



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA DE UN PROCESO PARA LA
PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE COCINA
USADO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA QUIMICA

PRESENTA:

NAYELI PASCUAL BUSTAMANTE

ASESOR: I.Q. RAFAEL GARCIA NAVA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



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

U.N.A.M.
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS
 SUPERIORES CUAUTITLAN

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:

Evaluación técnica y económica de un proceso para la producción
de biodiesel a partir de aceite de cocina usado.

Que presenta la pasante Nayeli Pascual Rustamante

Con número de cuenta: 406073394 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 02 de Febrero de 2011

| | | |
|--------------|--------------------------------------|--|
| PRESIDENTE | <u>IQ. Rafael Garcia Nava</u> | |
| VOCAL | <u>IQ. Rafael Decelis Contreras</u> | |
| SECRETARIO | <u>IQ. Ismael Nuñez Barrón</u> | |
| 1er SUPLENTE | <u>MI. Arturo Ortega Díaz</u> | |
| 2º SUPLENTE | <u>MI. Julio César Morales Mejía</u> | |

Dedicatorias

A mi madre:

Por brindarme las primeras enseñanzas en mi vida, consolar mis llantos, velar conmigo en esas noches de enfermedad y de estudio, no tengo palabras para agradecerte lo mucho que me has dado.

Por todo lo que vales y representas en mi vida

Te quiero mucho mami

A mi padre:

Por estar siempre conmigo, saber que cuento contigo para cualquier adversidad, te agradezco tus desvelos y consejos, tus regaños y reprimendas, por enseñarme el valor del trabajo.

Este logro más que mío, es tuyo porque gracias a ti eh logrado concluir esta etapa de mi vida

Te quiero mucho gordo

A mis hermanos:

Isael y Selene por demostrarme que van a estar siempre conmigo, aguantándome y apoyándome, por el simple hecho de saber que existen me hace más grata la vida.

Los quiero mucho manitos.

Agradecimientos

A dios. Por brindarme la oportunidad de nacer y crecer en una familia que me quiere y que me apoya.

A la FES-C. Por todos los conocimientos que me brindaron para mi formación personal y profesional, por darme la oportunidad de conocer a cada uno de mis profesores que también agradezco su paciencia y conocimientos.

A mi familia. Por siempre creer en mí les agradezco a mis tíos y primos su apoyo y cariño que siempre me han brindado (a mi pareja que esto sea una muestra de que a pesar de las adversidades puedes cumplir tus metas con esfuerzo y trabajo).

A mis padrinos Inocente y Trinidad. Por el apoyo que siempre nos han brindado.

A Ana. Mujer más que mi amiga, eres como la hermana que nunca tuve jajaja te quiero mucho y espero que este sea un de los muchos logros que disfrutemos juntas.

A Jerónimo. Porque más que mi compañero de toda la carrera, eres mi mejor amigo, gracias por aguantarme (que se fue difícil) y por enseñarme tantas cosas, espero que siempre seas mi buen amigo Jero.

Karina, Maru, Christian, Fernando, Jonathan por los buenos y malos momentos que siempre pasamos siempre tendré muchos bellos recuerdos de todos.

A mis compañeros y amigos de FESC. Les agradezco su apoyo y las muchas horas que pasamos disfrutando en las banquetas.

Al Ing. Rafael García Nava. Por su paciencia y apoyo en la realización de este trabajo y por brindarme su amistad.

A mis sinodales (Rafael Decelis, Ismael Núñez, Arturo Ortega y Julio Morales). Por leer este trabajo y enriquecerlo con sus consejos y observaciones.

A todos aquellos que de alguna forma contribuyeron en mi formación académica, profesional y personal, que forman o formaron parte de mi vida les agradezco sus consejos y conocimientos brindados.

