



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**

PROPUESTA DE UNA PLANTA PILOTO DE BIODIESEL PARA FESC-C4

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTAN:

ELIZABETH NATALIA GABRIEL CALIXTO

LÁZARO RAMOS OCHOA

ASESOR: ING. RAFAEL GARCÍA NAVA



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
ASUNTO: **VOTOS APROBATORIOS**

**DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE**



**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Propuesta de una Planta Piloto de Biodiesel para FESC-C4

Que presenta la pasante Elizabeth Natalia Gabriel Calixto

Con número de cuenta: 302285046 para obtener el título de:

Ingeniera Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlan Izcalli, Mex. a 8 de abril de 2011

PRESIDENTE IQ. Rafael García Nava

VOCAL MC. María de Jesús Cruz Onofre

SECRETARIO IQ. Paula Alvarez Fernández

1er SUPLENTE Dra. Abigail Martínez Estrada

2º SUPLENTE MI. Arturo Ortega Díaz



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
 FACULTAD DE ESTUDIOS
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE



ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Propuesta de una Planta Piloto de Biodiesel para FESC-C4

Que presenta el pasante Lázaro Ramos Ochoa

Con número de cuenta: 405082531 para obtener el título de:
Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cuautitlan Izcalli, Mex. a 8 de abril de 2011

PRESIDENTE I.Q. Rafael García Nava
 VOCAL MC. María de Jesús Cruz Onofre
 SECRETARIO I.Q. Paula Alvarez Fernández
 1er SUPLENTE Dra. Abigail Martínez Estrada
 2º SUPLENTE MI. Arturo Ortega Díaz

Un día me trace una meta y hoy este es el resultado.

Primeramente agradezco a Dios por estar con nosotros hasta este momento.

Agradezco a mi familia, a mis padres (Papá Juan, Mamá Carmen, Rami y Libia), a mi hermana bombo), tíos (Judith, Agustín, Juan, Roberto, Adolfo) y a mis primos (Cheche, Angi, Pelox). A ustedes que día a día me motivan y luchan para que sea mejor.

A mi grandiosa UNAM que desde el primer día me ha permitido ver la vida desde otra perspectiva.

A mis profesores y maestros, a ustedes que día a día forjaron mi camino.

Con especial cariño y aprecio a Miguel Ángel García Campos, Aarón Barrios Camacho y por supuesto a mi asesor Rafael García Nava, gracias por mostrarnos la realidad.

A ti que has estado conmigo en las buenas y en las malas, a ti con quien he vivido la transición de alumnos a profesionistas. A ti que me apoyas en mis tropiezos y celebras mis triunfos. Gracias por hacerme ver lo bello de la vida...a ti amor, Lázaro Ramos.

No pueden faltar mis amigos. Violeta, Alfred, Ángel, César gracias a ustedes por el apoyo y tiempo dedicado. A ustedes con los que han surgido muchos de mis propósitos y anhelos. Gracias por cada momento vivido.

En menos de 6 meses he aprendido lo que no aprendí ni comprendí a lo largo de mi vida.....y es por eso que hoy surge un sueño

.....sueño que no lo puede otorgar los muchos años de estudio, dedicación, tiempo ni mucho menos el dinero.

Es por eso que el triunfo de esta meta te la dedico a ti "PELON", a ti que en dónde estas no se necesitan títulos ni profesiones.

A ti "PELON" que donde quiera que estés sé que nos puedes ver, y sé que estas contento y orgulloso porque este no será el primero ni el último de los títulos que nosotros tus hermanos te dediquemos.

A ti JUAN DANIEL CALIXTO CAMPOS que HOY HACES NACER EN MI UN SUEÑO.

ELIZABETH NATALIA G.

A mis Padres

Mi Madre Paula la mujer que me dio la vida y siempre trabajo y lucho para que no me faltara nada, este título es dedicado a ti, ya que siempre creíste en este sueño mil gracias mama.

Mi Papa Pedro que siempre fue y será la fuente de inspiración más importante para mi vida, un gran ejemplo a seguir que a diario me demuestra que trabajando y responsabilidad se llega al éxito Gracias

A mi Novia

Mi Amor eterno, mi niña bonita, a ti Elizabeth gracias por estar conmigo y mostrarme lo hermoso que es el amor, gracias por ayudarme a lograr este sueño llamado Ingeniería Química gracias por ser un gran ejemplo a seguir, sin ti no hubiera logrado este sueño.

Siempre Juntos Felices y Contentos en las Buenas y en las Malas.

A mi Cuñado

Gracias Abraham por haberme permitido conocerte, tú fuiste uno de los primeros que creyeron en mí, para ser realidad este sueño, algún día te volveré a ver para agráciatelo en persona, donde quiera que estés mil gracias

A los profesores

Rafael Decelis, Aarón Barrios, Franco, Magadan, quienes son los que más huella dejan en mi formación como Ingeniero Químico muchas Gracias.

A MI ASESOR DE TESIS

Gracias Ing. Rafael Garcia Nava, no tengo palabras para agradecer todo lo que hizo por mí ya que usted es el principal pilar en mi formación como Ingeniero Químico, usted me enseñó lo maravilloso que es esta profesión, al tener un motivador en la vida, siempre se cumplirán los sueños.

Gracias Colega.

A mis Hermanos

Mi Hermana Elena quien siempre me cuidó, quien es un pilar muy importante en mi formación académica muchas gracias

Mi hermano Carlos quien siempre creyó en mí y me dio demasiados consejos y ejemplos para salir adelante, gracias Charly ya que sin tu apoyo no habría podido lograr este sueño.

A mis Sobrinos

Magali, Cesar, Julián, Ismael, Diego.

Ustedes que son la alegría de la familia, gracias por existir y volver momentos difíciles en alegría a través de su inocencia, ustedes los más pequeños son un gran motivador, muchas gracias

A mis Amigos

Adrian, Ricardo, Lira, Jorge Haui, quienes estuvieron en momentos buenos y malos gracias carnales.

A las Instituciones

Gysapol, Pemex, Polímeros Nacionales, Plafusa, Procter & Gamble.

Quienes son y fueron los que me han permitido desarrollarme como Ingeniero Químico Gracias.

A la FESC-1 UNAM

Gracias por haberme formado como profesional, haberme acogido en cada uno de sus rincones, aquí se formó mi sueño de Ingeniero Químico, gracias por ser lo que es:

La Máxima Casa de Estudios.

INDICE

OBJETIVO.....	9
INTRODUCCIÓN.	9
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.....	10
1.1 COMBUSTIBLES.....	10
1.1.1 <i>Definición de combustible</i>	10
1.1.2 <i>Características de los combustibles</i>	10
1.1.2.1 Poder Calorífico.....	10
1.1.2.2 Temperatura de Ignición.....	11
1.1.2.3 Temperatura de Inflamación:.....	11
1.1.2.4 Residuos de Combustión.....	11
1.1.3 <i>Clasificación de los combustibles</i>	11
1.1.3.1 Análisis químicos para los combustibles líquidos.....	11
1.2 EL PETRÓLEO. PRINCIPAL FUENTE DE OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES.....	13
1.2.1 <i>Demanda de combustibles en México</i>	14
1.3 PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LOS COMBUSTIBLES DERIVADOS DE HIDROCARBUROS.....	15
1.3.1 <i>Reservas de petróleo</i>	15
1.3.2 <i>Efectos ambientales</i>	16
1.4 CONCLUSIÓN DE CAPÍTULO.....	17
CAPÍTULO 2. BIOCOMBUSTIBLES: UNA ALTERNATIVA.....	18
2.1 BIOCOMBUSTIBLES. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS.....	18
2.2 PRINCIPALES BIOCOMBUSTIBLES.....	21
2.2.1 <i>Bioetanol</i>	21
2.2.2 <i>Biogás</i>	21
2.2.3 <i>Biodiesel</i>	22
2.3 BIODIESEL, UNA PROPUESTA VIABLE VS DIESEL.....	22
2.3.1 <i>Descripción química del biodiesel</i>	22
2.3.2 <i>Propiedades del biodiesel</i>	22
2.3.3 <i>Ventajas del biodiesel</i>	23
2.3.4 <i>Desventajas del biodiesel</i>	24
2.3.5 <i>Situación política internacional del biodiesel</i>	24
2.3.6 <i>Situación política del biodiesel en México</i>	25
2.4 CONCLUSIÓN DE CAPÍTULO.....	26
CAPÍTULO 3. FABRICACIÓN DE BIODIESEL.....	27
3.1 PROCESOS DE FABRICACIÓN DE BIODIESEL.....	27
3.1.1 <i>Transesterificación</i>	27
3.1.1.1 Reacción y mecanismo de reacción de transesterificación.....	27
3.1.1.2 Transesterificación con catálisis básica.....	29
3.1.2 <i>Esterificación ácida catalizada</i>	30
3.2 PROCESOS INDUSTRIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.....	31
3.2.1 <i>Proceso discontinuo</i>	31
3.2.2 <i>Proceso continuo</i>	32
3.3 CONCLUSIÓN DE CAPÍTULO.....	33

CAPÍTULO 4. ACEITES Y GRASAS COMO MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACIÓN DE BIODIESEL.	34
4.1 FUENTES DE ACEITES Y GRASAS.	34
4.2 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA DE ACEITES Y GRASAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.	34
4.2.1 <i>Jatropha</i> , la mejor opción.	35
4.2.1.1 Características de la <i>jatropha</i>	35
4.2.1.2 Impactos positivos de la <i>jatropha</i> en el desarrollo.	36
4.2.1.3 Impactos positivos de la <i>jatropha</i> en el medio ambiente.	36
4.2.1.4 Riesgos generados por el uso de <i>jatropha</i>	36
4.3 CONCLUSIÓN DE CAPÍTULO.	36
CAPÍTULO 5. PROCESO DE ELABORACIÓN DE BIODIESEL.	37
5.1 PRE-TRATAMIENTO.	37
5.1.1 <i>Obtención del aceite</i>	37
5.1.1.1 Cosecha.	38
5.1.1.2 Tratamiento del grano.	38
5.1.1.3 Machacado del grano.	38
5.1.1.4 Cocción del grano.	38
5.1.1.5 Prensado.	38
5.1.1.6 Extracción por solvente.	39
5.1.1.7 Tratamiento de la torta final.	39
5.1.2 <i>Tratamiento del aceite</i>	40
5.1.2.1 Refinación del aceite.	40
5.2 REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN.	40
5.2.1 <i>Mezclado de metanol con catalizador</i>	41
5.2.2 <i>Reacción de transesterificación</i>	41
5.2.3 <i>Remoción del metanol</i>	41
5.2.4 <i>Separación</i>	41
5.2.5 <i>Neutralización de la glicerina</i>	41
5.2.6 <i>Lavado del metil éster</i>	42
5.3 POST-TRATAMIENTO DE PRODUCTOS.	42
5.3.1 <i>Recuperación y neutralización de la glicerina</i>	42
5.3.2 <i>Recuperación del metanol</i>	42
5.4 TECNOLOGÍA.	42
5.5 CONCLUSIÓN DE CAPÍTULO.	43
CAPÍTULO 6. INGENIERÍA CONCEPTUAL DE LA PLANTA.	45
6.1 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.	45
6.1.1 <i>Condiciones climatológicas de la zona</i>	45
6.2 BASES DE DISEÑO.	45
6.2.1 <i>Función de la planta</i>	45
6.2.2 <i>Tipo de operación</i>	45
6.2.3 <i>Capacidad, rendimiento y flexibilidad</i>	45
6.2.3.1 Factor de Servicio.	46
6.2.3.2 Capacidad y rendimiento.	46
6.2.3.3 Flexibilidad.	46
6.3 ESPECIFICACIONES DE MATERIAS PRIMAS.	47
6.3.1 <i>Aceite de <i>Jatropha</i></i>	47
6.3.2 <i>Hidróxido de Sodio (NaOH)</i>	47
6.3.3 <i>Metanol (CH₃OH)</i>	47

6.3.4 Hexano (C_6H_{14}).....	48
6.3.5 Ácido Clorhídrico (HCl).....	48
6.4 ESPECIFICACIONES DE LOS PRODUCTOS.....	48
6.4.1 Biodiesel.....	48
6.4.2 Glicerina.....	49
6.5 PROCEDENCIA DE MATERIAS PRIMA.....	49
6.6 ELIMINACIÓN DE DESECHOS.....	49
6.7 ALMACENAMIENTO.....	49
6.8 SERVICIOS AUXILIARES.....	50
6.8.1 Agua potable y de proceso.....	50
6.8.2 Agua contra incendio.....	50
6.8.3 Agua de desecho.....	50
6.8.4 combustible.....	51
6.8.5 Energía eléctrica.....	51
6.8.6 Comunicaciones.....	51
6.9 CONCLUSIÓN DE CAPÍTULO.....	51
CAPÍTULO 7. INGENIERÍA BÁSICA.....	52
7.1 INTRODUCCIÓN.....	52
7.2 BALANCE DE MATERIA.....	52
7.3 LISTA DE EQUIPO.....	52
7.4 HOJAS DE DATOS DE EQUIPO.....	53
7.5 DIAGRAMAS DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN.....	53
7.5.1 DTI de Producción de biodiesel.....	54
7.5.2 DTI de Agua de Servicio.....	55
7.5.3 DTI de Generación de Vapor.....	56
7.5.4 DTI de Sistema de Enfriamiento.....	57
7.5.5 DTI de Gas Combustible.....	58
7.6 PLANO DE LOCALIZACIÓN GENERAL. PLOT PLAN.....	59
7.7 CONCLUSIÓN DE CAPÍTULO.....	59
CAPÍTULO 8. CRITERIOS DE DISEÑO.....	60
8.1 CRITERIOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPO.....	60
8.1.1 Sección de almacenamiento de líquidos.....	60
8.1.2 Dimensionamiento de líneas de tuberías.....	62
8.1.3 Dimensionamiento de bombas.....	62
8.2 DFP Producción de Biodiesel.....	65
8.2.1 DFP de Agua de Servicio.....	66
8.2.2 DFP de Generación de Vapor.....	67
8.2.3 DFP de Sistema de Enfriamiento.....	68
8.2.4 PLOT PLAN.....	69
8.3 Balance económico.....	70
8.4 CONCLUSIÓN DE CAPÍTULO.....	71
CAPÍTULO 9. CONCLUSIÓN.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73

Objetivo.

Generar un proyecto para que en un futuro cercano se cuente con la ingeniería básica para poder instalar una planta piloto para la elaboración de biodiesel, a partir de *Jatropha*, mediante una investigación bibliográfica de los procesos de generación de biodiesel a nivel nacional e internacional.

Beneficiar a la FESC UNAM con la Planta Piloto de elaboración de biodiesel con una mejor formación de futuros Ingenieros e ingresos económicos para la institución.

Introducción.

La transesterificación de los aceites vegetales fue desarrollada en 1853 por los científicos E. Duffy y J. Patrick, muchos años antes de que el primer motor diésel funcionase.

El primer modelo de Rudolf Diesel, un mono cilíndrico de hierro de 3 metros con un volante en la base funcionó por vez primera en Augusta (Alemania), el 10 de agosto de 1893. En conmemoración de dicho evento, el 10 de agosto se ha declarado "Día Internacional del Biodiésel". Diesel presentó su motor en la Exposición Mundial de París de 1898. Este motor es un ejemplo de la visión de Diesel, ya que era alimentado por aceite de cacahuete – un biocombustible, aunque no estrictamente biodiésel, puesto que no era transterificado.

Diesel quería que el uso de un combustible obtenido de la biomasa fuese el verdadero futuro de su motor. En un discurso de 1912, dice: “el uso de aceites vegetales para el combustible de los motores puede parecer insignificante hoy, pero tales aceites pueden convertirse, con el paso del tiempo, importantes en cuanto a sustitutos del petróleo y el carbón de nuestros días”. Durante los años veinte, los fabricantes de motores diésel adaptaron sus propulsores a la menor viscosidad del combustible fósil (gasóleo) frente al aceite vegetal. La industria petrolera amplió así su hueco en el mercado de los carburantes porque su producto era más económico de producir que la alternativa extraída de la biomasa. El resultado fue, por muchos años, la casi completa desaparición de producción de combustibles a partir de biomasa.

En 1970 el Biodiesel se desarrolla a partir de la crisis energética y el elevado costo del petróleo. En 1982 en Austria y Alemania se llevaron a cabo las primeras pruebas técnicas sobre este combustible de origen vegetal. En 1985 en Austria se construyó la primera planta piloto productora de Biodiesel a partir de semillas de colza.

Las recientes preocupaciones por el medio ambiente han provocado un resurgimiento de este combustible en todo el mundo. Las plantas para la producción de biodiesel son construidas por varias compañías en Europa principalmente en Austria, Bélgica, Francia, Alemania, Dinamarca e Italia, entre otros.

El biodiesel, obtenido a partir de materias primas renovables, es un combustible líquido no contaminante y biodegradable, que se utiliza en el sector del transporte urbano, minero, agrícola y marino, así como en calderas de calefacción, incorporándolo directamente o mezclado con diesel.

Actualmente es producido y utilizado en toda Europa y ha ido ganando popularidad mundial como energía renovable debido a sus muchas ventajas. Con el consumo de biodiesel se reduce el nivel de emisiones de CO₂, de sulfuros, el humo visible y los olores nocivos. Funciona normalmente en motores diesel sin modificar que pueden operar con biodiesel puro o mezclado con el petrodiesel o diesel de petróleo, consiguiendo así reducciones substanciales en las emisiones. Como su punto de inflamación es superior, la manipulación y el almacenamiento son más seguros que en el caso del combustible diesel convencional.

Capítulo 1. Antecedentes.

En este capítulo se definirá qué son los combustibles, cuáles son los combustibles líquidos derivados del petróleo y la problemática que actualmente presentan, así mismo, se muestran a los biocombustibles como una alternativa a estos.

1.1 Combustibles.

Los combustibles son de gran importancia en la vida cotidiana del ser humano, se utilizan principalmente como sistemas generadores de energía, se usan para: obtener calor, generar electricidad o producir movimiento.

1.1.1 Definición de combustible.

Combustible es cualquier material capaz de liberar energía cuando se quema, y luego cambiar o transformar su estructura química. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable (por ser una reacción química, se conoce como energía química).

1.1.2 Características de los combustibles.

Las características de un combustible son las que nos van a determinar la posibilidad de utilizar esa sustancia en un momento determinado. Una de las propiedades que más interesa de un combustible es su poder calorífico.

1.1.2.1 Poder Calorífico.

Cantidad de calor generado al quemar una unidad de masa del material considerado como combustible. El poder calorífico está relacionado con la naturaleza del producto. Expresado en Kcal/Kg Kcal/m³ Kcal/mol Kcal/l.

Tabla 1. Comparación de poderes caloríficos.

FUENTE	DENSIDAD Kg/lt	PODER CALORIFICO INFERIOR		PODER CALORIFICO SUPERIOR	
		kcal/lt	kcal/kg	kcal/lt	kcal/kg
Carbón Mineral	-	-	5.90	-	7.50
Coque	-	-	6.80	-	7.50
Petróleo Crudo	0,88	8.85	10.00	9.29	10.50
Naftas	0,73	7.60	10.35	8.23	11.20
Kerosene y Comb. Jets	0,80	8.32	10.30	8.94	11.07
Gas Oil	0,84	8.61	10.20	9.21	10.90
Diesel Oil	0,88	8.80	10.00	9.41	10.70
Fuel Oil	0,94	9.26	9.80	9.92	10.50
Mezcla 70-30	0,91	8.99	9.88	9.63	10.59
Gas Natural	-	8.30	-	9.30	-
Gasolina	0,56	6.18	10.90	6.73	11.87
Gas Licuado	0,53	-	10.95	6.41	11.95

Existen dos clases de poder calorífico: el Poder Calorífico Inferior (PCI) y el Poder Calorífico Superior (PCS)

PCS: Es el poder calorífico superior o total. Es la cantidad de calor desprendida en la combustión de un Kg de combustible cuando se incluye el calor de condensación del agua que se desprende en la combustión

PCI: Es el poder calorífico inferior o neto. Es el calor desprendido en la combustión de 1 Kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión no condensa. Cuando el combustible no tiene H, entonces no es posible la formación de agua y esto implicará que PCS=PCI

Otras propiedades de los combustibles son:

1.1.2.2 Temperatura de Ignición

Temperatura mínima a la que debe ser calentado un material en el aire, para que en ella se pueda iniciar y mantener una combustión independiente de la fuente de calor. Este parámetro también se conoce como temperatura de auto ignición.

1.1.2.3 Temperatura de Inflamación:

Temperatura mínima a la cual el material se gasifica, es decir comienza a emitir vapores que pueden inflamarse ante una fuente de calor, este parámetro presenta especial importancia en combustibles líquidos.

1.1.2.4 Residuos de Combustión

Es lo que no arde en un combustible. Son de dos clases, según la fase en la cual se encuentren:

- Gaseosos: Están en el seno de los humos o gases que se desprenden de los combustibles
- Sólidos: Cenizas o escorias

1.1.3 Clasificación de los combustibles.

Los combustibles se pueden clasificar según su *origen, grado de preparación, estado de agregación.*

Origen:

- *Fósiles*: Proceden de la fermentación de los seres vivos.
- *No fósiles*: Materiales encontrados en la naturaleza o sintetizados que generan energía al quemarse.

Grado de Preparación:

- *Naturales*: Se utilizan tal y como aparecen en su origen
- *Elaborados*: Antes de ser consumidos se someten a determinados procesos de transformación

Estado de Agregación:

- **Sólidos.** *Naturales*: Madera y residuos vegetales, Hullas.
Artificiales: Coque, Carbón vegetal.
- **Líquidos.** *Derivados del petróleo*: Gasolinas (C₄-C₁₀), keroseno(C₁₀-C₁₄), gasóleos (C₁₅-C₁₈), Fuel-oil (>18C)
Residuales
- **Gaseosos.** *Gas natural.*
Gases licuados de petróleo: Propano y Butano.
Gases artificiales: Gas de agua, gas de horno alto.

1.1.3.1 Análisis químicos para los combustibles líquidos.

Volatilidad

La *volatilidad* se estudia de acuerdo a la curva de destilación ASTM. La volatilidad se define como la tendencia a pasar a fase vapor en condiciones determinadas. Es necesario conocer:

IBP (PIE): punto inicial de ebullición

PFE: punto final de ebullición

Punto en el que se recoge: 10% destilado, 20% destilado y 50% destilado

% total de residuo

% total pérdidas

El estudio de la curva de destilación nos dice cómo se va a comportar el combustible, cuando lo metamos en un motor.

Estabilidad al almacenamiento

Se evalúa por la tendencia que presentan los combustibles líquidos a formar *gomas*. Las gomas son residuos que se forman durante el almacenamiento cuando parte de sus componentes se han evaporado. Esta evaporación ha transcurrido en contacto con aire y con metales. Estas gomas corresponden a compuestos originales por la oxidación y polimerización de las olefinas (Olefinas=alquenos, parafinas=alcanos) y de las gasolinas. Los problemas que pueden originar estos residuos pueden estar en el *sistema de combustible* o en el *motor*:

Las gomas se clasifican en:

Actuales: Son aquellas que están presentes en un momento dado. Pueden dar residuos en el sistema de inducción. Se trata de ver cómo se evapora la gasolina cuando hacemos incidir sobre ella agua recalentada a 160°C

Potenciales: Igual que las actuales, pero en condiciones oxidantes

Tanto las gomas actuales como las potenciales deben estar limitadas para evitar problemas.

Octanaje

Es la medida de la tendencia de la gasolina a la *detonación* (sonido metálico que percibimos acompañado de recalentamiento, pérdida de potencia). Nos sirve el octanaje para *clasificar* las gasolinas. Para medirlo se usa un motor de dimensiones especificadas, mono cilíndrico, en el que se puede variar su relación de compresión. La escala empleada para la medida del octanaje es totalmente arbitraria pero con dos puntos de referencia:

Comportamiento del hepteno: índice 0

Comportamiento del iso-octano: índice 100

El nº de octano es el porcentaje de *iso-octano* en una mezcla de heptano e iso-octano que presenta las mismas características detonantes que el combustible que estemos ensayando.

Existen dos procedimientos para medir el índice octano:

Método Motor D-2700: Se mide el comportamiento de un motor a 'gran' velocidad

Método Research D-2699: Se mide el comportamiento de un motor a baja velocidad

Para las gasolinas de automoción hay tres números de octano:

NOM: Número de octano MOTOR

NOR: Número de octano RESEARCH

RON (RDON): Número de octano en carretera

Como son todas escalas arbitrarias no coinciden los valores entre ellas. Sin embargo, existen relaciones entre las distintas escalas. Se han definido las siguientes magnitudes:

Sensibilidad: $S = \text{NOM} - \text{NOR}$

Depreciación en carretera: $D = \text{RDON} - \text{NOR}$

El análisis de número de octano RON esto se lleva a cabo con una máquina motor, donde se tiene un patrón inicial el cual se diseña con un ISO-OCTANO patrón de 100 octanos y se mezcla con otro y se lleva al octano patrón deseado. Y con esto se compara.

