para animales y el glicerol obtenido por este medio y no apartir de petróleo. Por esta razón el biodiésel se presenta como una buena alternativa de reducción de emisiones de GEI, lo que ayuda a México en su compromiso firmado en el Acuerdo de París para reducir la emisión de GEI en un 25%. Por otro lado, la desventaja ambiental principal es el incremento en la emisión de NO_x al quemarse.

Considerando todo lo anterior, se concluye que el proyecto es viable ambiental, técnico y económicamente para el escenario aquí mostrado. Sin embargo se ve muy influenciado por el precio de la materia prima, principalmente por el precio del aceite; por lo que como futuro alcance se propone hacer un análisis de sensibilidad considerando distintos precios de materia prima y distintos precios de venta del biodiésel

Finalmente, la construcción de una planta de biodiésel y su comercialización presenta varias ventajas que ayudaría a la competitividad y diversificación energética en México, no obstante, debido a que la Ley de promoción de desarrollo de bioenergéticos, la cual es la principal reguladora de este tipo de proyectos, no menciona la manera en la que se darán los apoyos a los inversionistas en el desarrollo de proyectos bioenergéticos explícitamente mencionados en la misma. Por esta razón es necesario tener Leyes y normativas claras que permitan conocer si el terreno es propicio para la inversión en este tipo de proyectos.

RESUMEN DE RESULTADOS

<i>Conversión de aceite a biodiésel</i>	99.2 %
<i>Costo de planta en los límites de batería (dólares)</i>	\$17,769,949.32
<i>Inversión de Capital fijo (dólares)</i>	\$26,491,303.91
<i>ROI</i>	23%
<i>Emisión de CO2 teórica por el biodiésel producido</i>	61.85 g de CO2 eq/ MJ de biodiésel

Tabla 49. Resumen de resultados.

9.4. Recomendaciones

Otros aspectos importantes que se sugieren desarrollar para obtener mayor profundidad y sustento en la planeación de un proyecto de producción de biodiésel, se enlistan a continuación:

- Análisis de sensibilidad con cambio de precio de las materias primas, por sus efectos en el precio del biodiésel.
- Análisis de ciclo de vida más detallado donde se incluyan los beneficios de la asimilación de CO₂ por la planta de biodiésel, el uso de los residuos de *Jatropha* como alimento de animales y el ahorro de emisiones por la obtención de glicerol.
- Conocer el ahorro en las emisiones de CO₂ y en que porcentaje ayuda al cumplimiento de México en el tratado de París.
- Conocer que otro tipo de energías alternativas se pueden utilizar en los medios transporte y que ventajas y desventajas tienen comparadas con el uso de biodiésel.

Bibliografía

- Abbaszaadeh A., G. B. (2012). Current biodiesel production technologies: A comparative Review. *Energy Conversion Management*, 138-148.
- Abbaszadeh A., C. B. (2012). Current biodiesel production technologies: A comparative review. *Energy Conversion and Management*, 138-148.
- Aguilar, J. R. (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*. . Ciudad de México: UNAM .
- alamotemapache.gob.mx*. (16 de Junio de 2017). Obtenido de <http://www.alamotemapache.gob.mx/goba/index.php>
- Allain F., P. J. (2016). Estimation of kinetic parameters and diffusion coefficients for the transesterification of triolein with methanol on a solid ZNAI₂O₄ catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 833-845.
- Amouri M., M. F. (2016). Sustainability assesment of Ricinus Communis biodiesel using LCA Approach. *Clean Technology Environmental Policy*, publicado en internet.
- Anaya A., B. R. (2013). *Manual de temas selectos de Ingeniería de Proyectos*. Ciudad de México: UNAM.
- Anaya A., B. R. (2013). *Manual de temas selectos de ingeniería química* . Ciudad Universitaria: UNAM.
- Andreatta A., C. L. (2008). Phase Equilibria in Ternary Mixtures of Methyl oleate, Glycerol and Metanol. *Ind. Eng. Chem. Res.* , 5157-5164.
- ANIAME. (18 de 05 de 2017). <http://aniame.com/mx/>. Obtenido de <http://aniame.com/mx/estadisticas-del-sector/>
- Baca G. (2013). *Evaluación de proyectos*. Ciudad de México: Mc Graw Hill.
- Bastianelli L. Yeager Terry, W. B. (15 de abril de 2016). *thinkbrg.com*. Obtenido de http://www.thinkbrg.com/media/publication/255_BRG_Project%20Development%20and%20Strategies%20for%20Success_24Sep2012.pdf
- Benjumea Hernández Pedro Nel, A. S. (2009). *Biodiésel: Producción, Calidad y Caracterización*. . Antioquia Colombia : Universidad de Antioquia .
- Biofuel Org. . (15 de Junio de 2016). <http://biofuel.org.uk/>. Obtenido de <http://biofuel.org.uk/>
- biofuel.org.uk*. (20 de Septiembre de 2016). Obtenido de <http://biofuel.org.uk/biofuel-facts.html>

- Buendía Díaz J., F. F. (2013). Análisis Macroeconómico y perspectiva del desarrollo de campo en aguas profundas en México: La metodología Fel aplicada a un caso de estudio. Ciudad de México, México: Tesis para obtener el título de Ingeniero Petrolero, UNAM.
- Caballero E., V. J. (2012). Aceites reciclados de cocina como materia prima de próxima generación para la obtención de biodiésel en Chiapas. *Ide@s CONCYTEG 7*, 895-910.
- Caldeira C., Q. J. (2016). Incorporating uncertainty in the life cycle assessment of biodiesel from waste cooking oil addressing different collection systems. *Resources Conservation and Recycling*, 83-92.
- Castells, X. E. (2009). *Reciclaje de Residuos Industriales*. Madrid, España: Diaz de Santos.
- CIATEJ. (19 de Agosto de 2017). <http://ciatej.mx>. Obtenido de <http://ciatej.mx/cluster-biodiesel-avanzado-bda/>
- CODESIN. (2011). *Compendio de paquetes tecnológicos para el establecimiento de la cadena agroindustrial de jatropha curcas en el Noroeste de México*. Sinaloa.
- CONACYT. (16 de Diciembre de 2016). Obtenido de www.conacyt.gob.mx : <http://conacyt.gob.mx/index.php/fondos-sectoriales-constituidos2/item/conacyt-sener-sustentabilidad-energetica>
- Congreso de la Unión. (2016). *Ley de ingreso de la federación para el ejercicio fiscal de 2017*. Ciudad de México: DOF.
- CRE. (27 de diciembre de 2016). Obtenido de [gob.mx/cre](http://www.gob.mx/cre): <http://www.gob.mx/cre/articulos/precios-maximos-vigentes-de-los-combustibles?idiom=es>
- Damodar Gujarati, P. D. (2009). *Econometría*. México: McGraw Hill.
- Departamento de Combustíveis Renováveis . (2016). *Boletim Mensal Dos Combustíveis Renováveis*. Brasil.
- Equipo de trabajo de la oficina de planeación Universidad Nacional de Colombia. (10 de Mayo de 2007). *Guía para la formulación de proyectos considerando la metodología del banco de proyectos de la Universidad de Colombia*. Medellin Colombia: Centro de Impresiones de la Universidad Nacional de Colombia.
- Escobar J. (2014). *Desarrollo de proyectos complementarios para el fortalecimiento de la cadena productiva del biodiésel en el Estado de Chiapas*. Ciudad de Mexico: UNAM .
- FAO . (2008). Biocombustibles: perspectiva, riesgo y oportunidades. Roma, Italia : División de Políticas y apoyo en materia de publicación electrónica- FAO .

- Fondo de sustentabilidad Energética Conacyt-Sener. (16 de Marzo de 2017). <http://sustentabilidad.energia.gob.mx/>. Obtenido de <http://sustentabilidad.energia.gob.mx/>
- GDRC. (8 de 08 de 2017). <http://www.gdrc.org>. Obtenido de <http://www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html>
- Green Fuels. (2010). *Instruction Manual for the green fuels: Fuelmatic biodiesel Processor* . Reino Unido.
- Haas M., M. A. (2006). A process model to estimate biodiesel production costs. *Bioresource Technology* , 671-678.
- HBI. (18 de julio de 2017). <http://www.hbint.com/>. Obtenido de <http://www.hbint.com/products/glycerine>
- Hernández, M. (11 de Agosto de 2016). Comunidad. *Gaceta Unam* , pág. 11.
- Hincapié G., M. A. (2011). Transesterificación de aceite de higuera cruda utilizando catalizadores heterogéneos . *REDALYC #78*, 176-181.
- IMCO. (15 de Enero de 2017). <http://imco.org.mx>. Obtenido de http://imco.org.mx/medio_ambiente/mexico-ratifica-el-acuerdo-de-paris-sobre-el-cambio-climatico/
- IMP. (15 de Mayo de 2017). www.imp.mx. Obtenido de <http://www.imp.mx/comunicacion/gaceta/?imp=nota¬a=141030dfr>
- Independent Project Analysis. Inc. . (03 de MAYO de 2015). *ipaglobal.com*. Obtenido de <http://www.ipaglobal.com/front-end-loading-fel-workshop>
- Kian Fei Yee, K. T. (2009). Life Cycle assesment of palm biodiesel: Revealing facts and benefits for sustainability. . *Applied Energy*, S189-S196.
- Kiss A., S. C. (2012). A review of biodiesel production by integrated reactive separation technologies. *Journal of chemical technology and biotechnology*, 861-879.
- Kiss F., J. M. (2010). Economic and Ecological aspects of biodiesel production over homogeneous and heterogeneous catalyst. *Fuel Processing Technology* , 1316-1320.
- Ludwig, E. E. (1999). *Process Design for Chemical and Petrochemical plants*. Houston Texas: Gulf Professional Publishing.
- Macin de Santiago, F. D. (2012). Desarrollo de la Ingeniería conceptual para una terminal de almacenamiento y reparto de combustible. Ciudad de México, México: Tesis para Obtener el Título de Ingeniero Químico , UNAM.
- Marchetti J.M, M. V. (2008). Techno economic study of different alternatives for biodiesel production. *Fuel processing Technology*, 740-748.

- Martinez-Hernandez E., M.-H. J. (2013). Process Integration , energy and GHG emission analyses of Jatropha-based biorefinery systems. *Biomass Conversion Biorefinerie*, 105-124.
- Melgarejo L., P. E. (20 de Julio de 2017). *Integración del inventario para análisis de ciclo de vida en la producción de petrolíferos de la refinería Miguel Hidalgo*. Obtenido de IMP: <http://www.scribd.com/doc/14424951/Pres-8>.
- Mofijur M., M. H. (2013). Evaluation of biodiesel blending, engine performance and emissions characteristics of jatropha curcas Methyl ester: Malaysian perspective. *Energy* 55, 879-887.
- Naik S.N., V. V. (2010). Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 578-597.
- National Renewable Energy Laboratory . (2009). *Biodiesel Handling and use guide* . Springfield : U.S. Department of energy .
- Oien M. (2012). *Biodiesel production by Esterfio-h process*. Oslo, Noruega : NTNU.
- Ortner, M. M. (2016). Incorporating uncertainty in the life cycle assessment of biodiesel from waste cooking oil addressing different collec. *Resour. Conserv. Recycl.*, 59-67.
- Pablo Navarrete, W. C. (2001). *Planning, Estimating, and Control of Chemical Construction projects* . New York : Marcel Dekker Inc. .
- Peréz-Valle, E. P. (2014). *Propuesta de una metodología para la evaluación integral de proyectos industriales, mediante un análisis multicriterio*. Ciudad de México: Tesis de Maestría.
- Perry R., G. D. (2012). *Manual del Ingeniero Químico* . Mc Graw Hill.
- Peters M., T. H. (2003). *Plant Design and economics for chemical Engineers*. N.Y.: McGraw-Hill.
- Pleanjai S., G. S. (2009). Greenhouse gas Emissions from production and use of used of used cooking oil methyl ester as transport fuel Thailand. *Journal of Cleaner production* , 873-876.
- Posada J., C. C. (2010). Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiésel. *Ingeniería Universidad de Bogotá*, 9-27.
- Programa de Investigación en cambio climático, UNAM. (2014). *Biocombustibles en México*. Ciudad de México.
- Reyes M. (2015). *Análisis de los precios y de los subsidios a las gasolinas y el diésel en México, 2008- 2015*. Ciudad de México: Dirección General de Servicios de Documentación, Información y Análisis.
- Rico H., T. R. (2011). *Guía para cultivar higuierilla (Ricinus Communis L.) en Michoacán*. . Apatzingán Michoacán. : INIFAP .

- Rodríguez J. (2014). *Desarrollo de proyectos complementarios para el fortalecimiento de la cadena productiva del biodiésel en el Estado de Chiapas*. Ciudad de México: UNAM.
- Sadhuaka J, K. S. (2014). *Biorefineries and Chemical Processes*. Reino Unido : Wiley .
- SAGARPA . (2011). *Calidad Físicoquímica de insumos bioenergéticos para la producción de biodiesel en México*. Chiapas México: INIFAP.
- SAGARPA . (2013). *Potencial Productivo de cuatro especies bioenergéticas para la producción de biodiesel en México*. Xalapa, Veracruz : INIFAP .
- SAGARPA. (2012). *Potencial productivo de Especies Agrícolas de importancia socioeconómica en México* . Ciudad de México: INIFAP.
- Sayegh A., C. L. (2011). *Plan de empresa basado en el uso de aceite de higuierillas para la industria cosmética*. Santiago de Cali: ICESI.
- Secretaría de Energía. (16 de Diciembre de 2016). Obtenido de www.gob.mx:
<http://www.gob.mx/sener/documentos/estrategia-nacional-de-transicion-energetica-y-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia>
- Secretaría de Energía. (16 de Diciembre de 2016). Obtenido de www.gob.mx:
<https://www.gob.mx/sener/articulos/el-fondo-para-la-transicion-energetica-y-el-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia-es-un-instrumento-de-politica-publica-de-la-secretaria>
- SEFIPLAN. (2015). *Cuadernillo municipal de Tuxpan* . Veracruz, México.
- SENER. (2013). *Prospectiva de Petróleo y petrolíferos 2013-2027*. Ciudad de México : Secretaría de Energía. .
- SENER. (2014). *Balance Nacional de Energía* . Ciudad de México : Secretaría de Energía. .
- SENER. (2015). *Prospectiva de gas natural 2016-2030*. Ciudad de México.
- SENER. (20 de 12 de 2016). <http://www.gob.mx/sener>. Obtenido de
<http://www.gob.mx/sener/documentos/resumen-de-la-explicacion-de-la-reforma-energetica>
- SENER/GTZ. (2010). *Recommendations for a Mexican biodiesel standard and the infrastructure required for its handling*. Ciudad de México .
- SEP. (10 de 29 de 2017). www.gob.mx. Obtenido de
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105552/Tomo_III_Instalaciones_Aire_Acondicionado_V_2.0.pdf
- SIAP. (18 de MAYO de 2017). *Servicio de Información Agrolimentaria y Pesquera*. Obtenido de
http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp

- Silla, H. (2003). *Chemical Process Engineering*. Hoboken, New Jersey: Marcel Dekker.
- Sousa A., S. I. (2013). Liquid-Liquid Equilibrium of Methyl Esters of Fatty Acid/ Methanol/ Glycerol and Fatty acid Ethyl Esters/ Etanol/ Glycerol: A case study of biodiesel application . *International Journal of chemical Engineering and applications* , 285-289.
- TechnipFMC. (18 de enero de 2017). <http://www.technip.com>. Obtenido de http://www.technip.com/sites/default/files/technip/fields/publications/attachments/biofuels_plants_may_2015_web.pdf
- Teniente R., Z. A. (2011). *Guía Técnica para la producción de Piñon Mexicano en Michoacán*. Ciudad de México: INIFAP.
- Turton R., B. R. (2009). *Analysis, Synthesis and design of chemical processes*. Upper Saddle River, Nj: Pearson Education.
- U.S. Department of Energy. (2016). *Clean Cities, Alternative fuel price report*. Washington D.C. .
- UFOP. (2016). *Report on the current situation and prospects- extract from the UFOP annual report* . Berlin .
- Van Eijck J., R. H. (2013). Comparative analysis of key socio-economic and environmental impacts of smallholder and plantation based jatropha biofuel production systems in Tanzania. *Biomass and Bioenergy* , 25-45.
- Wankat, P. (2012). *Separation Process Engineering*. Westford, Massachusetts: Pearson Education.
- West A., P. D. (2008). Assessment of four biodiesel production processes using HYSYS .Plant. *Bioresource Technology*, 6587-6601.
- Congreso general de los Estados Unidos Mexicanos. (06, junio, 2012). *Ley General de Cambio Climático*. DOF-01-06-2016.
- Congreso general de los Estado Unidos Mexicanos. (24, diciembre, 2015). *Ley de Transición energética*. DOF- 20-12-2013.
- Congreso general de los Estados Unidos Mexicanos. (01, febrero, 2008). *Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos*. DOF 01-02-2008
- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos. (07, diciembre, 2001). *Ley de desarrollo rural responsable*. DOF-12-01-2012.
- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos. (30, diciembre, 1980). *Ley de impuesto especial sobre producción y servicios*. DOF-24-12-2015.
- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos. (28, 01, 1988). *Ley General del Equilibrio ecológico y la protección al ambiente*. DOF- 09-01-2015.
- Congreso general de los Estados Unidos Mexicanos. (16, 01, 2012). *Ley de Asociaciones Publico Privadas*. DOF 21-04-2016.

Congreso general de los Estados Unidos Mexicanos. (24, diciembre, 2015). Ley de transición energética. Nueva Ley DOF 24-12-2015.

Congreso general de los Estados Unidos Mexicanos. (07, junio, 2013). Ley federal de responsabilidad ambiental. Nueva Ley DOF 07-06-2013.

Congreso general de los Estados Unidos Mexicanos. (15, noviembre, 2013). Ley de ingresos de la federación para el ejercicio Fiscal 2017. DOF 23-12-2016.

ANEXOS

Anexo 1

Leyes, normas y reglamentos en relación con la producción de biodiésel en México

- Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos
- Tratados internacionales: Protocolo de Kioto (Emitido en 1997 y entrada en vigor en el 2005)
- Tratados internacionales: Cumbre de París. (Entrada en vigor en el 2020)
- Ley general de cambio Climático (Congreso de la Unión, 2012)
- Ley de Transición energética. (Congreso de la Unión, 2015)
- Ley de Promoción y desarrollo de Bioenergéticos. (Congreso de la Unión, 2008)
- Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al medio ambiente. (Congreso de la Unión, 2015)
- Ley de la Comisión Federal de Electricidad (Congreso de la Unión, 2014)
- Ley Federal de Responsabilidad ambiental (Congreso de la Unión, 2013)
- Ley de la Agencia Nacional de seguridad Industrial y Protección al Medio Ambiente del sector Hidrocarburos (Congreso de la Unión, 2014)
- Ley de Asociación Publico Privada (Congreso de la Unión, 2012)
- Reglamento: Ley de desarrollo y promoción de energéticos (2009)
- Reglamento de: Ley de Asociaciones público privadas (2012)
- Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo beneficio de los programas y proyectos de inversión.
- Reglamento de la CRE (2014)
- Reglamento de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2014)
- Reglamento de la ASEA (2014)
- Norma Mexicana NMX-AA-174-SCFI-2015
- NOM-047-SEMARNAT-2014.

Anexo 2. Procedimiento para la proyección de la oferta, demanda y precio de diésel a 10 años

Se utilizó el software Stata de análisis estadístico y el software de análisis predictivo IBM SPSS Statistics 20 para hacer la predicción de la oferta, la demanda y el del precio del diésel.

Primero se comprobó en el Software Stata por medio de las pruebas de raíz unitaria Dickie-Fuller y Philips Perron si las series de tiempo se comportaban de manera estacionaria.