CONTENIDO

Pág

| | |
|--|----|
| Resumen | 1 |
| Introducción | 2 |
| Capítulo 1. Combustibles fósiles | 3 |
| 1.1. Antecedentes | 3 |
| 1.2. El problema de los combustibles fósiles a nivel mundial | 4 |
| 1.2.1. Precedentes | 5 |
| 1.2.2. Situación actual a nivel mundial | 6 |
| 1.3. El problema de los combustibles fósiles en México | 7 |
| 1.3.1. Precedentes | 7 |
| 1.3.2. Situación actual en México | 9 |
| 1.3.3. Uso de combustibles en automóviles y contaminación ambiental en la Ciudad de | 10 |
| 1.3.4. Uso de energía fósil en el Zona Metropolitana del Valle de México | 10 |
| 1.3.5. Consumo de energía en la Zona Metropolitana del Valle de México y en el Distrito | 11 |
| Federal | |
| 1.3.5.1. Tipo de unidad de medida utilizada | 14 |
| 1.4. Impacto ambiental de los combustibles fósiles | 15 |
| 1.4.1. Combustibles alternativos | 17 |
| 1.4.2. Ventajas y desventajas | 19 |
| 1.5. Recapitulación | 22 |
| | |
| Capítulo 2. Biocombustibles | 23 |
| 2.1. Biodiesel | 25 |
| 2.2. Fundamentos de la reacción de transesterificación | 28 |
| 2.2.1. Mecanismo de la reacción de transesterificación | 29 |
| 2.3. Variables que influyen en la reacción de transesterificación | 31 |
| 2.3.1. Pureza y calidad de los reactivos | 31 |
| 2.3.2. Relación molar alcohol/aceite | 33 |
| 2.3.3. Tipo de alcohol | 33 |
| 2.3.4. Tipo y cantidad de catalizador | 34 |
| 2.3.4.1. Reacción de saponificación | 35 |
| 2.3.4.2. Reacción de neutralización de ácidos grasos libres (AGL) | 36 |
| 2.3.5. Temperatura y tiempo de reacción | 37 |
| 2.3.6. Agitación | 37 |
| 2.4. Producción de biodiesel | 38 |
| 2.4.1. Etapas del proceso de esterificación con catalizador ácido de un aceite con metanol | 38 |
| 2.4.2. Etapas del proceso de transesterificación con catálisis básica | 39 |
| 2.5. Control de calidad | 40 |
| 2.6. Estándares de calidad | 41 |
| 2.7. Recapitulación | 42 |
| | |
| Capítulo 3. Objetivos y alcance del proyecto | 45 |
| 3.1. Objetivo general | 45 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2. Objetivos específicos | 45 |
| 3.3. Alcance del proyecto | 46 |
| Capítulo 4. Estudio de Mercado | 47 |
| 4.1. Demanda de biocombustibles | 47 |
| 4.1.1. Consumo de combustibles en México | 47 |
| 4.1.2. Consumo actual de biodiesel a nivel mundial | 51 |
| 4.1.3. Consumo actual de biodiesel en México | 53 |
| 4.1.4. Mercado de aplicación en México | 54 |
| 4.2. Origen de la Materia Prima | 56 |
| 4.2.1. Residuos de aceite usado de cocina | 56 |
| 4.2.1.1. Fuentes de obtención de residuos de aceite usado de cocina | 57 |
| 4.2.2. Alcoholes | 58 |
| 4.2.3. Catalizador | 58 |
| 4.3. Productos | 59 |
| 4.3.1. Demanda de Biodiesel | 59 |
| 4.3.2. Demanda de Glicerina | 60 |
| 4.4. Recapitulación | 62 |
| Capítulo 5. Localización de la planta | 63 |
| 5.1. Procedimiento de selección | 63 |
| 5.1.1. Zona Industrial Cuautitlán Izcalli | 63 |
| 5.1.2. Zona Industrial Vallejo | 64 |
| 5.1.3. Zona Industrial Naucalpan | 64 |
| 5.2. Estudio de mercado de la zona seleccionada | 65 |
| 5.2.1. Aspectos técnicos | 67 |
| 5.2.2. Aspectos sociales | 70 |
| 5.2.3. Aspectos ambientales | 70 |
| Capítulo 6. Selección de tecnología | 71 |
| 6.1. Proceso de producción con pre tratamiento de neutralización alcalina de ácidos grasos libres para producir biodiesel utilizando aceite de cocina usado (Proceso I) | 73 |
| 6.1.1. Descripción del proceso | 73 |
| 6.1.2. Factores de selección | 76 |
| 6.2. Proceso de producción con pre tratamiento de esterificación catalizada por ácido usando aceite de cocina usado (Proceso II) | 79 |
| 6.2.1. Descripción del proceso | 79 |
| 6.2.2. Factores de selección | 82 |
| 6.3 Evaluación de tecnologías | 85 |
| 6.4. Recapitulación | 86 |
| Capítulo 7. Bases de diseño | 88 |
| 7.1. Generalidades | 88 |
| 7.1.1. Tipo de proceso | 88 |
| 7.2. Capacidad, Rendimiento y Flexibilidad | 88 |
| 7.2.1. Factor de servicio | 88 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 7.2.2. | Capacidad y rendimiento | 88 |
| 7.2.3. | Flexibilidad | 89 |
| 7.2.3.1. | Tipo de carga | 89 |
| 7.2.3.2. | Falla de energía eléctrica | 89 |
| 7.2.3.3. | Falla de vapor | 89 |
| 7.3. | Especificaciones de materia prima | 89 |
| 7.3.1. | Aceite de cocina usado | 90 |
| 7.3.2. | Metanol | 90 |
| 7.3.3. | Hidróxido de sodio | 91 |
| 7.4. | Especificaciones de productos y subproductos en L.B. | 91 |
| 7.4.1. | Biodiesel (FAME) | 91 |
| 7.4.2. | Glicerina | 91 |
| 7.5. | Efluentes | 92 |
| 7.6. | Servicios auxiliares | 92 |
| 7.6.1. | Vapor | 92 |
| 7.6.2. | Condensado | 92 |
| 7.6.3. | Agua | 92 |
| 7.6.3.1. | Agua de caldera | 92 |
| 7.6.3.2. | Agua de enfriamiento suministro | 93 |
| 7.6.3.3. | Agua de enfriamiento retorno | 93 |
| 7.6.3.4. | Agua para servicios | 93 |
| 7.6.3.5. | Agua contra incendio | 94 |
| 7.6.3.6. | Agua potable | 94 |
| 7.6.4. | Aire | 94 |
| 7.6.4.1. | Aire de instrumentos | 94 |
| 7.6.4.2. | Aire de planta | 95 |
| 7.6.6. | Energía eléctrica | 95 |
| 7.6.7. | Sistema de comunicación | 95 |
| 7.6.8. | Desfogue | 96 |
| 7.6.9. | Sistemas de seguridad | 96 |
| 7.6.9.1. | Sistemas contra incendio | 96 |
| 7.6.10. | Sistema de protección contra corrosión | 97 |
| 7.7. | Condiciones climatológicas | 97 |
| 7.7.1. | Temperatura ambiente | 97 |
| 7.7.2. | Humedad relativa | 97 |
| 7.7.3. | Viento | 97 |
| 7.7.4. | Precipitación pluvial | 98 |
| 7.8. | Localización de la planta | 98 |
| 7.8.1. | Plano de localización general | 98 |
| | Capítulo 8. Ingeniería Básica | 99 |
| 8.1. | Configuración del proceso | 99 |
| 8.1.1. | Diagrama de bloques | 101 |
| 8.1.2. | Diagrama de Flujo de Proceso | 102 |
| 8.2. | Balance de Materia y Energía del Proceso | 106 |
| 8.2.1. | Notas al Balance de Materia y Energía | 109 |