Otro método es con los instrumentos portátiles que trabajan con sensores son equipos electroquímicos portátiles pero tienen un rango de error alto, estos funcionan previa programación. No son exactos solo son indicadores de octano aproximados.

El ensayo de la destilación también es muy empleado en los análisis sobre todo el punto inicial de destilación (la primera gota que cae en este ensayo recuperado al 50% de la muestra y punto final cuando ya se destiló toda la muestra ejemplo 98% por que el resto se perdió por volatilidad u otro.

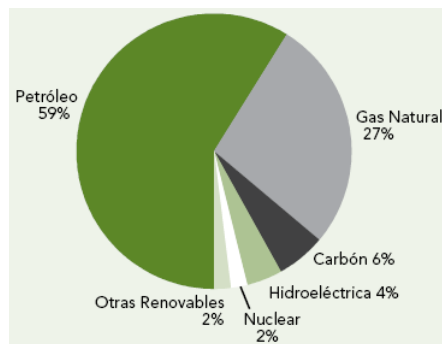
Gravedad API es la expresión similar a la densidad, es una unidad de densidad aparente que tiene un rango apropiado, determina la calidad EL NUMERO DE OCTANO Y LA DESTILACIÓN

1.2 El petróleo. Principal fuente de obtención de combustibles.

El petróleo es esencialmente una mezcla de hidrocarburos, y aún los elementos no hidrocarbonados, están generalmente presentes como componentes de moléculas complejas de carácter predominantemente hidrocarbonado, pero conteniendo pequeñas cantidades de oxígeno, azufre, nitrógeno, vanadio, níquel y cromo.

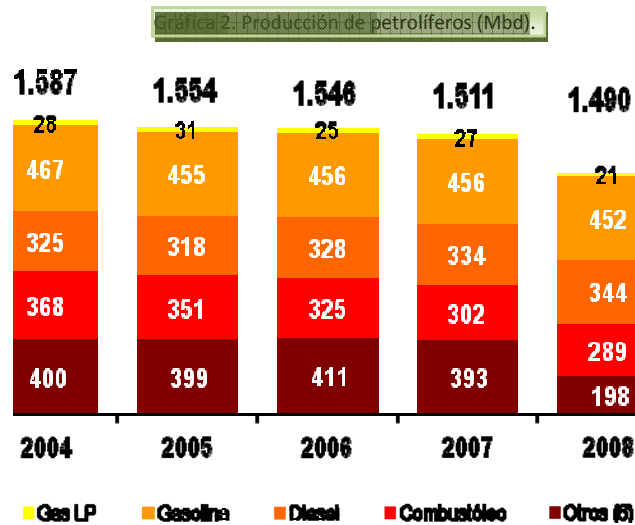
En la siguiente gráfica se observa que el petróleo es el energético más importante; un recurso natural no renovable que aporta el mayor porcentaje del total de la energía.

Gráfica 1. Consumo total de energía en México por tipo (2009).



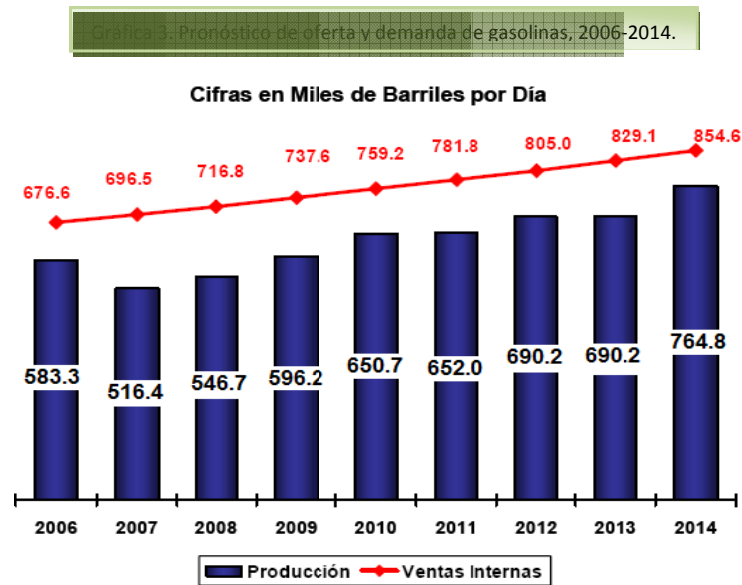
Fuente: PEMEX producción.

El petróleo no se usa como se extrae de la naturaleza, sino que se separa en mezclas más simples de hidrocarburos que tienen usos específicos, los principales se observan en la siguiente gráfica.



Fuente: Reportes trimestrales de PEMEX producción.

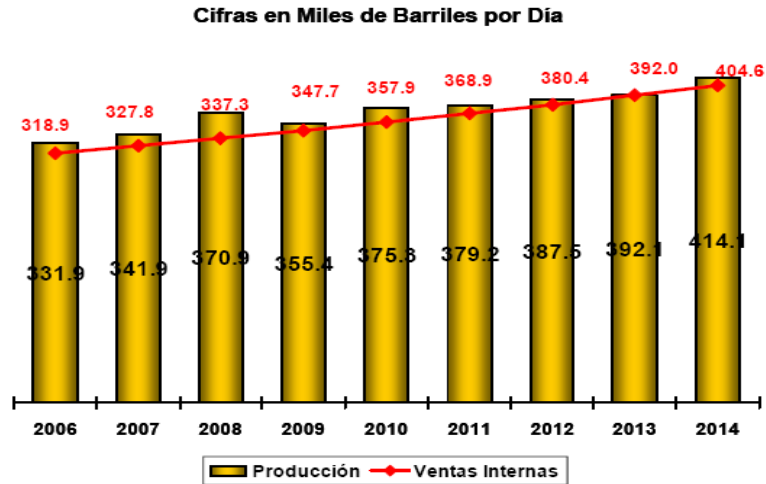
1.2.1 Demanda de combustibles en México.



Fuente: Pemex refinación, Subdirección de Planeación, Evaluación y Coordinación.

Gráfica 4. Pronóstico de oferta y demanda de diesel, 2006-2014

Fuente: Pemex refinación, Subdirección de Planeación, Evaluación y Coordinación.



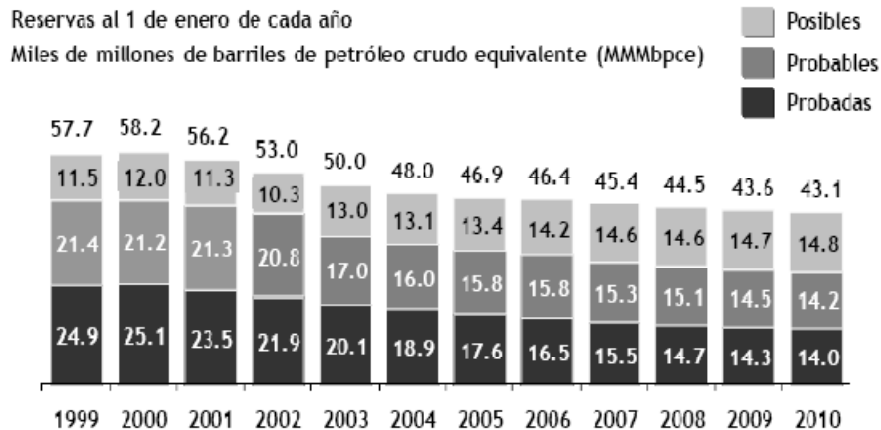
1.3 Problemática actual de los combustibles derivados de hidrocarburos.

Las perspectivas energéticas y ambientales del planeta están bajo una intensa presión, el petróleo un recurso no renovable se agota conforme se usa y el uso de los derivados del petróleo representa un problema ambiental, lo cual se tratará en este apartado.

1.3.1 Reservas de petróleo.

Geólogos expertos en petróleo y fuentes de energía han dado la voz de alarma hace ya algunos años. La explotación de petróleo está a punto de llegar a su cenit. Esto es, al punto de producción máxima. Una vez alcanzado este punto, la producción de petróleo comenzará a declinar todos los años en un gran porcentaje.

Gráfica 5. Evolución de las reservas de petróleo en México.



Fuente: Reporte anual de PEMEX.

Al agotarse la mezcla de hidrocarburos, se estaría agotando nuestra principal fuente de materia prima de los combustibles, lo cual crearía un caos total, de ahí la importancia de crear combustibles alternativos.

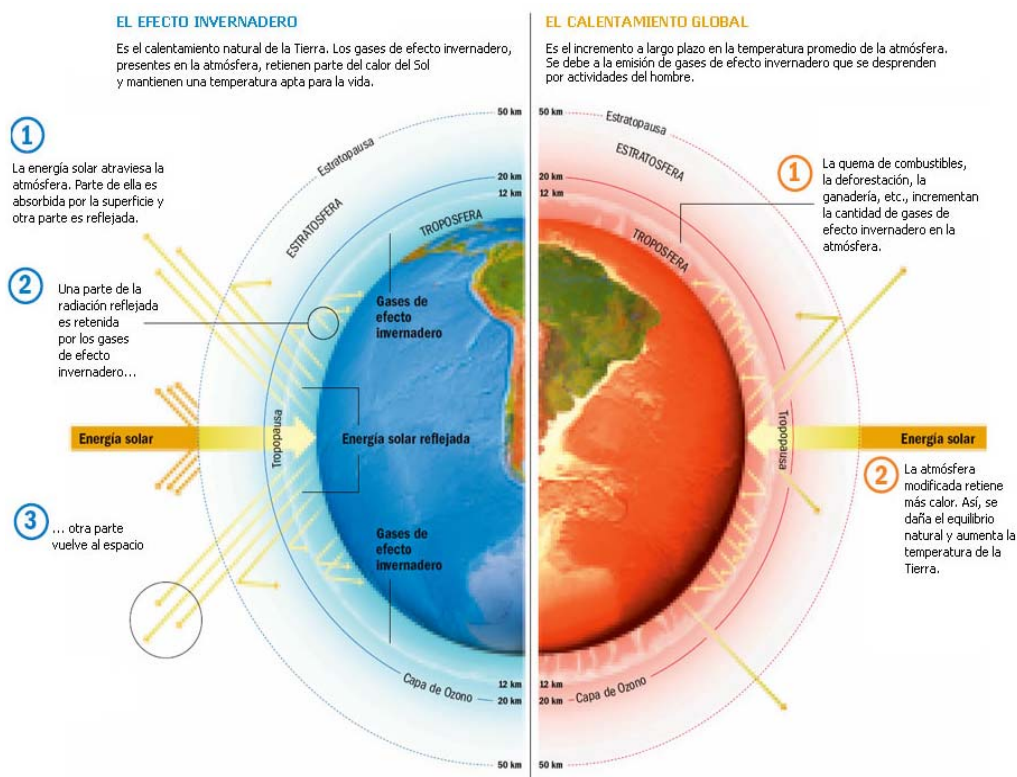
1.3.2 Efectos ambientales.

Aunque el cambio climático es un fenómeno global, recordemos que la inmensa mayoría del consumo en México, particularmente en el transporte, depende de los hidrocarburos.

La combustión de los derivados del petróleo produce productos residuales: partículas, CO₂, SO_n (óxidos de azufre), NO_x (óxidos nitrosos), etc. Lo cual ocasiona un incremento en la temperatura global del planeta. Ello implica fenómenos meteorológicos mucho más intensos, por lo que los escenarios de huracanes, deshielo en los polos e inundación de amplias zonas de la plataforma continental deben ser considerados en los planes y programas de desarrollo de combustibles alternos a fin de mitigar sus efectos.

En la siguiente imagen se explican los principales problemas ambientales que ocasiona el uso de combustibles derivados del petróleo.

Ilustración 1. Efecto invernadero y calentamiento global.



1.4 Conclusión de capítulo.

Como se ha mencionado en el capítulo, los combustibles son indispensables en la vida cotidiana y su fuente principal de obtención son los hidrocarburos.

En el mundo se vive una problemática debido a las reservas/uso del petróleo, en el año 2000 las reservas probadas en México eran de 25.1 MMMbpce (Miles de millones de petróleo crudo equivalente) de las cuales hemos gastado el 55.77% contando actualmente con 14 MMMbpce, las reservas se agotan notablemente y la demanda de combustibles como gasolina y diesel incrementan. En el país la demanda de gasolina en 2010 a incrementado 12.2% respecto al 2006, mientras que el diesel ha incrementado 15.6% para el mismo periodo, lo cual nos muestra claramente la urgencia de encontrar una fuente de suministro de combustibles.

Hoy en día nos vemos en la necesidad de analizar y mejorar las alternativas de obtención con la finalidad de encontrar un combustible viable, económico y amable con el ambiente, siendo este último un tema de gran importancia que atañe al mundo entero, ya que actualmente estamos sufriendo las consecuencias del mal uso y control de los recursos naturales así como de los contaminantes que generamos al producir/usar combustibles. Los principales problemas que buscamos aminorar con la alternativa de obtención de combustibles son los efectos climáticos generados por el efecto invernadero y el daño a la capa de ozono así como los efectos nocivos que estos representan para los seres vivos.

En el siguiente capítulo se presenta una alternativa de generación energía a través de los biocombustibles, los cuales no incrementan las emisiones netas de CO₂, ya que las plantas absorben el CO₂ generado por la combustión de estos.

Capítulo 2. Biocombustibles: una alternativa.

En este capítulo se presentan las características y tipos de biocombustibles, siendo el bioetanol, biogás y biodiesel los principales integrantes de este grupo. Así mismo presentamos al biodiesel como una propuesta viable para sustituir el diesel basándonos en las ventajas y desventajas que presenta el biocombustible frente al combustible fósil.

Mencionaremos la situación política nacional e internacional en tema de biocombustibles, siendo este un factor muy importante para la producción/comercialización del biodiesel.

Los biocombustibles son portadores de energía que almacenan la energía derivada de la biomasa. Se puede utilizar una amplia gama de fuentes de biomasa para producir bioenergía en diversas formas. Por ejemplo, los alimentos, las fibras y los residuos de madera elaborada proveniente del sector industrial; los cultivos energéticos y los desechos agrícolas provenientes del sector de la agricultura, tanto como los residuos provenientes del sector forestal, se pueden usar para generar electricidad, calor, calor y energía combinados y otras formas de bioenergía.

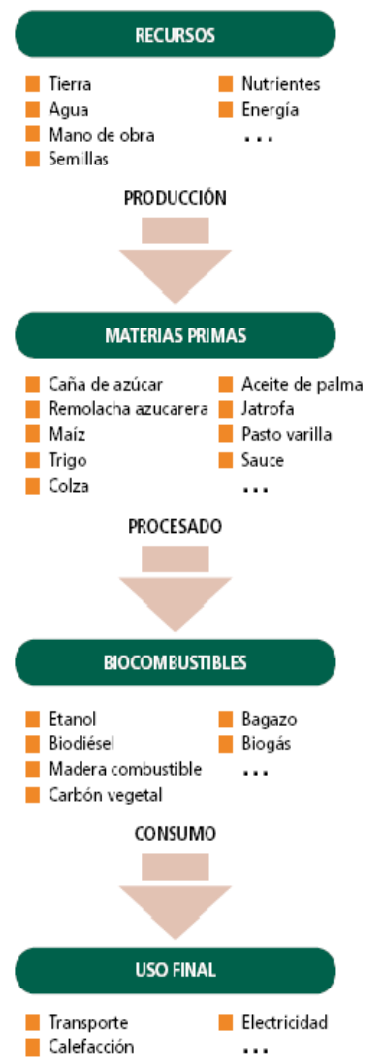
Los biocombustibles pueden reemplazar parcialmente a los combustibles fósiles. En comparación con otras energías alternativas, como la proporcionada por el hidrógeno, el reemplazo de los combustibles fósiles por biocombustibles en el sector de transporte carretero puede ser realizado con menores costos, debido a que no requieren grandes cambios en la tecnología actualmente utilizada, ni tampoco en el sistema de distribución. Utilizar otro tipo de energía, como la obtenida a través del hidrógeno, que se basa en una tecnología totalmente distinta, requeriría grandes cambios en el stock de capital. Esto no implica que se deban descartar nuevas fuentes de energía, sino que los biocombustibles serán los que tendrán más crecimiento en el corto plazo.

Tanto los combustibles fósiles como los biocombustibles, tienen origen biológico. Toda sustancia susceptible de ser oxidada puede otorgar energía. Si esta sustancia procede de plantas, al ser quemada devuelve a la atmósfera dióxido de carbono que la planta tomó del aire anteriormente. Las plantas, mediante la fotosíntesis, fijan energía solar y dióxido de carbono en moléculas orgánicas. El petróleo es energía proveniente de fotosíntesis realizada hace millones de años concentrada. Al provenir de plantas de hace millones de años, su cantidad es limitada.

2.1 Biocombustibles. Tipos y características.

Los biocombustibles son recursos energéticos procesados por el ser humano a partir de materias producidas recientemente por seres vivos, a las cuales se les denomina “biomasa”. Pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos, y su finalidad última es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante una reacción de combustión. Existen varios tipos de biocombustibles, a los cuales se les clasifica de acuerdo al insumo o materia prima y a la tecnología empleada para producirlos. Debido a los avances en la tecnología, esta clasificación se realiza por generaciones.

Ilustración 2. Biocombustibles: desde la materia prima hasta el uso final.



Fuente: FAO.

Primera generación.

Algunos de los insumos son de procedencia agrícola y están conformados por las partes alimenticias de las plantas, las cuales tienen un alto contenido de almidón, azúcares y aceites. Ejemplos de estas materias son el jugo de la caña de azúcar, granos de maíz, jugo de betabel, aceite de semilla de girasol, aceite de soya, aceite de palma, aceite de ricino, aceite de semilla de algodón, aceite de coco, aceite de maní o cacahuate, entre otros. También se emplean como insumos a las grasas animales, grasas y aceites de desecho provenientes de la cocción y elaboración de alimentos, y desperdicios sólidos orgánicos.

Los biocombustibles son producidos empleando tecnología convencional como la fermentación (para azúcares y carbohidratos), transesterificación (para los aceites y grasas), y la digestión anaerobia (para los desperdicios orgánicos). De estos procesos se obtiene etanol, metanol y n-butanol (a partir de azúcares), biodiesel (a partir de los aceites), y biogás (mezcla de metano y anhídrido carbónico, también conocidos como gas natural y dióxido de carbono respectivamente, obtenida a partir de los desperdicios orgánicos).

Las ventajas de estos biocombustibles son su facilidad de procesamiento, sus bajas emisiones de gases de efecto invernadero (excepto en el caso del maíz, donde el balance de estas emisiones es casi nulo) y un balance positivo en dichas emisiones, pero tiene como desventaja el desvío de recursos alimenticios hacia la producción de energéticos.

Segunda generación.

Los insumos son residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa. Ejemplos de ellos son el bagazo de la caña de azúcar, el rastrojo de maíz (tallo, hojas y olote), paja de trigo, aserrín, hojas y ramas secas de árboles, etcétera.

Los procesos de producción tienen un nivel de complejidad más alto que los de primera generación, y como ejemplos destacan la sacarificación-fermentación y el proceso Fischer-Tropsch. Este último proceso también recibe los nombres de proceso GTL y proceso BTL, cuyas siglas en inglés provienen de “Gas-To-Liquids” y “Biomass-To-Liquids” respectivamente, los cuales consisten en la gasificación del carbón y de la materia lignocelulósica de la biomasa, para después sintetizar algún combustible líquido como el etanol.

Mediante los procesos de segunda generación se fabrica etanol, metanol, gas de síntesis (mezcla de anhídrido carbonoso, mejor conocido como monóxido de carbono, e hidrógeno), biodiesel, 2,5-dimetilfurano (DMF), entre otros.

La ventaja principal en la producción de estos biocombustibles es la inexistencia de desviaciones de alimentos provenientes de la agricultura hacia el sector energético, pero su desventaja es la poca ganancia en disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el procesamiento de los insumos, respecto a los biocombustibles de primera generación.

Tercera generación.

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

Los procesos de obtención de biocombustibles se encuentran en fase de desarrollo, sin embargo, se ha logrado producir biodiesel y etanol a nivel planta piloto.

Las ventajas de estos biocombustibles son el secuestro de anhídrido carbónico (CO₂) para la producción de los insumos y un balance positivo en la emisión de gases de efecto invernadero, pero su desventaja es la utilización de tierras de cultivo de alimentos para sembrar los insumos, con excepción de las algas verdes.

Cuarta generación.

Los biocombustibles son producidos a partir de bacterias genéticamente modificadas, las cuales emplean anhídrido carbónico (CO₂) o alguna otra fuente de carbono para la obtención de los biocombustibles.

A diferencia de las generaciones anteriores, en las que también se pueden emplear bacterias y organismos genéticamente modificados como insumo o para realizar alguna parte de los procesos, en la cuarta generación, la bacteria es la que efectúa la totalidad del proceso de producción de los biocombustibles.

Actualmente esta generación de biocombustibles se encuentra en fase teórica, sólo se conoce la posible ruta de síntesis del etanol a partir de anhídrido carbónico, sin embargo, depende totalmente de la información genética de una bacteria artificial y puede tener limitaciones termodinámicas importantes.

Como es sabido, la humanidad ha hecho uso de la biomasa por varios miles de años. El uso directo de la misma sin procesamiento alguno podría constituir una Generación Cero de los biocombustibles, entre los cuales se pueden mencionar a la leña, la paja de trigo, el rastrojo de otras plantas de cultivo, el estiércol del ganado, y el carbón vegetal. No es sino hasta fines del siglo XIX que se comenzó a procesar la biomasa para producir combustibles derivados de la misma. A finales del siglo XX aparecieron los primeros mercados de estos recursos energéticos y se vislumbra un mayor crecimiento, desarrollo y expansión de los mismos tendiente a su globalización.

Los biocombustibles se pueden clasificar según la fuente y el tipo. Se derivan de productos forestales, agrícolas y pesqueros o desechos municipales, así como de subproductos y desechos de la agroindustria, la industria alimentaria y los servicios alimentarios.

Pueden ser:

- *sólidos*, como la leña, el carbón vegetal y los gránulos de madera
- *líquidos*, como el etanol, el biodiesel y el aceite de pirólisis
- *gaseosos*, como el biogás.

También se hace una distinción elemental entre biocombustibles *primarios* (sin elaborar) y *secundarios* (elaborados):

- **Los biocombustibles primarios**, como la leña, las astillas y los gránulos de madera son aquellos en los que el material orgánico se usa esencialmente en su forma natural (tal como se han recogido). Este tipo de biocombustible es de combustión directa y en general se usa para satisfacer la demanda de combustible para cocinar o generar calefacción o electricidad en aplicaciones industriales en pequeña y gran escala.
- **Los biocombustibles secundarios** en forma sólida (por ejemplo, el carbón vegetal), líquida (por ejemplo, el etanol, el biodiesel y el bio-petróleo), o gaseosa (por ejemplo, el biogás, el gas de síntesis y el hidrógeno) pueden usarse en un número mayor de aplicaciones, como el transporte y procesos industriales a altas temperaturas.

No todos los biocombustibles son iguales.

Los biocombustibles pueden marcar la diferencia a la hora de lograr los diferentes objetivos buscados. No obstante, no todos los biocombustibles actúan de igual modo en términos de su impacto sobre el clima, la seguridad energética y los ecosistemas. **Los impactos ambientales y sociales tienen que ser evaluados a lo largo de todo el ciclo de vida.**

2.2 Principales biocombustibles.

2.2.1 Bioetanol.

El bioetanol es un alcohol de origen vegetal que se produce a través de la fermentación de distintos tipos de materias primas tales como los cereales, maíz, trigo y cebada al igual que de cultivos con alto contenido en azúcares como la caña de azúcar o la remolacha. También se puede producir a partir de distintos compuestos lignocelulósicos como la paja, la madera o distintos residuos vegetales como el cañote del maíz o el bagazo.

El bioetanol se utiliza en mezclas con gasolina de forma directa o través de compuestos oxigenados como el ETBE (etil ter-butil éter). Su uso aumenta el número de octanos y promueve una mejor combustión, reduciendo las emisiones contaminantes por el tubo de escape, como monóxido de carbono, dióxido de carbono y distintos hidrocarburos. Del mismo modo contribuye al cumplimiento del Protocolo de Kioto al ser el CO₂ emitido de ciclo cerrado. La materia prima utilizada en la fabricación del bioetanol fija el CO₂ emitido en su combustión al realizar el proceso de la fotosíntesis, básico en el crecimiento de la planta.