Pruebas	Resultados
Dickey-Fuller con constante	Es estacionaria, el valor de la $z(t) < 0.05$
Dickey-Fuller con constante y tendencia	Es estacionaria, el valor de la $z(t) < 0.05$
Dickey-Fuller sin constante ni tendencia	El valor de $z(t)$ es mayor que los valores que determinan el intervalo de confianza, por lo que es estacionaria
Phillips-Perron con constante	Es estacionaria, el valor de la $z(t) < 0.05$
Phillips-Perron con constante y tendencia	Es estacionaria, el valor de la $z(t) < 0.05$
Phillips-Perron sin constante ni tendencia	El valor de $z(t)$ es mayor que los valores que determinan el intervalo de confianza, por lo que es estacionaria

Ninguna las series presento comportamiento estacionario debido a que todas tenían un valor de $z(t) > 0.05$ por lo que el siguiente paso fue volverlas estacionarias por medio de la diferenciación de cada una de las series y se hicieron de nuevo las pruebas de raíz unitaria con lo que se comprobó que al diferenciarse las series se obtenía un comportamiento estacionario en cada una de ellas al obtener un $z(t) < 0.05$.

```
. dfuller dofert
Dickey-Fuller test for unit root           Number of obs   =       238

              _____ Interpolated Dickey-Fuller _____
              Test          1% Critical   5% Critical   10% Critical
              Statistic     Value         Value         Value
-----
Z(t)          -22.174         -3.464         -2.881         -2.571
-----
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000
```

Phillips-Perron test for unit root Number of obs = 238
Newey-West lags = 4

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(rho)	-278.279	-20.260	-13.976	-11.184
Z(t)	-25.057	-3.464	-2.881	-2.571

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

. dfuller ddemand

Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 238

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-23.409	-3.464	-2.881	-2.571

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

. pperron ddemand

Phillips-Perron test for unit root Number of obs = 238
Newey-West lags = 4

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(rho)	-272.267	-20.260	-13.976	-11.184
Z(t)	-30.371	-3.464	-2.881	-2.571

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

. dfuller dpdie

Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 238

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-9.350	-3.464	-2.881	-2.571

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

. pperron ddemand

Phillips-Perron test for unit root Number of obs = 238
Newey-West lags = 4

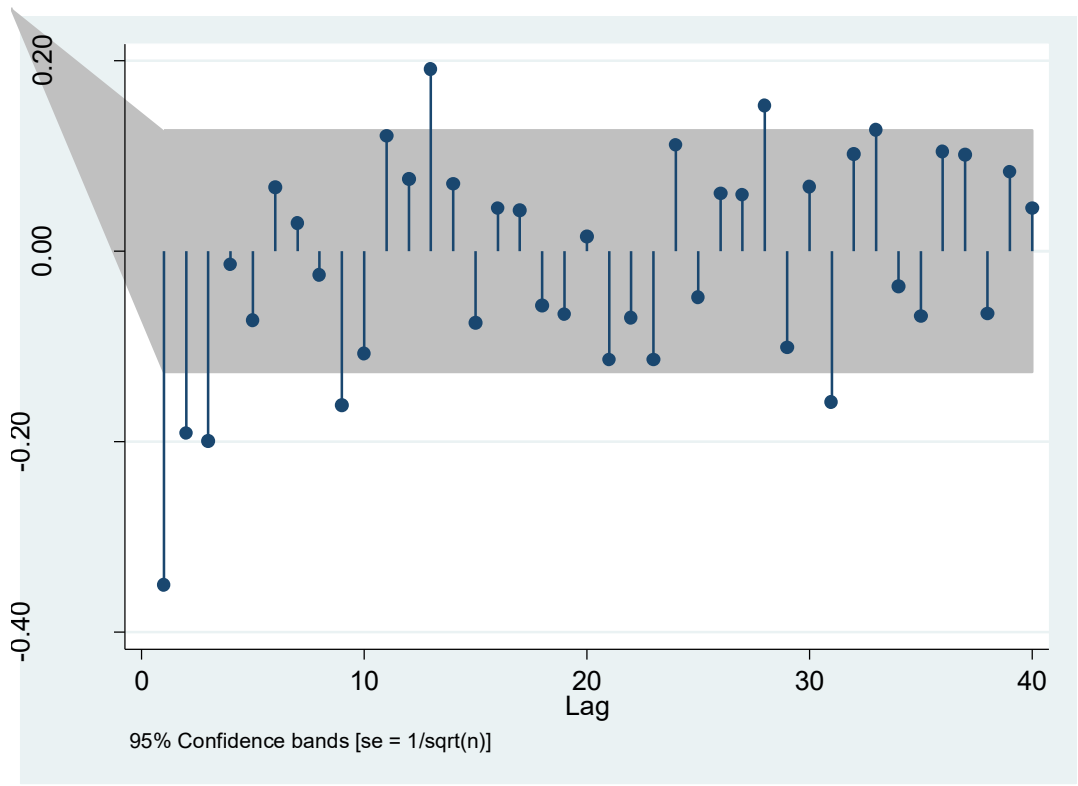
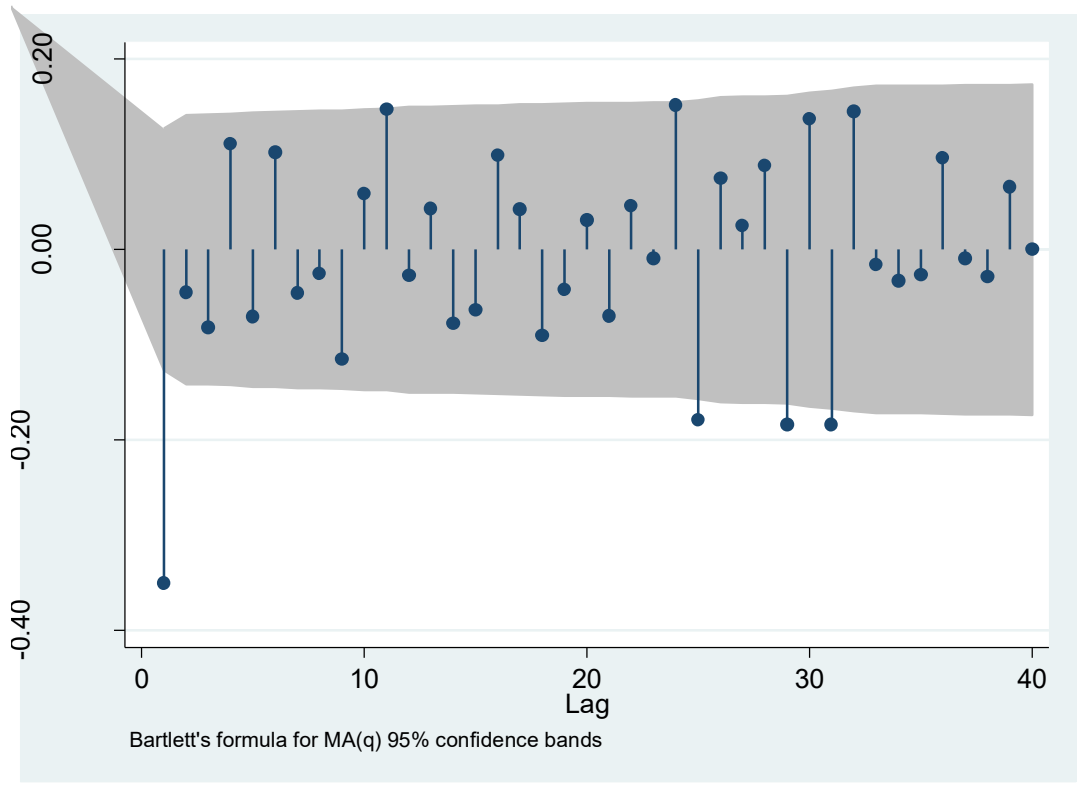
Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(rho)	-272.267	-20.260	-13.976	-11.184
Z(t)	-30.371	-3.464	-2.881	-2.571

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

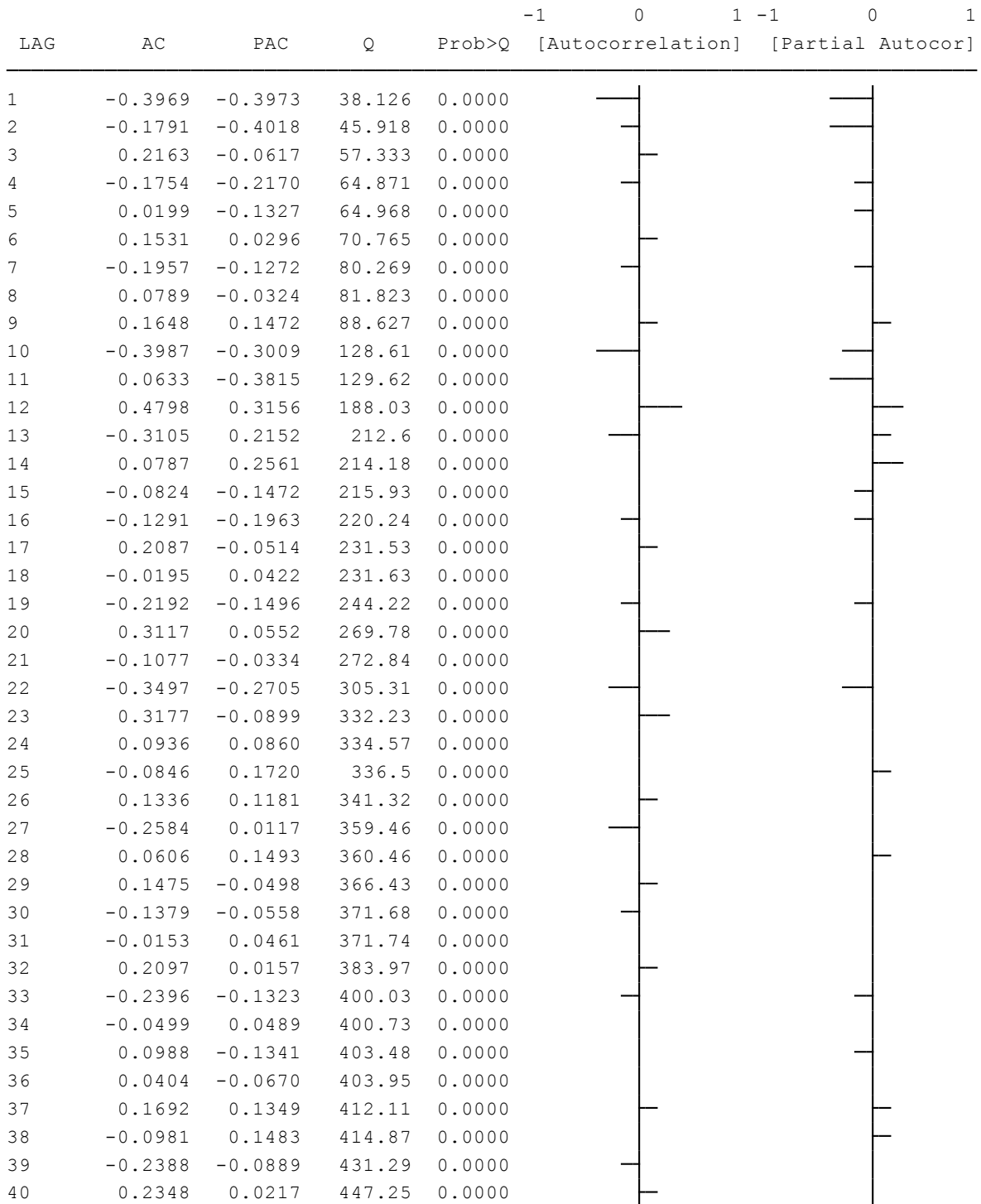
Se continuo con la búsqueda del modelo ARMA para cada una de las series, (el orden de integración es 1 y ya se había obtenido al obtener las diferencias de las tasas de crecimiento de las variables). Par obtener el modelo ARMA, se hizo el correlograma en conjunto y las pruebas de auto correlación simple y parcial.

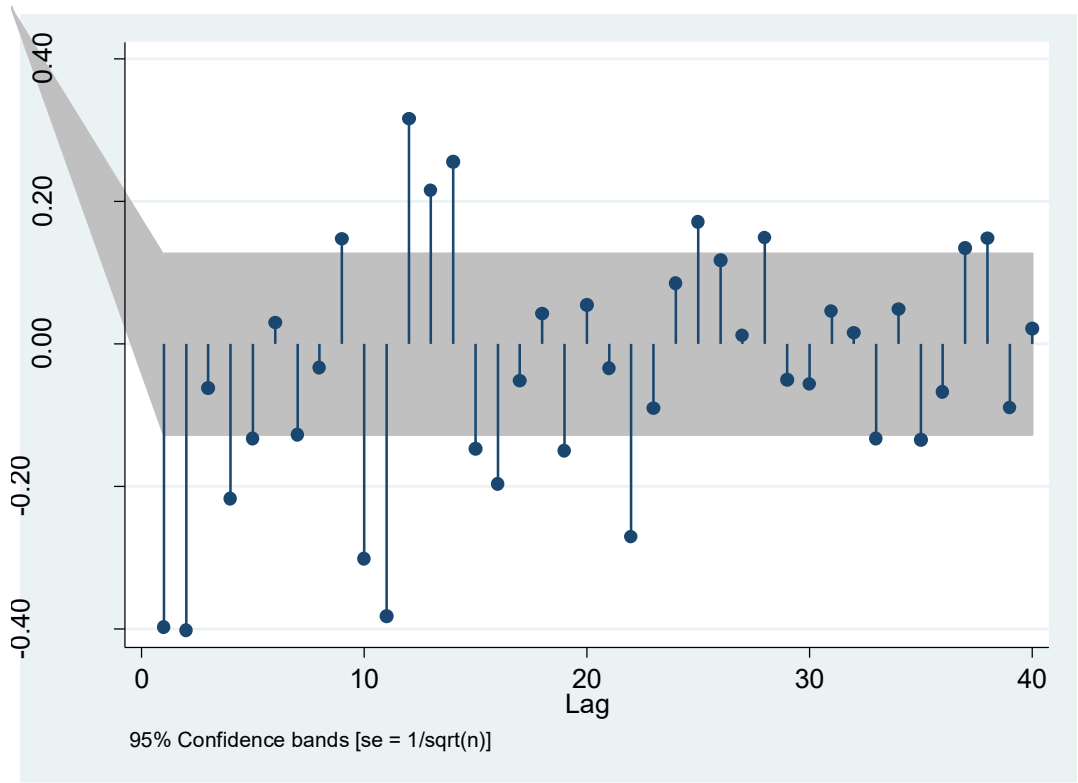
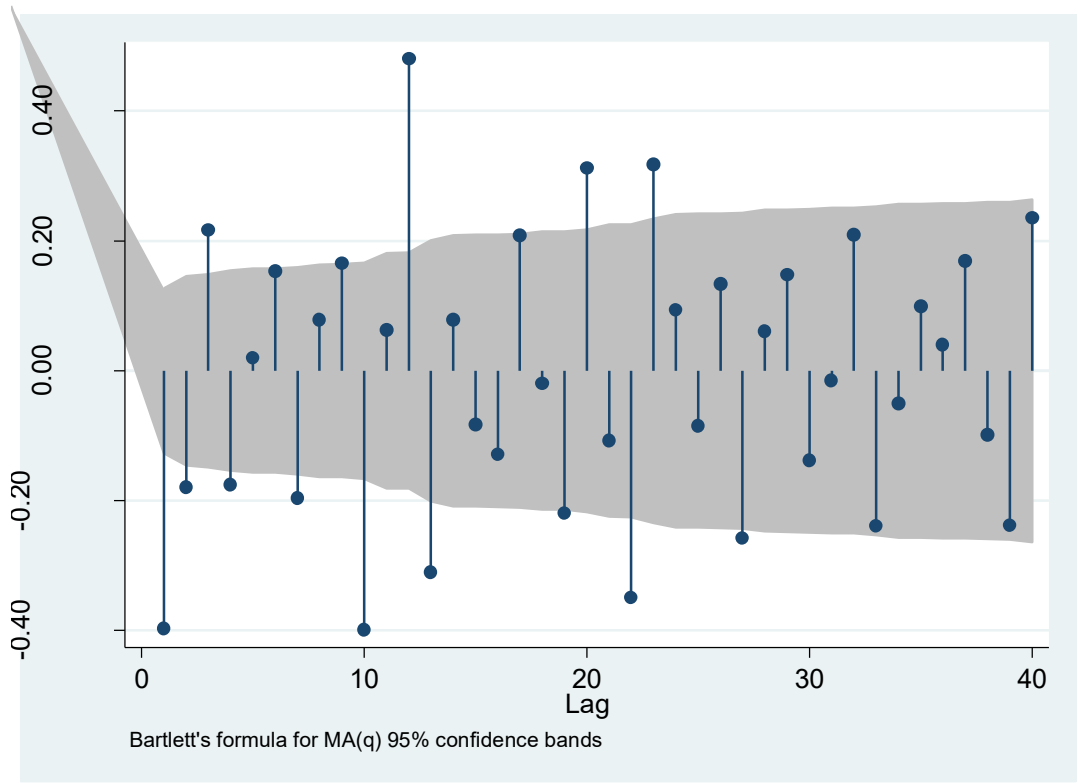
. corrgram dofert

LAG	AC	PAC	Q	Prob>Q	-1	0	1	-1	0	1
					Prob>Q	[Autocorrelation]	[Partial Autocor]			
1	-0.3498	-0.3501	29.613	0.0000						
2	-0.0446	-0.1911	30.095	0.0000						
3	-0.0814	-0.1992	31.714	0.0000						
4	0.1111	-0.0141	34.737	0.0000						
5	-0.0702	-0.0721	35.95	0.0000						
6	0.1022	0.0676	38.53	0.0000						
7	-0.0452	0.0294	39.037	0.0000						
8	-0.0254	-0.0247	39.197	0.0000						
9	-0.1152	-0.1617	42.521	0.0000						
10	0.0587	-0.1075	43.386	0.0000						
11	0.1473	0.1208	48.871	0.0000						
12	-0.0272	0.0760	49.059	0.0000						
13	0.0430	0.1914	49.529	0.0000						
14	-0.0774	0.0707	51.061	0.0000						
15	-0.0638	-0.0747	52.107	0.0000						
16	0.0989	0.0455	54.632	0.0000						
17	0.0423	0.0434	55.096	0.0000						
18	-0.0905	-0.0567	57.231	0.0000						
19	-0.0418	-0.0662	57.689	0.0000						
20	0.0314	0.0155	57.949	0.0000						
21	-0.0693	-0.1139	59.216	0.0000						
22	0.0456	-0.0696	59.767	0.0000						
23	-0.0091	-0.1141	59.789	0.0000						
24	0.1516	0.1115	65.943	0.0000						
25	-0.1792	-0.0479	74.591	0.0000						
26	0.0746	0.0604	76.098	0.0000						
27	0.0253	0.0593	76.272	0.0000						
28	0.0882	0.1533	78.397	0.0000						
29	-0.1837	-0.1010	87.656	0.0000						
30	0.1373	0.0680	92.854	0.0000						
31	-0.1838	-0.1583	102.2	0.0000						
32	0.1452	0.1024	108.07	0.0000						
33	-0.0156	0.1278	108.14	0.0000						
34	-0.0326	-0.0370	108.44	0.0000						
35	-0.0265	-0.0682	108.64	0.0000						
36	0.0961	0.1048	111.26	0.0000						
37	-0.0093	0.1019	111.28	0.0000						
38	-0.0286	-0.0653	111.52	0.0000						
39	0.0659	0.0833	112.77	0.0000						
40	0.0005	0.0454	112.77	0.0000						