| | |
|--|-----|
| 8.3. Descripción de equipo crítico | 109 |
| 8.3.1. Hojas de datos de equipo crítico | 113 |
| 8.3.2. Opción de automatización de la planta de biodiesel | 131 |
| 8.4. Diagramas de Tuberías e Instrumentación | 131 |
| 8.4.1. Diagramas de Tuberías e Instrumentación del Proceso | 131 |
| 8.4.2. Diagramas de Tuberías e Instrumentación de Servicios | 134 |
| 8.5. Plano de Localización General de Planta y Equipo | 141 |
| 8.7. Conclusiones | 121 |
| | |
| Capítulo 9. Estudio Financiero | 144 |
| 9.1. Estimación de costos fijos | 144 |
| 9.1.1. Costo de equipos | 145 |
| 9.1.2. Costo de mano de obra | 146 |
| 9.1.2.1. Mano de obra directa | 146 |
| 9.1.2.2. Mano de obra indirecta | 146 |
| 9.1.2.3. Personal administrativo y de ventas | 147 |
| 9.2. Plan global de inversiones | 148 |
| 9.2.1. Inversión Fija | 148 |
| 9.2.2. Costo de organización | 149 |
| 9.2.3. Capital de trabajo | 149 |
| 9.2.4. Imprevistos | 149 |
| 9.3. Costo de producción | 151 |
| 9.4. Flujo de efectivo de operación | 151 |
| 9.5. Balances | 153 |
| 9.6. Punto de equilibrio | 154 |
| 9.7. Recapitulación | 156 |
| | |
| Capítulo 10. Organización y administración del proyecto | 158 |
| 10.1. Diagrama de Gantt | 158 |
| 10.2. WBS | 161 |
| 10.3. Recapitulación | 161 |
| | |
| Capítulo 11. Conclusiones | 162 |
| | |
| Anexo A. Memoria de cálculo | 166 |
| Anexo B. Tablas | 171 |
| Glosario | 176 |
| Referencias | 179 |