2.2.2 Biogás.

El biogás es un gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metano génicas, etc.), y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico). El producto resultante está formado por metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y otros gases en menor proporción. Este gas se ha venido llamando gas de los pantanos, puesto que en ellos se produce una biodegradación de residuos vegetales semejante a la descrita.

En principio el biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. El gráfico que se encuentra a continuación resume las posibles aplicaciones.



2.2.3 Biodiesel.

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

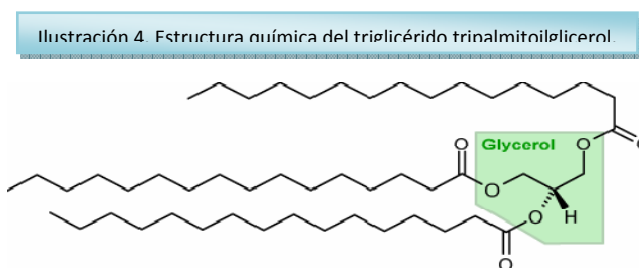
El biodiesel puede mezclarse con gasóleo procedente del refinado de petróleo en diferentes cantidades. Se utilizan notaciones abreviadas según el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla: B100 en caso de utilizar sólo biodiesel, u otras notaciones como B5, B15, B30 o B50, donde la numeración indica el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla.

2.3 Biodiesel, una propuesta viable vs Diesel.

2.3.1 Descripción química del biodiesel.

La American Standard for Testing and Materials (ASTM) define el biodiesel como una mezcla de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales y que se emplea en los motores de ignición de compresión (motores diesel) o en calderas de calefacción.

Un éster monoalquílico es el producto de la reacción de un alcohol de cadena abierta no ramificada, tal como metanol o etanol, con una grasa o un aceite (triglicéridos) para formar glicerol (glicerina) y los ésteres de ácidos grasos de cadena larga, comúnmente definido como biodiesel. Los mayores componentes de un aceite vegetal son los triglicéridos, también llamados "triacilglicéridos" en el caso de grasa animal. Los triglicéridos son ésteres de glicerol con ácidos de cadena larga, llamados usualmente ácidos grasos (fatty acids en inglés).



2.3.2 Propiedades del biodiesel

Su producción es renovable. En su proceso de producción primaria y elaboración industrial determina un balance de carbono menos contaminante que los combustibles fósiles.

Cumple con los requisitos EPA (Environmental Protection Agency), para los combustibles alternativos de emplearse puro o combinado con los combustibles fósiles en cualquier proporción. El biodiesel puede mezclarse con gasóleo procedente del refinado de petróleo en diferentes cantidades. Se utilizan notaciones abreviadas según el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla: **B100** en caso de utilizar sólo biodiesel, u otras notaciones como **B5**, **B15**, **B30** o **B50**, donde la numeración indica el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla.

Volcado al medioambiente se degrada más rápidamente que los petrocombustibles. No contiene azufre y por ende no genera emanaciones de SOx que son los responsables de la lluvia ácida.

Los derrames de este combustible en las aguas de ríos y mares resultan menos contaminantes y letales para la flora y fauna marina que los combustibles fósiles.

Tabla 2. Comparación de propiedades fisicoquímicas de biodiesel v diesel.

Datos físico - químicos	Biodiésel	Diesel
Composición combustible	Ester metílico ac. Grasos C ₁₂ - C ₂₂	Hidrocarburo C ₁₀ -C ₂₁
Poder calorífico inferior, kcal/kg (aprox.)	9500	10800
Viscosidad cinemática, cst (a 40°C)	3,5 - 5,0	3,0 - 4,5
Peso específico, g/cm ³	0,875 - 0,900	0,850
Azufre, % P	0	0,2
Punto ebullición, °C	190 - 340	180 - 335
Punto inflamación, °C	120 - 170	60- 80
Punto escurrimiento, °C	-15 / +16	-35 / -15
Número cetanos	48 - 60	46
Relación estequiométrica Aire/comb. p/p	13,8	15

2.3.3 Ventajas del biodiesel.

Numerosos estudios destacan los beneficios de usar biodiesel en vez de diesel, o por lo menos una mezcla de los dos. A continuación se dan las principales ventajas del biodiesel:

- ✓ Su fabricación necesita poca energía, esencialmente utilizada en los procesos de extracción, laboreo de las zonas agrícolas.
- ✓ Permite aumentar el número de cetano, o sea la capacidad del combustible en auto encenderse, produciendo una mejor combustión.
- ✓ Es un combustible biodegradable que se disuelve fácilmente en la naturaleza sin crear contaminación del ambiente, en caso de derrame accidental.
- ✓ Este combustible permite una reducción notable de las emisiones nocivas a la atmósfera.
- ✓ Tiene un balance neutro en CO₂ porque se consume por fotosíntesis el dióxido de carbono emitido en vegetales que se pueden usar para fabricar de nuevo biodiesel.
- ✓ La viscosidad cinemática es mayor, mejorando la capacidad del biodiesel a lubricar el motor.
- ✓ El contenido de azufre es casi nulo, permitiendo disminuir las emisiones de SO₂.
- ✓ Este nuevo combustible es fácil de implementar porque se puede usar en mezcla con diesel.
- ✓ Su mayor punto de ignición disminuye el peligro de explosión durante el almacenamiento.
- ✓ El Biodiesel es un combustible clase IIIB y como tal no tiene mayores requerimientos de protección contra incendios que con los del petróleo diesel que es clase II.
- ✓ No son necesarias modificaciones de la infraestructura de distribución (estaciones de servicio, transporte, etc.).

Vemos que el uso de biodiesel permite disminuir de manera importante las emisiones de monóxido de carbono CO y los hidrocarburos no quemados.

Cuanto más importante es la proporción de biodiesel en la mezcla con diesel, más grande es la baja de los contaminantes tradicionales.

2.3.4 Desventajas del biodiesel.

El biodiesel, a pesar de las mejoras que conlleva su uso en motores de combustión interna, presenta algunas desventajas que no se pueden despreciar:

- Las emisiones de óxidos de nitrógeno NOx aumentan, hasta un 10% cuando se usa biodiesel puro. Este compuesto participa en la creación del smog foto químico, pero se puede eliminar de manera eficiente con el uso de un catalizador.
- El biodiesel puro genera corrosión y es incompatible con algunos plásticos, por lo que se deben cambiar ciertas partes del motor para usarlo como B100.
No es necesario modificar el motor en su totalidad para que funcione con biodiesel, pero hay que hacer ajustes y comprobar algunas cosas, como retarda el tiempo de inyección dos o tres grados para compensar el hecho de que el biodiesel tiene mayor número de cetanos provocando que el combustible arda a menor temperatura y reduzca las emisiones de óxidos de nitrógeno. Al principio revisa regularmente los filtros del combustible ya que el biodiesel es un buen disolvente, el cual arrastrara la suciedad de estos.
Reemplazar las piezas de caucho natural del sistema de distribución por vitón (copolímero hecho de fluoruro de vinilideno y hexafluoropropileno).
- La glicerina presente en el compuesto final se debe purificar, con costo adicional, mediante un arrastre con vapor.
- Este combustible tiene problema de fluidez a bajas temperaturas. Tal característica impide su uso en ciertas regiones de clima difícil o la obligación de agregarle aditivos especiales.
- Su vida útil es inferior a 6 meses por su escasa estabilidad oxidativa, o sea que pierde su capacidad a oxidarse en el proceso de combustión en la cámara del motor.
- No se puede almacenar durante un tiempo largo y se debe vender rápidamente después de su fabricación.

2.3.5 Situación política internacional del biodiesel.

Estados Unidos de América

La producción anual de biodiesel en este país fue de aproximadamente 770 millones de litros en 2008.

La principal aplicación vehicular que se tiene del biodiesel en este país está en las flotas vehiculares del ejército así como de agencias gubernamentales, sin embargo los gobiernos estatales y el Ministerio de Energía han venido trabajando en expandir el mercado del biodiesel en base al reconocimiento que obtuvo el empleo de biodiesel (B100) como combustible alternativo. Entre los gobiernos estatales más activos en promover el uso del biodiesel se encuentra el de Minnesota; que a partir del año 2005 promovió un mandato para que el diesel destinado al autotransporte contenga un 2% de biodiesel.

Uno de los aspectos que ha permitido el crecimiento del mercado del biodiesel es establecimiento de **normas de calidad**; en diciembre de 2001 la Asociación Americana para la Evaluación y Materiales (ASTM) publicó una especificación para el biodiesel (D6751). Por su parte la Barra Nacional del Biodiesel estableció la Comisión Nacional para la Acreditación del Biodiesel para desarrollar e implementar un programa voluntario para la acreditación de productores y comercializadores de biodiesel.

Unión Europea

La Unión Europea es líder mundial en la producción y consumo de biodiesel, tan sólo en el año 2004 produjo alrededor de 2.2 billones de litros de biodiesel y donde los tres principales países productoras de este bioenergético son: Alemania (con 1.4 millones de toneladas), Francia (0.35 millones de toneladas) e Italia (0.32 millones de toneladas).

Alemania y Austria han concentrado sus esfuerzos a la promoción del B100, en contraste con el uso exclusivo de B5 en Francia. En Italia, la mitad de la producción de biodiesel es utilizada para emplearlo como aceite de calefacción y el resto para utilizarlo como mezcla B5.

Han sido dos factores que han permitido a la Unión Europea convertirse en los líderes en la producción de biodiesel. La primera tiene que ver con una Política Agrícola en Común (CAP) que está orientada a una política de cultivos de los miembros de la Unión Europea en donde se promovió el subsidio a los productores de granos, oleaginosas y cultivos proteínicos que dedicaran un 10% de sus tierras para la producción de insumos para obtener el biodiesel.

El segundo factor son los altos impuestos en los combustibles, que han permitido establecer subsidios directos a los biocombustibles a partir de una parcial o total exención de impuestos, tan sólo en el año de 1994 el Parlamento Europeo exento en un 90% los impuestos al biodiesel, en Alemania el biodiesel está exento al 100% de impuestos.

Con la finalidad de promover la aceptación tanto de consumidores como de fabricantes de automóviles, en 1993 las autoridades de Alemania presentaron la norma de aseguramiento de calidad del biodiesel DIN 51606 que reemplazó a la EN 14214 publicada por el Comité Europeo de Normalización. Es preciso mencionar que desde el origen de la industria del biodiesel ha trabajado conjuntamente con la industria automotriz.

2.3.6 Situación política del biodiesel en México.

México

En México se tiene muy poca experiencia con el uso del biodiesel, dentro de los proyectos de biodiesel destaca el de la planta de biodiesel de Grupo Energéticos en Cadereyta, Nuevo León que produce este biocombustible a partir de aceites y grasas recicladas de la cafetería del Instituto Tecnológico de Monterrey, la producción de ésta planta es de 300 m³ al mes, aunque según su directivo puede llegar a los 600 m³ al mes. Con esta producción se abastece de una mezcla B20 a un autobús de transporte de personal, así como a dos vehículos compactos propiedad del Instituto.

Otro proyecto es el de la Universidad Vasconcelos de Oaxaca, en el que producen una mezcla B20 a partir de aceites vegetales de desecho, en la etapa demostrativa se tiene una producción de 3.6 m³ al mes de biodiesel el cual es consumido por un autobús propiedad de la Universidad.

Según el estudio “Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México” menciona que una alternativa para la introducción y empleo de biodiesel en México se puede basar en materias primas de bajo costo, como es el caso de los aceites y grasas recicladas. Y que a un mediano plazo se requerirán esquemas de incentivos para llegar a una meta de sustituir de entre el 2% al 5% del diesel de petróleo (año 2012), para lo cual se requieren entre otras cosas: el aumento significativo de los cultivos oleaginosos, la instalación de 10 plantas industriales con una capacidad de 100 000t/año o más de 140 plantas pequeñas con una capacidad de 5 000 t/año, así como inversiones de alrededor de \$3,100 millones de pesos.

Legislación existente.

Actualmente en México no se cuenta con un marco legal que permita el empleo de biodiesel como combustible en los vehículos automotores, así como el correspondiente que permita normar la calidad y su comercialización.

Uno de los primeros pasos se dio recientemente con la aprobación de la **Ley para el Desarrollo y Promoción de los Bioenergéticos** y que según sus desarrolladores, permitirá impulsar la agroindustria para la producción de etanol, biodiesel y otros biocombustibles como alternativa para contar con la autosuficiencia energética a través de fuentes renovables.

Sin embargo, en ésta no se especifican claramente los mecanismos financieros y fiscales que se utilizarán para detonar y mantener el mercado. Asimismo en esta ley no se contempla la obtención de biodiesel a partir de grasas animales y desechos de aceites vegetales.

Otro instrumento que está en discusión entre los legisladores es la **Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía**, en la cual se pretende cubrir un amplio abanico de diversas fuentes de energía renovables y su posible aplicación (electricidad, térmico, mecánicas, biocombustibles, etc.), de forma compatible con atribuciones de planeación energética del sector. Dentro de esta ley se propone un programa con metas de penetración de las energías renovables (incluyendo el etanol y el biodiesel para su uso en el transporte), compatible con un crecimiento de la oferta energética nacional.

2.4 Conclusión de capítulo.

Los biocombustibles pueden reemplazar a los combustibles fósiles. En comparación con otras energías alternativas, como la proporcionada por el hidrógeno, el reemplazo de los combustibles fósiles por biocombustibles en el sector de transporte carretero puede ser realizado con menores costos, debido a que no requieren grandes cambios en la tecnología actualmente utilizada, ni tampoco en el sistema de distribución. Utilizar otro tipo de energía, como la obtenida a través del hidrógeno, que se basa en una tecnología totalmente distinta, requeriría grandes inversiones. Esto no implica que se deban descartar nuevas fuentes de energía, sino que los biocombustibles serán los que tendrán más crecimiento en el corto plazo.

Al pretender disminuir-sustituir la dependencia de los combustibles fósiles y lograr mayor seguridad energética ha surgido un gran interés por los biocombustibles. Como vimos en el capítulo, existen diversas ventajas de los biocombustibles con respecto al diesel, como la menor contaminación ambiental, la sustentabilidad de los mismos y las oportunidades para sectores rurales.

El biodiesel, es un combustible líquido con bajas emisiones contaminantes, las cuales se pueden eliminar con el uso de un catalizador, es un producto biodegradable que se utiliza en diversas ramas del transporte como el urbano, minero y agrícola. Con su consumo se reduce el nivel de emisiones de CO₂, de sulfuros, el humo visible y los olores nocivos. Como su punto de inflamación es superior, la manipulación y el almacenamiento son más seguros que en el caso del combustible diesel convencional.

Hemos establecido al biodiesel como una alternativa viable para reemplazar a los combustibles pétreos siendo el único combustible alternativo que puede usarse directamente en cualquier motor diesel, sin modificaciones extremas ya que se está comentado que es corrosivo y que hay cambios en materiales del motor. Como sus propiedades son similares al diesel, se pueden mezclar en cualquier proporción, sin ningún tipo de problema, de acuerdo a estándares internacionales.

Al analizar las emisiones de gases de efecto invernadero, el cambio de uso de los terrenos, el agua y la biodiversidad se encontró que la mejor opción es la elaboración de biodiesel.

En el siguiente capítulo hablaremos de los procesos de obtención de este biocombustible.

Capítulo 3. Fabricación de biodiesel.

Este capítulo presenta el tratamiento de los mecanismos de fabricación de biodiesel del punto de vista químico así como industrial con el detalle de los procesos utilizados en la fabricación industrial a nivel mundial. Expone un panorama de los procesos ocupados de manera general con el fin de elegir la tecnología adecuada a nuestras necesidades presentes y futuros requerimientos en base a la demanda y/o posibles nuevas materias primas, insumos, etc.

En este punto se incluye el proceso general de transesterificación y de esterificación. Separándolos en procesos discontinuos y continuos.

Aunque estos procesos tienen varios puntos comunes, existen múltiples opciones de operación viables para la fabricación de biodiesel. Muchas de estas tecnologías pueden ser combinadas de diferentes maneras variando las condiciones del proceso y la alimentación del mismo.

3.1 Procesos de fabricación de biodiesel.

En la actualidad existen varias formas de obtención de biodiesel, sin embargo las fuentes más importantes son:

- Transesterificación básica catalizada.
- Esterificación ácida catalizada.

Aunque la transesterificación es la reacción más utilizada a nivel mundial, los otros procesos se proponen para tratar aceites que contienen mayor porcentaje de ácidos grasos.

La mayoría de los procesos para fabricar biodiesel utiliza un catalizador para iniciar la reacción. Su uso es necesario porque el alcohol es escasamente soluble en la fase aceitosa. El catalizador crea un aumento de la solubilidad para permitir que la reacción se desarrolle a velocidad razonable.

3.1.1 Transesterificación.

La transesterificación se basa en la reacción de moléculas de triglicéridos con alcoholes de bajo peso molecular para producir ésteres y glicerina.

El contenido máximo de ácidos grasos libres aceptable con el proceso de transesterificación es de 2%, lo mejor siendo inferior a 1%.

3.1.1.1 Reacción y mecanismo de reacción de transesterificación.

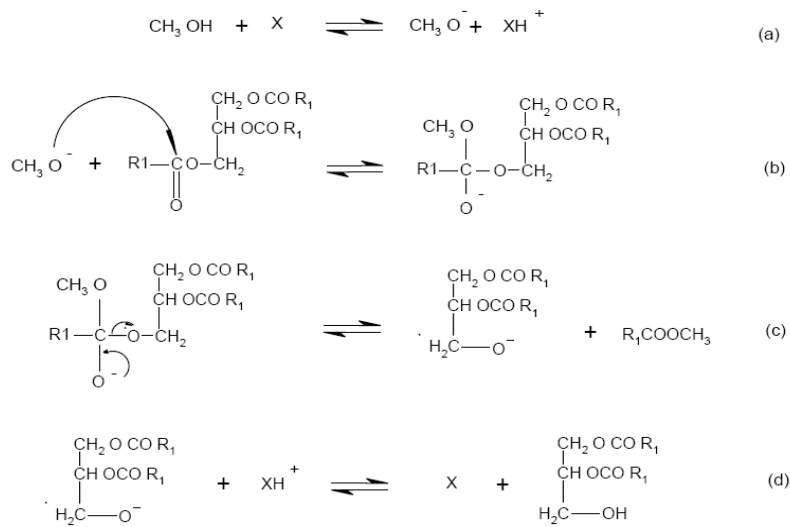
En la siguiente figura se explica químicamente el proceso de transformación de una de las tres cadenas ácida de un triglicérido, el componente principal de un aceite vegetal, en un metil-éster (biodiesel).

En el paso (a) de la reacción el alcohol (CH_3OH) reacciona con el catalizador básico. R1 es el grupo alquilo que forma parte de la cadena del ácido graso del triglicérido. En el paso (b) el radical cargado negativamente (CH_3O^-) reacciona con el doble enlace del grupo carbonilo del triglicérido. En el paso (c) se forma una molécula del éster alquílico (R1COO CH_3) – en nuestro caso específico se trata del metil éster. En el paso (d) se regenera el catalizador formándose un diglicérido. Los pasos (a) al (d) se repiten hasta la desaparición del triglicérido con la formación del monoalquil éster y glicerina como productos finales.

La reacción de transesterificación se desarrolla en una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3 a 1, reaccionando en la metanólisis 1 mol de triglicérido con 3 moles de alcohol (aunque se añade una cantidad adicional de alcohol para desplazar la reacción hacia la formación del éster metílico). Además, la formación de la

base de la glicerina, inmisible con los esteres metílicos, juega un papel importante en el desplazamiento de la reacción hacia la derecha, alcanzándose conversiones cercanas al 100%.

Ilustración 5. Mecanismo de reacción de transesterificación



R1 = radicales alquilo, X = catalizador

Para resumir, se puede añadir que en la transesterificación tienen lugar tres reacciones reversibles y consecutivas:

Ilustración 6. Reacciones de transesterificación.



El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado.

En la reacción de transesterificación se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final. Es importante destacar que sin él, no sería posible esta reacción.

Los catalizadores pueden ser:

- Ácidos homogéneos (H_2SO_4 , HCl, H_3PO_4).
- Ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sinfónicas, SO_4/ZrO_2 , WO_3/ZrO_2).
- Básicos heterogéneos (MgO, CaO, Na/NaOH/ Al_2O_3).
- Básicos homogéneos (KOH, NaOH).
- Enzimáticos (Lipasas: Candida, Penicillium, Pseudomonas).

De todos ellos, los catalizadores que se suelen utilizar a escala comercial son los catalizadores homogéneos básicos ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas.

En el caso de la reacción de transesterificación, cuando se utiliza un catalizador ácido se requieren condiciones de temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos, lo que limita su interés.

Sin embargo, la utilización de álcalis, que como se ha comentado es la opción más utilizada a escala industrial, implica que los glicéridos y el alcohol deben ser anhidros (<0,06 % v/v) para evitar que se produzca la saponificación. Además, los triglicéridos deben tener una baja proporción de ácidos grasos libres (AGL) para evitar que se neutralicen con el catalizador y se formen también jabones.

De esta manera las reacciones secundarias no deseadas que se pueden dar son las siguientes:

- ✓ Reacción de saponificación.
- ✓ Reacción de neutralización de Ácidos grasos libres (AGL).

3.1.1.2 Transesterificación con catálisis básica.

La transesterificación alcalina catalizada es el proceso más simple y más utilizado para fabricar biodiesel. Sin embargo, requiere de un aceite con bajo contenido de ácidos grasos libres, agua y otras impurezas, o de procesos adicionales de pre tratamiento de la materia prima para asegurar esta calidad. Además, requiere de pasos posteriores de postratamiento del biodiesel para reducir su contenido de impurezas procedentes del proceso, principalmente restos de catalizador, y de postratamiento de la glicerina para purificarla parcialmente e incrementar su valor de mercado. Es por esto que otros procesos han sido desarrollados para aceites menos puros, para mejorar el rendimiento de la transesterificación, o para intentar acelerarla, pero sin embargo su uso aún no está generalizado.

Casi la totalidad de los metil ésteres que se producen en la actualidad se hacen con el método de **transesterificación álcali-catalizada**, porque este método es el más económico:

- ✓ Proceso con baja temperatura (60-70°C) y presión (1,3 bar).
- ✓ Gran rendimiento de conversión (98%) con reacciones laterales mínimas.
- ✓ Tiempo de reacción corto.
- ✓ La conversión en metil éster es directa, sin pasos intermedios
- ✓ No se necesitan materiales de construcción caros.

La catálisis básica es relativamente rápida porque el tiempo de residencia suele ser de 5 minutos a 1 hora, según la temperatura, la concentración, etc.

Los catalizadores que se ocupan en esta reacción usualmente son el hidróxido de sodio (NaOH), el hidróxido de potasio (KOH) y el metóxido de sodio (obtenido por mezcla del metanol con NaOH).

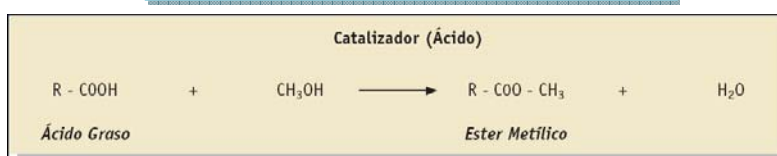
3.1.2 Esterificación ácida catalizada.

Aunque los catalizadores ácidos pueden ser utilizados para transesterificación, se considera generalmente que son demasiado lentos para una fabricación industrial de biodiesel.

Los sistemas con catálisis ácida se caracterizan entonces por una velocidad de reacción baja y un requerimiento de relación alcohol: triglicérido alto (20:1 y más).

Por esta razón, la reacción con catálisis ácida se utiliza más comúnmente para la esterificación de ácidos grasos libres (AGL) a ésteres o para convertir jabones a ésteres, siendo una etapa de pre-tratamiento de materia base con alto contenido de AGL.

Ilustración 7. Reacción de esterificación ácida catalizada.



De este modo, este proceso se combina con la transesterificación de manera a aprovechar el subproducto de ácidos grasos y producir asimismo biodiesel. Dada la importancia de los ésteres se han desarrollado numerosos procesos para obtenerlos. El más común es el calentamiento de una mezcla del alcohol y del ácido correspondiente con ácido sulfúrico, utilizando el reactivo más económico en exceso para aumentar el rendimiento y desplazar el equilibrio hacia la derecha (esterificación de Fischer).