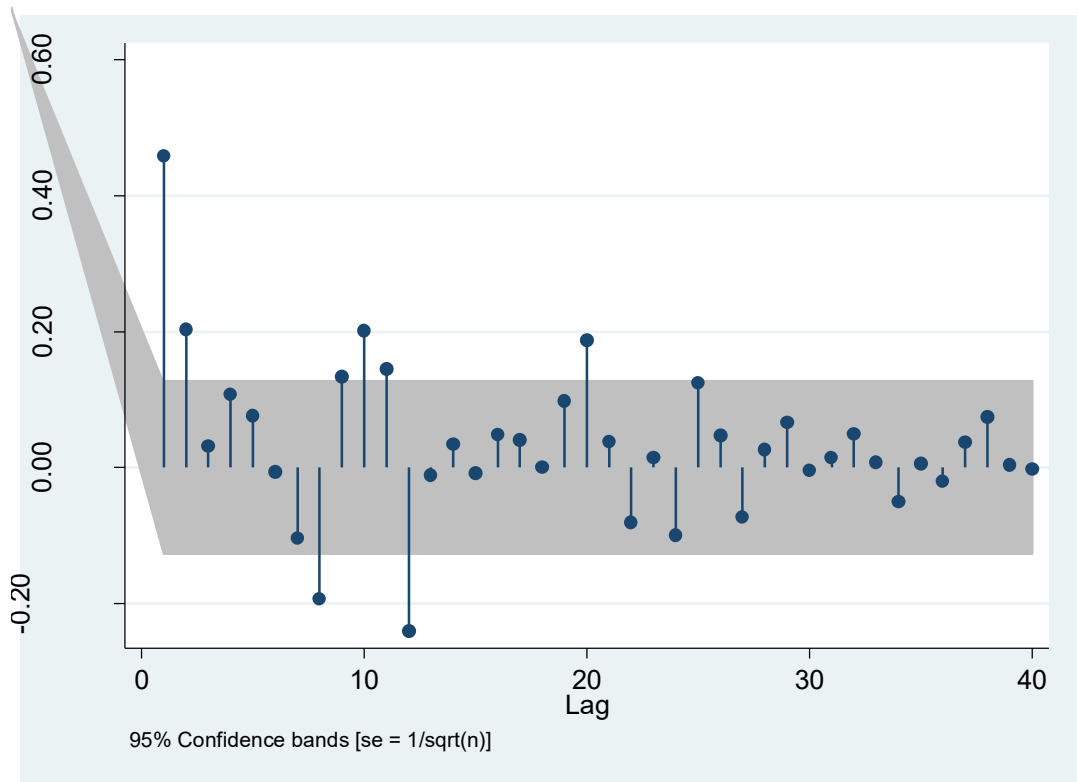
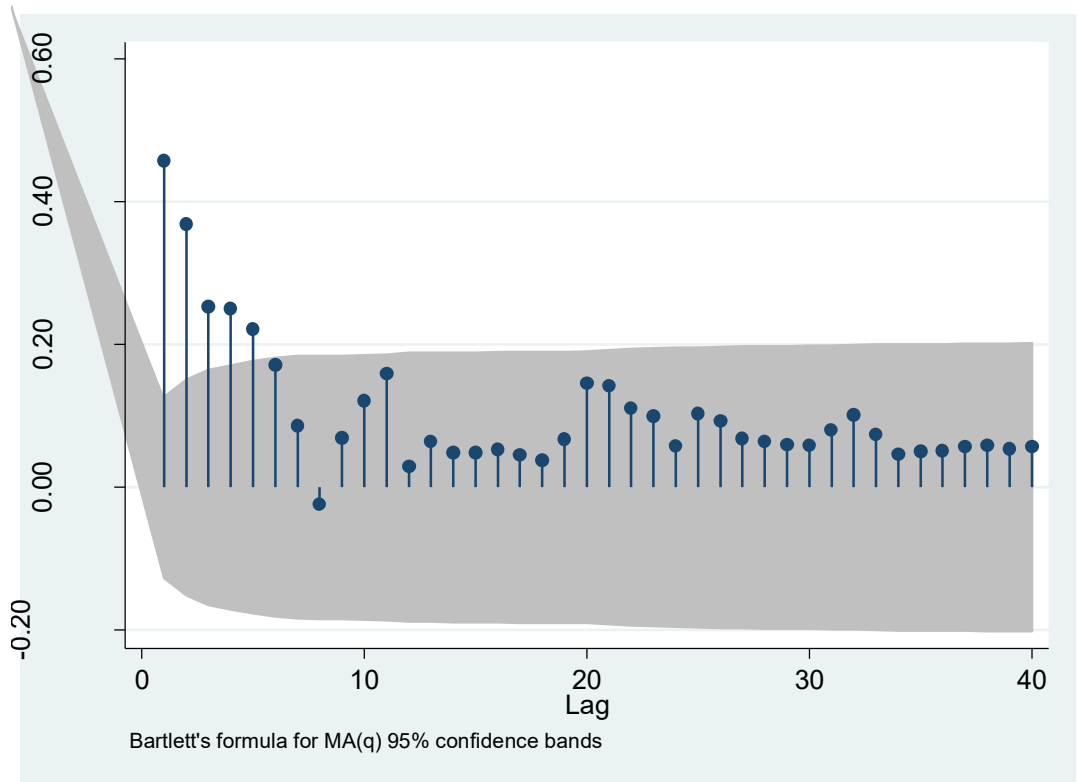
. corrgram ddemand





. corrgram dpdie

LAG	AC	PAC	Q	Prob>Q	-1	0	1	-1	0	1
					[Autocorrelation]			[Partial Autocor]		
1	0.4575	0.4585	50.653	0.0000						
2	0.3687	0.2031	83.683	0.0000						
3	0.2533	0.0316	99.345	0.0000						
4	0.2509	0.1074	114.77	0.0000						
5	0.2219	0.0760	126.89	0.0000						
6	0.1712	-0.0062	134.14	0.0000						
7	0.0861	-0.1039	135.98	0.0000						
8	-0.0236	-0.1933	136.12	0.0000						
9	0.0693	0.1334	137.32	0.0000						
10	0.1217	0.2019	141.05	0.0000						
11	0.1589	0.1448	147.43	0.0000						
12	0.0288	-0.2409	147.64	0.0000						
13	0.0637	-0.0115	148.67	0.0000						
14	0.0492	0.0344	149.29	0.0000						
15	0.0490	-0.0081	149.91	0.0000						
16	0.0529	0.0477	150.63	0.0000						
17	0.0447	0.0404	151.15	0.0000						
18	0.0377	-0.0003	151.52	0.0000						
19	0.0680	0.0985	152.73	0.0000						
20	0.1460	0.1879	158.34	0.0000						
21	0.1418	0.0378	163.65	0.0000						
22	0.1104	-0.0812	166.89	0.0000						
23	0.1002	0.0145	169.56	0.0000						
24	0.0580	-0.0992	170.47	0.0000						
25	0.1031	0.1242	173.33	0.0000						
26	0.0923	0.0471	175.63	0.0000						
27	0.0681	-0.0729	176.89	0.0000						
28	0.0642	0.0269	178.02	0.0000						
29	0.0595	0.0657	178.99	0.0000						
30	0.0590	-0.0043	179.95	0.0000						
31	0.0802	0.0142	181.73	0.0000						
32	0.1021	0.0491	184.63	0.0000						
33	0.0735	0.0081	186.14	0.0000						
34	0.0463	-0.0505	186.74	0.0000						
35	0.0509	0.0059	187.47	0.0000						
36	0.0512	-0.0202	188.22	0.0000						
37	0.0570	0.0373	189.14	0.0000						
38	0.0587	0.0749	190.13	0.0000						
39	0.0544	0.0036	190.98	0.0000						
40	0.0569	-0.0030	191.92	0.0000						



A partir de los correlogramas se sugirió una un ARMA (1,1), se contrastó este modelo con cada una de las series y se obtuvieron los siguientes resultados.

Para la oferta y la demanda se obtuvieron los siguientes resultados:

ARIMA oferta

ARIMA regression

```
Sample: 1997m2 - 2016m12      Number of obs   =      239
                               Wald chi2(2)          =     108.51
Log likelihood = -1040.011     Prob > chi2      =      0.0000
```

dofert	OPG					
	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
dofert						
_cons	-.4519345	.5599922	-0.81	0.420	-1.549499	.64563
ARMA						
ar						
L1.	.1429652	.1225379	1.17	0.243	-.0972046	.383135
ma						
L1.	-.6094789	.0920867	-6.62	0.000	-.7899656	-.4289922
/sigma	18.76298	.9147983	20.51	0.000	16.97001	20.55596

Note: The test of the variance against zero is one sided, and the two-sided confidence interval is truncated at zero.

ARIMA demanda

ARIMA regression

```
Sample: 1997m2 - 2016m12      Number of obs   =      239
                               Wald chi2(2)          =     280.82
Log likelihood = -985.9849     Prob > chi2      =      0.0000
```

ddemand	OPG					
	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ddemand						
_cons	.5761055	.2538355	2.27	0.023	.0785971	1.073614
ARMA						
ar						
L1.	.0998686	.0978747	1.02	0.308	-.0919623	.2916995
ma						
L1.	-.7747661	.0640116	-12.10	0.000	-.9002265	-.6493057
/sigma	14.95325	.7237759	20.66	0.000	13.53468	16.37183

Note: The test of the variance against zero is one sided, and the two-sided confidence interval is truncated at zero.

En ambos casos se observa que el componente autorregresivo (AR) no es significativo en el modelo en conjunto al tener una probabilidad > 0.05, mientras que el componente de la media móvil (MA) si lo es.

Por lo que se evalúan estas series con el modelo MA (1), obteniendo los siguientes resultados.

ARIMA regression

Sample: 1997m2 - 2016m12 Number of obs = 239
 Wald chi2(2) = 360.49
 Log likelihood = -889.5653 Prob > chi2 = 0.0000

		OPG				[95% Conf. Interval]	
	dpdie	Coef.	Std. Err.	z	P> z		
dpdie							
	_cons	8.183728	1.872541	4.37	0.000	4.513616	11.85384
ARMA							
	ar						
	L1.	.7910569	.0588893	13.43	0.000	.675636	.9064778
	ma						
	L1.	-.4452635	.0734473	-6.06	0.000	-.5892176	-.3013094
	/sigma	9.99791	.1296644	77.11	0.000	9.743772	10.25205

Note: The test of the variance against zero is one sided, and the two-sided confidence interval is truncated at zero.

Anexo 3. Resultados arrojados por STATA del modelo ARIMA

Para obtener el modelo ARIMA para la serie de consumo de diésel en el sector agricultura y el sector transporte se siguieron los mismos pasos que en el anexo 1.

Primero se hicieron las pruebas de raíz unitaria Dickie-Fuller y Philips-Perron en Stata para corroborar si las series de datos tenían o no comportamiento estacionario con lo que se obtuvieron los siguientes resultados.

```
. dfuller transpo
```

```
Dickey-Fuller test for unit root                Number of obs   =           49
```

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-0.641	-3.587	-2.933	-2.601

```
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.8614
```

```
. pperron transpo
```

```
Phillips-Perron test for unit root            Number of obs   =           49  
                                              Newey-West lags =           3
```

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(rho)	-0.610	-18.832	-13.268	-10.680
Z(t)	-0.615	-3.587	-2.933	-2.601

```
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.8674
```

```
. dfuller agric
```

```
Dickey-Fuller test for unit root                Number of obs   =           49
```

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-0.079	-3.587	-2.933	-2.601

```
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.9514
```

Como se puede observar, ninguna de las series tiene comportamiento estacionario debido a que $z(t) > 0.05$. El siguiente paso fue volverlas estacionarias por medio de su diferenciación y se comprobó con las pruebas de raíz unitaria, si efectivamente eran estacionarias.

. dfuller dtranspo

Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 48

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-7.010	-3.594	-2.936	-2.602

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

. pperron dtranspo

Phillips-Perron test for unit root Number of obs = 48
Newey-West lags = 3

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(rho)	-47.334	-18.764	-13.236	-10.660
Z(t)	-7.023	-3.594	-2.936	-2.602

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

. dfuller dagric

Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 48

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-5.921	-3.594	-2.936	-2.602

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

. pperron dagric

Phillips-Perron test for unit root Number of obs = 48
Newey-West lags = 3

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(rho)	-41.389	-18.764	-13.236	-10.660
Z(t)	-5.919	-3.594	-2.936	-2.602

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

Se evaluó el modelo AR (1) MA (1); en cada una de la series y se obtuvieron los siguientes resultados; como se puede observar, en el caso de la serie de agricultura tanto el componente autorregresivo (AR) y el componente de la Media móvil (MA) no es significativo al tener una probabilidad > 0.05. Por lo que es necesario evaluar otros modelos hasta observar en que caso la probabilidad es < 0.05.

ARIMA agricultura (1,1,1)

ARIMA regression

Sample: 1966 - 2014	Number of obs	=	49
	Wald chi2(2)	=	2.36
Log likelihood = -102.7433	Prob > chi2	=	0.3075

dagric	OPG			P> z	[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.	z			
dagric						
_cons	.9746388	.3932025	2.48	0.013	.2039762	1.745301
ARMA						
ar						
L1.	.2819928	1.005515	0.28	0.779	-1.688781	2.252767
ma						
L1.	-.1458308	1.104789	-0.13	0.895	-2.311177	2.019515
/sigma	1.969242	.1404012	14.03	0.000	1.694061	2.244423

Note: The test of the variance against zero is one sided, and the two-sided confidence interval is truncated at zero.

En el caso del sector transporte el componente autorregresivo (AR) si es significativo mientras que el componente de la Media móvil (MA) no lo es; por lo que se puede evaluar un modelo ARIMA (1,1,0) y comprobar si el componente AR, continúa siendo significativo.

ARIMA regression

Sample: 1966 - 2014	Number of obs	=	49
	Wald chi2(2)	=	102.39
Log likelihood = -183.6463	Prob > chi2	=	0.0000

dtranspo	OPG			P> z	[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.	z			
dtranspo						
_cons	4.871576	.5815974	8.38	0.000	3.731666	6.011486
ARMA						
ar						
L1.	.8168276	.2090758	3.91	0.000	.4070465	1.226609
ma						
L1.	-1.000008	864.7828	-0.00	0.999	-1695.943	1693.943
/sigma	10.08204	4360.124	0.00	0.499	0	8555.769

Note: The test of the variance against zero is one sided, and the two-sided confidence interval is truncated at zero.

ARIMA transporte (1,1,1)

ARIMA regression

Sample: 1966 - 2014 Number of obs = 49
Wald chi2(1) = 0.09
Log likelihood = -185.2945 Prob > chi2 = 0.7639

dtranspo	OPG		z	P> z	[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.				
dtranspo _cons	4.832489	1.897435	2.55	0.011	1.113585	8.551392
ARMA						
ar						
L1.	-.0377394	.1256723	-0.30	0.764	-.2840527	.2085738
/sigma	10.61817	.8148989	13.03	0.000	9.020996	12.21534

Note: The test of the variance against zero is one sided, and the two-sided confidence interval is truncated at zero.

Al evaluar solamente el componente Autorregresivo (AR) se puede notar que no es significativo por lo que es necesario continuar evaluando hasta llegar al modelo que describa la serie de datos del consumo del diésel del sector transporte.

ARIMA regression

Sample: 1966 - 2014 Number of obs = 49
Wald chi2(2) = 9.60
Log likelihood = 66.17928 Prob > chi2 = 0.0082

dltranspo	OPG		z	P> z	[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.				
dltranspo _cons	.0405315	.0199882	2.03	0.043	.0013553	.0797077
ARMA						
ar						
L1.	.7960663	.2873886	2.77	0.006	.2327951	1.359338
ma						
L1.	-.6158109	.3192092	-1.93	0.054	-1.241449	.0098277
/sigma	.062604	.0052066	12.02	0.000	.0523992	.0728088

Note: The test of the variance against zero is one sided, and the two-sided confidence interval is truncated at zero.

Se encontró que al transformar la serie a logarítmica y obteniendo sus diferencias, el modelo ARIMA (1,1,1) se ajustaba, ya que si bien su significancia no es cero si es < 0.05 para el componente Autorregresivo y aunque para el componente de la Media Móvil es 0.004 mayor en este caso se tomara como que cumple.

ARIMA regression

Sample: 1966 - 2014

Number of obs = 49

Wald chi2(2) = 9.60

Log likelihood = 66.17928

Prob > chi2 = 0.0082

dltranspo	OPG		z	P> z	[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.				
dltranspo						
_cons	.0405315	.0199882	2.03	0.043	.0013553	.0797077
ARMA						
ar						
L1.	.7960663	.2873886	2.77	0.006	.2327951	1.359338
ma						
L1.	-.6158109	.3192092	-1.93	0.054	-1.241449	.0098277
/sigma	.062604	.0052066	12.02	0.000	.0523992	.0728088

Note: The test of the variance against zero is one sided, and the two-sided confidence interval is truncated at zero.

Al no encontrar un modelo ARIMA que ajustará a la serie de datos del consumo de diésel del sector agricultura se utilizó el modelador experto del programa SPSS, otorgando como recomendación el modelo Holt, con una r^2 de 0.979 y una probabilidad < 0.05 .

Anexo 4. Escenarios de oferta y demanda con diferente porcentaje de biodiésel en mezclas.

Escenario para mezclas de 5% biodiesel B5.

	Demanda (T)	Oferta (T)	Demanda insatisfecha (T)	Agropecuario (T)	Transporte (T)
2017	961963.84	383613.85	578350.00	136939.97	715922.93
2018	979286.53	369940.06	609346.46	139147.50	732598.91
2019	996065.41	356274.37	639791.04	141403.55	767125.24
2020	1012846.32	342592.50	670253.82	143659.61	784993.88
2021	1029627.23	328932.87	700694.36	145939.92	821989.50
2022	1046404.09	315253.03	731151.07	148220.23	841136.10
2023	1063185.00	301581.27	761603.73	150524.80	880777.62
2024	1079963.88	287913.55	792050.33	152829.37	901293.57
2025	1096740.75	274231.68	822509.07	155133.94	943770.22
2026	1113521.66	260572.05	852949.60	157438.51	988248.74
Promedio	1037960.47	322090.52	715869.95	147,123.74	837785.67

Escenario para mezclas de 10% biodiesel B10.

	Demanda (T)	Oferta (T)	Demanda insatisfecha (T)	Agropecuario (T)	Transporte (T)
2017	1923927.69	767227.69	1156700.00	273879.93	1431845.85
2018	1958573.05	739880.13	1218692.92	278295.00	1465197.83
2019	1992130.82	712548.74	1279582.09	282807.11	1534250.47
2020	2025692.64	685185.00	1340507.64	287319.21	1569987.76
2021	2059254.45	657865.74	1401388.71	291879.84	1643979.00
2022	2092808.18	630506.05	1462302.13	296440.46	1682272.19
2023	2126370.00	603162.53	1523207.46	301049.60	1761555.24
2024	2159927.77	575827.10	1584100.67	305658.74	1802587.13
2025	2193481.50	548463.37	1645018.13	310267.88	1887540.45
2026	2227043.31	521144.11	1705899.21	314877.02	1976497.49
Promedio	2075920.94	644181.05	1431739.90	294247.48	1675571.34

Escenario para Mezclas de 20% B20.

	Demanda (T)	Oferta (T)	Demanda insatisfecha (T)	Agricultura (T)	Transporte (T)
2017	3847855.37	1534455.38	2313399.99	547759.87	2863691.71
2018	3917146.11	1479760.26	2437385.85	556590.01	2930395.66
2019	3984261.65	1425097.48	2559164.17	565614.22	3068500.95
2020	4051385.28	1370370.01	2681015.27	574638.43	3139975.52
2021	4118508.91	1315731.49	2802777.42	583759.67	3287958.00
2022	4185616.37	1261012.10	2924604.26	592880.92	3364544.38
2023	4252739.99	1206325.07	3046414.93	602099.20	3523110.48
2024	4319855.54	1151654.20	3168201.34	611317.48	3605174.26
2025	4386962.99	1096926.73	3290036.26	620535.76	3775080.89
2026	4454086.62	1042288.21	3411798.41	629754.03	3952994.97
Promedio	4151841.88	1288362.09	2863479.79	588494.96	3351142.68

Escenario para B100.

	Demanda	Oferta	Demanda insatisfecha	Agricultura	Transporte
2017	19239276.87	7672276.91	11566999.96	2738799.33	14318458.54
2018	19585730.53	7398801.29	12186929.25	2782950.03	14651978.28
2019	19921308.25	7125487.39	12795820.86	2828071.09	15342504.74
2020	20256926.40	6851850.04	13405076.35	2873192.14	15699877.59
2021	20592544.54	6578657.44	14013887.10	2918798.36	16439790.02
2022	20928081.83	6305060.52	14623021.30	2964404.59	16822721.92
2023	21263699.97	6031625.33	15232074.64	3010495.98	17615552.38
2024	21599277.69	5758271.00	15841006.68	3056587.38	18025871.31
2025	21934814.97	5484633.66	16450181.31	3102678.78	18875404.45
2026	22270433.12	5211441.05	17058992.06	3148770.17	19764974.86
Promedio	20759209.42	6441810.46	14317398.95	2942474.78	16755713.41

Anexo 5. Resultados y hojas de datos de los equipos, obtenido con el software *Aspen plus 8.8*.