Índice de tablas

| Tabla | Título | Pág. |
|--------------|--|-------------|
| Tabla 1 | Consumo energético de la Zona Metropolitana del Valle de México en el año 2006 | 12 |
| Tabla 2 | Estándares y especificaciones del biodiesel | 43 |
| Tabla 3 | Consumo de energía en el sector transporte 2006 | 50 |
| Tabla 4 | Demanda esperada de biodiesel 2006-2016 | 60 |
| Tabla 5 | Valores ponderados para la selección del lugar | 65 |
| Tabla 6 | Distribución de productos por rama manufacturera en Cuautitlán Izcalli | 67 |
| Tabla 7 | Factores de selección del proceso (Proceso I) | 76 |
| Tabla 8 | Factores de selección del proceso (Proceso II) | 83 |
| Tabla 9 | Factores para la evaluación de tecnología | 85 |
| Tabla 10 | Propiedades de aceite vegetal usado proveniente de industrias alimenticias | 90 |
| Tabla 11 | Propiedades de metanol proveniente del proveedor Química Delta S.A. de C.V. | 90 |
| Tabla 12 | Propiedades del hidróxido de sodio proveniente del proveedor Química Delta S.A de C.V. | 91 |
| Tabla 13 | Propiedades de biodiesel en L.B | 91 |
| Tabla 14 | Propiedades de glicerol en L.B. | 91 |
| Tabla 15 | Especificaciones de vapor | 92 |
| Tabla 16 | Especificaciones de agua de caldera | 92 |
| Tabla 17 | Especificaciones de agua de enfriamiento | 93 |
| Tabla 18 | Especificaciones de retorno de agua de enfriamiento | 93 |
| Tabla 19 | Especificaciones de agua pre tratada para servicios | 93 |
| Tabla 20 | Especificaciones de agua contra incendio | 94 |
| Tabla 21 | Especificaciones de agua potable | 94 |
| Tabla 22 | Especificaciones de aire de instrumentos | 95 |
| Tabla 23 | Especificaciones de aire de planta | 95 |
| Tabla 24 | Condiciones de temperatura ambiente | 97 |
| Tabla 25 | Condiciones de humedad relativa | 97 |
| Tabla 28 | Balance de materia y energía del proceso | 106 |
| Tabla 29 | Costo de equipos | 145 |
| Tabla 30 | Costo de mano de obra directa | 146 |
| Tabla 31 | Costo de mano de obra indirecta | 147 |
| Tabla 32 | Costo de personal administrativo | 147 |
| Tabla 33 | Costo de personal de ventas | 147 |
| Tabla 34 | Plan Global de Inversión | 150 |
| Tabla 35 | Costo de producción | 152 |

Índice de figuras, gráficas y diagramas

| Título | | Pág. |
|---------------|---|-------------|
| Diagrama 1 | Diagrama conceptual del capítulo | 23 |
| Diagrama 2 | Pre-tratamiento de aceite con alto contenido de AGL por esterificación | 39 |
| Diagrama 3 | Diagrama del proceso de producción de biodiesel por catálisis básica | 40 |
| Diagrama 4 | Balance nacional de energía, 2008 (petajoules) | 48 |
| Diagrama 5 | Diagrama de bloques del proceso I | 73 |
| Diagrama 6 | Diagrama de bloques del proceso II | 79 |
| Diagrama 7 | Diagrama de bloques del proceso | 103 |
| Diagrama 8 | Diagrama de Flujo de Proceso | 104 |
| Diagrama 9 | Diagramas de Tuberías e Instrumentación del Proceso | 132 |
| Diagrama 11 | Diagramas de Tuberías e Instrumentación de servicios | 135 |
| Diagrama 14 | Plano de Localización General de Planta | 142 |
| Diagrama 15 | Plano de Localización General de Equipo | 143 |
| Diagrama 16 | Diagrama de Gantt | 159 |
| Diagrama 17 | WBS | 160 |
| | | |
| Figura 1 | Fabricación del biodiesel | 25 |
| Esquema 1 | Proceso para la evaluación de la tecnología. | 72 |
| | | |
| Gráfica 1 | Consumo de combustibles en la Zona Metropolitana del Valle de México en el año 2000 | 14 |
| Gráfica 2 | Reducción de emisiones con uso de biodiesel puro | 20 |
| Gráfica 3 | Emisiones de biodiesel (EPA 2002) | 27 |
| Gráfica 4 | Consumo de energía del sector transporte 2008 | 51 |
| Gráfica 5 | Punto de equilibrio | 155 |
| | | |
| Reacción 1 | Reacción de transesterificación | 28 |
| Reacción 2 | Mecanismo de reacción de transesterificación | 30 |
| Reacción 3 | Etapas de la reacción de transesterificación | 32 |
| Reacción 4 | Saponificación de un triglicérido | 35 |
| Reacción 5 | Saponificación de un ácido graso | 36 |