Los catalizadores ácidos incluyen el ácido sulfúrico y el ácido fosfórico. El tiempo de residencia de la mezcla en el reactor puede variar de 10 min a 2 horas. Al usar ácido sulfúrico, este sirve tanto de catalizador como de sustancia higroscópica que absorbe el agua formada en la reacción. A veces es sustituido por ácido fosfórico concentrado. En la práctica este procedimiento tiene varios inconvenientes. El alcohol puede sufrir reacciones de eliminación formando olefinas, esterificación con el propio ácido sulfúrico o de formación del éter, y el ácido orgánico puede sufrir decarboxilación.

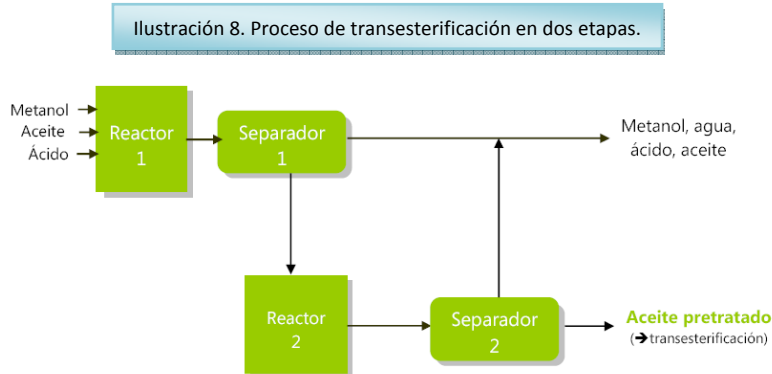
Este proceso tiene varias características generales:

- puede ser en lote o continuo
- la temperatura es de 200 a 250°C y las presiones superiores a 10 bar.
- necesita un retiro continuo del agua (porque esta inhibe el catalizador)
- se necesita aceros resistentes al ácido
- el rendimiento alcanza 99% en sistemas de contra corriente

La catálisis ácida no se utiliza en el proceso industrial de transesterificación por ser lento e intensivo en consumo de energía (para calentar y presurizar la mezcla).

Los sistemas de esterificación producen agua como co-producto. El ácido necesitara neutralización cuando se termine el proceso, pero se puede hacer al agregar el catalizador básico en el proceso siguiente de transesterificación de los triglicéridos restantes en la mezcla de aceite con biodiesel (después de este pre-tratamiento por esterificación).

Las etapas de este proceso son relativamente sencillas. Se mezcla primero el aceite de alto contenido en AGL, el metanol y el ácido en un reactor. Después de la reacción, se debe separar la capa de aceite de bajo AGL y éster de la capa de ácido, metanol y agua. El agua se extrae generalmente por un proceso de evaporación, llevando el alcohol al mismo tiempo. Como en el caso de transesterificación, se puede hacer este proceso en dos etapas para llegar a un mejor rendimiento, como se observa en la siguiente figura.



Después de esta esterificación, el aceite tratado para eliminar los AGL se puede transesterificar para convertir los triglicéridos en biodiesel. La mezcla (agua, jabones y aceite) es secada, saponificada y esterificada con metanol utilizando como catalizador un ácido inorgánico. El proceso necesita un gran exceso de alcohol y el costo de recuperación de este alcohol determina la factibilidad de este proceso.

3.2 Procesos industriales para la producción de biodiesel.

Tal y como se ha comentado en el apartado de reacciones anterior, químicamente, la transesterificación –proceso industrial utilizado en su producción- consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado. Todo este proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones y en posteriores fases de separación, purificación y estabilización.

En este punto se describirán los procesos para la producción de biodiesel, analizando en cada uno de ellos las ventajas y desventajas que presentan, tal como los equipos a utilizar, costos, espacio requerido, seguridad, servicios auxiliares, condiciones de operación, tiempo de reacción, tratamiento y uso de los desechos o subproductos generados, factores que son de gran importancia y que están directamente relacionados con los costos-beneficios de producción.

3.2.1 Proceso discontinuo.

El método más simple para la producción de biodiesel es el uso de un reactor con un agitador dentro del estanque donde tiene lugar la reacción. Se denominan estos reactores "batch" por funcionar por lotes, donde la producción se hace en forma discontinua.

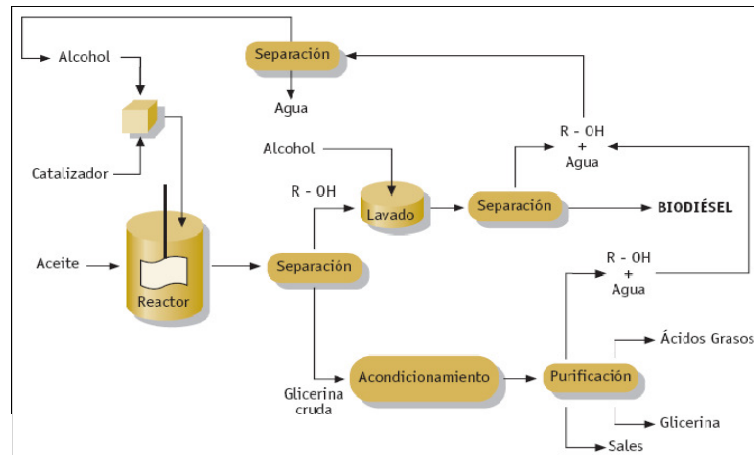
Las condiciones de operación más habituales son a temperaturas de 65°C, aunque rangos de temperaturas desde 25°C a 85°C también han sido publicadas. El catalizador más común es el NaOH, aunque también se utiliza el KOH.

Es necesaria una agitación intensiva al principio de la reacción para obtener una buena mezcla del aceite, del catalizador y del alcohol en el reactor. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para permitir al

glicerol separarse de la fase éster. Se han publicado en la bibliografía resultados entre el 85% y el 94% de eficiencia.

En la transesterificación, cuando se utilizan catalizadores ácidos, se requiere temperaturas elevadas y tiempos largos de reacción, generalmente de 20 min. a 1 hora.

Ilustración 9. Proceso batch de transesterificación



Descripción del diagrama de proceso de transesterificación en discontinuo.

Primero, se carga el aceite en el sistema, y después el catalizador y el metanol. El sistema está agitado durante el tiempo de reacción y al final se corta la agitación.

En algunos procesos, se deja la mezcla que reaccionó reposar para iniciar una separación entre glicerol y ésteres. En otros procesos, la mezcla se bombea hacia un estanque de decantación o se separa en una centrifuga.

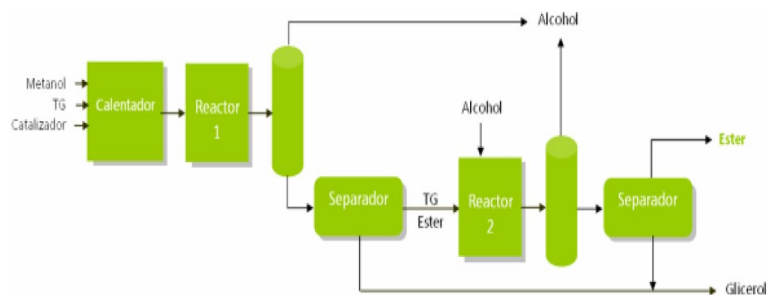
El alcohol se remueve de ambos glicerol y éster utilizando un evaporador o una unidad "flash" (alta temperatura, baja presión). Los ésteres son neutralizados, lavados suavemente utilizando agua caliente levemente ácida para remover las sales y el metanol residual, antes de secarlo. El biodiesel final se manda a almacenamiento. Por otra parte, el flujo de glicerol se neutraliza y lava con agua suave, antes de entrar a una etapa de refinación.

3.2.2 Proceso continuo.

Consta de una serie de reactores continuos del tipo tanque agitado. Son los llamados CSTR del inglés, Continuous Stirred Tank Reactor. Este tipo de reactores puede ser variado en volumen para permitir mayores tiempos de residencia y lograr aumentar los rendimientos de la reacción.

Así, tras la decantación de glicerol primario, la reacción en un segundo CSTR es mucho más rápida, con un porcentaje del 98% de producto de reacción.

Ilustración 10. Proceso continuo de transesterificación.



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

3.3 Conclusión de capítulo.

El biodiesel se obtiene a partir del proceso de la transesterificación el cual consiste en intercambiar el grupo alcoxi de un éster por otro alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base.

Dicho en otras palabras el proceso de transesterificación consiste en combinar, el aceite (normalmente aceite vegetal) con un alcohol ligero, normalmente metanol, y deja como residuo de valor añadido glicerina que puede ser aprovechada por la industria cosmética, entre otras.

Entre las tecnologías disponibles destaca principalmente la transesterificación de aceites vegetales en medios básicos por sus moderados requerimientos de presión y temperatura y sus altas velocidades de reacción lo que influye en bajos costos, representando una menor inversión comparada con la reacción con catálisis ácida, recuperándose en corto tiempo.

El bajo costo se ve reflejado debido al tipo de materiales de construcción gracias a la baja agresividad química de los reactivos, capacidad de los equipos, requerimiento y características de materias primas e insumos, mismas que nos ofrecen un proceso más manejable y seguro.

Los catalizadores ácidos conllevan una serie de problemas por los aspectos de corrosión y las dificultades relacionadas con la separación y purificación de los productos.

El proceso a utilizar es la transesterificación básica catalizada, debido a la factibilidad que nos representa en requerimientos, datos que informan las empresas proveedoras de tecnologías y fabricadoras de biodiesel, sin embargo es necesario conocer las características de las materias primas, tema que trataremos en el siguiente capítulo.

Capítulo 4. Aceites y grasas como materia prima para la fabricación de biodiesel.

En este capítulo se describen las materias primas para la producción de biodiesel – aceites y grasas – en cuanto a sus fuentes, realizando una evaluación de estas y seleccionar la materia prima a utilizar en la fabricación de biodiesel para el proyecto que se desarrolla en esta tesis.

Una vez seleccionada la materia prima se describirán sus características generales, impactos en el medio ambiente, desarrollo así como los riesgos que se generan al usarla.

4.1 Fuentes de aceites y grasas.

La materia prima de partida que permite la fabricación del biodiesel está generalmente dividida en tres categorías en función de su procedencia. A pesar de que hoy en día prácticamente la totalidad del biodiesel producido se fabrica a partir de aceites vegetales, también se puede elaborar biodiesel partiendo de aceites usados o incluso grasas animales.

Se denominan aceites vegetales aquellos que se producen a través de cultivos agrícolas, principalmente de oleaginosas.

Se identifican una gran variedad de materias primas:

- **Aceites vegetales:**

- Aceites vegetales convencionales: girasol, colza, soja, coco, palma.
- Aceites vegetales alternativos: *Jatropha Curcas*, *Brassica carinata*.
- Aceites vegetales de final de campaña: Aceite de oliva de alta acidez.
- Aceites de semillas modificados genéticamente: Aceite de girasol de alto oleico.

- **Aceites de fritura usados.**

- **Grasas animales:** sebo de distintas calidades.

Cada tipo de materia prima tiene asociados ventajas e inconvenientes que conviene tener presentes antes de su elección como suministro para la fabricación de biodiesel.

Los aceites vegetales convencionales presentan en su conjunto un mismo inconveniente: la competencia con otros grandes sectores. El principal sector damnificado con la entrada en escena de los biocarburantes como alternativa al petróleo es el sector alimentario. En efecto, la competencia por la materia prima tiende a encarecer el producto.

Se ha decidido solo considerar a los aceites vegetales como materia prima principal para la elaboración de biodiesel, debido a que el fin de este proyecto es cultivar la materia prima dentro de FESC-C4, aprovechando los terrenos disponibles.

4.2 Evaluación y selección de materia prima de aceites y grasas para la producción de biodiesel.

En este apartado se analizaron todas aquellas directrices que van dirigidas a la sostenibilidad de las acciones que se realicen y, en concreto, a las relacionadas con la agricultura, de manera que éstas sean: ecológicamente seguras, económicamente viables, socialmente justas y culturalmente apropiadas.

En el siguiente cuadro se presentan las características de los cultivos a partir de los cuales se puede obtener el aceite para la elaboración del biodiesel.

Tabla 3. Principales características de los cultivos más utilizados para la obtención de biodiesel.

Especie/ nombre común	Clima de cultivo	Mayores productores	Extracción del aceite	Proporción de aceite	Tipos de aceites predominantes	Kg materia prima/kg aceite	Producción mundial (1000 t)
<i>Brassica napus</i> (colza)	Templado	China, Alemania, India	Semilla	36 %	Erúcido	2,77	14.141.936 (aceite)
<i>Helianthus annuus</i> (Girasol)	Templado	Rusia, Argentina, Ucrania	Semilla	44 %	Oleico y linoleico	2,27	10.195.091 (aceite)
<i>Cynara cardunculus</i> (Cardo)	Templado	Paises mediterráneos	Semilla	25 %	Palmitico	4	Sin datos
<i>Glycine max</i> (Soja)	Templado	EUA, Brasil, China, Argentina	Semilla	20 – 22 %	Linoleico, oleico	5 – 4,5	33.297.013 (aceite)
<i>Elaeis guineensis</i> (Palma Africana)	Tropical	Malasia, Indonesia	Fruto y semilla	43 – 51 %	Palmitico, oleico	2,3 – 1,9	34.311.446 (aceite)
<i>Ricinus communis</i> (Ricino)	Tropical	Indonesia, China, Brasil	Semilla	40- 50 %	Ricínoléico	2,5 - 2	1.383.353 (semilla)
<i>Jatropha curcas</i> (Jatropha o tempate)	Tropical	India	Semilla	25 – 30 %	Oleico, linoleico	4 – 3,3	Sin datos

Así mismo se considero el uso del suelo, la pérdida de biodiversidad, el uso de agua, el almacenamiento de semillas y la protección de variedades autóctonas, la Soberanía/Seguridad Alimentaria, etc.

4.2.1 Jatropha, la mejor opción.

La jatropha el arbusto que cumple con las directrices mencionadas anteriormente. Se ha adaptado a las diferentes regiones climáticas del planeta, aunque las regiones tropicales son las que albergan la mayor cantidad de variedades de ellas. Su especie no se usa con propósitos comerciales y son excelentes fuentes de aceite, entre otras características favorables.

4.2.1.1 Características de la jatropha.

- Originaria de México y Centroamérica
- Es una oleaginosa de porte arbustivo con más de 3500 especies agrupadas en géneros.
- Crece más de 2 m. de altura con corteza blanca grisácea y exuda un látex translucido.
- Su distribución más exitosa ha sido en regiones de trópico seco.
- Crece con precipitaciones de 300-1000 mm.
- Se adapta bien a condiciones climáticas áridas y semiáridas.
- Crece en suelos drenados con escasos nutrientes pero bien aireados.
- Tolera heladas leves.
- Crece a temperaturas arriba de 20°C.

Ilustración 11. Semilla de Jatropha Curca



4.2.1.2 Impactos positivos de la jatropha en el desarrollo.

- Generación de empleos en comunidades rurales.
- Beneficios para inversionistas y productores.
- Productores en comunidades rurales aseguran ingreso adicional duradero.
- Uso de terrenos improductivos.
- Reducción de emisiones de CO₂.
- Se evita la utilización de alimentos para elaboración de biocombustibles.
- Se participa en programas y mecanismos relacionados con energía limpia.
- Promoción de la sustentabilidad en el medio rural.

4.2.1.3 Impactos positivos de la jatropha en el medio ambiente.

- Captura de CO₂ atmosférico.
- No se interviene en el ciclo del Carbono.
- Se evita la desertificación, la deforestación y degradación en los suelos.
- Se favorece la bio-diversidad y conservación ecológica en zonas marginales.
- Reducción en el uso de energía fósil primaria.
- Disminución de las emisiones de CO₂ (gas de efecto invernadero).

4.2.1.4 Riesgos generados por el uso de jatropha.

- **Riesgos Naturales:** Incendios, plagas y enfermedades en los cultivos; productividad menor a la esperada; sequías; inundaciones; vientos dañinos y heladas.
- **Factores Antropogénicos:** Invasión de terrenos; robo de cosechas; vandalismo; escasez de fuerza laboral.
- **Riesgos Políticos:** Cambios en las políticas; inestabilidad en los gobiernos.
- **Factores Económicos:** Cambios en tasas de interés; moneda; costos; precios a la baja de la biomasa, biocombustibles; precio de los terrenos.

4.3 Conclusión de capítulo.

Al seleccionar la materia prima se consideraron las características de estas así como el impacto que generan en el medio ambiente y en la sociedad. Tomando como base importante la seguridad alimentaria, teniendo el referente del impacto que genero hace algunos años el uso del maíz para generar bioetanol.

La Jatropha es una buena opción para la obtención del aceite, además de tener bajos requerimientos para su cultivo no es una semilla comestible, lo cual nos beneficia en gran manera al no afectar la seguridad alimentaria y por ende no se incrementan los precios.

El aceite se obtiene de la semilla, misma que debe de pasar por un proceso para su extracción, tema que trataremos al inicio del siguiente capítulo, una vez obtenido el aceite se detallara el proceso de transesterificación para la obtención del biodiesel.

Capítulo 5. Proceso de elaboración de biodiesel.

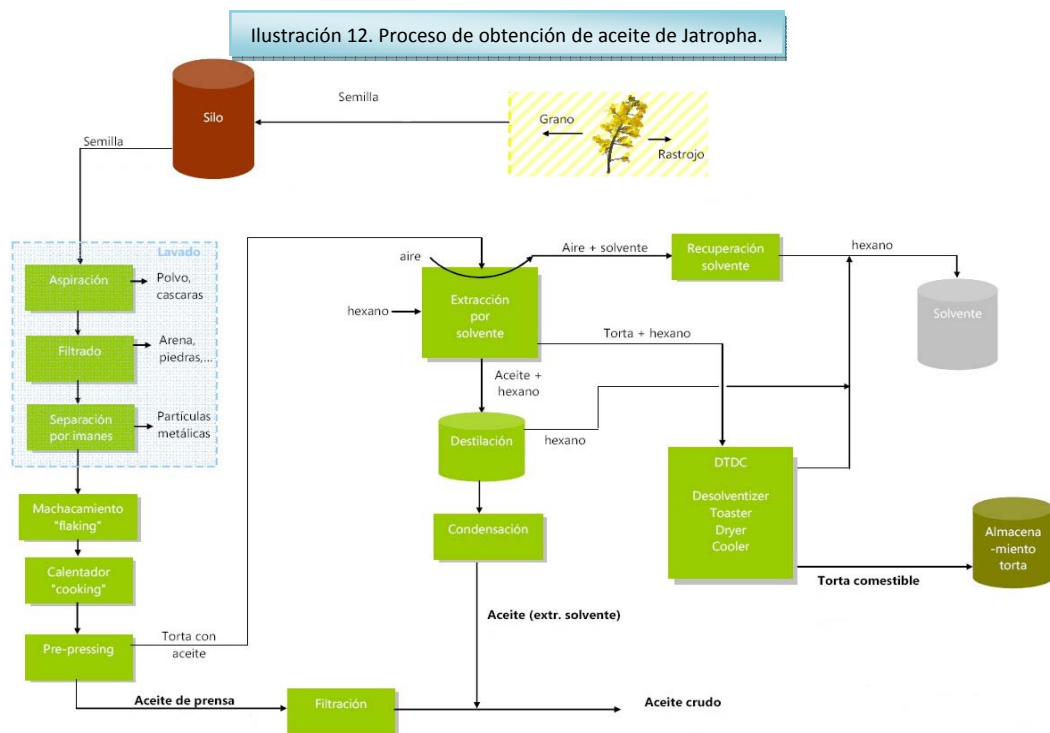
En este capítulo se habla del proceso de elaboración de biodiesel mediante transesterificación, se detalla paso a paso el proceso de obtención del aceite de la semilla de jatropha hasta el manejo de los productos de la reacción.

El proceso de elaboración de biodiesel lo clasificaremos en las siguientes etapas:

- ✓ Pre-tratamiento.
- ✓ Reacción de transesterificación.
- ✓ Post-tratamiento de productos.

Así mismo se mencionan las empresas que ofrecen las tecnologías para la elaboración de biodiesel, mismas que se evalúan para seleccionar la que mejor se adecue a nuestros requerimientos actuales y futuros.

5.1 Pre-tratamiento.



5.1.1 Obtención del aceite.

El proceso de obtención de aceite se realiza mediante prensado y extracción por solvente.

Las diferentes etapas que lo constituyen son las mismas, sólo cambia la tecnología de algunos equipos, por ejemplo el extractor por solvente.

5.1.1.1 Cosecha.

La parte de cosecha de la semilla no se describe en esta tesis. No obstante, es interesante saber en qué forma llega el vegetal a la planta para saber cómo se debe procesar antes de entrar al proceso de extracción propiamente tal. En el campo, se extrae directamente el grano y la planta queda en la tierra, en conclusión se realiza similar a cualquier cosecha mecanizada y se transporta solamente semilla a la planta.

5.1.1.2 Tratamiento del grano.

Antes de entrar a la planta, es necesario lavar la semilla para evitar que entren particular extrañas que podrían perjudicar tanto la calidad de los productos finales como la integridad de los equipos. Se suele aplicar tres tipos de tratamiento que se siguen y pueden concentrarse en un solo equipo. Se aplica una aspiración para remover los polvos, cáscaras y otros vegetales presentes. Un filtrado fino permite remover la arena y otras piedras todavía presentes mediante el uso de tamices por ejemplo. Por fin, el grano pasa por una serie de imanes que permiten recuperar las partículas metálicas finas.

5.1.1.3 Machacado del grano.

El grano preparado entra en una herramienta de machacado ("crushing") cuyos rodillos fijados tienen una separación estrecha de manera de romper la capa superior del grano. El machacador sirve para romper la más grande cantidad de grano sin afectar la calidad del aceite.

El grueso óptimo de la escama de raps se coloca entre 0,3 y 0,38mm, porque un grueso inferior da un grano muy frágil y uno superior baja el rendimiento de extracción de aceite.

5.1.1.4 Cocción del grano.

Las escamas pasan por una serie de hornos apilados calentados por vapor o eléctricamente.

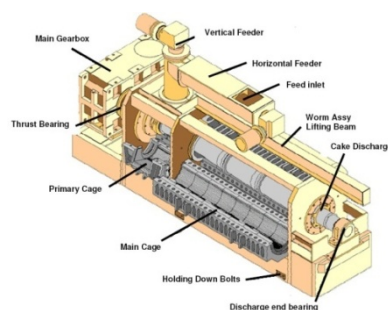
Este calentamiento permite romper térmicamente las celdas aceitosas que resistieron al machacado, reducir la viscosidad del aceite para promover la reunión de las gotas de aceite, aumentar la velocidad de difusión de la torta en el sistema y neutralizar las enzimas hidrolíticas. Esta etapa permite también ajustar el nivel de humedad, lo que asegura un mejor prensado. Al principio, la temperatura se lleva a unos 80-90°C de manera de desactivar enzimas que podrían afectar la calidad de los productos finales. El ciclo continuo de cocción puede durar 15 a 20 minutos, con temperaturas entre 80 y 105°C, lo mejor siendo alrededor de 88°C.

5.1.1.5 Prensado.

La semilla machacada y caliente entra en un tornillo largo que exprime el aceite contenido en las celdas rotas. Este equipo está constituido de un tornillo que gira en un barril cilíndrico largo constituido de barras de acero planas y fijadas en la periferia de este, espaciadas para permitir que el aceite fluya entre las barras mientras que la torta sigue avanzando dentro del barril. El eje que rota presiona la torta contra una estrangulación ajustable, lo que estrecha parcialmente la descarga de la torta al extremo del barril.

Este proceso permite remover gran parte del aceite sin pasar por temperaturas o presiones excesivas. Logra generalmente remover entre 60 y 70% del aceite contenido en la semilla, maximizando así el uso del tornillo y del extractor por solvente

Ilustración 13. Prensa por tornillo.



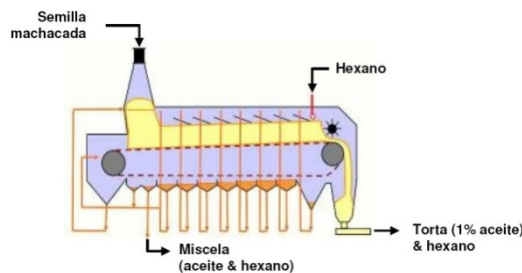
5.1.1.6 Extracción por solvente.

La torta que entra al extractor tiene un contenido de 14 a 20% en peso de aceite. El solvente tiene la finalidad de extraer el aceite restante de la torta. Se usa hexano o éter-etílico por su aptitud a diluir el aceite y removerlo del vegetal.

En los procesos mecánicos encontrados, se puede ver que existen varios tipos de extractores pero todos mueven la torta y la miscela (mezcla de aceite con hexano) en sentidos opuestos para efectuar una extracción en contra corriente. Las dos mayores tecnologías de extractores son los "loop" continuos donde la torta entra por arriba y baja dentro del loop para descargarse por la parte baja y los "basket" rotatorios que hacen rotar la torta alrededor de un eje vertical.