Bombas	P-101	P-102
Material de construcción	Acero al carbón	Acero al carbón
Fluid power (kW)	73.57	55.977897
Brake power (kW)	91.9625	96.4459
Electricidad (kW)	91.9625	96.4459
Flujo volumetrico (l/min)	711.968	541.722
Cambio de presión (MPa)	6.2	6.2
NPSH disponible (m-kgf/kg)	13.5559	8.21548
Cabeza (m-kgf/kg)	1014.93	762.162
Eficiencia de la bomba	0.8	0.6
trabajo neto requerido (kW)	91.9625	96.4459
Presión de salida (MPa)	6.3	6.3

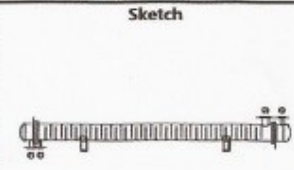
Reactores	R-101	R-102
Material de Construcción	Acero al carbon	Acero al carbón
Carga térmica (J/sec)	203353	55651.6
Tiempo de residencia (minutos)	6.1824	6.2444
Longitud (m)	4.8	4.8
Diametro (m)	1.5	1.5

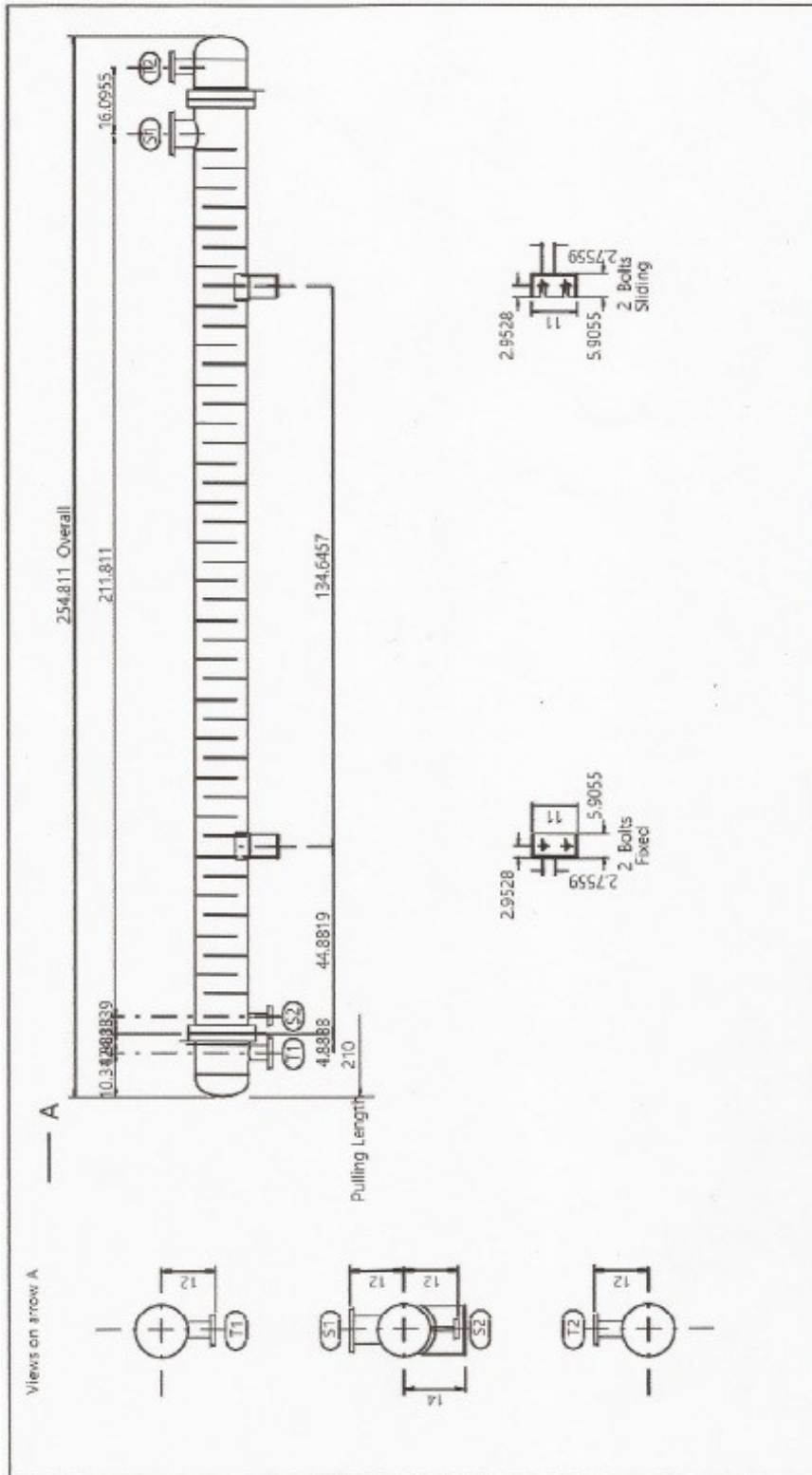
Torre	T-101
Material de construcción	Acero al carbón
Diametro (mm)	2390.89
Espaciamiento entre platos (mm)	609.6
Número de etapas	15
Altura de la torre (mm)	10972.8

Intercambiadores	E-101	E-102	E-103	E-104	E-105	E-106	E-107	E-109	E-108
Material de construcción	Acero al carbon	Acero al carbon	Acero al carbon	Acero al carbon	Acero al carbon	Acero al carbon	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón
Carga térmica (cal/sec)	191861.788	709772.014	478201.939	114792.998	415139.125	373827.011	233079.33	202139.37	988883.8
Área de intercambio requerida (m²)	38.0923949	43.1022416	36.0499286	13.7640366	13.2167962	40.6156807	13.972149	30.864199	61.807969
Área real de intercambio (sqm)	38.0780832	43.1296299	44.4145204	13.7509466	13.7567314	42.3356138	14.207537	30.864199	62.217276
% de sobre diseño	-0.037570843	0.063542775	23.2027972	-0.09510275	4.08521992	4.23465295	1.6846986	0	0.6622231
U sucia (cal/sec-sqcm-k)	0.008584201	0.019013276	0.01317873	0.01319146	0.023341394	0.01439808	0.0152973	0.0203019	0.0083343
U limpia (cal/sec-sqcm-k)	0.012037319	0.050898172	0.01935632	0.0237418	0.053690669	0.02318001	0.0242991		0.0104417
UA cal/sec-k	3269.9277	8195.14795	4750.92252	1815.67758	3084.98451	5847.87774	2137.3631	6266.0191	5151.2354
LMTD (corregida) °C	58.6746271	86.6088103	100.654544	63.2232285	134.567653	63.9252439	109.04995	32.259615	191.97022
Factor de corrección LMTD	0.942651707	0.95162998	1.02096778	0.7629445	0.990614412	0.98189213	1.0089677		1.0435667

Flash	V-101	V-102	D-101	V-103	V-104
Material de construcción	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón
Flujo volumetrico (l/min)	15701.3	544.298	450.076	23150.6	28.4258
0.8 de Capacidad del tanque (m³)	62.8052	2.177192	12.152052	92.6024	0.284258
Presión de operación (bar)	12	0.5	0.101	0.5	0.11
Presión de operación (MPa)	1.3	0.6	0.2	0.6	0.2
L/D	4	3	3	3	3
Diametro (m)	0.44376486	0.55966748	9.62211063	0.68595346	0.29634804
h (m)	1.77505944	1.67900243	28.8663319	2.05786038	0.88904413

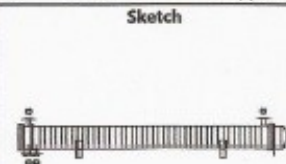
1	Company: Ana Karen Brito					
2	Location: Ciudad Universitaria UNAM					
3	Service of Unit			Our Reference:		
4	Item No.: E-101		Your Reference:			
5	Date:		Rev No.: Job No.:			
6	Size: 12.0866 - 224.409 in		Type: BEM Horizontal		Connected in: 1 parallel 1 series	
7	Surf/unit(eff.) 409.9 ft ²		Shells/unit 1		Surf/shell(eff.) 409.9 ft ²	
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT					
9	Fluid allocation		Shell Side		Tube Side	
10	Fluid name		S19		3	
11	Fluid quantity, Total		4792		58664	
12	Vapor (In/Out)		4750 / 0		0 / 0	
13	Liquid		42 / 4792		58664 / 58664	
14	Noncondensable		0 / 0		0 / 0	
15						
16	Temperature (In/Out)		399.01 / 129.47		86.33 / 167.75	
17	Dew / Bubble point		409.74 / 234.09			
18	Density Vapor/Liquid		0.261 / 68.45		/ 48.293 / 38.71 / 37.216	
19	Viscosity		0.0156 / 1.1204		/ 0.4434 / 0.7972 / 0.4497	
20	Molecular wt, Vap		33.19			
21	Molecular wt, NC					
22	Specific heat		BTU/(lb-F) 0.433 / 0.681		/ 0.7781 / 0.5452 / 0.603	
23	Thermal conductivity		BTU/(ft-h-F) 0.02 / 0.158		/ 0.111 / 0.102 / 0.101	
24	Latent heat		BTU/lb 345.4		428.2	
25	Pressure (abs)		psi 72.52		69.32 / 913.74 / 913.12	
26	Velocity (Mean/Max)		ft/s 21.4 / 57.15		1.87 / 1.91	
27	Pressure drop, allow./calc.		psi 7.25		3.2 / 7.25 / 0.61	
28	Fouling resistance (min)		ft ² -h-F/BTU 0.002		0.002 / 0.0025 / Ao based	
29	Heat exchanged 2740928		BTU/h		MTD (corrected) 105.61 °F	
30	Transfer rate, Service 63.32		Dirty 63.29		Clean 88.76 BTU/(h-ft ² -F)	
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL					
32			Shell Side		Tube Side	
33	Design/Vacuum/test pressure		psi 87.02 / /		1015.26 / /	
34	Design temperature		°F 464		464	
35	Number passes per shell		1		1	
36	Corrosion allowance		in 0.125		0.125	
37	Connections		In in 1 6.065 / -		1 3.068 / -	
38	Size/Rating		Out 1 0.742 / -		1 3.068 / -	
39	ID		Intermediate / -		/ -	
40	Tube No. 1(OD 0.79 Tks Average 0.083		in Length 224.4095 in Pitch 0.9875 in	
41	Tube type Plain		#/in Material Carbon Steel		Tube pattern 30	
42	Shell Carbon Steel		ID 12.09 OD 12.75		in Shell cover -	
43	Channel or bonnet Carbon Steel				Channel cover -	
44	Tubesheet-stationary Carbon Steel				Tubesheet-floating -	
45	Floating head cover -				Impingement protection None	
46	Baffle-cross Carbon Steel		Type Single segmental		Cut(%d) 19.32 H Spacing: c/c 4.7244 in	
47	Baffle-long -		Seal Type		Inlet 9.6644 in	
48	Supports-tube U-bend		0		Type	
49	Bypass seal		Tube-tubesheet joint		Expanded only (2 grooves)(App.A 'i')	
50	Expansion joint -		Type None			
51	RhoV2-Inlet nozzle 167		Bundle entrance 147		Bundle exit 7 lb/(ft-s ²)	
52	Gaskets - Shell side -		Tube side		Flat Metal Jacket Fibe	
53	Floating head -					
54	Code requirements		ASME Code Sec VIII Div 1		TEMA class R - refinery service	
55	Weight/Shell 3017.3		Filled with water 3822.9		Bundle 1577.5 lb	
56	Remarks					
57						
58						





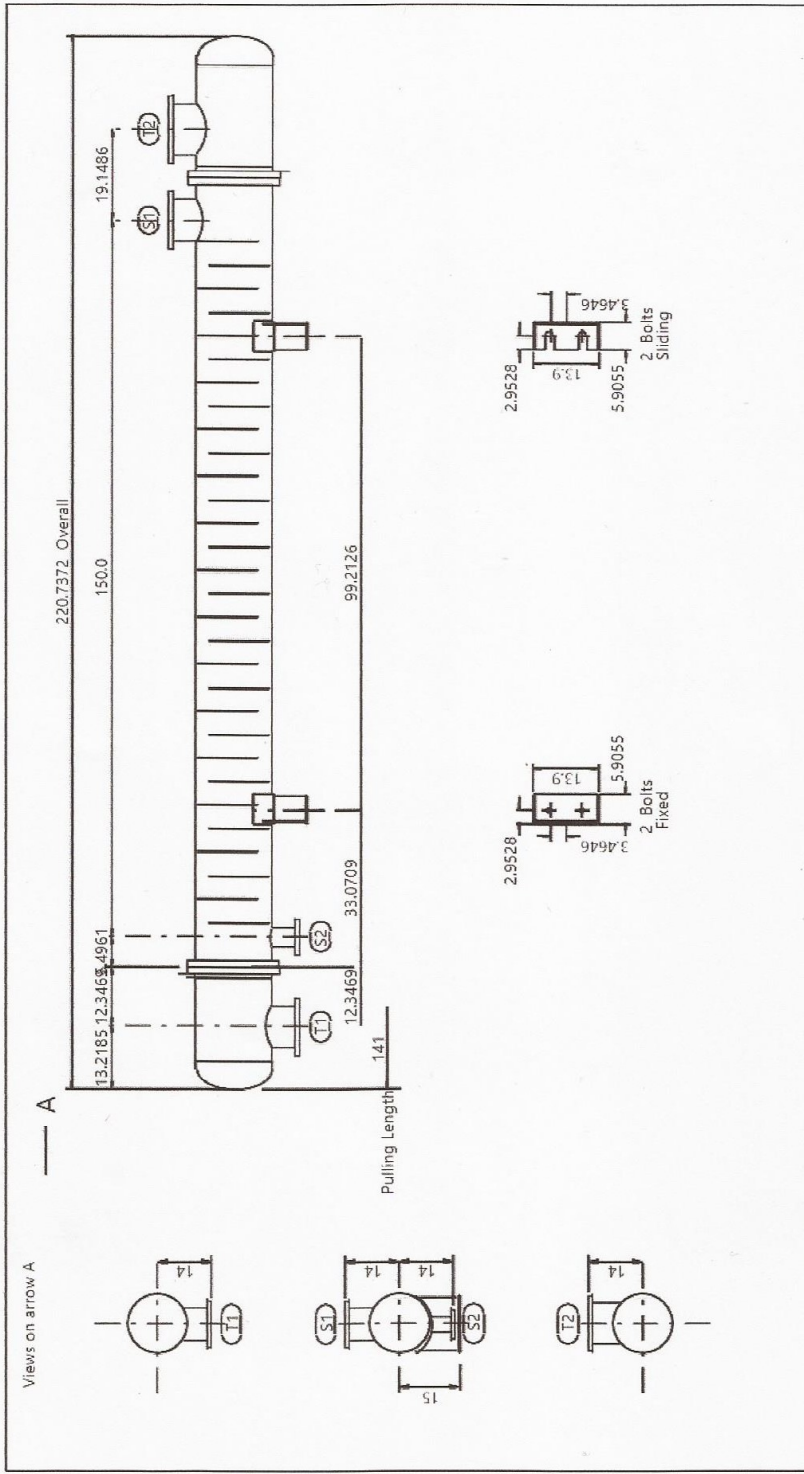
Nozzle Data		Notes		Design Data		Units		Shell		Channel		Comments: See Sheet 1/10					
Ref	OD	Wgt	Standard			Design Pressure	psi	87.02	1015.26			Vendor: Clutech (Lawrence, USA)					
S1	0.625"	0.28"	150 ANSI Slip on		Design Temperature	F	464	464				Stock of Unit:	0				
S2	1.05"	0.154"	150 ANSI Slip on		Full Vacuum		0	0				Part No.:	2906				
T1	3.5"	0.216"	150 ANSI Slip on		Corrosion Allowance	in	0.125	0.125				Spec. Val.:	000 Yr.				
T2	3.5"	0.216"	150 ANSI Slip on		Test Pressure	psi						Design Codes:					
					Number of Passes			1	1				0				
					Radiography			0	0				180A 0				
					PMHT			0	0								
					Internal Volume	ft ³	14.4286	1.7283									
				Weight Summary													
				Empty	3017 lb	Flooded	3823 lb	Bundle	1577 lb								
Aspen Shell & Tube Exchanger													Revision	Date	Dwg.	Chk.	App.
Setting Plan																	
BEM 12 - 224																	
Drawing Number																	
Customary Specifications																	

1	Company: Ana Karen Brito									
2	Location: Ciudad Universitaria UNAM									
3	Service of Unit:					Our Reference:				
4	Item No.: E-102					Your Reference:				
5	Date:		Rev No.:			Job No.:				
6	Size: 15 - 236.220 in		Type: CEM Horizontal		Connected in: 1 parallel 1 series					
7	Surf/unit(eff.) 464.2 ft ²		Shells/unit 1		Surf/shell(eff.) 464.2 ft ²					
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT									
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side		
10	Fluid name				S19			3		
11	Fluid quantity, Total				13717 lb/h			58664		
12	Vapor (In/Out)				13717 lb/h		0		0	
13	Liquid				0 lb/h		13717		58664	
14	Noncondensable				0 lb/h		0		0	
15										
16	Temperature (In/Out)				482 °F		480.2		167.75 410	
17	Dew / Bubble point				482 °F		482			
18	Density Vapor/Liquid				1.247 / lb/ft ³		/ 49.984		/ 37.216 / 32.318	
19	Viscosity				0.0175 / cp		/ 0.1066		/ 0.4497 / 0.166	
20	Molecular wt, Vap				18.02					
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat				0.8968 / BTU/(lb-F)		/ 1.1602		/ 0.603 / 0.9033	
23	Thermal conductivity				0.03 / BTU/(ft-h-F)		/ 0.359		/ 0.101 / 0.095	
24	Latent heat				737.1 BTU/lb		739.3			
25	Pressure (abs)				576.58 psi		566.9		913.12 907.84	
26	Velocity (Mean/Max)				8.19 / 18.7 ft/s				6.52 / 6.84	
27	Pressure drop, allow./calc.				9.67 psi		2.71		7.25 5.28	
28	Fouling resistance (min)				ft ² -h-F/BTU		0.002		0.002 0.0025 Ao based	
29	Heat exchanged 10139770		BTU/h		MTD (corrected) 155.9		°F			
30	Transfer rate, Service 140.1		Dirty 140.19		Clean 375.29		BTU/(h-ft ² -F)			
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL									
32					Shell Side			Tube Side		
33	Design/Vacuum/test pressure				638.17 / psi			1015.26 /		
34	Design temperature				545 °F			473		
35	Number passes per shell				1			4		
36	Corrosion allowance				0.125 in			0.125		
37	Connections		In in		1 4 / -		1 3 / -			
38	Size/Rating		Out		1 1.25 / -		1 3 / -			
39	Nominal		Intermediate		/ -		/ -			
40	Tube No. 10		OD 0.875		Tks Average 0.083		in Length 236.2205		in Pitch 1.0938	
41	Tube type Plain		#/in		Material Carbon Steel		Tube pattern 30			
42	Shell Carbon Steel		ID 15		OD 16		in		Shell cover -	
43	Channel or bonnet Carbon Steel								Channel cover Carbon Steel	
44	Tubesheet-stationary Carbon Steel								Tubesheet-floating -	
45	Floating head cover -								Impingement protection None	
46	Baffle-cross Carbon Steel		Type		Single segmental		Cut(%d) 32.37		V Spacing: c/c 5.315 in	
47	Baffle-long -		Seal Type						Inlet 7.5394 in	
48	Supports-tube U-bend		0						Type	
49	Bypass seal				Tube-tubesheet joint		Expanded only (2 grooves)(App.A 'I')			
50	Expansion joint -				Type None					
51	RhoV2-Inlet nozzle 1490		Bundle entrance 591		Bundle exit 21		lb/(ft-s ²)			
52	Gaskets - Shell side -		Tube side		Flat Metal Jacket Fibre					
53	Floating head -									
54	Code requirements		ASME Code Sec VIII Div 1		TEMA class R - refinery service					
55	Weight/Shell 4915.9		Filled with water 6283.7		Bundle 2044		lb			
56	Remarks									
57										
58										