Resumen

En este trabajo se estudia la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado, mediante la transesterificación con metanol en medio básico (pH aproximado de 10) con hidróxido de sodio como catalizador.

El proceso de producción de biodiesel comprende las etapas de reacción, transesterificación catalítica con metanol, separación, lavado y secado.

Se realiza también un análisis de la posibilidad de producir biodiesel en México, mediante un estudio de pre factibilidad técnico-económica. Se analiza la disponibilidad de materia prima, los volúmenes a producir y proponer, en base a estos datos, un proceso y una planta adecuada para la fabricación del biodiesel.

El diseño contiene el diagrama de flujo acompañado del balance másico de la planta. Esto permite calcular el tamaño de los equipos y los consumos principales para evaluar el costo estimado de la planta. Se dimensionaron y detallaron los equipos de proceso (tanques y bombas, entre otros) para permitir un funcionamiento continuo de la planta.

Se realizó una estimación de los materiales a procesar y de su costo. Se tomaron en cuenta los costos iniciales de obras, de equipamiento y otros gastos para evaluar la inversión a realizar en la construcción de la planta.

Introducción

Actualmente uno de los desafíos medioambientales que afronta la humanidad es el calentamiento de la atmósfera; dicho proceso se debe, entre otros, al gran incremento en el uso de combustibles fósiles con los cuales se emiten altas cantidades de gases como el dióxido de carbono, metano y óxido de azufre a la atmósfera.

Existen muchas razones en todo el mundo para interesarse por el estudio y producción del biodiesel debido a que éste permite reducir la dependencia de combustibles fósiles, es una oportunidad para que los países se diversifiquen de acuerdo a sus recursos naturales, ayuda a estimular mercados agrícolas y reducir pobreza en áreas rurales al proporcionar trabajos para personas de bajos recursos y es compatible con la infraestructura existente de distribución de diesel (por lo que no requiere inversiones muy grandes de abastecimiento). También es más amigable con el medio ambiente y es una alternativa para reducir gases de (CO_2 y CO) y hacer una contribución al protocolo de Kioto (Jérôme, 2007).

Debido a las razones mencionadas anteriormente y a la gran necesidad de disminuir el consumo de los combustibles fósiles no renovables, se estudia la posibilidad de obtener otras fuentes de combustibles alternativos como el biodiesel, basados en la utilización de recursos de nuestro país como los aceites usados de origen vegetal.

Capítulo 1. Combustibles fósiles

En este capítulo se pretende dar una breve reseña de la problemática que tienen los combustibles fósiles a nivel mundial y en el país, esto con el fin de hacer conciencia y llevar a cabo acciones que nos permitan combatir esta problemática.

A lo largo del capítulo se expondrá el impacto ambiental que tiene el consumo de estos combustibles y las acciones implementadas actualmente, así como la situación actual en cuanto a las reservas estimadas de dichos combustibles.

1.1. Antecedentes

Las principales fuentes generadoras de contaminación atmosférica están relacionadas con la producción y consumo de energía, especialmente de combustibles fósiles (WB, 1998; PNUMA, 2003; Semarnat-INE, 2005). La quema de estos combustibles emite diversos contaminantes como el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y subproductos como el bióxido de azufre (Lvocky y Hughes, 1999; Environment Canadá, 2003), que afectan la calidad del aire y promueven la formación de lluvia ácida y cambios en el clima global. El indicador de consumo final de petrolíferos a nivel nacional refleja la magnitud de la presión que se ejerce de manera indirecta sobre la calidad del aire. Este indicador es propuesto por el Ministerio de Ambiente de Canadá (Environment Canadá) y por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE (OCDE, 1998, 2002; Environment Canadá, 2003).