La torta entra por un lado del extractor, se mueve por un transportador al mismo tiempo que se inunda con solvente o miscela. Una serie de bombas mandan la miscela sobre la torta, teniendo en cada etapa una miscela más pobre en solvente, o sea que contiene cada vez más aceite.

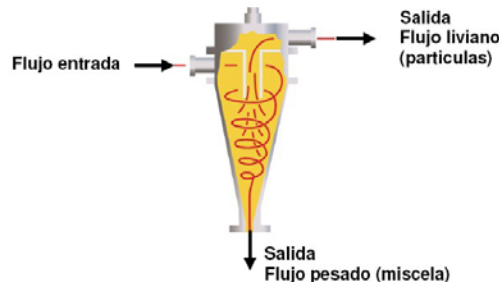
Ilustración 14. Corte de un extractor por solvente, tipo "loop".



El solvente se infiltra por gravedad dentro del lecho de torta, difundándose y saturando los fragmentos de torta. El orujo compuesto de torta saturada en hexano que sale del extractor contiene después de un último lavado por solvente fresco contiene menos de 1% de aceite.

La miscela saliendo del extractor contiene pequeñas impurezas vegetales como cáscaras que se deben eliminar. La solución elegida es el uso de un ciclón que separa el aceite de las partículas por efectos centrífugos.

Ilustración 15. Corte de un ciclón.



5.1.1.7 Tratamiento de la torta final.

La torta seca que sale del extractor contiene un alto porcentaje de hexano que se debe recuperar. Esto se hace en un solo equipo llamado "desolventizer-toaster". En una primera etapa, se recupera la mayoría del solvente en una serie de compartimientos por inyección de vapor en contacto directo que vaporiza el hexano. Después, la torta entra en un horno cuya temperatura de 103 a 107°C permite extraer el último solvente y secar el producto. El tiempo de operación es generalmente de 20 minutos, dejando la torta libre de hexano y con 1% de aceite y 15 a 18% de humedad.

Muchos industriales agregan un tratamiento final que permite sacar más humedad y enfriar el producto, llamado "dryer-cooler". En este caso, las 4 etapas se reúnen en un solo equipo en altura que usa el principio de gravedad para el movimiento de la torta hacia la salida debajo de la torre. Este equipo se define como "DTDC" para "desolventizer-toaster-dryer-cooler". Al salir para almacenamiento, la torta esta bajo forma de harina que se podría compactar y contiene 8 a 10% de humedad.

5.1.2 Tratamiento del aceite.

Se considera ahora la producción del biodiesel al recibir un aceite crudo saliendo de una planta de extracción. Debido a su contenido de contaminantes (ácidos grasos libres, etc), es necesario hacer un pre-tratamiento a este aceite antes de entrar a la reacción de transesterificación.

5.1.2.1 Refinación del aceite.

El aceite vegetal crudo se debe refinar para eliminar los fosfátidos y ácidos grasos libres, porque estos compuestos interfieren en la reacción de transesterificación, bajando el rendimiento de conversión a metil ésteres.

El aceite contiene ácidos grasos libres que pueden ser perjudiciales en la reacción de transesterificación por lo que son eliminados utilizando hidróxido de sodio. Posteriormente se realiza un lavado con agua para remover el jabón formado.

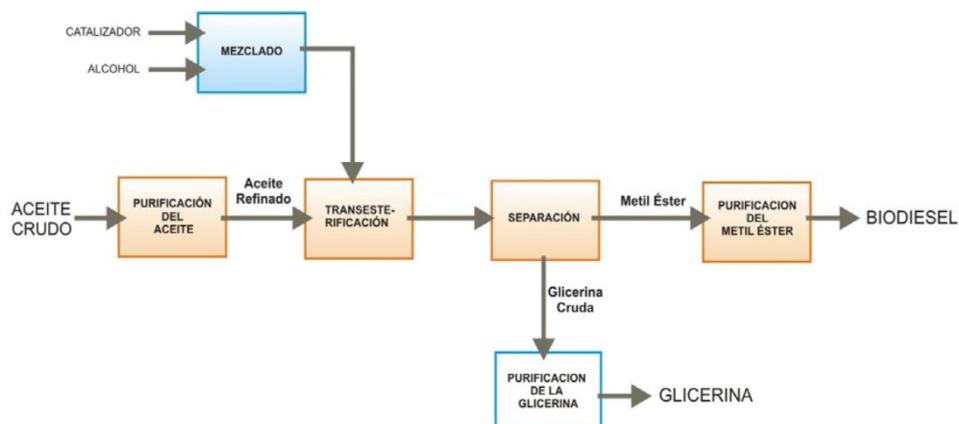
Ilustración 16. Reacción de eliminación de ácidos grasos libres del aceite.



5.2 Reacción de transesterificación.

La reacción de transesterificación la clasificamos con los siguientes pasos:

Ilustración 17. Diagrama de bloques del proceso de transesterificación.



5.2.1 Mezclado de metanol con catalizador.

El catalizador normalmente usado es hidróxido de sodio (soda cáustica). La sosa cáustica se disuelve en metanol por simple mezclado. Se debe tener cuidado al trabajar con soda cáustica para asegurarse que esta no contenga agua almacenada. Esto podría causar aglutinamientos difíciles de disolver. El agua también tiene un impacto adverso sobre el proceso.

5.2.2 Reacción de transesterificación

La mezcla de metanol y catalizador es entonces cargada en un reactor, ya sea en forma continua o por lotes, y se adiciona el aceite. La mezcla se mantiene aproximadamente a 65 °C, por entre 1 y 8 horas bajo una vigorosa agitación. El exceso de metanol es usado normalmente para asegurar la conversión total del aceite o la grasa en metil éster. El catalizador reaccionará primero con cualquier ácido graso libre en el aceite para formar jabón. Debe haber suficiente catalizador adicional, para catalizar la reacción tanto como para reaccionar con los ácidos grasos libres.

Si el nivel de ácidos grasos libres es demasiado elevado (0,5% a 1%) o si hay agua presente, el jabón formado empieza a generar emulsiones con el metanol y el aceite, impidiendo que la reacción ocurra. En algunos casos la emulsión puede ser tan fuerte que forma un producto irrompible de apariencia similar al queso. En este caso el producto debe ser removido físicamente del sistema, y luego puede ser desfragmentado. Por estas razones, el aceite es tratado para remover ácidos grasos y todas las corrientes de alimentación se mantienen libres de agua.

La reacción de transesterificación es:

Ilustración 18. Reacción de transesterificación.



5.2.3 Remoción del metanol.

En algunos sistemas el exceso de metanol se remueve por un simple proceso de destilación. En otros sistemas el metanol se remueve después de que la glicerina y los retores han sido separados. En cualquiera de los casos el metanol se recupera y reutiliza usando un equipo convencional. Se debe tener cuidado para asegurarse que no se acumule agua en las corrientes de recuperación del metanol.

5.2.4 Separación.

Una vez que la reacción se ha completado y el metanol ha sido removido, existen dos productos principales:

- Metil éster
- Glicerina

Debido a la diferencia de densidades entre la glicerina y el metil éster, los dos pueden ser separados por gravedad y la glicerina es simplemente retirada por el fondo. En algunos casos se usa una centrifuga para la separación.

Cualquier capa difusa puede ser reciclada o enviada a un tratamiento de efluentes.

5.2.5 Neutralización de la glicerina.

La glicerina resultante contiene catalizador que no ha sido utilizado y jabón, el cual se neutraliza con un ácido formando sales, y se envía a almacenamiento como glicerina cruda. En algunos casos la sal se recupera y se utiliza como fertilizante. La mayoría de las veces, sin embargo, se usa ácido clorhídrico y soda cáustica, que forman cloruro de sodio el cual es dejado simplemente en la glicerina. La glicerina tiene generalmente una pureza de entre 80% y 88% y puede ser vendida como glicerina cruda.

5.2.6 Lavado del metil éster.

Una vez separado de la glicerina, el metil éster se lava con agua tibia para remover catalizador residual o jabón, se seca, y se envía a almacenamiento.

Algunos procesos pueden eliminar la etapa de lavado a través del uso de insumos limpios.

Este proceso da como resultado un éster con 98% de pureza que puede ser vendido como combustible. En algunos casos, los ésteres se destilan al vacío para conseguir un nivel más alto de pureza. La etapa de lavado está fuertemente afectada por el nivel de ácidos grasos libres en la alimentación. A mayor cantidad de éstos, mayor formación de jabón, y por consiguiente mayor necesidad de agua de lavado. Si el contenido de jabón es alto, será necesaria mucha agua de lavado, la que puede reaccionar con el aceite originando una reacción en cadena que dará por resultado la formación de más jabón.

Obviamente, esto se traduce en una disminución del rendimiento.

5.3 Post-tratamiento de productos.

5.3.1 Recuperación y neutralización de la glicerina.

La glicerina resultante es separada del metanol que contenga por medio de destilación. Para neutralizar esta glicerina recuperada se usa ácido clorhídrico. La glicerina tiene generalmente una pureza de entre 80% y 88% y puede ser vendida como glicerina cruda.

5.3.2 Recuperación del metanol.

El metanol y el agua provenientes de los procesos de recuperación de glicerina y de purificación del metiléster se envían a una segunda columna de destilación para recuperar el metanol. Este será reutilizado en el proceso. Se debe tener cuidado para asegurarse que no se acumule agua en las corrientes de recuperación del metanol.

5.4 Tecnología.

A continuación se listan en la siguiente tabla las principales tecnologías disponibles actualmente en el mercado. Entre todas las tecnologías disponibles destaca principalmente la transesterificación de aceites vegetales en medios básicos.

Tabla 4. Principales tecnologías de transesterificación de aceites vegetales.

Empresa	Condiciones de reacción			
	P (atm)	T (°C)	Catalizador	Operación
Lurgi	1	60 - 70	Básico	Continuo
Desmet	50	200	Metilato sódico	Continuo
Energiea	1	60	KOH	Continuo
BDI	1	30 - 60	Básico	Batch
IFP axens	1	50 - 130	Básico/Ácido	Batch
Conneman/Field and Hahn	1	60 - 70	NaOH	Continuo
Westfalia	Baja	Baja	Básico	Continuo
Biofuels S. A.	1,5	90	NaOH	Batch
Comprimo/Vogel and Noot	1	Ambiente	KOH	Batch
Novamont/Technimont	1	>Ambiente	Orgánico	Batch
Total Fina	40	220	TiO2 soportado	Batch Continuo
Biox	1	Ambiente	Básico	Continuo
Gratech	3,5	95		Continuo
Ekoil Biodiesel Production	Reducida	-	KOH	Continuo

Las tecnologías existentes, pueden ser combinadas de diferentes maneras variando las condiciones del proceso y la alimentación del mismo. La elección de la tecnología fue basada en la capacidad deseada de producción, alimentación, calidad y recuperación del alcohol y del catalizador.

En general, plantas de menor capacidad y diferente calidad en la alimentación (utilización al mismo tiempo de aceites refinados y reutilizados) suelen utilizar procesos Batch o discontinuos. Los procesos continuos, sin embargo, son más idóneos para plantas de mayor capacidad que justifique el mayor número de personal y requieren una alimentación más uniforme.

A pesar de que el costo es sin duda uno de los factores primordiales en la selección de la tecnología, también es necesario tomar en cuenta otros elementos como la disponibilidad de esta, la calidad de los productos obtenidos, costos de producción generado por la calidad de las materias primas e insumos, rendimiento, flexibilidad de operación, posibilidad de desarrollo futuro, los subproductos y residuos generados considerando los requisitos legales en cuanto a medio ambiente y normas sanitarias, tiempo de vida esperada, grado de obsolescencia así como la complejidad al usarla.

En el proceso continuo la reacción de transesterificación se realiza en menor tiempo comparado con el proceso Batch, lo cual satisface los requerimientos de la planta piloto propuesta, obteniéndose una mayor eficiencia en menor tiempo; además cuenta con la flexibilidad de adecuarse en un tiempo futuro como un proceso discontinuo de acuerdo a las necesidades, cuestión que el proceso por lotes no presenta ya que implicaría un gasto igual o mayor que una planta nueva.

El proceso continuo nos es más favorable para el fin de la planta piloto ya que se requiere que sea eficiente, de bajo costo y % de conversión aceptable, características que hacen más factible que el presente proyecto se ponga en marcha en corto plazo, siendo el beneficio para la FES Cuautitlán y con la factibilidad de recuperar la inversión en corto tiempo.

Tomando en cuenta todo lo anterior nosotros proponemos la tecnología desarrollada por Westfalia y Biox. Las tecnologías seleccionadas presentan flexibilidad de materias primas y cambio de operación, procesos totalmente automatizados con integración flexible de tecnología, bajo consumo energético, bajo consumo de productos químicos, costo reducido de mantenimiento, facilidad de instalación y puesta en marcha, así como una posible conexión Ethernet que permite monitorear y controlar el proceso a distancia. Al requerir condiciones de reacción menores nos beneficia en bajo costo de material y producción.

La evaluación de los procesos se realizó en base a la factibilidad, mediante los objetivos medibles, rentables y alcanzables en cada uno de ellos.

Así mismo tomamos en cuenta los factores económicos, calidad, seguridad, recuperación así como la inversión.

5.5 Conclusión de capítulo.

Tal y como se ha expuesto, existen diversos factores que inciden en el rendimiento y en las características de una planta de producción de biodiesel. Además del tipo de catalisis y los parámetros de reacción, otros procesos del ciclo de producción, como la purificación del biodiesel o el acondicionamiento de los subproductos, caracterizan la viabilidad de la fábrica.

Las plantas para la producción de biodiesel son construidas por varias compañías en los Estados Unidos y en Europa principalmente en Italia, Alemania, Austria, Bélgica, Francia, Dinamarca e Italia, entre otros. Así mismo existe una gran variedad de tecnologías para producir biodiesel a partir de diferentes materias primas renovables.

Comparando los procesos de fabricación de biodiesel, tenemos que el **proceso continuo** mantiene un flujo permanente de materia prima, no existen pérdidas de materia ni de calor, representa un menor costo de mano de

obra (operación), se obtiene una mayor capacidad de producción así como un mejor control y homogenización de la calidad del producto, siendo el alto costo de inversión inicial su principal desventaja. Por otro lado el **proceso batch** tiene una mayor flexibilidad para la realización de ajustes cuando se presentan variaciones de materias primas o condiciones de proceso, la tecnología es de fácil adquisición, operación y mantenimiento pero presenta tiempos de producción grandes, tiene grandes dificultades para garantizar uniformidad de la calidad del combustible entre diferentes lotes, hay una gran dificultad para evitar la presencia de contaminantes y productos intermedios en el producto final, tiene elevados requerimientos de espacio y la principal desventaja es que no es viable técnica ni económicamente para producciones a gran escala.

Por todo lo anterior seleccionamos un proceso continuo, el cual nos permite utilizar una gran variedad de materias primas y la posibilidad de adecuarlo a futuras necesidades de la facultad y/o del mercado, incluyendo aumento de capacidad y requerir un menor gasto en la operación.

La tecnología elegida es la de las compañías Westfalia y Biox, ambas trabajan con bajos requerimientos de presión y temperatura, mediante un proceso continuo.

En el siguiente capítulo se desarrollará la ingeniería conceptual, es decir, hablaremos de los factores que están involucrados en el diseño de la planta.

Capítulo 6. Ingeniería conceptual de la planta.

Los precedentes capítulos permitieron obtener un panorama de los diferentes procesos que se usan a nivel industrial en el mundo. Se detallará a continuación el método de diseño del proceso, que consta de la Ingeniería Básica preliminar que incluye de la elaboración construcción de los diagrama de la planta, del cálculo de los flujos principales asociados así como de una lista de equipos principales con su tamaño.

6.1 Localización de la planta.

La planta estará localizada dentro de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4, localizada en Km 2.5 Carretera Cuautitlán–Teoloyucan, San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, Estado de México. CP. 54714. Latitud 19 66' 46'', longitud 99 17'25'' y 2.25 m sobre el nivel del mar.

6.1.1 Condiciones climatológicas de la zona.

Tabla 5. Condiciones climatológicas de San Sebastián Xhala-Cuautitlán Izcalli.

Condiciones	Valores
Temperatura máxima (°C)	23
Temperatura mínima (°C)	5
Presión atmosférica (lb/in ²)	15.0
Precipitación pluvial media (mm)	600 - 800
Humedad relativa (%)	41
Dirección de vientos dominantes	NNE – 30°
Tipo de clima	Templado semihumedo

6.2 Bases de diseño.

Este documento tiene la finalidad de definir bajo qué condiciones y especificaciones se diseñará la planta. En él se define lo referente a la función de la planta, capacidad, flexibilidad, tipo de operación, especificaciones de materia prima y productos, eliminación de desechos y condiciones de suministro de los servicios auxiliares.

6.2.1 Función de la planta.

Para dar solución a la problemática de los combustibles de hidrocarburos y a la problemática que estos generan, la función de la planta será satisfacer y sustituir los requerimientos de combustible por biocombustible utilizado en autos, camiones y tractores, así como generadores de energía de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, campo 4 y en un futuro cercano, campo 1 y demás planteles de la UNAM.

6.2.2 Tipo de operación.

El proceso consistirá en la transesterificación básica de la mezcla del aceite de jatropha y NaOH-metanol, la cual se llevará a cabo a condiciones de operación ligeras.

El proceso será batch con la característica de adaptarse para trabajar con otro tipo de materia prima base y a proceso continuo dependiendo de la demanda de biodiesel.

6.2.3 Capacidad, rendimiento y flexibilidad.

La determinación del tamaño responde a un análisis interrelacionado de las siguientes variables: demanda, disponibilidad de insumos, localización y plan estratégico comercial de desarrollo, partiendo de cero inventarios

(Lean manufacturing: los inventarios solo sirven para cubrir ineficiencias y la capacidad de la planta debe ser tal que cubra la demanda con cero inventarios).

La cantidad demandada proyectada a futuro es el factor condicionante más importante con el que se definió la capacidad.

El rendimiento de biodiesel es de 12.5 Km/l en los transportes de pasajeros, considerando que existan 21 unidades destinadas a dar servicio tanto a campo 1 como a campo 4, incluyendo los intercampus y que estos den 3 vueltas cada uno tendríamos el siguiente requerimiento de biodiesel:

Servicio para campo 1.

Se tienen contempladas 9 unidades, 3 provenientes del metro politécnico, 3 del metro rosario y 3 del metro cuatro caminos. La distancia que recorren de cada destino a campo 1 es de 25 km por lo tanto:

$$\frac{9(25 \text{ km})(3)}{12.5 \frac{\text{km}}{\text{l}}} = 54 \text{ l}$$

Servicio para campo 4.

Se tienen contempladas 9 unidades, 3 provenientes del metro politécnico, 3 del metro rosario y 3 del metro cuatro caminos. La distancia que recorren de cada destino a campo 4 es de 40 km por lo tanto:

$$\frac{9(40 \text{ km})(3)}{12.5 \frac{\text{km}}{\text{l}}} = 86.4 \text{ l}$$

Servicio para intercampus.

Se tienen contempladas 3 unidades. La distancia que recorren es de 15 km por lo tanto:

$$\frac{3(15 \text{ km})(3)}{12.5 \frac{\text{km}}{\text{l}}} = 10.8 \text{ l}$$

El consumo total de biodiesel para cubrir el servicio de transporte es de **151.2 L/día**, un año escolar UNAM incluyendo sábados está comprendido aproximadamente de 260 días, por lo cual tendríamos un requerimiento de **39 312 L/año escolar**, por lo cual se ha decidido tener una capacidad de 50 000 L anuales.

6.2.3.1 Factor de Servicio.

El sistema de producción se diseñara para operar 290 días al año, por lo tanto, el factor de servicio es de 0.8.

6.2.3.2 Capacidad y rendimiento.

La planta estará diseñada para producir 50 000 L/año en proceso batch. La capacidad de operación será igual a la de diseño.

6.2.3.3 Flexibilidad.

A falta de energía eléctrica la planta operará con energía generada dentro de los límites de batería. Se prevén aumentos de capacidad así como posibles alternativas de materia prima base.

6.3 Especificaciones de materias primas.

6.3.1 Aceite de Jatropha.

Especificaciones del aceite	Jatropha Curca
Densidad	0.920
ppm Azufre	10-14
% de humedad	7
% Aceites	48.5
Índice de yodo	97.5
% cascara / %semilla	42.7/56.5

Tabla 6. Especificaciones fisicoquímicas del aceite de Jatropha.

6.3.2 Hidróxido de Sodio (NaOH).

Especificaciones físicas y químicas	NaOH
Apariencia, olor y estado físico	Sólido blanco, inodoro en forma de escamas.
Gravedad específica a 25°C	2.13
Punto de ebullición (°C)	1390
Punto de fusión (°C)	318
Presión de vapor (mmHg) a 999°C	42
Viscosidad (cp.) a 350°C	4
pH en solución a 5%	14
PM	40
Solubilidad	Soluble en agua, alcohol y glicerol.

Tabla 7. Especificaciones fisicoquímicas del hidróxido de sodio.



6.3.3 Metanol (CH₃OH).

Especificaciones físicas y químicas	CH ₃ OH
Apariencia y olor.	Líquido claro incoloro, olor alcohólico fuerte.
Gravedad específica a 25°C	0.796
Punto de ebullición (°C)	64.5
Punto de fusión (°C)	-97.8
Pureza %	99.85
pH en solución a 1%	7
PM	32
Solubilidad	Soluble en agua y éter etílico.

Tabla 8. Especificaciones fisicoquímicas del metanol.



Fácilmente inflamable



Tóxico

6.3.4 Hexano (C₆H₁₄).

Especificaciones físicas y químicas	C ₆ H ₁₄
Apariencia y olor.	Gas incoloro e inodoro
Gravedad específica a 25°C	0.66
Punto de ebullición (°C)	68
Punto de fusión (°C)	-95
PM	86
Solubilidad	Soluble en compuestos orgánicos.

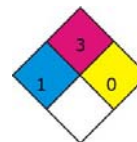


Tabla 9. Especificaciones fisicoquímicas del hexano.

6.3.5 Ácido Clorhídrico (HCl).

Especificaciones físicas y químicas	HCl
Apariencia, color y olor.	Líquido humeante incoloro o ligeramente amarillo con olor penetrante e irritante.
Gravedad específica a 25°C	1.184
Punto de ebullición (°C)	50
Punto de fusión (°C)	-66
PM	36.5
Solubilidad	Soluble en agua, alcoholes, éter y benceno.

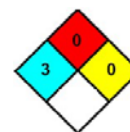


Tabla 10. Especificaciones fisicoquímicas del ácido clorhídrico.

6.4 Especificaciones de los productos.

6.4.1 Biodiesel.

Especificaciones físicas y químicas EN 14214	Biodiesel
Apariencia, color y olor.	Líquido viscoso ligeramente amarillo-naranja con olor característico.
Contenido en éster %(p/p)	96.5
Densidad a 15°C (Kg/m ³)	860 - 900
Viscosidad a 40°C (mm ² /s)	3.5 - 5.0
Punto de ignición (°C)	130
Azufre (mg/Kg)	10
Humedad (mg/Kg)	500

Tabla 11. Especificaciones fisicoquímicas del biodiesel.

6.4.2 Glicerina.

Especificaciones físicas y químicas	Glicerina
Pureza (% peso)	80 - 85
Agua (% peso)	10 - 13
Sales (% peso)	2 - 5
Metanol	< 0.1
Impurezas (% peso)	5 - 10

Tabla 12. Especificaciones fisicoquímicas de la glicerina.

6.5 Procedencia de materias prima.

Tabla 13. Procedencia de las materias primas.

Materia	Procedencia de materias primas
Semillas	Cultivo de FESC-C4
Aceite vegetal	Extracción del cultivo
NaOH	Alquimia Mexicana
Etanol	Alquimia Mexicana
HCl	Alquimia Mexicana

6.6 Eliminación de desechos.

Los desechos serán eliminados por drenaje químico bajo las regulaciones establecidas por la EPA (Eviromental Protection Agency) y la SEDESOL (Secretaria de Desarrollo Social).

6.7 Almacenamiento.

Tabla 14. Almacenamiento de materias primas y productos terminados.

Materia	Tipo de almacenamiento
Semillas	Sacos
Aceite vegetal	Tanque de almacenamiento
NaOH	Contenedor de compra
Etanol	Contenedor de compra
HCl	Contenedor de compra
Biodiesel	Tanque de almacenamiento
Glicerina	Tanque de almacenamiento

6.8 Servicios auxiliares.

Los elementos auxiliares de producción son todos aquellos que quedan fuera del propio proceso industrial principal. Sin ellos este proceso no se podría desarrollar, o bien sus condiciones no serían adecuadas para el trabajo de los operarios desde el punto de vista de necesidades de éstos o desde el punto de vista normativo de los lugares de trabajo.