1	Company: Ana Karen Brito									
2	Location: Ciudad Universitaria									
3	Service of Unit:					Our Reference:				
4	Item No.: E-103					Your Reference:				
5	Date:					Rev No.: Job No.:				
6	Size : 15.2362 - 165.354 in Type: BEM Horizontal Connected in: 1 parallel 1 series									
7	Surf/unit(eff.)		478.1 ft ²		Shells/unit		1		Surf/shell(eff.) 478.1 ft ²	
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT									
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side		
10	Fluid name				10			S1		
11	Fluid quantity, Total				49480			761168		
12	Vapor (In/Out)				811 / 0			0 / 0		
13	Liquid				48669 / 49480			761168 / 761168		
14	Noncondensable				0 / 0			0 / 0		
15										
16	Temperature (In/Out)				385.77 / 158			68 / 77		
17	Dew / Bubble point				1312.77 / 280.39					
18	Density Vapor/Liquid				0.088 / 46.225 / 51.886			/ 62.324 / 62.251		
19	Viscosity				0.0151 / 0.5535 / 3.0508			/ 1.002 / 0.8904		
20	Molecular wt, Vap				36.52					
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat				BTU/(lb-F) 0.4297 / 0.6244 / 0.5449			/ 0.9975 / 0.9969		
23	Thermal conductivity				BTU/(ft-h-F) 0.019 / 0.072 / 0.083			/ 0.346 / 0.351		
24	Latent heat				BTU/lb 270 / 349.1					
25	Pressure (abs)				psi 21.76 / 16.63			14.7 / 8.95		
26	Velocity (Mean/Max)				ft/s 11.5 / 29.27			10.14 / 10.14		
27	Pressure drop, allow./calc.				psi 7.25 / 5.12			5.97 / 5.75		
28	Fouling resistance (min)				ft ² -h-F/BTU 0.002			0.001 / 0.0013 / Ao based		
29	Heat exchanged		6831571 BTU/h		MTD (corrected)			181.18 °F		
30	Transfer rate, Service		78.87 Dirty		97.17 Clean			142.72 BTU/(h-ft ² -F)		
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL									
32					Shell Side			Tube Side		
33	Design/Vacuum/test pressure				psi 43.51 / /			43.51 / /		
34	Design temperature				°F 455			455		
35	Number passes per shell				1			1		
36	Corrosion allowance				in 0.125			0.125		
37	Connections		In		in 1 7.981 / -			1 7.981 / -		
38	Size/Rating		Out		1 3.548 / -			1 10.02 / -		
39	ID		Intermediate		/ -			/ -		
40	Tube No.		OD 0.75		Tks Average 0.083		in Length 165.3543		in Pitch 0.9375 in	
41	Tube type		Plain		#/in Material		Carbon Steel		Tube pattern 30	
42	Shell		Carbon Steel		ID 15.25		OD 16 in		Shell cover -	
43	Channel or bonnet		Carbon Steel						Channel cover -	
44	Tubesheet-stationary		Carbon Steel						Tubesheet-floating -	
45	Floating head cover								Impingement protection None	
46	Baffle-cross		Carbon Steel		Type		Single segmental Cut(%d) 18.93		H Spacing: c/c 4.9213 in	
47	Baffle-long				Seal Type				Inlet 11.6644 in	
48	Supports-tube		U-bend		0		Type			
49	Bypass seal				Tube-tubesheet joint		Expanded only (2 grooves)(App.A T)			
50	Expansion joint				Type		None			
51	RhoV2-Inlet nozzle		326		Bundle entrance 711		Bundle exit 309		lb/(ft-s ²)	
52	Gaskets - Shell side				Tube side		Flat Metal Jacket Fibe			
53	Floating head									
54	Code requirements		ASME Code Sec VIII Div 1		TEMA class		R - refinery service			
55	Weight/Shell		3277 Filled with water		4385.9		Bundle 1810		lb	
56	Remarks									
57										
58										





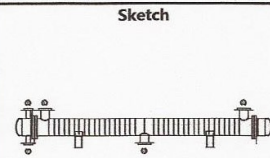
Nozzle Data		Notes	
Ref	Well	Standard	
S1	0.322"	150 ANSI Slip on	
S2	0.226"	150 ANSI Slip on	
T1	0.322"	150 ANSI Slip on	
T2	0.365"	150 ANSI Slip on	

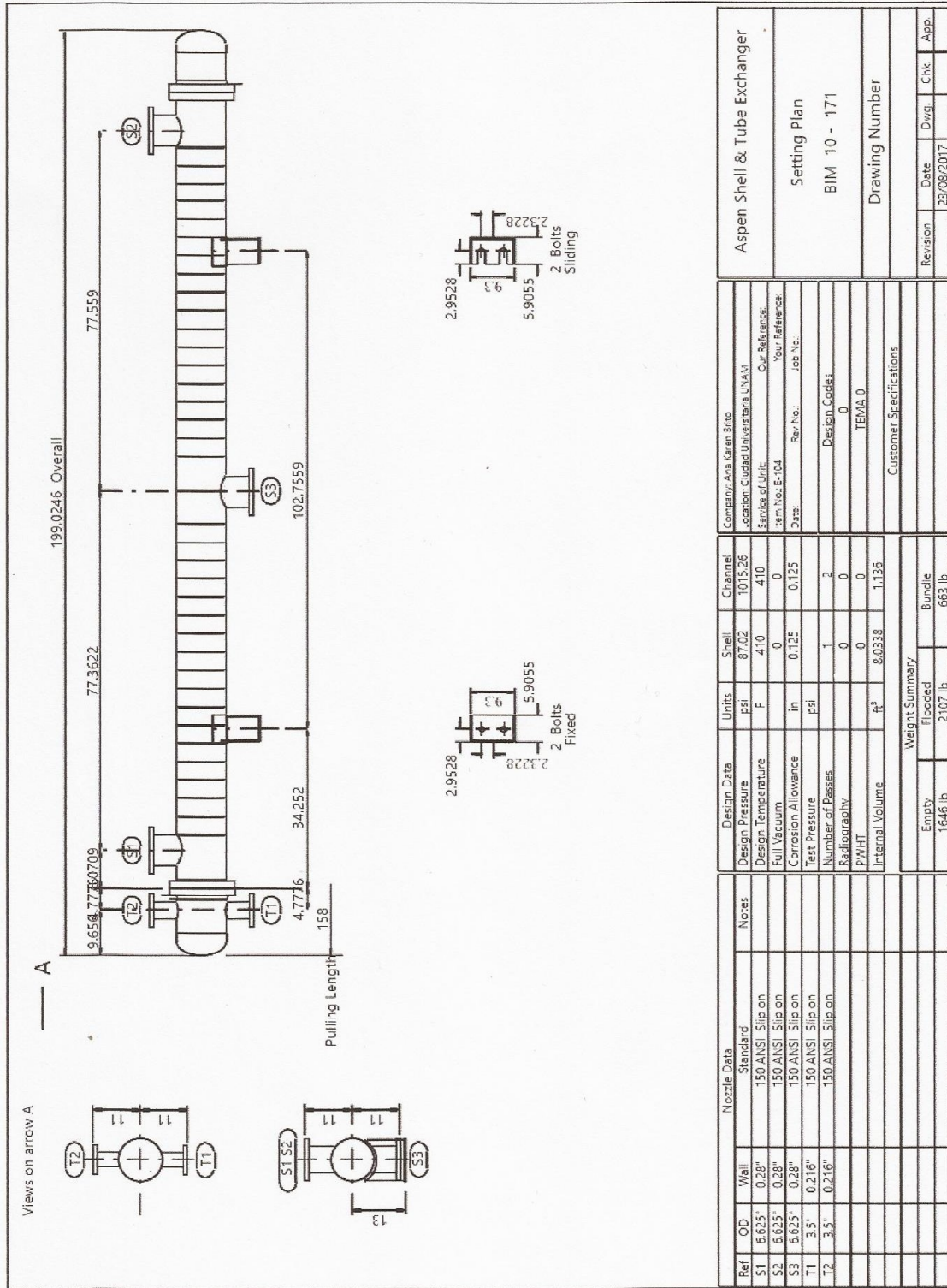
Design Data	Units	Shell	Channel
Design Pressure	psi	43.51	43.51
Design Temperature	F	455	455
Full Vacuum		0	0
Corrosion Allowance	in	0.125	0.125
Test Pressure	psi		
Number of Passes		1	1
Radiography		0	0
PWHT		0	0
Internal Volume	ft ³	16.9009	6.0449

Weight Summary	
Empty	3277 lb
Flooded	4886 lb
Bundle	1810 lb

Aspen Shell & Tube Exchanger			
Company: Ans Karan Eng		Location: Clifton, NJ	
Service of Job:	8-103	Our Reference:	Your Reference:
Draw:	Rev. No.:	Job No.:	Job No.:
Design Code:		Design Code:	
TEMA 0		TEMA 0	
Customer Specifications			
Setting Plan			
BEM 15 - 165			
Drawing Number			
Revision	Date	Dwg.	Chk.
	23/08/2017		App.

1	Company: Ana Karen Brito													
2	Location: Ciudad Universitaria UNAM													
3	Service of Unit:					Our Reference:								
4	Item No.: E-104					Your Reference:								
5	Date:	Rev No.:	Job No.:											
6	Size :	10.1181 - 171.259	in	Type:	BIM	Horizontal	Connected in:			1 parallel	1 series			
7	Surf/unit(eff.)	148	ft ²	Shells/unit	1	Surf/shell(eff.)			148	ft ²				
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT													
9	Fluid allocation					Shell Side			Tube Side					
10	Fluid name					A5			19					
11	Fluid quantity, Total	lb/h				13729			59440					
12	Vapor (In/Out)	lb/h				13691		11170		0		0		
13	Liquid	lb/h				38		2558		59440		59440		
14	Noncondensable	lb/h				0		0		0		0		
15														
16	Temperature (In/Out)	°F				340.39		232.18		112.45		157.33		
17	Dew / Bubble point	°F				351.3		233.04						
18	Density	Vapor/Liquid		lb/ft ³		0.273 / 69.341		0.302 / 44.048		/ 51.523		/ 50.237		
19	Viscosity	cp				0.0146 / 1.5296		0.0126 / 0.2531		/ 0.7128		/ 0.526		
20	Molecular wt, Vap					32.3		32.03						
21	Molecular wt, NC													
22	Specific heat	BTU/(lb-F)				0.4128 / 0.6632		0.3761 / 0.9897		/ 0.5985		/ 0.6312		
23	Thermal conductivity	BTU/(ft-h-F)				0.018 / 0.156		0.014 / 0.103		/ 0.088		/ 0.085		
24	Latent heat	BTU/lb				313.8		426.7						
25	Pressure (abs)	psi				72.52		70.14		913.74		909.82		
26	Velocity (Mean/Max)	ft/s				21.94 / 43.07			6.5 / 7.07					
27	Pressure drop, allow./calc.	psi				3.77		2.38		7.25		3.92		
28	Fouling resistance (min)	ft ² -h-F/BTU				0.002			0.002		0.0026		Ao based	
29	Heat exchanged	1639927		BTU/h		MTD (corrected)			113.8		°F			
30	Transfer rate, Service	97.36		Dirty		97.27		Clean		175.06		BTU/(h-ft ² -F)		
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL													
32					Shell Side			Tube Side						
33	Design/Vacuum/test pressure	psi		87.02 / /		1015.26 / /								
34	Design temperature	°F				410		410						
35	Number passes per shell					1		2						
36	Corrosion allowance	in				0.125		0.125						
37	Connections	In	in	2	6.065 / -		1		3.068 / -					
38	Size/Rating	Out	1	6.065 / -		1		3.068 / -						
39	ID	Intermediate				/ -		/ -						
40	Tube No.	OD	0.75	Tks Average	0.083	in	Length	171.259	in	Pitch	0.9375	in		
41	Tube type	Plain		#/in	Material	Carbon Steel			Tube pattern	30				
42	Shell	Carbon Steel	ID	10.136	OD	10.75	in	Shell cover	-					
43	Channel or bonnet	Carbon Steel				Channel cover			-					
44	Tubesheet-stationary	Carbon Steel				Tubesheet-floating			-					
45	Floating head cover	-				Impingement protection			None					
46	Baffle-cross	Carbon Steel	Type	Double segmental		Cut(%d)	25.97	Vt Spacing: c/c	3.937 in					
47	Baffle-long	-				Seal Type	Inlet			9.625 in				
48	Supports-tube	U-bend		0		Type								
49	Bypass seal	-				Tube-tubesheet joint	Expanded only (2 grooves)(App.A 'i')							
50	Expansion joint	-				Type	None							
51	RhoV2-Inlet nozzle	330	Bundle entrance		458	Bundle exit		464	lb/(ft-s ²)					
52	Gaskets - Shell side	-				Tube side			Flat Metal Jacket Fibe					
53	Floating head	-												
54	Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1				TEMA class			R - refinery service					
55	Weight/Shell	1646.2	Filled with water	2106.7	Bundle	663.3		lb						
56	Remarks													
57														
58														





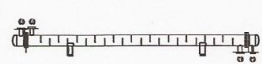
Nozzle Data		Notes	
Ref	OD	Wall	
S1	6.625"	0.28"	150 ANSI Slip on
S2	6.625"	0.28"	150 ANSI Slip on
T1	3.5"	0.216"	150 ANSI Slip on
T2	3.5"	0.216"	150 ANSI Slip on

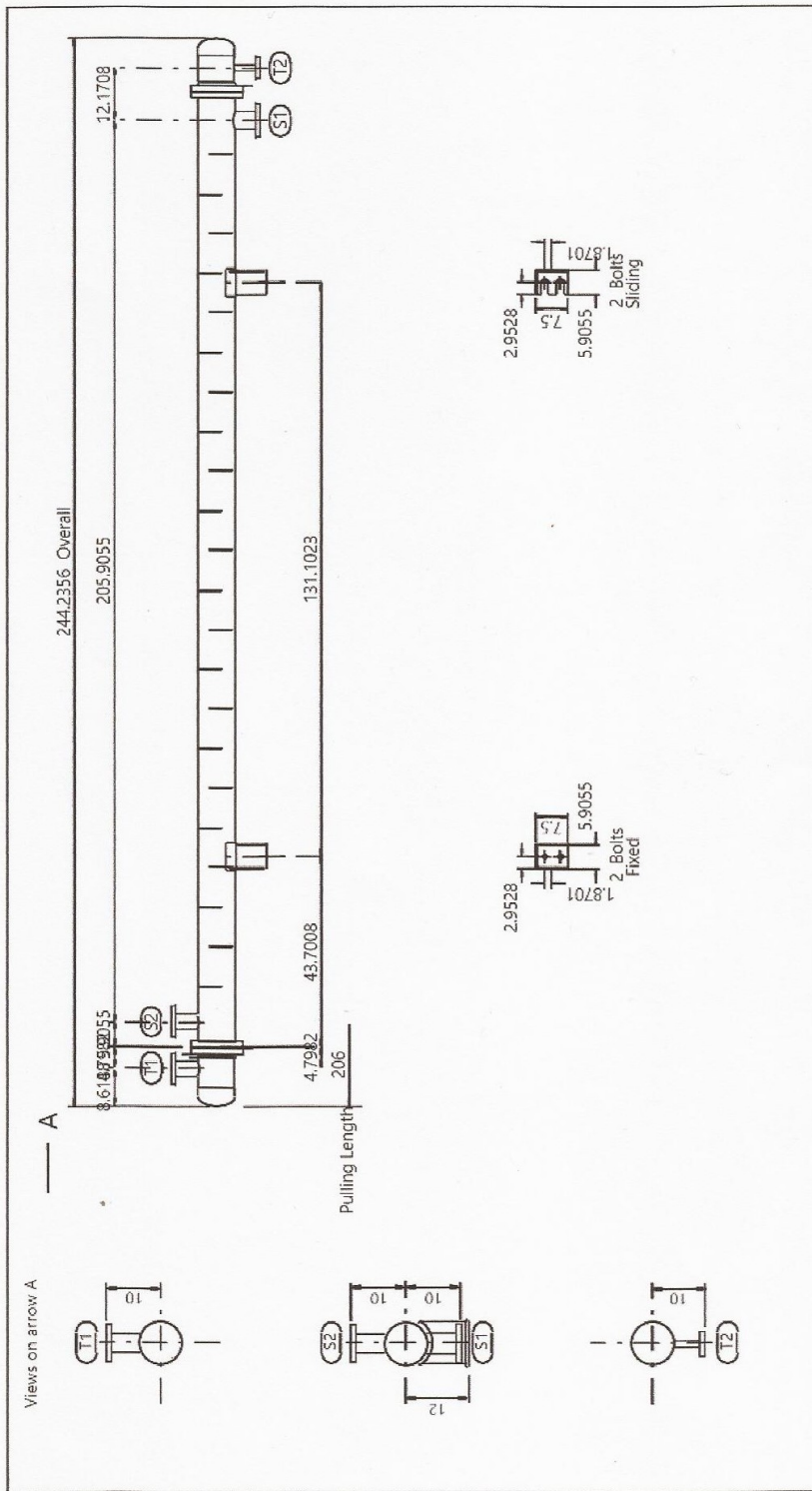
Design Data	Units	Shell	Channel
Design Pressure	psi	87.02	1015.26
Design Temperature	F	410	410
Full Vacuum	0	0	0
Corrosion Allowance	in	0.125	0.125
Test Pressure	psi	1	2
Number of Passes		0	0
Radioactivity		0	0
PWHT		0	0
Internal Volume	ft ³	8.0338	1.136

Weight Summary		Bundle
Empty	1646 lb	663 lb
Flooded	2107 lb	

Aspen Shell & Tube Exchanger			
Setting Plan			
BIM 10 - 171			
Drawing Number			
Revision	Date	Dwg.	Chk.
	23/08/2017		

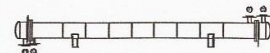
Company	Location	Service of Unit	Our Reference
Company: Ana Sken Sino	Location: Ciudad Universitaria UNAM	Item No.: E-104	Your Reference:
		Date:	Job No.:
			Design Codes:
			TEMA 0
Customer Specifications			

1	Company: Ana Karen Brito																
2	Location: Ciudad Universitaria UNAM																
3	Service of Unit:					Our Reference:											
4	Item No.: E-105					Your Reference:											
5	Date:		Rev No.:			Job No.:											
6	Size : 7.7953 - 218.503		in		Type: BEM Horizontal		Connected in: 1 parallel			1 series							
7	Surf/unit(eff.)		148.1		ft ²		Shells/unit		1	Surf/shell(eff.)		148.1	ft ²				
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT																
9	Fluid allocation				Shell Side				Tube Side								
10	Fluid name				20				Utility U-2								
11	Fluid quantity, Total				lb/h				59440								
12	Vapor (In/Out)				lb/h				0		0		8023		0		
13	Liquid				lb/h				59440		59440		0		8023		
14	Noncondensable				lb/h				0		0		0		0		
15																	
16	Temperature (In/Out)				°F				157.33		302		482		480.2		
17	Dew / Bubble point				°F								482		482		
18	Density		Vapor/Liquid		lb/ft ³		/ 50.237		/ 45.801		1.247 /		/ 49.984				
19	Viscosity				cp				/ 0.5259		/ 0.2538		0.0175 /		/ 0.1066		
20	Molecular wt, Vap												18.02				
21	Molecular wt, NC																
22	Specific heat				BTU/(lb-F)				/ 0.6312		/ 0.7547		0.8988 /		/ 1.1602		
23	Thermal conductivity				BTU/(ft-h-F)				/ 0.085		/ 0.078		0.03 /		/ 0.359		
24	Latent heat				BTU/lb								737.1		739.3		
25	Pressure (abs)				psi				909.82		906.29		576.58		566.9		
26	Velocity (Mean/Max)				ft/s				2.73 / 4.61				11.73 / 22.88				
27	Pressure drop, allow./calc.				psi				7.25		3.52		9.67		0.79		
28	Fouling resistance (min)				ft ² -h-F/BTU				0.002				0.001		0.0013	Ao based	
29	Heat exchanged		5930660		BTU/h		MTD (corrected)			242.22		°F					
30	Transfer rate, Service		165.35		Dirty		172.1		Clean		395.88		BTU/(h-ft ² -F)				
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL												Sketch 				
32					Shell Side				Tube Side								
33	Design/Vacuum/test pressure		psi		1015.26 /		/		638.17 /		/						
34	Design temperature				°F				365		545						
35	Number passes per shell								1		1						
36	Corrosion allowance				in				0.125		0.125						
37	Connections		In		in		1 3.5 / -		1 3 / -								
38	Size/Rating		Out				1 3 / -		1 1 / -								
39	Nominal				Intermediate				/ -		/ -						
40	Tube No.		OD		0.75		Tks Average		0.083		in Length			218.503	in Pitch	0.9375	in
41	Tube type		Plain		#/in		Material		Carbon Steel		Tube pattern		30				
42	Shell		Carbon Steel		ID		7.813		OD		8.625		in		Shell cover		-
43	Channel or bonnet		Carbon Steel								Channel cover		-				
44	Tubesheet-stationary		Carbon Steel								Tubesheet-floating		-				
45	Floating head cover				-						Impingement protection		None				
46	Baffle-cross		Carbon Steel		Type		Single segmental		Cut(%d)		39.61		H Spacing: c/c		9.0551	in	
47	Baffle-long		-		Seal Type						Inlet		12.6565		in		
48	Supports-tube		U-bend		0						Type						
49	Bypass seal				Tube-tubesheet joint				Expanded only (2 grooves)(App.A 'i')								
50	Expansion joint				-				Type		None						
51	RhoV2-Inlet nozzle		1151		Bundle entrance		195		Bundle exit		214		lb/(ft-s ²)				
52	Gaskets - Shell side		-		Tube side				Flat Metal Jacket Fibe								
53	Floating head				-												
54	Code requirements		ASME Code Sec VIII Div 1		TEMA class		R - refinery service										
55	Weight/Shell		1526.2		Filled with water		1854.8		Bundle		553.2		lb				
56	Remarks																
57																	
58																	