Existen diversas fuentes de emisión de contaminantes a la atmósfera: industria, transporte, generación de electricidad, servicios, suelos y fuentes de área (es decir, fuentes de emisión de pequeñas cantidades de contaminantes). Aunque los aspectos climáticos influyen de manera importante, en general, entre mayores sean los niveles de emisión de contaminantes, mayores serán las concentraciones a las que estén expuestas las poblaciones

(WB, 1998). La información del volumen de emisiones y de las fuentes que los generan son insumos básicos para la elaboración de programas tendientes a mejorar la calidad del aire. Los indicadores de Desarrollo Sustentable de la ONU y los de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico incluyen las emisiones totales de óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno a nivel nacional, mientras que Environment Canadá propone las emisiones de compuestos orgánicos volátiles. Además, la OCDE incluye la intensidad de emisiones (OCDE 1998, 2002; INEGI y Semarnat-INE, 2000; Environment Canadá 2003).

1.2. El problema de los combustibles fósiles a nivel mundial

El petróleo y gas provee el 58.53 por ciento de la energía mundial total, tiene más energía por gramo que ningún otro combustible fósil y es también, una fuente importante de sustancias químicas para la industria de los plásticos.

El gas natural es un posible reemplazo para el petróleo. Desde 1970, el gas natural ha sido la fuente de energía de más rápido crecimiento. La mayor parte del gas natural está con el petróleo. Hasta hace poco se le quemaba o se le permitía escapar al aire. Hoy en día, la gente sabe el valor del gas natural como un combustible y como una fuente de sustancias químicas.

El uso mundial del carbón también está aumentando cada año. La ventaja mayor del carbón es su abundancia, se estima que las reservas son, por lo menos, 250 veces la cantidad usado en un año. Los mayores perjuicios del aumento en el uso del carbón son los costos en la salud y el ambiente. Más carbón quiere decir más contaminación del aire, más destrucción de la tierra y más daño a las comunidades bióticas, debido a que al quemar el carbón se aumentan los niveles de bióxido de carbono emitidos a la atmósfera (Crisis energética, 2003).

1.2.1. Precedentes

A principios del siglo XIX la población sobre el planeta se situaba en unos 1000 millones de personas, tan sólo un 3 % de ésta habitaba en ciudades y su base energética era la energía humana y animal complementada con el uso de energías renovables, no sería hasta comienzos del siglo XX que el uso de energías fósiles (fundamentalmente el carbón) se desplazaría de manera importante a nivel global. En 1900, la población humana había experimentado un salto discreto hasta sobrepasar los 1600 millones de habitantes y la tasa de urbanización se había multiplicado por 5. La urbanización había estallado allí donde se estaba produciendo la revolución industrial, especialmente en Europa occidental, apareciendo las primeras urbes millonarias. Hoy en día, en los umbrales del nuevo siglo y milenio, la población mundial supera los 6 600 millones de personas, más de la mitad de esta habita en ciudades (cien veces más que en 1800, especialmente en grades metrópolis), la base energética renovable es claramente residual (6 %) y el grueso de las necesidades energéticas (80 %) se garantiza con los combustibles fósiles (crudo, carbón y gas), aunque es el petróleo la fuente principal que mantiene un mundo creciente, industrial, urbano-metropolitano y motorizado en funcionamiento (Delgado Ramos, 2008).

En el año 1998 la Agencia Internacional de Energía (AIE) partió de una generosa estimación de 2300 GB (giga barriles) como reserva, sin embargo, sus datos hablaban por primera vez de una llegada a la cumbre de la producción para el 2015. En el año 2000, la AIE volvió a cambiar sus estimaciones, considerando que no habría problema para mantener la demanda de crudo hasta el 2020. El año 2001 la AIE finalmente admitió que los países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) entrarían muy pronto en el declive de su producción, dejando la situación en manos de los productores de Oriente Medio, donde se encuentran el 65 % de las reservas mundiales de petróleo (Crisis energética, 2003).