Así pues, no se puede concebir la idea de realizar una distribución en planta sin tenerlos en cuenta, pensando tan sólo en las necesidades del proceso industrial.

Los diagramas correspondientes a los servicios auxiliares se encuentran adjuntos en el apartado de anexos.

6.8.1 Agua potable y de proceso.

El agua será utilizada en el lavado del biodiesel para quitar residuos de co-producto no deseado y para la limpieza general de la planta de proceso.

La fuente de suministro del agua será la proporcionada por la red municipal: Operagua de Cuautitlán Izcalli.

El agua de proceso debe estar libre de sedimentos, totalmente clarificada, con una cantidad máxima de 500 ppm de sales y tener un pH cercano a la neutralidad.

6.8.2 Agua contra incendio.

El agua utilizada para este fin deberá encontrarse libre de sedimentos y almacenada en un contenedor independiente del agua de proceso. Se utilizarán bombas accionadas por motor-biodiesel y una bomba jockey eléctrica para mantener presurizada la red contra incendio.

6.8.3 Agua de desecho.

Las descargas de aguas residuales provenientes de la planta de biodiesel serán desechadas en el alcantarillado municipal, cumpliendo siempre con los siguientes parámetros, según la NOM-002-ECOL-1996.

Tabla 15. Límites máximos permisibles para agua de desecho.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARÁMETROS (mg/L)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (ml/l)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

6.8.4 combustible.

Los combustibles se utilizaran para los motores de las bombas y para la generación de vapor. El combustible a utilizar será biodiesel, el mismo que produzca la planta, por lo tanto será un proceso autosustentable.

6.8.5 Energía eléctrica.

La energía eléctrica será abastecida por la red de distribución de energía eléctrica del municipio de Cuautitlán Izcalli. A través de la electricidad se implementa la energía necesaria para el alumbrado y accionamiento de los equipos de proceso.

6.8.6 Comunicaciones.

Cualquier industria debe poseer un eficiente sistema de comunicaciones, ya sea para las transacciones de compra-venta o para el control de la misma.

El sistema telefónico es uno de los más rápidos y eficientes en lo que se refiere a comunicaciones y es establecido a través de la red de líneas telefónicas de TELMEX.

En lo que se refiere a transportación terrestre se encuentra la red de carreteras, las que operan los 365 días del año.

6.9 Conclusión de capítulo.

Como bien sea detallado en este capítulo es necesario conocer la capacidad, localización, especificaciones de los materiales a utilizar así como los servicios necesarios; con la finalidad de poder llevar a cabo el desarrollo y puesta en marcha de planta piloto propuesta, para el beneficio de FESC UNAM .Ya que sin esta información sería imposible poder llevar a cabo un proyecto de este tipo.

Capítulo 7. Ingeniería básica.

7.1 introducción.

De acuerdo a la ingeniería conceptual de la planta y haber determinado la mejor opción de tecnología, en este capítulo se definirá el desarrollo del proyecto y los requerimientos necesarios para su ejecución y estimados de costo.

7.2 Balance de materia.

Una vez establecidos las bases de diseño y el diagrama de flujo de proceso, es necesario definir paso a paso los flujos básicos para llevar a cabo el proceso, en esta sección se hacen todas las consideraciones ingenieriles pertinentes para cumplir con tal finalidad.

Tabla 16. Balance de materia propuesto para 100 L de aceite de Jatropha.

	Aceite vegetal	+	3 etanol	→	3 Biodiesel	+	Glicerina
PM (g/mol)	884		46		298		92
ρ (g/ml)	0.92		0.79		0.88		1.26
mol	104		312		312		104
V (l)	100		14		106		8
m (Kg)	92		11		93		10

7.3 Lista de equipo.

Este consiste en un listado general de todos los equipos mostrados en el diagrama de flujo de proceso (anexo en el apartado de diagramas), clasificándolos de manera ordenada, para esto último se les asignan claves según el equipo de acuerdo a estándares de ingeniería como se muestra a continuación:

Tabla 17. Lista de equipo.

LISTA DE EQUIPOS		LISTA DE EQUIPOS	
CLAVE	NOMBRE DEL EQUIPO	CLAVE	NOMBRE DEL EQUIPO
GA-101	BOMBA CENTRIFUGA	RT-101	REACTOR DE TRANSFERIFICACIÓN
GA-102	BOMBA CENTRIFUGA	TA-201	CISTERNA
GA-103	BOMBA CENTRIFUGA	TB-201	TANQUE DE BALANCE
GA-104	BOMBA CENTRIFUGA	FA-301	ACUMULADOR
GA-105	BOMBA CENTRIFUGA	GV-301	GENERADOR DE VAPOR(CALDERA)
GA-106	BOMBA CENTRIFUGA	GT-301	TURBINA
GA-107	BOMBA CENTRIFUGA	EA-301	INTERCAMBIADOR DE CALOR
GA-201	BOMBA CENTRIFUGA	TA-401	CISTERNA
GA-202	BOMBA CENTRIFUGA	TE-401	TORRE DE ENFRIAMIENTO
GA-301	BOMBA CENTRIFUGA	EA-401	INTERCAMBIADOR DE CALOR
GA-401	BOMBA CENTRIFUGA	TAG-501	TANQUE ALMACENAMIENTO DE GAS
GA-402	BOMBA CENTRIFUGA		
ES-101	EXTRACTOR DE SEMILLAS		
LS-101	LAVADOR DE SEMILLAS		
EA-101	EXTRACTOR DE ACEITE		
EV-101	EVAPORADOR		
TM-101	TANQUE DE MEZCLADO		
TA-101	TANQUE DE ALMACENAMIENTO		
TA-102	TANQUE DE ALMACENAMIENTO		
TA-103	TANQUE DE ALMACENAMIENTO		
TS-101	TANQUE DE SEPARACIÓN		

7.4 Hojas de datos de equipo.

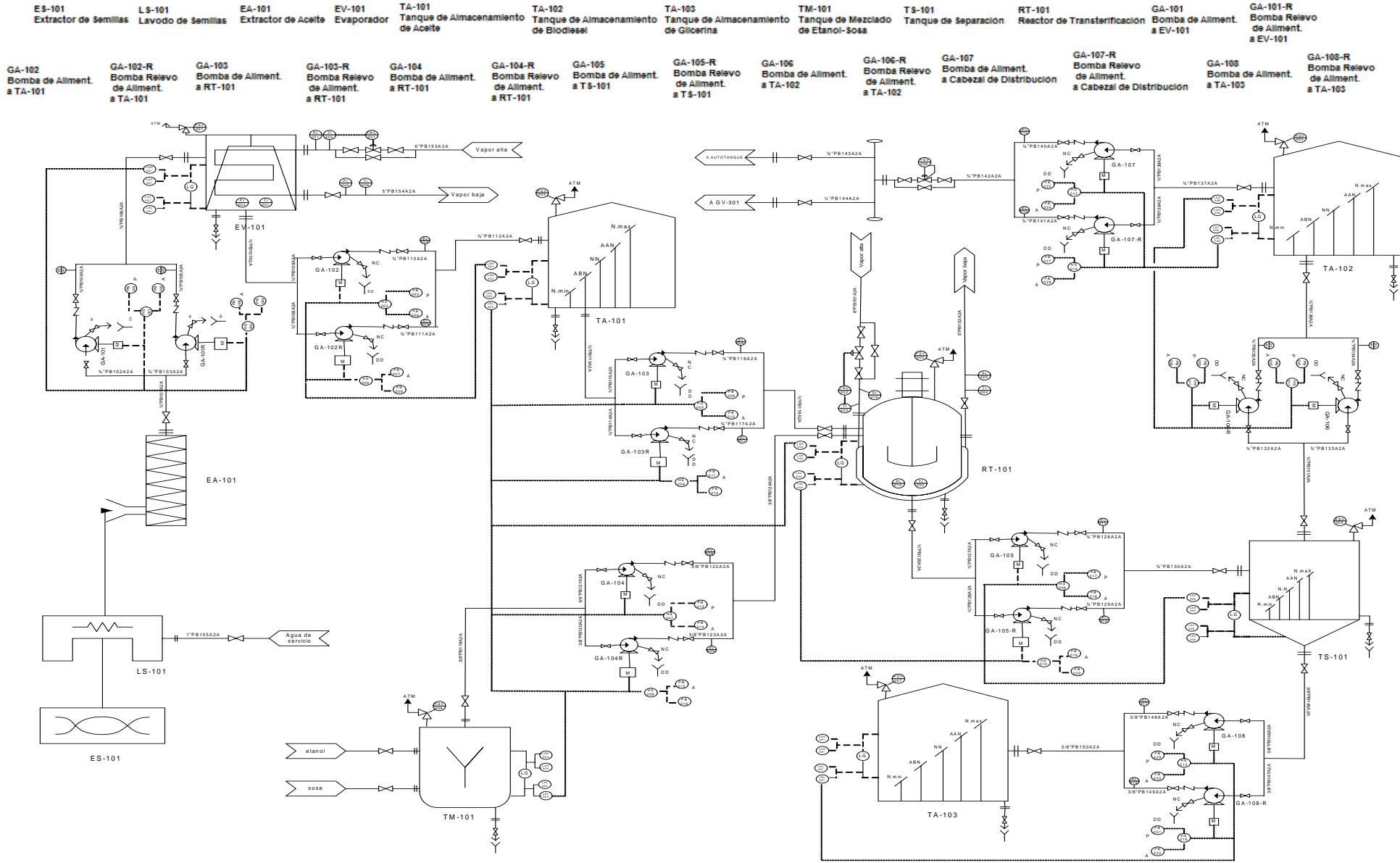
Una vez definido el balance de materia y energía, y posteriormente completado el diseño y especificación de equipos se genera la hoja de datos de los mismos.

La hoja de datos es un documento que tiene como fin mostrar las características inherentes de cada equipo, como son: tipo, código de identificación, longitud, diámetro, niveles, alarmas, potencia así como la selección de materiales y dispositivos de seguridad y alivio.

7.5 Diagramas de tubería e instrumentación.

En estos diagramas se instrumentan todos los equipos de proceso y las líneas, previendo con ello el monitoreo y control de las variables de proceso.


Adicionalmente se instrumentan todos los dispositivos para actuar bajo condiciones anormales (falla eléctrica, descenso de presión, etc.).



REV.	DESCRIPCION
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

**PLANTA PILOTO DE BIODIESEL
PARA FESC4**

UNAM

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUATITLAN		
TESIS PROFESIONAL		
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION DE PRODUCCION DE BIODIESEL		
ELABORO: GABRIEL CALIXTO ELIZABETH NATALIA RAMOS OCHOA LÁZARO		
ESCALA: -----	No DIBUJO : 0002	REVISION : 0

TA-201
Cisterna

TB-201
Tanque de Balance

GA-201
Bomba de Aliment.
a TB-201

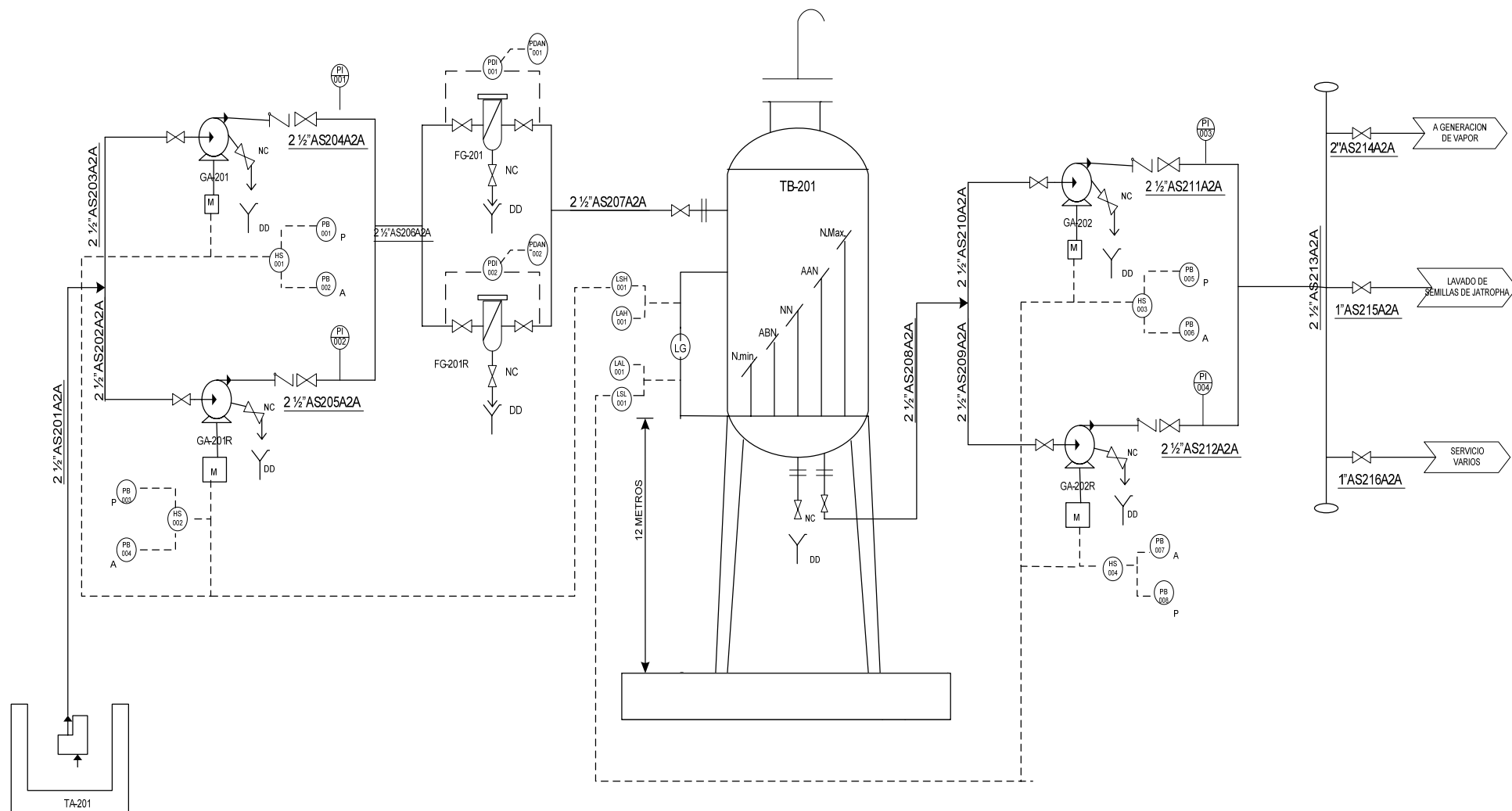
GA-201-R
Bomba Relevo
de Aliment.
a TB-201

GA-202
Bomba de Aliment.
a Cabezal de Distribución

GA-201-R
Bomba Relevo
de Aliment. a
Cabezal de Distribución

FG-201A
Filtro tipo canasta

FG-201B
Filtro tipo canasta



REV.	DESCRIPCION
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

PLANTA PILOTO DE BIODIESEL
PARA FES-C4

UNAM



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUATITLAN

TESIS PROFESIONAL

DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION AGUA DE SERVICIO

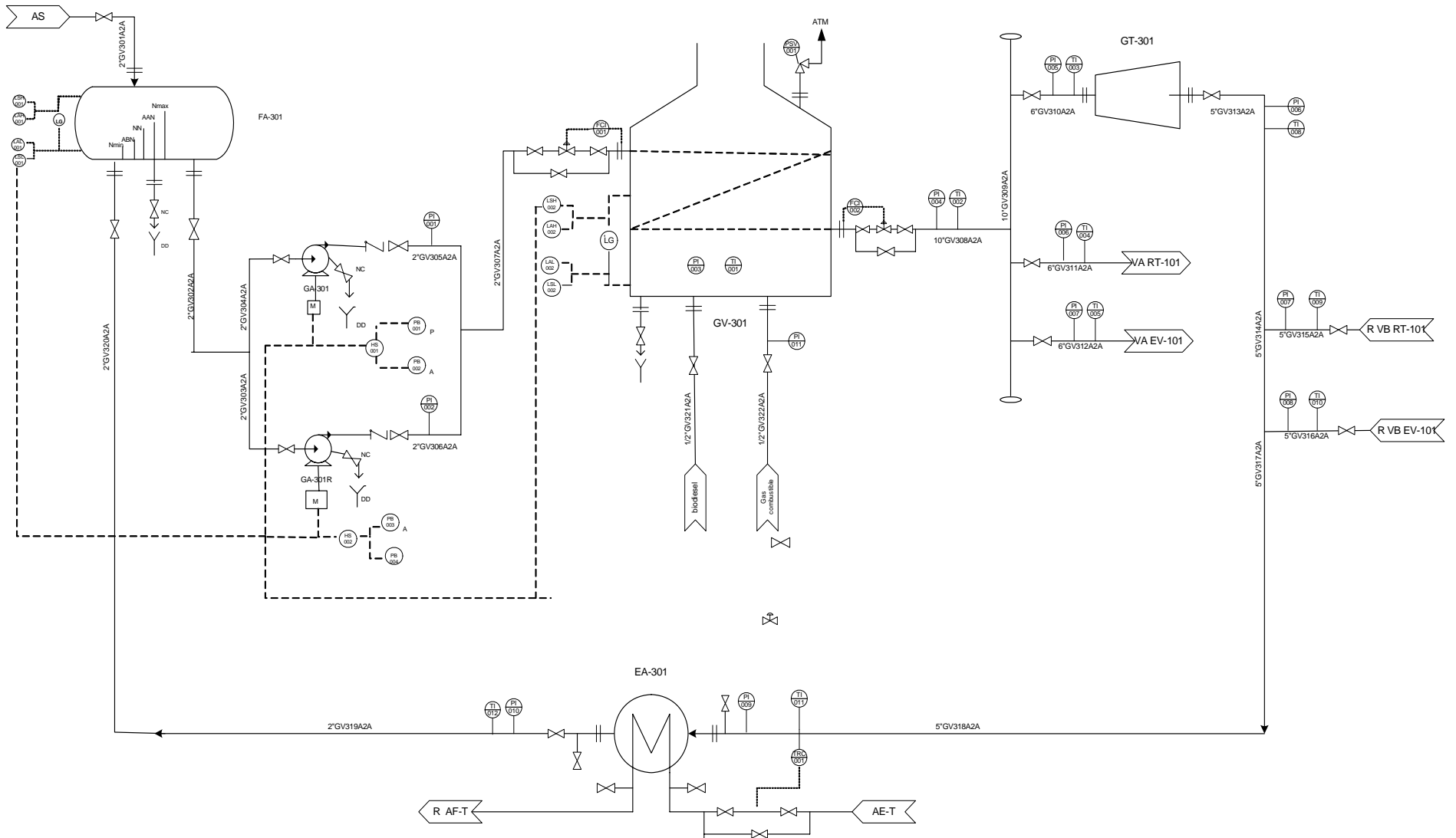
ELABORO: GABRIEL CALIXTO ELIZABETH NATAUA
RAMOS OCHOA LAZARO

ESCALA: -----

No DIBUJO : 0004

REVISION : 0


FA-301 Acumulador
 GA-301 Bomba de dosificación a GV-301
 GA-301-R Bomba de relevo dosificación a GV-301
 GV-301 Generador de Vapor (Caldera).
 GT-301 Turbina
 EA-301 Intercambiador de Calor
 AS Agua de Servicio
 VA RT-101 Vapor de Alta Presión a RT-101
 R VB RT-101 Retorno de Vapor de Baja Presión de RT-101
 VA EV-101 Vapor de Alta Presión a EV-101
 R VB EV-101 Retorno de Vapor de Baja Presión de EV-101
 AE-T Agua de Enfriamiento de Torre de Enfriamiento
 R AE-T Retorno de Agua de Enfriamiento a Torre de Enfriamiento



REV.	DESCRIPCION
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

**PLANTA PILOTO DE BIODIESEL
 PARA FES-C4**

UNAM

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUATITLAN
TESIS PROFESIONAL	
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION DE GENERACION DE VAPOR	
ELABORO: GABRIEL CALIXTO ELIZABETH NATALIA RAMOS OCHOA LAZARO	
ESCALA: -----	No DIBUJO : 0006
REVISION : 0	

TA-401
Cisterna de almacenamiento
de agua de red municipal

TE-401
Torre de enfriamiento

EA-401
Intercambiador de calor

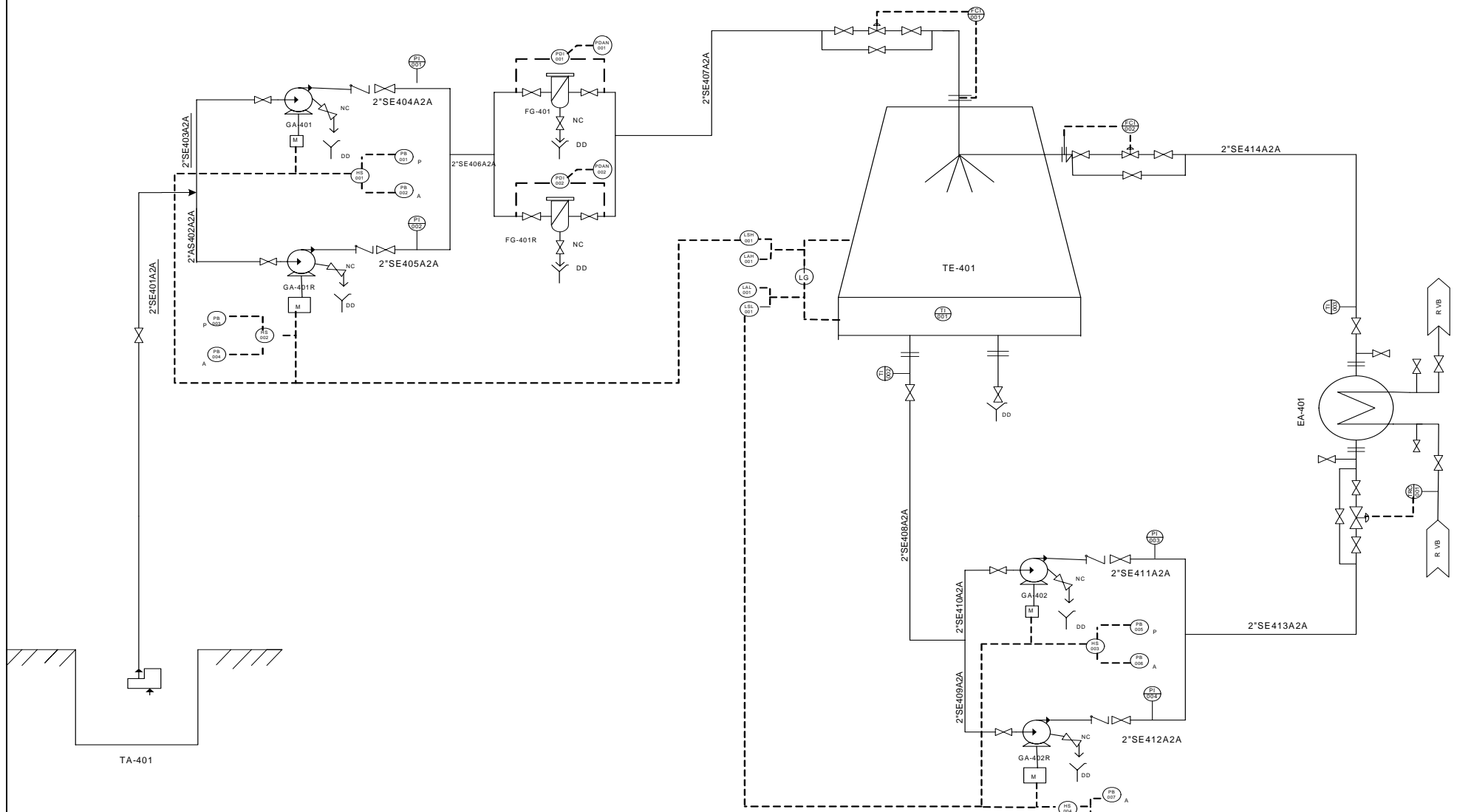
GA-401
Bomba de dosificación a TE-401

GA-401-R
Bomba de relevo de dosificación a TE-401

GA-401
Bomba de dosificación a EA-401

GA-401
Bomba de relevo de dosificación a EA-401

R VB
Retorno de Vapor de Baja Presión



REV.	DESCRIPCION
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

**PLANTA PILOTO DE BIODIESEL
PARA FES-C4**

UNAM



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUATITLAN**

TESIS PROFESIONAL

DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

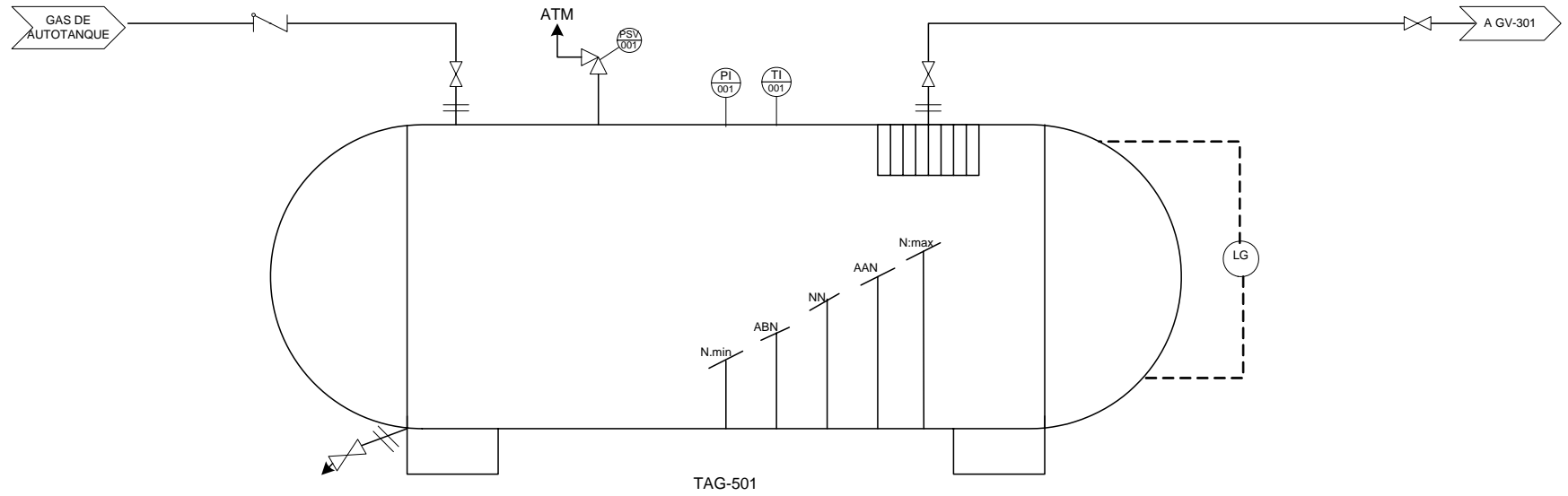
**ELABORO: GABRIEL CALIXTO ELIZABETH NATALIA
RAMOS OCHOA LAZARO**

ESCALA: -----

No DIBUJO : 0008

REVISION : 0

TAG-501
Tanque de Almacenamiento de Gas Combustible



TAG-501

REV.	DESCRIPCION			
0		PLANTA PILOTO DE BIODIESEL PARA FES-C4 UNAM	 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUATITLAN TESIS PROFESIONAL DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION DE GAS COMBUSTIBLE ELABORO: GABRIEL CALIXTO ELIZABETH NATALIA RAMOS OCHOA LÁZARO	
1				
2				
3				
4				
5				
6		ESCALA: -----	No DIBUJO : 0009	REVISION : 0

7.6 Plano de localización general. Plot Plan.

En este plano se muestra el arreglo general de todos los equipos y su localización obedece a las prácticas que definen seguridad en cuanto a orientación de equipos peligrosos desde el punto de vista operacional, así como a prácticas de mantenimiento de equipo.