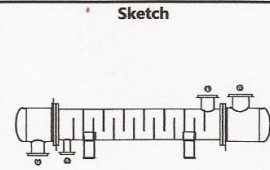


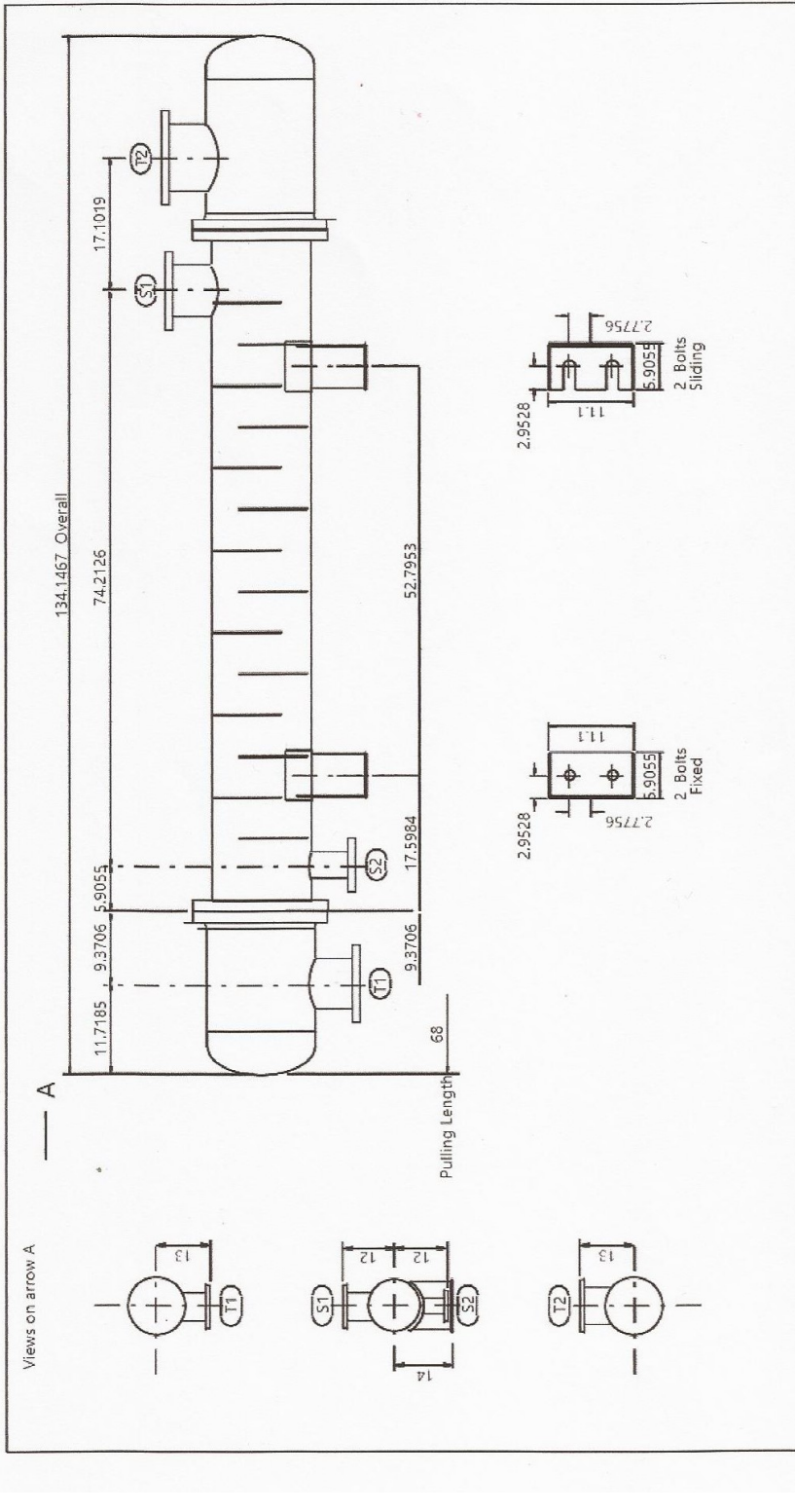
Nozzle Data		Design Data		Units		Shell		Channel		Company: Ana Kern s.r.l.	
Ref	OD	Wall	Standard	Notes	Design Pressure	psi	1015.26	836.16	Location: Ciudad Universitaria UNAM	Our Reference:	Aspen Shell & Tube Exchanger
S1	4.0	0.226"	150 ANSI Slip on		Design Temperature	F	365	545	Service of Unit:	Your Reference:	Setting Plan
S2	3.5	0.216"	150 ANSI Slip on		Full Vacuum	0	0	0	Item No.: E-105	Job No.:	BEM 8 - 219
T1	3.5	0.216"	150 ANSI Slip on		Corrosion Allowance	in	0.125	0.125	Date:		Drawing Number
T2	1.315	0.179"	150 ANSI Slip on		Test Pressure	psi	1	1	Design Codes:		
					Number of Passes		0	0	TEMA 0		
					Radiality		0	0	Customer Specifications		
					P/WHT		0	0			
					Internal Volume	ft ³	5.9958	0.6865			
				Weight Summary							
				Empty		1526 lb		Flooded		1855 lb	
				Bundle		553 lb					
				Revision		33/08/2017		Date		33/08/2017	
				Dwg.		Chk.		App.			

1	Company: Ana Karen Brito									
2	Location: Ciudad Universitaria UNAM									
3	Service of Unit:					Our Reference:				
4	Item No.: E-106					Your Reference:				
5	Date:			Rev No.:			Job No.:			
6	Size : 11.9685 - 236.220 in			Type: BEM Horizontal			Connected in: 1 parallel 1 series			
7	Surf/unit(eff.) 455.7 ft ²			Shells/unit 1			Surf/shell(eff.) 455.7 ft ²			
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT									
9	Fluid allocation			Shell Side			Tube Side			
10	Fluid name									
11	Fluid quantity, Total			7225			59440			
12	Vapor (In/Out)			lb/h 7225 0			0 0			
13	Liquid			lb/h 0 7225			59440 59440			
14	Noncondensable			lb/h 0 0			0 0			
15										
16	Temperature (In/Out)			°F 482 480.2			302 410			
17	Dew / Bubble point			°F 482 482						
18	Density Vapor/Liquid			lb/ft ³ 1.247 / / 49.984			/ 45.801 / 42.08			
19	Viscosity			cp 0.0175 / / 0.1066			/ 0.2538 / 0.1726			
20	Molecular wt, Vap			18.02						
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat			BTU/(lb-F) 0.8988 / / 1.1602			/ 0.7547 / 0.9538			
23	Thermal conductivity			BTU/(ft-h-F) 0.03 / / 0.359			/ 0.078 / 0.072			
24	Latent heat			BTU/lb 737.1 739.3						
25	Pressure (abs)			psi 576.58 566.9			906.29 905.76			
26	Velocity (Mean/Max)			ft/s 1.56 / 9.44			1.68 / 1.76			
27	Pressure drop, allow./calc.			psi 9.67 0.59			7.25 0.53			
28	Fouling resistance (min)			ft ² -h-F/BTU 0.001			0.002 0.0026 Ao based			
29	Heat exchanged 5340476 BTU/h			MTD (corrected) 115.07 °F						
30	Transfer rate, Service 101.85			Dirty 106.16			Clean 170.92			BTU/(h-ft ² -F)
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL									
32				Shell Side			Tube Side			
33	Design/Vacuum/test pressure			psi 638.17 / /			1000.76 / /			
34	Design temperature			°F 545			473			
35	Number passes per shell			1			1			
36	Corrosion allowance			in 0.125			0.125			
37	Connections			In in 1 3 / -			1 3 / -			
38	Size/Rating			Out 1 1 / -			1 3 / -			
39	Nominal			Intermediate / -			/ -			
40	Tube No. OD 0.75 Tks Average 0.083			in Length 236.2205			in Pitch 0.9375			
41	Tube type Plain			#/in Material Carbon Steel			Tube pattern 30			
42	Shell Carbon Steel ID 11.9685 OD 12.7559			in			Shell cover -			
43	Channel or bonnet Carbon Steel						Channel cover -			
44	Tubesheet-stationary Carbon Steel						Tubesheet-floating -			
45	Floating head cover -						Impingement protection None			
46	Baffle-cross Carbon Steel Type Single segmental			Cut(%d) 43.22			V _r Spacing: c/c 23.8189 in			
47	Baffle-long - Seal Type						Inlet 32.6762 in			
48	Supports-tube U-bend 0			Type						
49	Bypass seal			Tube-tubesheet joint			Expanded only (2 grooves)(App.A 'i')			
50	Expansion joint -			Type None						
51	RhoV2-Inlet nozzle 1226			Bundle entrance 24			Bundle exit 3 lb/(ft-s ²)			
52	Gaskets - Shell side -			Tube side			Flat Metal Jacket Fibe			
53	Floating head -									
54	Code requirements ASME Code Sec. VIII Div 1			TEMA class R - refinery service						
55	Weight/Shell 3419.6 Filled with water 4237.2			Bundle 1701.8			lb			
56	Remarks									
57										
58										



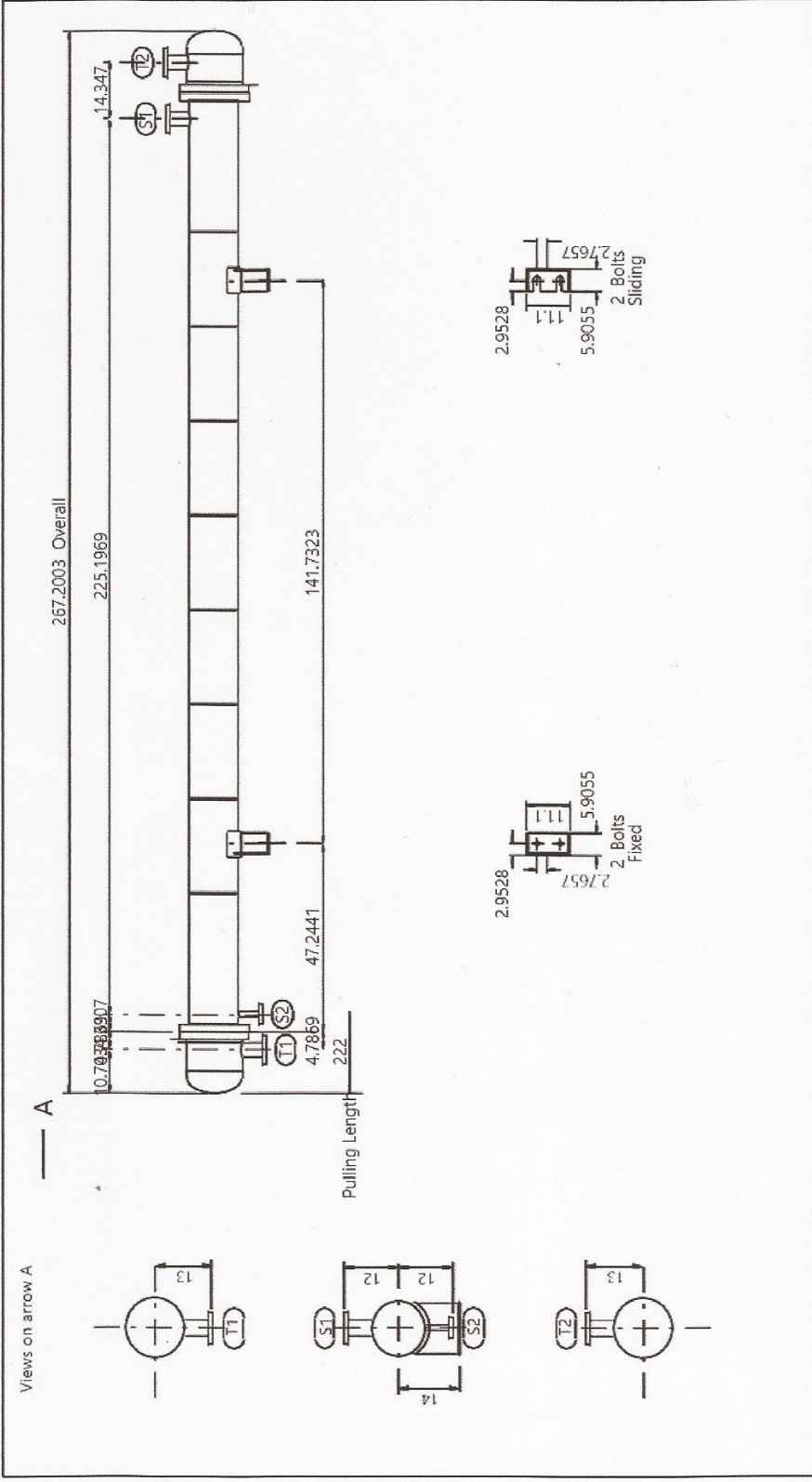
1	Company: Ana Karen Brito									
2	Location: Ciudad Universitaria UNAM									
3	Service of Unit:					Our Reference:				
4	Item No.: E-107					Your Reference:				
5	Date:	Rev No.:	Job No.:							
6	Size :	12.126 - 88	in	Type:	BEM	Horizontal	Connected in:	1 parallel	1 series	
7	Surf/unit(eff.)	152.9	ft ²	Shells/unit	1		Surf/shell(eff.)	152.9	ft ²	
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT									
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side		
10	Fluid name				25			S10		
11	Fluid quantity, Total				45711			370999		
12	Vapor (In/Out)				521			0		
13	Liquid				45190			370999		
14	Noncondensable				0			0		
15										
16	Temperature (In/Out)				332.73			68		
17	Dew / Bubble point				1277.73			276.95		
18	Density Vapor/Liquid				0.14 / 47.925			/ 51 / 62.324 / 62.251		
19	Viscosity				0.0144 / 0.5664			/ 1.1117 / 1.002 / 0.8904		
20	Molecular wt, Vap				32.87					
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat				0.41 / 0.5933			/ 0.5534 / 0.9975 / 0.9969		
23	Thermal conductivity				0.018 / 0.073			/ 0.078 / 0.346 / 0.351		
24	Latent heat				280.6			333.2		
25	Pressure (abs)				36.26			34.18		
26	Velocity (Mean/Max)				7.37 / 14.82			8.09 / 8.09		
27	Pressure drop, allow./calc.				7.25			2.08		
28	Fouling resistance (min)				0.002			0.001 0.0013 Ao based		
29	Heat exchanged				3329761			BTU/h		
30	Transfer rate, Service				110.92			Dirty 112.79 Clean 179.17		
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL									
32					Shell Side			Tube Side		
33	Design/Vacuum/test pressure				psi 43.51 / /			43.51 / /		
34	Design temperature				°F 401			401		
35	Number passes per shell				1			1		
36	Corrosion allowance				in 0.125			0.125		
37	Connections				In in 1 6 / - 1 6 / -					
38	Size/Rating				Out 1 3 / - 1 8 / -					
39	Nominal				Intermediate / - / -					
40	Tube No.	110	OD	0.75	Tks Average	0.083	in Length	88	in Pitch	0.9375
41	Tube type	Plain	#/in		Material	Carbon Steel	Tube pattern	30		
42	Shell	Carbon Steel	ID	12.126	OD	12.8347	in	Shell cover	-	
43	Channel or bonnet	Carbon Steel						Channel cover	-	
44	Tubesheet-stationary	Carbon Steel						Tubesheet-floating	-	
45	Floating head cover	-						Impingement protection	None	
46	Baffle-cross	Carbon Steel	Type	Single segmental	Cut(%d)	29.91	H Spacing: c/c	5.315	in	
47	Baffle-long	-	Seal Type				Inlet	7.936	in	
48	Supports-tube	U-bend	0	Type						
49	Bypass seal			Tube-tubesheet joint			Expanded only (2 grooves)(App.A 'i')			
50	Expansion joint	-	Type	None						
51	RhoV2-Inlet nozzle	408	Bundle entrance	863	Bundle exit	346			lb/(ft ² -s ²)	
52	Gaskets - Shell side	-	Tube side				Flat Metal Jacket Fibe			
53	Floating head	-								
54	Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1			TEMA class	R - refinery service				
55	Weight/Shell	1469.6	Filled with water	1877.3	Bundle	656.1	lb			
56	Remarks									
57										
58										





Nozzle Data		Design Data		Units		Shell		Channel		Company:	
Ref	OD	Well	Standard	Design Pressure	psi	43.51	43.51	Design Temperature	F	401	401
S1	6.625"	0.28"	150 ANSI Slip on	Design Temperature	F	401	401	Full Vacuum	0	0	0
S2	3.5"	0.216"	150 ANSI Slip on	Corrosion Allowance	in	0.125	0.125	Test Pressure	psi	0	0
T1	6.625"	0.28"	150 ANSI Slip on	Number of Passes		1	1	PWHT	0	0	0
T2	6.625"	0.322"	150 ANSI Slip on	Radigraph		0	0	Internal Volume	ft³	5.7347	3.7322
										Customer Specifications	
				Weight Summary							
				Empty		1470 lb		Flooded		1877 lb	
				Bundled		656 lb					

Aspen Shell & Tube Exchanger	
Setting Plan	
BEM 12 - 88	
Drawing Number	
Revision	Date
	23/08/2017
Dwg.	Chk.
App.	



Nozzle Data		Notes	
Ref	OD Wall	Standard	Notes
S1	3.5" 0.216"	150 ANSI Slip on	
S2	1.315" 0.179"	150 ANSI Slip on	
T1	3.5" 0.216"	150 ANSI Slip on	
T2	3.5" 0.216"	150 ANSI Slip on	

Design Pressure	psi	638.16	Channel	1000.75
Design Temperature	F	54.5	Shell	473
Full Vacuum		0		0
Corrosion Allowance	in	0.125		0.125
Test Pressure	psi	1		1
Number of Passes		0		0
Radiography		0		0
PWHT		0		0
Internal Volume	ft ³	15.0747		2.1131

Empty	3420 lb	Flooded	4337 lb	Bundle	1702 lb
-------	---------	---------	---------	--------	---------

Weight Summary					
Customer Specifications					

Aspen Shell & Tube Exchanger					
Setting Plan					
BEM 12 - 236					
Drawing Number					

Revision	Date	Dwg.	Chk.	App.
	23/08/2017			



Universidad Nacional Autónoma de México

HOJA DE DATOS DE BOMBAS

PROYECTO: 1
 IDENTIFICACIÓN: P-101
 HOJA: 1 DE 1

CLIENTE: Ana Karen Brito	LÍQUIDO: ACEITE-METANOL
PLANTA: PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODISÉL	TEMP. DE BOMBEO, °C; (°F): 25 (77)
LOCALIZACIÓN: TUXPAN VERACRUZ	GRAVEDAD ESPECÍFICA: 0.88
CLAVE DEL EQUIPO: P-101	PRESIÓN DE VAPOR, kg/cm ² a; (PSIA):
SERVICIO: ALIMENTACION DE MEZCLA METANOL-ACEITE	VISCOSIDAD, Pa.s; (cP): 0.0008456 (0.84)
PARTIDA: CANTIDAD REQUERIDA: UNA	CORR./EROS. OCASIONADA POR:
USO REGULAR: UNA ACCIONADOR: MOTOR	GASTO NOR., m ³ /h; (GPM): 42.71 (188.082) DIS., m ³ /h; (GPM): (f)
REPUESTO: UNA ACCIONADOR: MOTOR	PRESIÓN DESCARGA, kg/cm ² m; (PSIG): 64.24 (899.042)
FECHA: Agosto, 2011	PRESIÓN SUCCIÓN, kg/cm ² m; (PSIG): 0.12 (1.7)
REVISADO POR: JLGR	PRESIÓN DIF., kg/cm ² ; (PSI): 63.22 (899)
ELABORÓ: AKB REVISIÓN:	CABEZA DIF., m ; (PIES):
VALIDO: AMX	NPSH DISP., m ; (PIES): 13.55 (44.47)
	POT. HIDRÁULICA, kW ; (HP): 73.57 (98.65)

CONDICIONES DE OPERACIÓN

CONCEPTO		BASE
FUNCIONAMIENTO	TAMAÑO Y TIPO	
	CURVA PROPUESTA	
	NPSH REQ. (m DE AGUA) y N.suc.	
	No. DE PASOS/r/min	
	EFICIENCIA A CONDICIONES NOMINALES / bKW	
	MAX. bKW DEL IMPULSOR DE DISEÑO, m; (PIES)	
CONSTRUCCIÓN	MAX. CARGA DEL IMPULSOR DE DIS., m; (PIES)	
	CAUDAL MÍN. CONTINUO ESTABLE, m ³ /h; (GPM)	
	PLAN DE LAVADO AL SELLO	
	CARCASA MONTAJE	
	CORTE	
	IMPULSOR MONTAJE	
	TIPO/D. DISEÑO/D. MÁXIMO	
	CHUMACERAS: RADIAL/EMPUJE	
	SELLO MECÁNICO: CÓDIGO API/FABRICANTE	
	PLAN: LUBRICACION AL SELLO MECANICO	
	LUBRICACION BOMBA/PLAN ENFRIAMIENTO BOMBA	
	COPEL/GUARDACOPEL	
MOTOR E	MATERIALES:	
	BOQUILLAS SUCCIÓN: D/CLASE ANSI/POSICIÓN	
	DESCARGA: D/CLASE ANSI/POSICIÓN	
	PRES. MÁX. PERM. A °C/PRUEBA HIDROST. kg/cm ² ; (PSIG)	
TURBINA V.	FABRICANTE/PROTECCIÓN DE LA CARCASA	
	kw/r/min	
	VOLTS/FASES/HERTZ	
	CHUMACERAS/LUBRICACIÓN	
BASE:	CLASIFICACION DE AREAS	
	EFICIENCIA	U.S
	FABRICANTE/MODELO/GOBERNADOR	
	POTENCIA DE SELECCIÓN A r/min	
	CONSUMO DE VAPOR, kg/kW h; (LB/HP HR)	
	MATERIAL: CARCASA/PARTES INTERNAS	
CONDICIONES DEL VAPOR MOTRIZ		
TIPO DE TURBINA		
PRUEBAS FUNCIONAMIENTO E HIDROSTÁTICA / NPSH (CERTIFICADA / CON TESTIGO):		
PESO: BOMBA+BASE+ACCIONADOR, kg ; (LB)		

NOTAS:

- LA BOMBA DEBE ESTAR DE ACUERDO A NORMA NRF-050 VIGENTE.
- EL MOTOR ELECTRICO DEBE CUMPLIR CON LAS NORMAS NRF-048 Y NRF-095 VIGENTES.
- CORROSION POR 1.7 % PESO DE H2S Y 1.2 % PESO DE NH3.

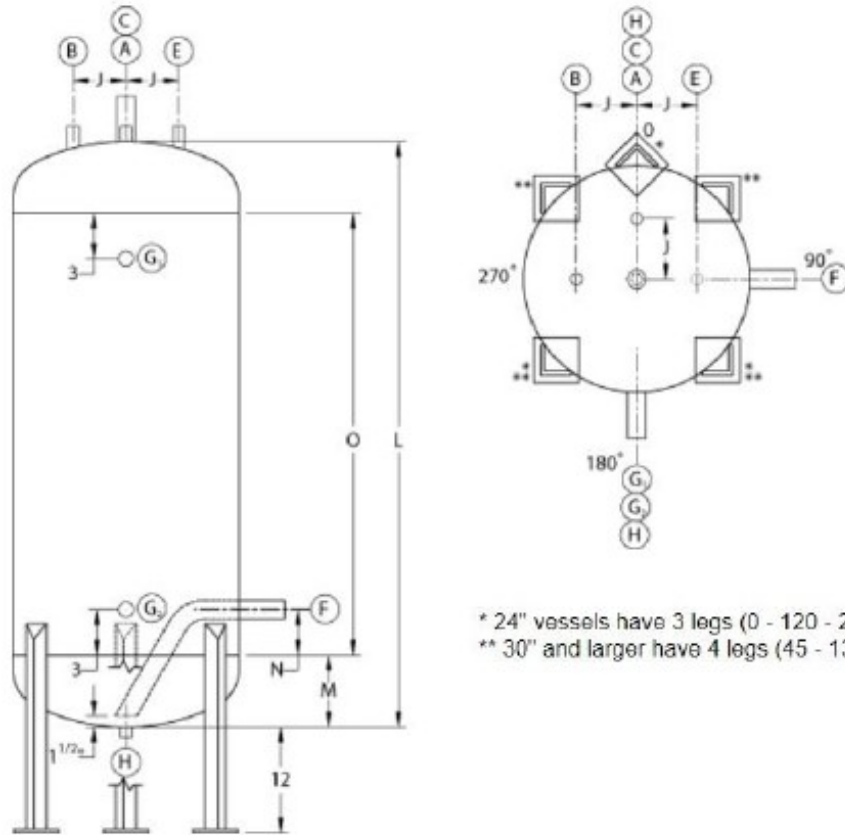


Universidad Nacional Autónoma de México

HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA RECIPIENTE

CLIENTE:	ANA KAREN BRITO LUVIANO	PROYECTO:	
PLANTA:	PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL		
LOCALIZACIÓN:	TUXPAN, TAMPS.	HOJA	1 DE 1
CLAVE DEL EQUIPO:	V-101	REQ. / O.C. No.	
SERVICIO:	TANQUE SEPARADOR DE METANOL Y MEZCLA GLICERO-BIODIÉSEL)	No. DE UNIDADES:	UNA
		POSICIÓN	VERTICAL

Tipo de Fluido:	Líquido: GLICEROL-BIODIÉSEL	Flujo:	32.66 m ³ /h	Densidad:	28.24 kg/m ³
	Vapor o Gas: Metanol	Flujo:	0.053 m ³ /s	Densidad:	-10.43- kg/m ³
Temperatura:	Operación: 170 °C	Máxima: 180 °C	Diseño: 170 (j) °C		
Presión:	Operación: 12 kg/cm ² man	Máxima: 12.23 kg/cm ² man	Diseño:		
Dimensiones:	Longitud: 10857 mm	Diámetro: 2714 mm	Cap. Total:	78.5 m ³ (T-T)	
Nivel:HC/AGUA	Normal: ---j mm	Máximo: ---/ mm	Mínimo:	---j mm	
Alarmas: HCA/AGUA	Muy Alto Nivel: mm	Muy Bajo Nivel: mm	Nivel de Paro:	---- mm	
Materiales:	Cascarón: SA-516 70 (13)	Cabezas: SA-516 70 (13)	Malla Separadora: Espesor: --- mm	Material:	---
Tipo Circular:	Diámetro: --- mm	Tipo Rectangular: Longitud: ---- mm	Ancho: ---- mm		
Corrosión Perm.:	Cascarón: 6.4 mm	Cabezas: 6.4 mm	Aislamiento: NO	Recub. Externo: SI (8)	
Relevado de Esfuerzos:	SI	Estampado ASME:	SI (9)		



* 24" vessels have 3 legs (0 - 120 - 240)
 ** 30" and larger have 4 legs (45 - 135 - 225 - 315)



Universidad Nacional Autónoma de México

PROYECTO:
IDENTIFICACIÓN:
HOJA: 1 DE 1

HOJA DE DATOS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS

CLIENTE:	PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL	CONDICIONES DE OPERACIÓN	LÍQUIDO:	AGUA AMARGA
LOCALIZACIÓN:	TUXPAN TAMS.		TEMP. DE BOMBEO, °C; (°F):	50 (122)
CLAVE DEL EQUIPO:	P-102		GRAVEDAD ESPECÍFICA:	0.82
SERVICIO:	BOMBA DE ALIMENTACION		PRESIÓN DE VAPOR, kg/cm ² a; (PSIA):	64.24 (913.73)
PARTIDA:	CANTIDAD REQUERIDA: una		VISCOSIDAD, Pa.s; (cP):	0.0005 (0.5)
USO REGULAR:	UNA ACCIONADOR: MOTOR		CORR./EROS. OCASIONADA POR:	
REPUESTO:	UNA ACCIONADOR: MOTOR		GASTO NOR., m ³ /h; (GPM):	32.68 (143.83) DIS., m ³ /h; (GPM):
FECHA:	Agostos, 2017		PRESIÓN DESCARGA, kg/cm ² m; (PSIG):	64.24 (899.042)
REVISADO POR:	AMX		PRESIÓN SUCCIÓN, kg/cm ² m; (PSIG):	
ELABORÓ:	AKBÑ REVISIÓN:		PRESIÓN DIF., kg/cm ² ;(PSI):	63.23 (104)
VALIDÓ:		CABEZA DIF., m ;(PIES):	74.21 (243.5)	
		NPSH DISP., m ;(PIES):	8.21 (26.95)	
		POT. HIDRÁULICA, kW ;(HP):	55.97 (75.06)	

CONCEPTO		BASE
FUNCIONAMIENTO	TAMAÑO Y TIPO	
	CURVA PROPUESTA	
	NPSH REQ. (m DE AGUA) Y N.suc.	
	No. DE PASOS/r/min	
	EFICIENCIA A CONDICIONES NOMINALES / b/kW	
	MAX. b/kW DEL IMPULSOR DE DISEÑO, m; (PIES)	
CONSTRUCCIÓN	MAX. CARGA DEL IMPULSOR DE DIS., m; (PIES)	
	CAUDAL MÍN. CONTINUO ESTABLE, m ³ /h; (GPM)	
	PLAN DE LAVADO AL SELLO	
	CARCASA	MONTAJE
		CORTE
	IMPULSOR	MONTAJE
		TIPO/D. DISEÑO/D. MÁXIMO
	CHUMACERAS: RADIAL/EMPLUJE	
	SELLO MECÁNICO: CÓDIGO API/FABRICANTE	
	PLAN: LUBRICACIÓN AL SELLO MECÁNICO	
	LUBRICACIÓN BOMBA/PLAN ENFRIAMIENTO BOMBA	
	COPLE/GUARDACOPLE	
	MATERIALES:	
BOQUILLAS	SUCCIÓN: D/CLASE ANSI/POSICIÓN	
	DESCARGA: D/CLASE ANSI/POSICIÓN	
PRES.MÁX.PERM. A °C/PRUEBA HIDROST. kg/cm ² ; (PSIG)		
MOTOR E	FABRICANTE/PROTECCIÓN DE LA CARCASA	
	kW/r/min	
	VOLTS/FASES/HERTZ	
	CHUMACERAS/LUBRICACIÓN	
TURBINA V.	CLASIFICACIÓN DE AREAS	
	EFICIENCIA	0.80
	FABRICANTE/MODELO/GOBERNADOR	
	POTENCIA DE SELECCIÓN A r/min	
	CONSUMO DE VAPOR, kg/kW h; (LB/HP HR)	
MATERIAL: CARCASA/PARTES INTERNAS		
CONDICIONES DEL VAPOR MOTRIZ		
TIPO DE TURBINA		
PRUEBAS FUNCIONAMIENTO E HIDROSTÁTICA / NPSH (CERTIFICADA / CON TESTIGO):		
PESO: BOMBA+BASE+ACCIONADOR, kg ; (LB)		
BASE:		

NOTAS:

- 1.- LA BOMBA DEBE ESTAR DE ACUERDO A NORMA NRF-050 VIGENTE.
- 2.- EL MOTOR ELECTRICO DEBE CUMPLIR CON LAS NORMAS NRF-048 Y NRF-095 VIGENTES.
- 3.- CORROSION POR 1.7 % PESO DE H2S Y 1.2 % PESO DE NH3.

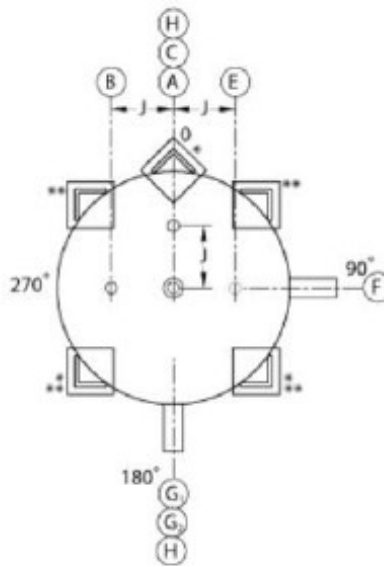
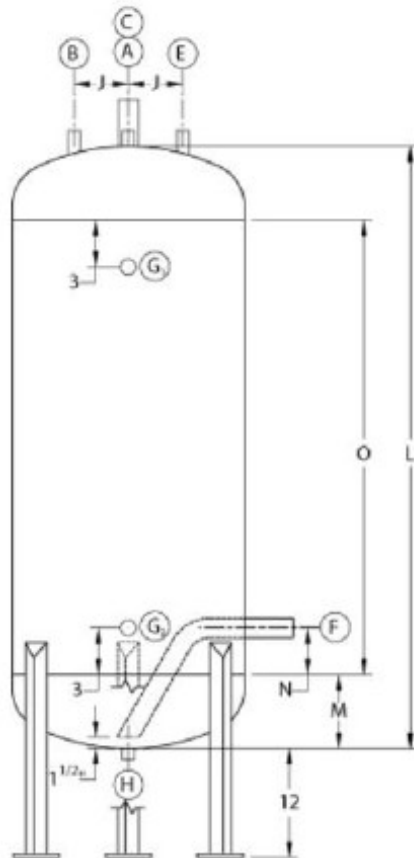


Universidad Nacional Autónoma de México

HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA RECIENTE

CLIENTE:	ANA KAREN BRITO LUVIANO	PROYECTO:	
PLANTA:	PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL	HOJA:	f DE f
LOCALIZACIÓN:	TUXPAN, TAMPS.	REQ. / O.C. No.:	
CLAVE DEL EQUIPO:	V-102	No. DE UNIDADES:	UNA
SERVICIO:	TANQUE SEPARADOR DE METANOL Y MEZCLA GLICERO:BIODIESEL	POSICIÓN:	VERTICAL

Tipo de Fluido:	Líquido:	GLICEROL-BIODIESEL	Flujo:	30.42 m ³ /h	Densidad:	737.8 kg/m ³		
	Vapor o Gas:	Metanol	Flujo:	0.14 m ³ /s	Densidad:	424 kg/m ³		
Temperatura:	Operación:	200 °C	Máxima:	210 °C	Diseño:	200.0 °C		
Presión:	Operación:	5 kg/cm ² man	Máxima:	12.23 kg/cm ² man	Diseño:			
Dimensiones:	Longitud:	2922 mm	Diámetro:	974 mm	Cap. Total:	2.17 m ³ (T-T)		
Nivel:	Normal:	mm	Máximo:	mm	Mínimo:	mm		
Alarmas:	hacia	Muy Alto Nivel: mm	Muy Bajo Nivel:	mm	Nivel de Paro:	mm		
Materiales:	Cascarón:	SA-516 70 (13)	Cabezas:	SA-516 70 (13)	Malla Separadora:	mm		
Tipo Circular:	Diámetro:	mm	Tipo Rectangular:	Longitud:	mm	Ancho:	mm	
Corrosión Perm.:	Cascarón:	mm	Cabezas:	mm	Aislamiento:	NO	Recub. Externo:	SI (8)
Relevado de Estufas:			Estameado ASME:	SI (8)				



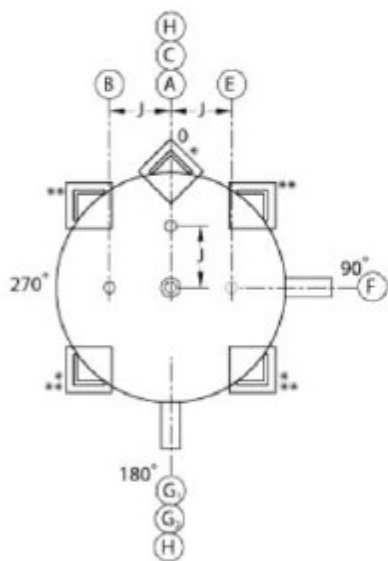
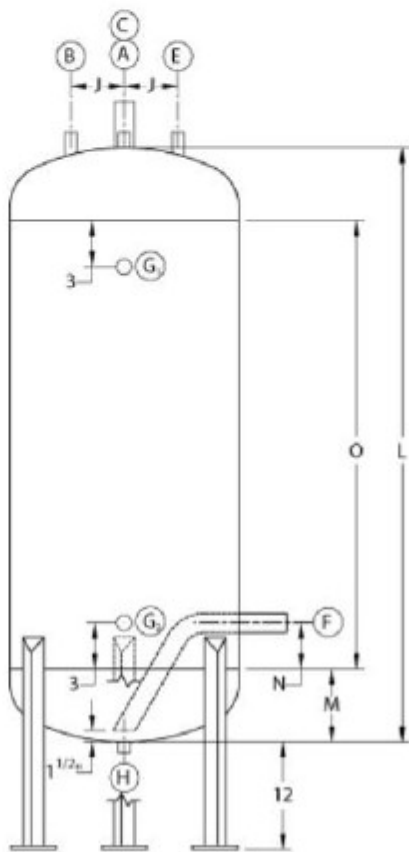
* 24" vessels have 3 legs (0 - 120 - 240)
 ** 30" and larger have 4 legs (45 - 135 - 225 - 315)



Universidad Nacional Autónoma de México

HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA RECIPIENTE

CLIENTE:	ANA KAREN BRITO LUVIANO		PROYECTO:		
PLANTA:	PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL		HOJA	1	DE 1
LOCALIZACIÓN:	TUXPAN, TAMPS.		REQ. / O.C. No.		
CLAVE DEL EQUIPO:	V-103		No. DE UNIDADES:	UNA	
SERVICIO:	TANQUE SEPARADOR DE METANOL Y MEZCLA GLICERO-BIODIÉSEL		POSICIÓN	VERTICAL	
Tipo de Fluido:	Líquido: Biodiésel-Glicerol :	Flujo:	27.12 m ³ /h	Densidad:	784.28 kg/m ³
	GAS : Metanol - agua	Flujo:	1418.21 m ³ /s	Densidad:	4.30 kg/m ³
Temperatura:	Operación:	170 °C	Máxima:	180 °C	Diseño:
	Operación:	6.098 kg/cm ² man	Máxima:	6.098 kg/cm ² man	Diseño:
Dimensiones:	Longitud:	10189 mm	Diámetro :	3389 mm	Cap. Total:
Nivel:	Normal:	---	Máximo:	---	Mínimo:
Alarmas:	Alarma Muy Alto Nivel:	mm	Muy Bajo Nivel:	mm	Nivel de Paro:
Materiales:	Cascarón:	SA-516 70 (13)	Cabezas:	SA-516 70 (13)	Maila Separadora:
	Diámetro:	---	Tipo Rectangular:	---	Longitud:
Tipo Circular:	Diámetro:	---	Tipo Rectangular:	---	Ancho:
Corrosión Perm.:	Cascarón:	mm	Cabezas:	mm	Aislamiento:
Relevado de Esfuerzos:		SI	Estampado ASME:	SI (9)	



* 24" vessels have 3 legs (0 - 120 - 240)
 ** 30" and larger have 4 legs (45 - 135 - 225 - 315)

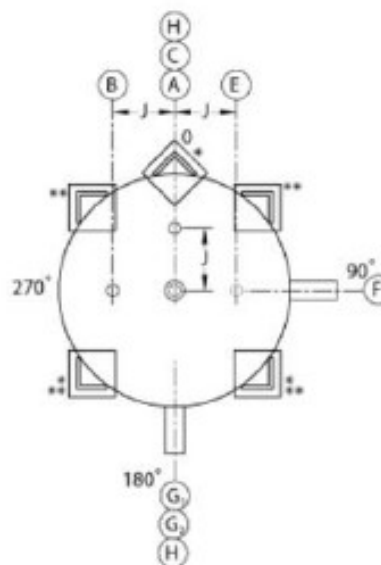
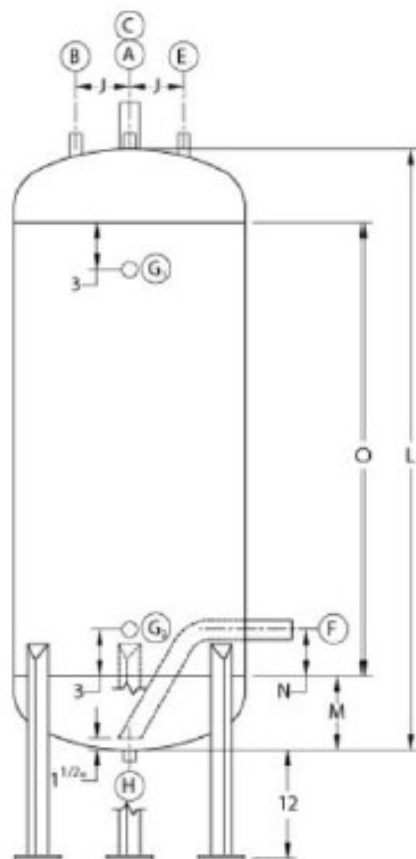