En este plano se muestran los equipos e instalaciones en un esbozo como si se observara la planta después de su construcción y en una vista aérea.

Este plano se encuentra anexo en el apartado de diagramas.

7.7 Conclusión de capítulo.

En este capítulo se nos indica cuáles son los elementos principales de la ingeniería básica, con la finalidad de poder llevar a cabo los criterios de diseño y las especificaciones a detalle junto con la ingeniería conceptual para poder obtener información detallada de los costos que se requieren para poder llevar a cabo el proyecto propuesto de Planta Piloto de Biodiesel para FESC-4.

Capítulo 8. Criterios de diseño.

Los criterios generales de diseño se establecen como una serie de los principios empíricos aunados a lineamientos obtenidos a partir de fuentes bibliográficas en los cuales se fundamenta el proceso desarrollado.

En lo que se refiere al proceso de fabricación de biodiesel a partir de jatropha se consideran los siguientes criterios

8.1 Criterios de diseño y selección de equipo.

Los criterios de diseño de equipo comprenden aspectos relevantes que determinan el dimensionamiento y selección de los equipos principales del sistema de producción.

8.1.1 Sección de almacenamiento de líquidos.

Para el diseño de los tanques se consideran las condiciones de operación requeridas en el proceso.

Diseño del cuerpo Cilíndrico.

En base al análisis de esfuerzos en cilindros de pared delgada el espesor del cuerpo se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$t_s = \frac{rd(H - 1)}{144 (S)}$$

Conociendo que la densidad relativa (G) es la relación entre la densidad de un fluido y la del agua, además de considerar los efectos de desgaste por corrosión y la eficiencia de soldadura:

$$t_s = \frac{G (62.375)(12 D)(H - 1)}{144 (S E)} + C$$

Considerando:

- Que el material de construcción es acero al carbono y tiene un esfuerzo de trabajo de 21 000 lb/in.
- La eficiencia utilizada comúnmente es del 85% para uniones soldadas a tope.
- Para la densidad relativa generalmente se toma el valor de 1 para cumplir la prueba hidrostática o bien la densidad del fluido si esta es mayor a 1.

Tenemos:

$$t_s = \frac{2.6 (D G)(H - 1)}{21\,000 (0.85)} + C$$

Donde:

D = Diámetro [ft]

H = Altura [ft]

C = Espesor por corrosión [in]

t_s = Espesor mínimo [in]

Los espesores que resulten de la aplicación de esta ecuación en ningún caso deberán ser menores que los mínimos especificados, con objeto de cubrir los problemas de estabilidad estructural, cargas vivas, viento, etc.

Espesor mínimo especificado.	
Diámetro (ft)	Espesor
Hasta 50	3/16"
50 a 120	1/4"
120 a 200	5/16"
>200	3/8"

Estos espesores no incluyen el espesor por corrosión. El máximo espesor nominal para tanques será de 1 1/2".

✚ Criterios para fijar las dimensiones finales de los recipientes atmosféricos.

Para la obtención de las dimensiones finales de estos recipientes se utilizan las tablas recopiladas en el API-650-C donde se establecen las dimensiones de los recipientes y sus correspondientes capacidades.

Estas tablas están basadas en el conocimiento de las dimensiones y diámetros de tapas disponibles en el mercado.

✚ Selección de cabezas.

Para realizar la selección de cabezas se utilizan las siguientes recomendaciones:

Selección del tipo de cabezas.		
Tipo de cabeza	Diámetro recipiente (ft)	Presión de diseño (Psig)
Toriesférica	< 15	< 100
Semielipsoidales	< 15	100 < P < 450
hemisféricas	> 15 <	> 450

✚ Niveles de líquido.

En forma general en cualquier equipo de proceso se pueden establecer los siguientes criterios:

- El nivel mínimo se establece a 6" medidas a partir de la parte inferior del recipiente.
- El nivel máximo se sitúa a 9" medidas a partir de la parte superior del recipiente o a 0.15D, eligiendo el número mayor superior.
- El nivel normal se considerará al 60% entre el nivel máximo y mínimo.
- Cuando se instale una alarma por alto nivel esta se colocará al 80% entre el nivel mínimo y el máximo.
- Cuando se instale una alarma por bajo nivel esta se colocará al 25% entre el nivel mínimo y el máximo.

8.1.2 Dimensionamiento de líneas de tuberías.

Para el estimado del diámetro de las líneas se considera la siguiente ecuación:

Ecuación para fluidos no compresibles

$$D_i = \sqrt{\frac{0.0509 \times W}{\rho \times V}}$$

D_i = diámetro interno en *in*
 W = flujo másico en *lb/Hrs*
 ρ = densidad en *lb/pie³*
 V = velocidad optima *pie/s*

Ejemplo de dimensionamiento para el diámetro interno de tubería para aceite de jatropa:

$$D_i = \sqrt{\frac{0.0509 \times 4051.026 \text{ lb/Hr}}{(57.35 \text{ lb/pie}^3) \times 6 \text{ pie/s}}} = 0.774''$$

Por lo tanto el diámetro nominal es 3/4". Dato pág. B-23 CRANE

Tabla de velocidades optimas de los fluidos

densidad en <i>lb/pie³</i>	100	62.4	50	1	0.1	0.075	0.01
Viscosidad en cP	1	1	1	0.02	0.02	0.02	0.02
velocidad optima pie/s	6.5	7.4	7.9	31	61	67	122

PERRY Biblioteca del Ingeniero Químico 5ª Edición tomo II pág. 5-36

EJEMPLO DE DENOMINACION DE TUBERIAS EN DTIS

<i>Diámetro o</i>	<i>Servicio o Proceso</i>	<i>No de tubería</i>	<i>Clase</i>	<i>shintetizando</i>
1/2"	PB	101	A2A	1/2"PB101A2A

8.1.3 Dimensionamiento de bombas.

Una bomba queda definida hidráulicamente por los siguientes términos:

- Fluido que maneja.** Es importante especificar el fluido que se maneja, ya que al conocerlos se podrá averiguar sus características y seleccionar adecuadamente los materiales y los factores de diseño.
Si contiene sólidos, deberá indicarse el tamaño promedio de partícula y el porcentaje de estos.
- Gasto normal y de diseño.** Este está determinado por el balance de materia y energía. Comúnmente se toma el gasto máximo de operación. El gasto de diseño es un porcentaje referido al gasto normal, los fabricantes recomiendan de 10 a 15 % arriba del gasto normal.
- Temperatura de bombeo.** El conocer la temperatura de bombeo, ayuda en la selección de materiales, tipo de sistema de enfriamientos y sello y nos indicara con junto con la presión de succión la condición del fluido manejado.
- Densidad relativa.** Es la relación de la densidad del fluido manejado entre la densidad de un fluido de referencia (agua a 4°C). Por medio de este valor se encuentra la relación entre la presión diferencial y la altura de la bomba.

- e) **Presión de vapor a la temperatura de bombeo.** A determinada temperatura el fluido manejado tiene una presión de vapor. Cuando la presión de vapor es igual a la presión de operación, el líquido está saturado. Esto es muy importante porque se va a determinar la energía total positiva de succión de la bomba, haciendo que en determinadas condiciones se eleve el recipiente de succión para aumentar tal energía.
- f) **Viscosidad del fluido a la temperatura de bombeo.** La viscosidad es un parámetro que permitirá seleccionar el tipo de impulsor, así como calcular las caídas de presión por fricción en el sistema.
- g) **Presión de succión (P_s) y presión de descarga (P_d).**

$$P_s = P_1 + \frac{Z_1 S_g}{2.31} - \Delta P_{fs} - \Delta P_E$$

Donde:

P_s = Presión de succión de la bomba [lb/in² man]

P_1 = Presión en el tanque de succión [lb/in² man]

Z_1 = Altura [ft]

S_g = Gravedad específica del fluido

$\square P_{fs}$ = Caída de presión por fricción en la línea de succión [lb/in² man]

$\square P_E$ = Caída de presión provocada por cualquier equipo que existiera en la succión [lb/in² man]

$$P_d = P_2 + \frac{Z_2 S_g}{2.31} + \Delta P_{fd} + \Delta P_{vc} + \Delta P_{po}$$

Donde:

P_d = Presión a la descarga de la bomba [lb/in² man]

P_2 = Presión en el tanque de descarga [lb/in² man]

Z_2 = Altura [ft]

S_g = Gravedad específica del fluido

$\square P_{fd}$ = Caída de presión por fricción en la línea de descarga [lb/in² man]

$\square P_{vc}$ = Caída de presión provocada en la válvula de control [lb/in² man]

$\square P_{po}$ = Caída de presión provocada por la placa de orificio [lb/in² man]

Si el tanque es horizontal, Z será tomado desde el lecho bajo del tanque. Si el recipiente esta a un nivel más bajo que el nivel de la bomba, la altura Z será negativa.

La caída de presión de la válvula de control va de 15 a 20 psi en este tipo de sistemas.

La placa de orificio sirve como elemento de medición del flujo para el circuito de control, su caída de presión comúnmente es de 3.6 psi.

- h) **Presión diferencial de la bomba. [ΔP_B].** Es la diferencia entre la presión de descarga y la presión de succión.
- i) **Altura de la bomba o cabeza diferencial.** Es la energía que suministra la bomba y es igual a la presión diferencial transformada a unidades de longitud.

$$H_0 = \frac{\Delta P_B K}{\rho}$$

Donde:

ΔP_B = Presión diferencial [lb/in²]

$K = 144$ [lb_m/lb_f]

ρ = densidad del fluido manejado [lb/ft³]

Como una medida adecuada se añade un factor de seguridad a la cabeza calculada, para prevenir inexactitudes en los cálculos o pérdidas de presión por imprevistos. Frecuentemente el valor de este factor es del 10%.

- j) **Cabeza Neta Positiva de Succión [NPSH].** Se define como la altura neta positiva arriba de la presión de vapor del fluido manejado, disponible en la brida de succión de la bomba. Es decir, el NPSH es la energía con que el fluido cuenta para producir la velocidad absoluta de entrada que se requiere en el impulsor. Existen 2 tipos de NPSH:

NPSH requerido [NPSH_R]: Es función del diseño del impulsor y en la práctica representa la caída de presión desde la brida de entrada hasta la punta del alabe del impulsor. Si la presión en la punta del alabe es menor a la presión de vapor del líquido manejado parte de este líquido pasará al estado vapor y se producirá cavitación en la bomba cuando las burbujas formadas entren a la zona de mayor presión. Este valor es determinado por el fabricante.

NPSH disponible [NPSH_D]: Es la energía proporcionada por el sistema, mediante la cual el fluido llegará a la bomba.

$$NPSH_D = (P_1 - P_v^0) \frac{2.31}{Sg} + Z_1 - (\Delta P_{fs}) \frac{2.31}{Sg}$$

Donde:

NPSH_D = Cabeza neta positiva de succión [ft]
P₁ = Presión en el tanque de succión [lb/in² abs]
P_v⁰ = Presión de vapor del fluido manejado [lb/in²]
Z₁ = Altura [ft]
Sg = Gravedad específica del fluido
ΔP_{fs} = Caída de presión por fricción en la línea de succión.

Para evitar problemas con el mal funcionamiento de la bomba, es necesario siempre que el NPSH_D este por lo menos 2 ft arriba del NPSH_R, esto con el fin de evitar la cavitación.

Cuando el fluido manejado este saturado, es decir, cuando su presión de vapor es igual a la presión en el tanque de succión el NPSH_D solo es logrado con la altura del recipiente, por lo tanto se deberá elevar el recipiente, sin embargo, si el tanque queda demasiado alto aumentará el costo de la estructura, faldón y cimentación y si queda demasiado bajo, aumenta el costo de la bomba, entonces un balance económico dará la solución óptima.

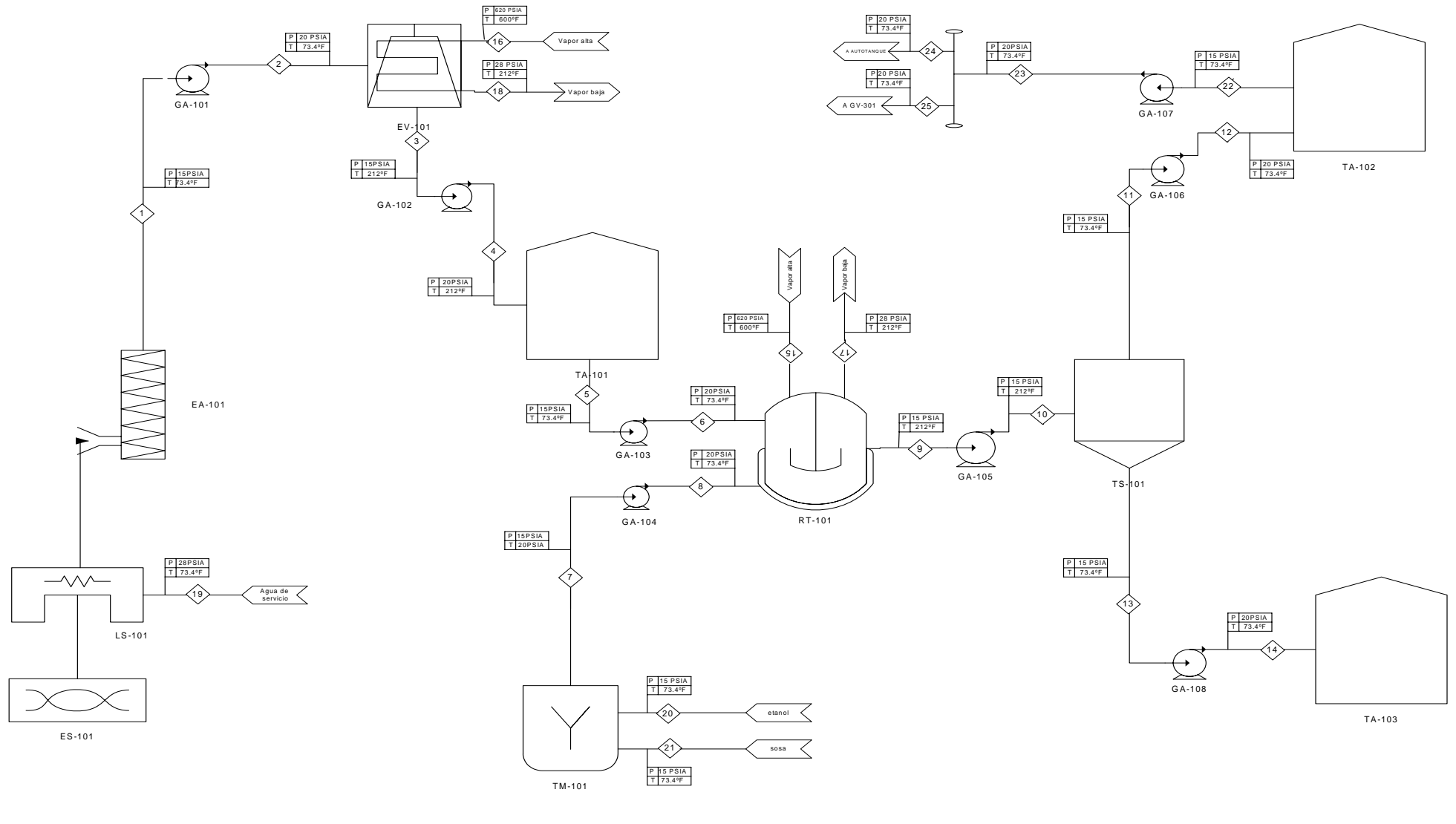
- k) **Potencia hidráulica.** La potencia hidráulica es la energía que la bomba transmite al fluido manejado al subir la presión.

$$HP = \frac{QH\rho}{24700 * ef}$$

Donde:


Q = GPM
H = ft
ρ = lb/ft³
e = eficiencia de la bomba en fracciones

No CORRIEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
FASE	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	vapor alta	vapor alta	vapor baja	vapor baja	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido
COMPONEN	aceite	aceite	aceite	aceite	aceite	aceite	metanol-sos	metanol-sos	R.Transterifi	R.Transterifi	biodiesel	biodiesel	glicerina	glicerina	agua	agua	agua	agua	agua de serv	etanol	sosa	biodiesel	biodiesel	biodiesel	biodiesel
W(lb/Hr)	4051.026	4051.026	4051.026	4051.026	4051.026	4051.026	893.025	893.025	4051.026	4051.026	3492.72	3492.72	555.66	555.66	10456.8	10456.8	10456.8	10456.8	2271.24	893.025	337.365	2910.6	2910.6	1940.4	970.2
Q(gPM)	8.80574007	8.80574007	8.80574007	8.80574007	8.80574007	8.80574007	2.20143502	2.20143502	8.80574007	8.80574007	7.92516606	7.92516606	0.88057401	0.88057401					10	2.20143502	0.440287	6.604306	6.604306	4.40288	2.20143502
P(psia)	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20	620	620	28	28	28	15	15	15	20	20	20
T(°F)	73.4	73.4	212	212	73.4	73.4	73.4	73.4	212	212	73.4	73.4	73.4	73.4	600	600	212	212	73.4	73.4	73.4	73.4	73.4	73.4	73.4
ρ(lb/ptie*3)	57.3461936	57.3461936	57.3461936	57.3461936	57.3461936	57.3461936					54.9364798	54.9364798	78.6590507	78.6590507					62.24	50.5665326	95.5145615	54.9364798	54.9364798	54.9364798	54.9364798
μ(cp)	1	1	1	1	1	1					0.00308	0.00308	1392.3	1392.3	0.023	0.023	0.28	0.28	0.9	0.00308	4	0.00308	0.00308	0.00308	0.00308
ρV(lb/ptie*3)															42.301	42.301	59.812	59.812							
h (BTU/lb)															1375	1375	180.16	180.16							



REV.	DESCRIPCION
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

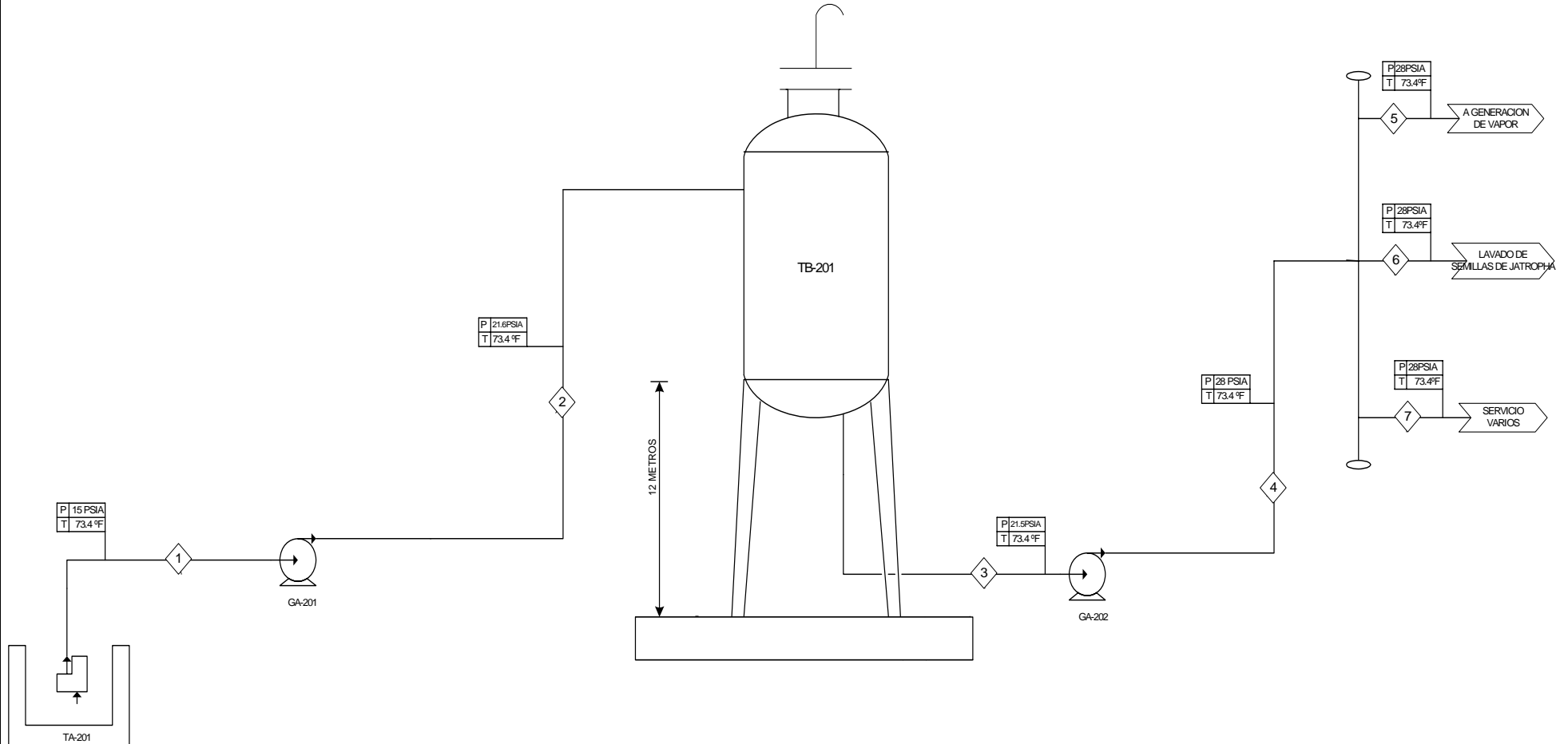
PLANTA PILOTO DE BIODIESEL PARA FES-C4
UNAM