Universidad Nacional Autónoma de México

HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA RECIENTE

CLIENTE:	ANA KAREN BRITO LUMANO	PROYECTO:	
PLANTA:	PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL		
LOCALIZACIÓN:	TUXPAN, TAMPS.	HOJA	1 DE 1
CLAVE DEL EQUIPO:	V-104	REQ. / O.C. No.	
SERVICIO:	TANQUE SEPARADOR DE METANOL Y MEZCLA GLICERO-BIODIESEL	No. DE UNIDADES:	UNA
		POSICIÓN:	VERTICAL

Tipo de Fluido:	Líquido:	GLICEROL	Flujo:	1.51 m ³ /h	Densidad:	1159.1 kg/m ³
	GAS:	AGUA-METANOL	Flujo:	294.5 m ³ /a	Densidad:	0.81 kg/m ³
Temperatura:	Operación:	150 °C	Máxima:	160 °C	Diseño:	150.0 °C
Presión:	Operación:	1.019 kg/cm ² man	Máxima:	1.16 kg/cm ² man	Diseño:	
Dimensiones:	Longitud:	1482 mm	Diámetro:	494 mm	Cap. Total:	0.284 m ³ (T-T)
Nivel:	Normal:	--- mm	Máximo:	--- mm	Mínimo:	--- mm
Alambas:	Alambas:	Muy Alto Nivel: mm	Muy Bajo Nivel:	mm	Nivel de Paro:	--- mm
Materiales:	Cascarón:	SA-516 70 (13)	Cabezas:	SA-516 70 (13)	Malla Separadora:	Espesor: --- mm
						Material: ---
Tipo Circular:	Diámetro:	--- mm	Tipo Rectangular:	Longitud: --- mm	Ancho:	--- mm
Corrosión Perm.:	Cascarón:	--- mm	Cabezas:	--- mm	Aislamiento:	NO
					Recub. Externo:	SI (8)
Relevado de Esfuerzos:		SI	Estampado ASME:	SI (9)		



* 24" vessels have 3 legs (0 - 120 - 240)
 ** 30" and larger have 4 legs (45 - 135 - 225 - 315)



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**HOJA DE DATOS DE
PROCESO PARA
PLATOS**

CLIENTE:		PROYECTO:	
PLANTA:	PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL		
LOCALIZACIÓN:	TUXPAN, TAMP.	HOJA	2 DE 2
CLAVE DEL EQUIPO:	T-101	CLAVE DE LA TORRE: T-101	
SERVICIO:	PURIFICACIÓN DE BIODIÉSEL	No. UNIDADES:	

Tipo de Plato		Válvula	Chimenea	Válvula	Válvula
Fluido	Líquido	CH ₄ O, CH ₂ O, C ₂ H ₅ O ₂	CH ₄ O, CH ₂ O, C ₂ H ₅ O ₂	CH ₄ O, CH ₂ O, C ₂ H ₅ O ₂	CH ₄ O, CH ₂ O, C ₂ H ₅ O
	Vapor o Gas	CH ₄ O, CH ₂ O, C ₂ H ₅ O ₂	CH ₄ O, CH ₂ O, C ₂ H ₅ O ₂	CH ₄ O, CH ₂ O, C ₂ H ₅ O ₂	CH ₄ O, CH ₂ O, C ₂ H ₅ O
Diámetro Interno de la Torre, mm		2,390	2,390	2,390	2,390
Espaciamiento Entre Platos, mm		610	610	610	610
Material Platos		A.C.	A.C.	A.C.	A.C.
Material Unidades de Contacto		A.C.	A.C.	A.C.	A.C.
Número de pasos		1		1	1
Condiciones en el Plato No.		1	10	12	14
Temperatura Etapa		87.33	298.415	298.492	377.873
Presión, kg/cm ² man.		2.039	2.05	2.05	2.07
Vapor	Flujo kmol/h	1.93806	2.7242	2.92	339.89
Líquido	Flujo kmol/h	0	19.6828	19.68	272.722

Tendencia a Espumado: Ninguna Moderada (5) Alta Severa

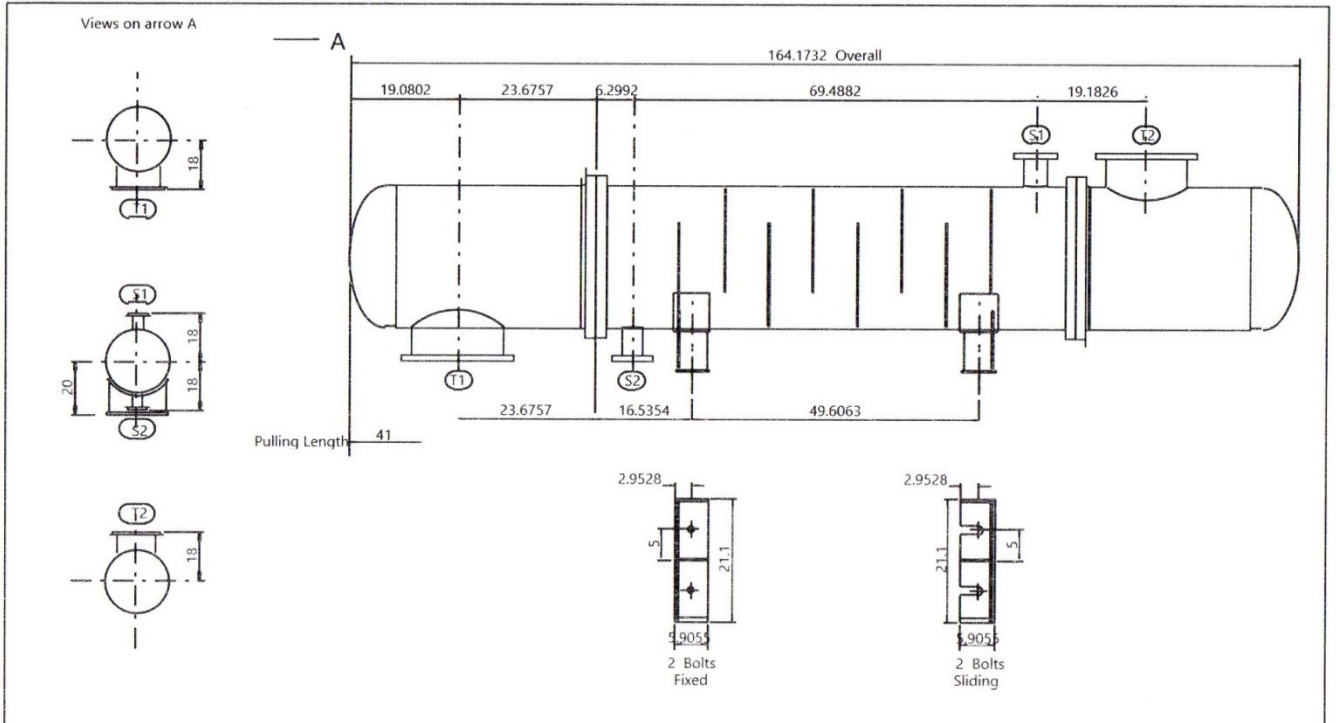
Máximo de Inundación 82% a Condiciones de Diseño

Relación Líquido/Vapor Constante Carga de Líquido Constante Carga de Vapor Constante

Capacidad Mínima Requerida 80% de la Capacidad de Diseño

NOTAS:

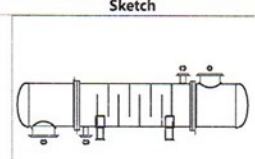
- 1) El área de los elevadores del plato chimenea debe ser entre el 15% y el 25% del área de la columna.
- 2) Se debe considerar una caída de presión máxima permitida por plato de 0.04 kg/cm².

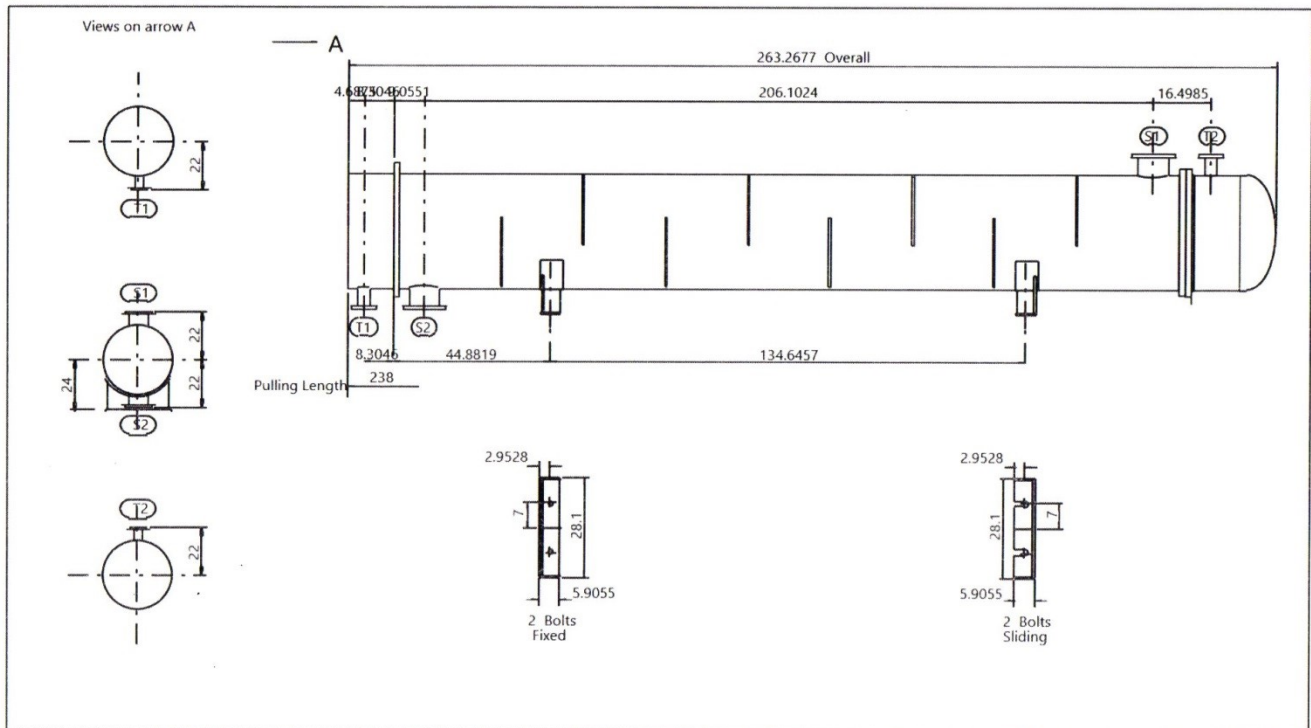


Nozzle Data				Design Data		Units	Shell	Channel	Company: Ana Karen Rito UNAM				
Ref.	OD	Wall	Standard	Notes	Design Pressure	psi	43.51	43.51	Location:				
S1	4.0"	0.226"	150 ANSI Slip on		Design Temperature	F	779	779	Service of Unit: Our Reference:				
S2	3.5"	0.216"	150 ANSI Slip on		Full Vacuum		0	0	Item No.: E-108 Your Reference:				
T1	16.0"	0.375"	150 ANSI Slip on		Corrosion Allowance	in	0.125	0.125	Date: Rev No.: Job No.:				
T2	14.0"	0.375"	150 ANSI Slip on		Test Pressure	psi							
					Number of Passes		1	1	Design Codes				
					Radiography		0	0	0				
					PWHT		0	0	TEMA 0				
					Internal volume	ft ³	19.8457	20.921	Customer Specifications				
				Weight Summary									
				Empty	Flooded	Bundle							
				4405 lb	6316 lb	2567 lb							
									Aspen Shell & Tube Exchanger				
									Setting Plan				
									BEM 24 - 83				
									Drawing Number				
									Revision	Date	Dwg.	Chk.	App.
										09/11/2017			

Heat Exchanger Specification Sheet

1	Company: Ana Karen Brito, UNAM									
2	Location:									
3	Service of Unit:					Our Reference:				
4	Item No.:		E-108		Your Reference:					
5	Date:		Rev No.:		Job No.:					
6	Size :		600 - 2100 mm		Type: BEM Horizontal		Connected in: 1 parallel 1 series			
7	Surf/unit(eff.)		62.2 m ²		Shells/unit 1		Surf/shell(eff.) 62.2 m ²			
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT									
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side		
10	Fluid name				FAME			Utility U-4		
11	Fluid quantity, Total				5.5344			198.328		
12	Vapor (In/Out)				0			0		
13	Liquid				5.5344			198.328		
14	Noncondensable				0			0		
15										
16	Temperature (In/Out)				378.15			100		
17	Dew / Bubble point				378.19			378.15		
18	Density Vapor/Liquid				/ 574.61			/ 817.97		
19	Viscosity				/ 0.1413			/ 1.3994		
20	Molecular wt, Vap									
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat				/ 3.277			/ 2.265		
23	Thermal conductivity				/ 0.0948			/ 0.1343		
24	Latent heat				/ kg					
25	Pressure (abs)				2.03928			2.0106		
26	Velocity (Mean/Max)				0.34 / 0.54			2.22 / 2.22		
27	Pressure drop, allow./calc.				0.2			0.02868		
28	Fouling resistance (min)				0.00035			0.00018 0.00023 Ao based		
29	Heat exchanged				4140.3 kW			MTD (corrected) 191.97 °C		
30	Transfer rate, Service				346.6 Dirty 348.9			Clean 437.2 W/(m ² -K)		
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL									
32					Shell Side			Tube Side		
33	Design/Vacuum/test pressure				3 / /			3 / /		
34	Design temperature				415			415		
35	Number passes per shell				1			1		
36	Corrosion allowance				3.18			3.18		
37	Connections				In mm 1 90.12 / -			1 387.35 / -		
38	Size/Rating				Out 1 77.93 / -			1 336.55 / -		
39	ID				Intermediate			/ -		
40	Tube No.		518 OD 19.05		Tks Average 2.11		mm Length 2100		mm Pitch 23.81	
41	Tube type Plain				#/m Material Carbon Steel			Tube pattern 30		
42	Shell Carbon Steel		ID 600 OD 620		mm		Shell cover -			
43	Channel or bonnet Carbon Steel				Channel cover -					
44	Tubesheet-stationary Carbon Steel				Tubesheet-floating -					
45	Floating head cover -				Impingement protection None					
46	Baffle-cross Carbon Steel		Type		Single segmental		Cut(%d) 25.94		Hr Spacing: c/c 195 mm	
47	Baffle-long -		Seal Type				Inlet 320.97 mm			
48	Supports-tube U-bend		0		Type					
49	Bypass seal				Tube-tubesheet joint			Expanded only (2 grooves)(App.A 'i')		
50	Expansion joint				Type None					
51	RhoV2-Inlet nozzle 1310		Bundle entrance 69		Bundle exit 48		kg/(m ² -s)			
52	Gaskets - Shell side				Tube side			Flat Metal Jacket Fibe		
53	Floating head -									
54	Code requirements ASME Code Sec VIII Div 1				TEMA class R - refinery service					
55	Weight/Shell 1998.3		Filled with water 2865.1		Bundle 1164.2		kg			
56	Remarks									
57										
58										





Nozzle Data					Design Data		Units	Shell	Channel	Company: Ana Karen Brito UNAM		
Ref	OD	Wall	Standard	Notes	Design Pressure	psi	43.51	43.51	Location:			
S1	8.625"	0.322"	150 ANSI Slip on		Design Temperature	F	275	275	Service of Unit: Our Reference:			
S2	8.625"	0.322"	150 ANSI Slip on		Full Vacuum		0	0	Item No.: E-109 Your Reference:			
T1	3.5"	0.216"	150 ANSI Slip on		Corrosion Allowance	in	0.125	0.125	Date: Rev No.: Job No.:			
T2	3.5"	0.216"	150 ANSI Slip on		Test Pressure	psi			Design Codes			
					Number of Passes		1	1	TEMA 0			
					Radiography		0	0	Customer Specifications			
					PWHT		0	0				
					Internal Volume	ft ³	99.0496	16.171				
					Weight Summary							
					Empty	Flooded	Bundle					
					15564 lb	20854 lb	11123 lb					
Aspen Shell & Tube Exchanger												
Setting Plan												
DEM 31 - 224												
Drawing Number												
Revision	Date	Dwg.	Chk.	App.								
	09/11/2017											

Heat Exchanger Specification Sheet

1	Company: Ana Karen Brito, UNAM					
2	Location:					
3	Service of Unit:	Our Reference:				
4	Item No.:	E-109	Your Reference:			
5	Date:	Rev No.:	Job No.:			
6	Size :	800 - 5700	mm	Type:	DEM Horizontal	Connected in: 1 parallel 1 series
7	Surf/unit(eff.)	308.2	m ²	Shells/unit	1	Surf/shell(eff.) 308.2 m ²
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT					
9	Fluid allocation	Shell Side		Tube Side		
10	Fluid name	30		Utility U-4		
11	Fluid quantity, Total	5.5344		40.5402		
12	Vapor (In/Out)	kg/s	0	0	0	0
13	Liquid	kg/s	5.5344	5.5344	40.5402	40.5402
14	Noncondensable	kg/s	0	0	0	0
15						
16	Temperature (In/Out)	°C	100	30	20	25
17	Dew / Bubble point	°C				
18	Density Vapor/Liquid	kg/m ³	/ 817.97	/ 865.93	/ 998.33	/ 997.16
19	Viscosity	mPa-s	/ 1.3994	/ 4.8345	/ 1.002	/ 0.8904
20	Molecular wt, Vap					
21	Molecular wt, NC					
22	Specific heat	kJ/(kg-K)	/ 2.265	/ 2.112	/ 4.176	/ 4.174
23	Thermal conductivity	W/(m-K)	/ 0.1343	/ 0.1442	/ 0.598	/ 0.6067
24	Latent heat	kJ/kg				
25	Pressure (abs)	bar	2.0106	2.006	1.01325	0.43889
26	Velocity (Mean/Max)	m/s	0.06 / 0.07		0.26 / 0.26	
27	Pressure drop, allow./calc.	bar	0.5	0.0046	0.5	0.57436
28	Fouling resistance (min)	m ² -K/W	0.00035		0.00018	0.00023 Ao based
29	Heat exchanged	846.3	kW		MTD (corrected)	32.63 °C
30	Transfer rate, Service	84.2	Dirty 178.8		Clean	199.4 W/(m ² -K)
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL				Sketch	
32		Shell Side		Tube Side		
33	Design/Vacuum/test pressure	bar	3 / /	3 / /		
34	Design temperature	°C	135		135	
35	Number passes per shell		1		1	
36	Corrosion allowance	mm	3.18		3.18	
37	Connections	In mm	1 202.72 / -	1 77.93 / -		
38	Size/Rating	Out	1 202.72 / -	1 77.93 / -		
39	ID	Intermediate	/ -	/ -		
40	Tube No.	919	OD 19.05	Tks Average 2.11	mm Length 5700	mm Pitch 23.81 mm
41	Tube type	Plain	#/m	Material Carbon Steel	Tube pattern	30
42	Shell	Carbon Steel	ID 800	OD 824	mm	Shell cover -
43	Channel or bonnet	Carbon Steel				Channel cover Carbon Steel
44	Tubesheet-stationary	Carbon Steel				Tubesheet-floating -
45	Floating head cover	-				Impingement protection None
46	Baffle-cross	Carbon Steel	Type	Single segmental	Cut(%d) 39.69	Ht Spacing: c/c 590 mm
47	Baffle-long	-	Seal Type		Inlet	736.48 mm
48	Supports-tube	U-bend	0	Type		
49	Bypass seal			Tube-tubesheet joint	Expanded only (2 grooves)(App.A 'i')	
50	Expansion joint			Type	None	
51	RhoV2-Inlet nozzle	36	Bundle entrance	7	Bundle exit	10 kg/(m-s ²)
52	Gaskets - Shell side		Tube side		Flat Metal Jacket Fibe	
53	Floating head					
54	Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1		TEMA class	R - refinery service	
55	Weight/Shell	7059.8	Filled with water	9459.4	Bundle	5045.5 kg
56	Remarks					
57						
58						