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUATITLÁN
TESIS PROFESIONAL
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL
ELABORO: GABRIEL CALIXTO ELIZABETH NATALIA RAMOS OCHOA LAZARO

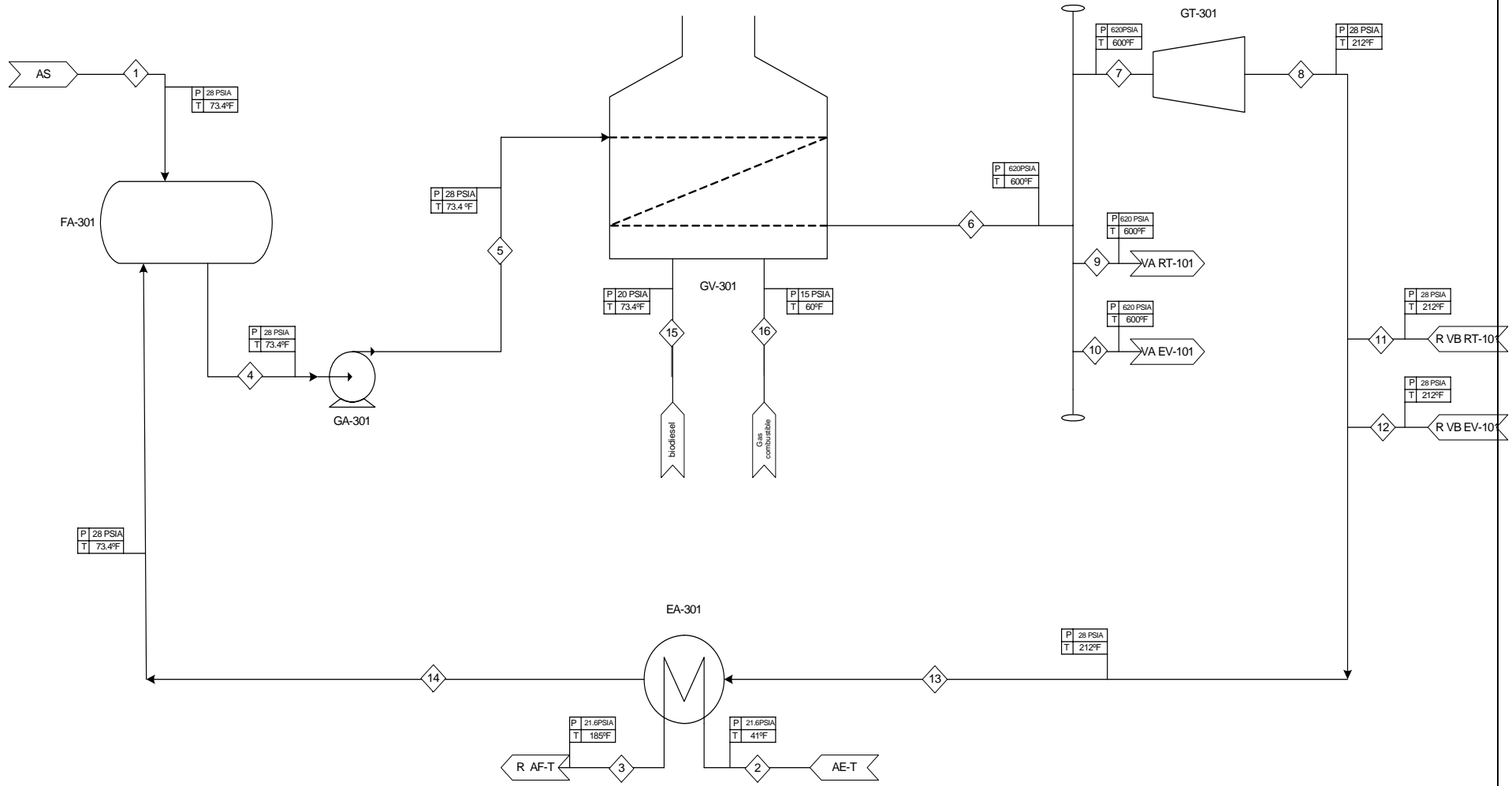
ESCALA: -----	No DIBUJO : 0001	REVISION : 0
---------------	------------------	--------------

No CORRIENTE	1	2	3	4	5	6	7
FASE	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido
COMPONENTE	agua	agua	agua	agua	agua	agua	agua
W(lb/Hr)	32972.4675	32972.4675	32972.4675	32972.4675	10456.8	2271.24	2271.24
Q(GPM)	66.0430505	66.0430505	66.0430505	66.0430505	46.0430505	10	10
P(psia)	15	21.5	21.5	28	28	28	28
T(°F)	73.4	73.4	73.4	73.4	73.4	73.4	73.4
$\rho_L(\text{lb}/\text{pie}^3)$	62.2342918	62.2342918	62.2342918	62.2342918	62.2342918	62.2342918	62.2342918
$\mu(\text{cp})$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9



REV.	DESCRIPCION	 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUATITLAN TESIS PROFESIONAL DIAGRAMA DE FLUJO AGUA DE SERVICIO ELABORO: GABRIEL CALIXTO ELIZABETH NATALIA RAMOS OCHOA LAZARO	
0			
1			
2			
3			
4			
5		ESCALA: -----	No DIBUJO : 0003
6			REVISION : 0


No CORRIEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
FASE	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido	vapor alta	vapor alta	vapor baja	vapor alta	vapor alta	vapor de baj	vapor de baj	vapor de baj	liquido	liquido	gas
COMPONEN	agua	agua	agua	agua	agua	agua	agua	agua	agua	agua	agua	agua	agua	agua	biodiesel	gas combust
W(lb/Hr)	10456.8	26373.46	26373.46	10456.8	10456.8	10456.8	3485.6	3485.6	3485.6	3485.6	3485.6	3485.6	10456.8	10456.8	970.2	672.4
Q(GPM)	46.0430505	52.8344404	52.8344404	46.0430505	46.0430505									46.0430505	2.20143502	
P(psia)	28	21.6	21.6	28	28	620	620	28	620	620	28	28	28	28	20	15
T(°F)	73.4	41	185	73.4	73.4	600	600	212	600	600	212	212	212	73.4	73.4	60
pL(lb/pie^3)	62.24	62.4215	60.4675	62.24	62.24									62.24	54.9364798	
μ(cp)	0.9	1.3	0.427	0.9	0.9	0.023	0.023	0.28	0.023	0.023	0.28	0.28	0.28	0.9	0.00308	
ρV(lb/pie^3)						42.301	42.301	59.812	42.301	42.301	59.812	59.812	59.812			38.08
H (BTU/lb)	41.09	9.02	152.99	41.09	41.09	1375	1375	181.19	181.19	1375	181.19	181.19	181.19			



REV.	DESCRIPCION
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

**PLANTA PILOTO DE BIODIESEL
 PARA FES-C4**

UNAM

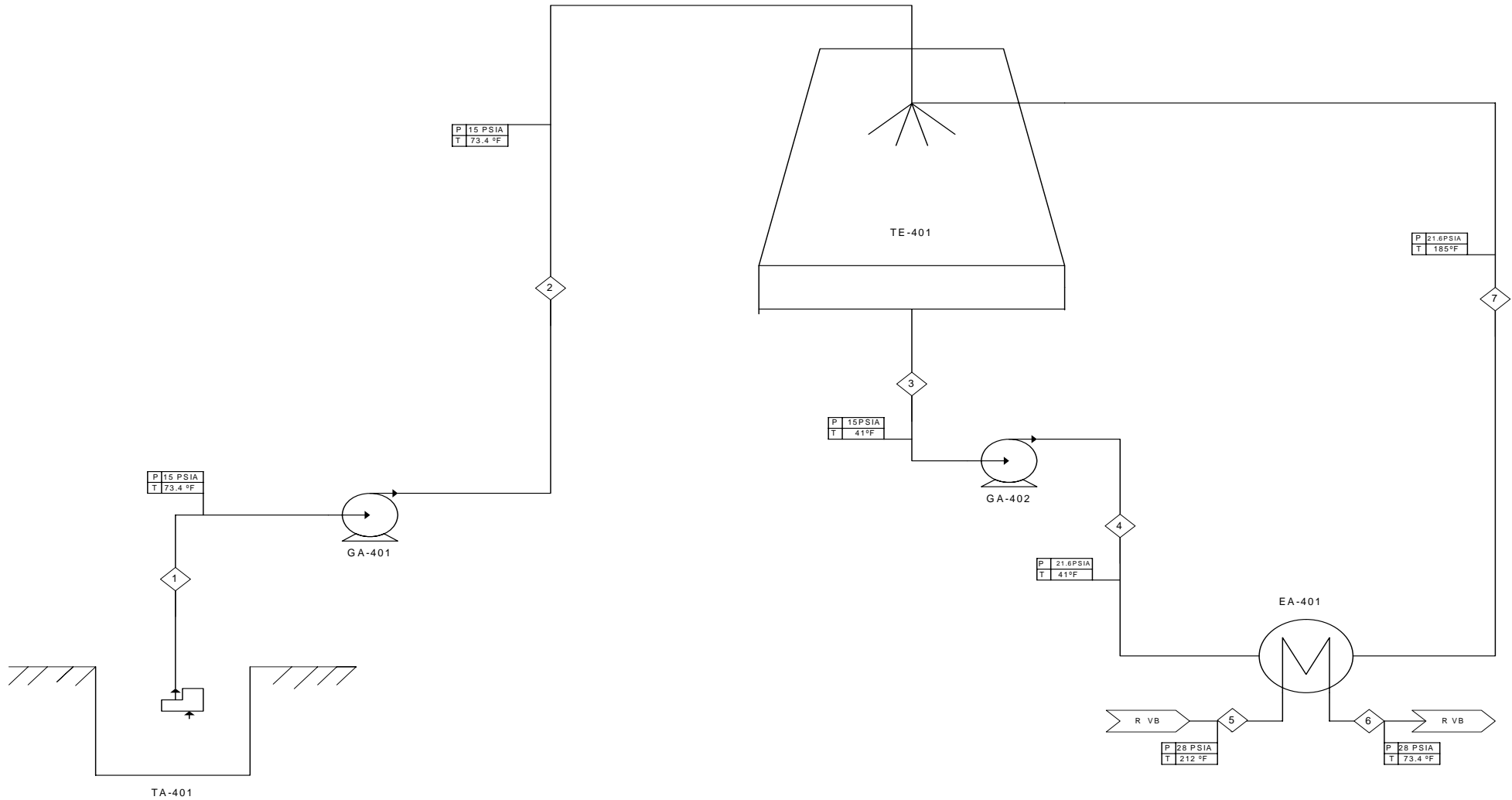


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUATITLAN

TESIS PROFESIONAL
DFF DE GENERACION DE VAPOR
ELABORO: GABRIEL CAUXTO ELIZABETH NATALIA
RAMOS OCHOA LÁZARO

ESCALA: -----	No DIBUJO : 0005	REVISION : 0
----------------------	-------------------------	---------------------

No CORRIENTE	1	2	3	4	5	6	7
FASE	liquido	liquido	liquido	liquido	vapor	liquido	liquido
COMPONENTE	agua	agua	agua	agua	agua	agua	agua
W(lb/Hr)	26373.46	26373.46	26373.46	26373.46	10456.8	10456.8	26373.46
Q(GPM)	52.8344404	52.8344404	52.8344404	52.8344404	-----	52.8344404	52.8344404
P(psia)	15	21.6	15	21.6	28	28	21.6
T(°F)	73.4	73.4	41	41	212	73.4	185
ρ L(lb/pie^3)	62.2342918	62.2342918	62.4215	62.4215	-----	62.2342918	60.4675
ρ V(lb/pie^3)	-----	-----	-----	-----	59.812	-----	-----
μ (cp)	0.9	0.9	1.3	1.3	0.28	0.9	0.427
H (BTU/lb)	41.09	41.09	9.02	9.02	181.19	41.09	152.99



REV.	DESCRIPCION
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

PLANTA PILOTO DE BIODIESEL
PARA FES-C4

UNAM



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUATITLAN

TESIS PROFESIONAL

DIAGRAMA DE FLUJO DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

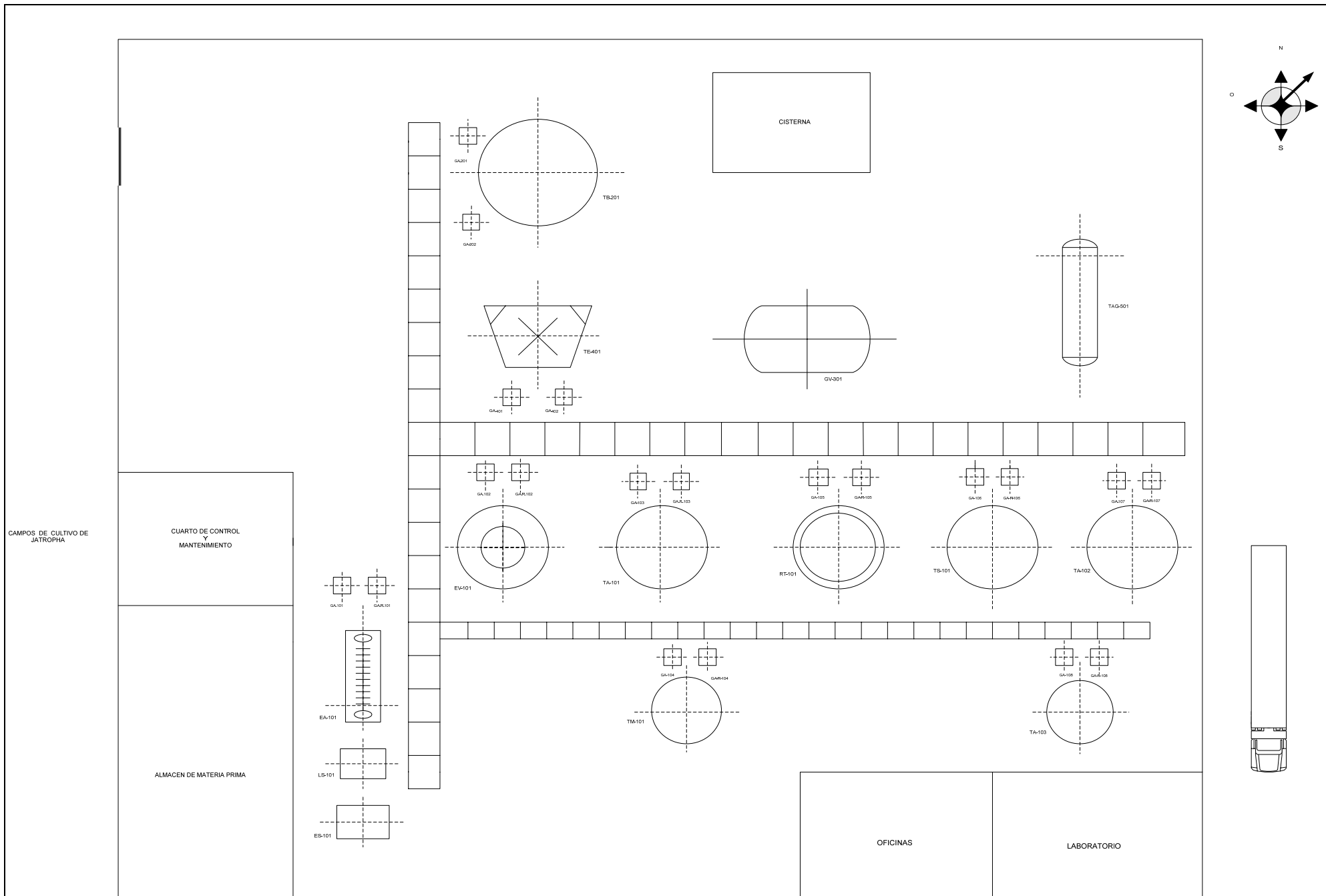
ELABORO: GABRIEL CALIXTO ELIZABETH NATALIA

RAMOS OCHOA LAZARO

ESCALA: -----

No DIBUJO : 0007


REVISION : 0



REV.	DESCRIPCION
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

**PLANTA PILOTO DE BIODIESEL
 PARA FES-C4**

UNAM

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUATITLAN
	TESIS PROFESIONAL PLOT PLAN
ELABORO: GABRIEL CALIXTO ELIZABETH NATALIA RAMOS OCHOA LÁZARO	
ESCALA: -----	No DIBUJO : 0010
REVISION : 0	

8.3 Balance económico.

Para realizar el balance económico se solicitaron cotizaciones a Mexichem, empresa que se dedica a la producción-distribución de productos químicos y a MML ENTERPRISES COMPANY LTD, compañía que se dedica a la venta de semillas para elaborar biodiesel así como tecnología para la misma.

Para iniciar con la producción del biodiesel es necesario comprar las semillas, sembrar algunas y extraer el aceite de otras. Los precios de las materias primas se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 18. Precios de materias primas

Materia Prima	Precio/ Ton	Materia Prima	Precio/ Ton
Semilla de Jatropha	400 USD	Etanol	1200 pesos
Aceite de Jatropha	300 USD	NaOH	3500 pesos

Para obtener el precio de biodiesel utilizaremos el costo del aceite de jatropha, la semilla se comprará para iniciar a sembrar/cosechar las semillas para la extracción del aceite.

Tabla 19. Costo de materias primas por cada 100 L de aceite vegetal

	Aceite vegetal	+	3 etanol	→	3 Biodiesel	+	Glicerina
V (l)	100		14		106		8
\$ (pesos)	331.2		16.8				

Por cada Kg de etanol se requiere 1 Kg de NaOH para la preparación del metóxido, por lo que:

14 L etanol (0.79 Kg/ L etanol) = 11.06 Kg etanol = 11.06 Kg NaOH requeridos lo que tiene un costo de \$38.71 pesos.

\$ Materias primas por cada 100 L de aceite vegetal = \$ NaOH + \$ etanol + \$ aceite

$$= \$ 38.71 + \$ 16.8 + \$ 331.2$$

$$= \$ 389.71/ 106 L biodiesel$$

El precio de producción por litro de biodiesel es de \$3.648 pesos.

El precio del diesel que vende Pemex tiene un costo de \$8.80 / L, esto a fecha de 15 de agosto, precio que se verá incrementado en los siguientes meses del año.

El precio de fabricación del biodiesel es de \$ 3.648 por lo que bien podríamos venderlos al doble y aun así estaríamos \$1.50 debajo del precio de Pemex, significando que el proyecto es rentable y favorable para la economía del consumidor.

El costo de la tecnología para la capacidad requerida es de \$400 000 y el costo de las materias primas para la fabricación de los 50 000 L de biodiesel anuales es de \$ 182 410, lo que nos da un total de \$ 582 410.

La **inversión total sería de \$762 410** pesos, de los cuales \$582 410 están destinados para la compra de la tecnología y materias primas, \$100 000 para pisos e instalaciones, \$80 000 para un tanque de almacenamiento extra y \$0 para la operación de la planta piloto ya que esta estará a cargo de estudiantes.

La glicerina es un subproducto de la reacción de transesterificación, misma que se puede comercializar y así incrementar las ganancias. Procter & Gamble planta Talismán vende la glicerina que obtiene de la reacción de saponificación a \$ 25 /Kg, cabe mencionar que las características de esta son similares a la que se obtiene del proceso de transesterificación.

En un año se obtienen 4 754 Kg de glicerina, al venderla al mismo precio que P&G se obtienen ganancias de \$118 850.

Si nos enfocáramos en recuperar la inversión únicamente con la venta de biodiesel manteniendo un precio de \$7.30/ L, la inversión total se recuperaría en 2.08 años, sin embargo, con la venta de glicerina la inversión se recupera en 1 año 3 meses.

8.4 Conclusión de capítulo.

La planta piloto de biodiesel será instalada en FES Cuautitlán campo 4, la cual tendrá una capacidad de 50 000 litros anuales, usando este producto como combustible alternativo o sustituyente de los combustibles fósiles, en específico del diesel.

El biodiesel fabricado se utilizará como combustible en los camiones de transporte que dan servicio de metro cuatro caminos, rosario y politécnico a campo 1 y campo 4 así como a los intercampus. Considerando que el servicio sea ofrecido por 21 unidades de transporte y cada uno realice 3 vueltas el consumo total diario será de 151.2 litros.

La inversión total es de \$762 410 pesos, el costo de producción por litro de biodiesel es de \$3.648 y el precio de venta de \$7.30, precio con el cual la inversión se estaría recuperando en 2.08 años.

Considerando los costos actuales de diesel y el continuo incremento de este, se concluye que el futuro del proyecto es prometedor, no solo por el beneficio que genera con la producción/uso del biodiesel, sino también a largo plazo la obtención de ganancias que pueden ser invertidas en otros proyectos para beneficio de la facultad, mismos que benefician a la comunidad universitaria.

Capítulo 9. Conclusión

Los biocombustibles, aunque no son la solución a los problemas energéticos, económicos y ambientales, son un medio por el cual se puede llevar a cabo la transición energética de una economía sustentada en los combustibles fósiles a una economía mundial basada en fuentes renovables de energía. Este es el siglo donde debe dejar de quemarse al petróleo, pues es un bien de alto valor industrial, ya que de él se producen plásticos, medicinas, aditivos alimenticios, colorantes, detergentes, lubricantes, y otras sustancias importantes. En este siglo debe impulsarse una economía de los biocombustibles no provenientes de recursos alimenticios ni de algunos otros recursos que impacten a la sustentación humana ni al medio ambiente.

En México aun tenemos muchas áreas de oportunidad en el mercado de biocombustibles, oportunidades que sin duda tendrán gran impacto en el desarrollo de nuestro país.

Los biocombustibles son un tema que ha encontrado puntos de vista profundamente polarizados entre los responsables políticos y el público en general.

Se han caracterizado por considerarse como una panacea que representa una tecnología central en la lucha contra el cambio climático.

La sustentabilidad a largo plazo del sector bioenergético solamente se puede alcanzar con políticas correctas y con planificaciones que tengan en cuenta una gama de tendencias globales entre las que se incluyan el crecimiento de la población, las mejoras de la producción agrícola, el cambio de los patrones dietéticos y el cambio climático, mismas que cubre actualmente el biodiesel.

El biodiesel de *Jatropha curca* es producido y utilizado en Europa en países tales como Francia, Austria, Alemania, España, Suecia, Italia, etc. En los Estados Unidos, existen ya numerosas flotas de transporte público que utilizan biodiesel en sus distintas mezclas. Este combustible ha ido ganando popularidad mundial como energía renovable debido a sus ventajas económicas, ambientales y sociales, lo que nos demuestra que es una buena alternativa y avala el futuro de nuestro proyecto.

Por lo que consideramos que este proyecto es un gran inicio para poder hacer un cambio importante en la industria de los combustibles en nuestro país y sobre todo una aportación para nuevas Generaciones de Ingenieros Químicos, de poder generar nuevas alternativas de energía.

Bibliografía.

1. Diario Oficial de la Federación de los Estados Unidos Mexicanos.1 de Febrero de 2008. Ley de Promoción y desarrollo de los bioenergéticos.
2. Secretaria de Energía (SENER), Subsecretaría de Planeación Energético y Desarrollo Tecnológico, Dirección General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Medio Ambiente. Potenciales y Viabilidades del uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México. Noviembre del 2006
3. ASTM D 5167 Biodiesel Blend Stock Specification (100).
4. Handbook The Biodiesel. Editors: Gerhard Knothe, Jon Van Gerpen, Jürgen Krahl.Editorial AOCS Champaign, Illinois United States 2005.
5. Morrison, R. Química Orgánica.5ª Edición.Editorial.Adison-Wesley Longman. México,1998.
6. Streiweiser,A. Química Orgánica. Editorial: Mc Graw Hill 3ª Edición.Mexico,1989.
7. Ludwig Ernest E. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume 1. Third Edition. Houston Texas 1999.
8. Peters,Max S. Klaus D. Timmerhaus Plant Design And Economics For Chemical Engineer. Editorial. Mc Graw Hill 4ªEdition. United States 1991
9. Rase & Barrow. Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso. Editorial Continental. México 1988
10. Decelis Contreras Rafael. Evaluación de Proyectos.Editorial.Costa Amic Editores. México Edo México 1995.
11. PMI. guía de los fundamentos de la dirección de proyectos. Guía del pmbok. Norma Nacional Americana ANSI/PMI 99-001-2004
12. Perry Robert H. Biblioteca del Ingeniero Químico. Editorial. Mc Graw Hill. 5ª Edición México D.F. 1990.
13. Levenspiel Octave.Ingenieria de las Reacciones Químicas. Editorial Reverte Barcelona España,1976.
14. Walas Stanley M.Chemical Process Equipment Selection and Desing.Series in chemical engineering. Massachusetts Institute of Technology United States 1990.