Por otra parte, la gran mayoría de la producción mundial de crudo está en manos de los países de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), que han sido tradicionalmente poco fiables a la hora de reportar sus reservas. En el año de 1985 Kuwait aumento en un 50 % sus reservas, y en 1987 Venezuela dobló también las suyas, al añadir a estas el petróleo pesado (considerado crudo no convencional). Estos aumentos fueron seguidos por los otros países de la OPEP, deseosos de poder aumentar sus cuotas de extracción. Además de las fuentes, el consenso sobre el significado de cada variable es muy importante para llegar a datos, que sí bien es muy difícil que coincidan en todo el espectro de instituciones, compañías, gobiernos y científicos que se ocupan del tema, al menos haría mucho más fácil que todos los agentes implicados entendieran de qué se habla cuando se habla de reservas (Fernández Durán, 2005).

1.2.2. Situación actual a nivel mundial

El petróleo ha registrado consumos exponenciales. Las cifras indican que se pasó de unos miles de barriles de crudo al año a mediados del siglo XIX, a más de 65 millones de barriles al día para fines del siglo XX. Los principales sectores de consumo de petróleo son la generación de electricidad, el transporte y la petroquímica.

Se calcula que los habitantes de los países con mayores ingresos consumen unas 21 veces per cápita más que los de bajos ingresos.

Algunas estimaciones calculan que el conductor estadounidense consume en promedio su peso en petróleo crudo cada semana. Esto dicho de otro modo, significa a nivel mundial, que los automóviles sobrepasan en peso a la población en una relación de 4 a 1 y consumen en combustible una cantidad de energía cercana a esa misma proporción que lo que la gente consume en alimentos (Fernández Durán, 2005).

A lo largo del siglo XX, la mayor comodidad y menores costes del petróleo y el gas hicieron que estos combustibles desplazaran al carbón en la calefacción de viviendas y oficinas y en la propulsión de locomotoras y también redujeron su empleo en el mercado industrial. Incluso en el mercado de las centrales térmicas el petróleo y el gas fueron haciéndose con cuotas mayores y la contribución del carbón al panorama energético global cayó en picada. Sin embargo, las drásticas subidas de los precios del petróleo desde 1973 proporcionaron al carbón una importante ventaja de costes para las centrales eléctricas y los grandes consumidores industriales, con lo que empezó a recuperar parte de los mercados que había perdido.

Las reservas mundiales de carbón son enormes. La cantidad de carbón recuperable desde un punto de vista técnico y económico en las condiciones actuales proporcionaría cinco veces más energía que las reservas de petróleo crudo; como existen muchas reservas de carbón de alto coste, la cantidad que será económicamente recuperable a medida que crecen los precios de la energía podría proporcionar más de 20 veces más energía que las reservas de petróleo. Cuatro regiones de mundo contiene tres cuartas partes de las reservas de carbón actualmente recuperables: Estados Unidos (28 %), los países de la antigua URSS (17 %), china (16 %) y Europa Occidental (14 %) (Delgado Ramos, 2008).

1.3. El problema de los combustibles fósiles en México

1.3.1. Precedentes

Desde 1992 México ha participado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC); como parte de los compromisos en este foro, se presentó en 1997 la Primera Comunicación Nacional de México ante la CMNUCC la cual, incluyó avances y resultados de estudios, talleres, cursos, conferencias y publicaciones sobre vulnerabilidad y el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

1990 para México. La elaboración de la Segunda Comunicación Nacional de México se inició en el año 2000 e incluyó la actualización del Inventario para 1994, 1996 y 1998 (Semarnat, 2008).

La actualización del inventario que en ese entonces se hizo fue realizada utilizando la metodología, revisada para 1996, del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC). El inventario incluyó a los gases de efecto invernadero directos: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) e indirectos (que contribuyen a la formación atmosférica del ozono): monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles que no incluyen al metano (COVNM).

Posteriormente, con base en las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático, la orientación del PICC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre de los inventarios nacionales de los gases de efecto invernadero publicada en el año 2000, se preparó el tercer inventario nacional de gases de efecto invernadero, mismo que fue presentado en agosto de 2006, donde se ofrecen cifras para el periodo 1990-2002 y reemplaza los datos de los inventarios previos, los cuales cubren el periodo 1990-1998 (Semarnat, 2008).

El tercer inventario se integra con información oficial proporcionada por más de 20 instituciones públicas y privadas lo que permitió ahora incluir la estimación de gases y sectores no considerados anteriormente. Debido a lo anterior, así como por utilizar una metodología distinta, para este inventario se calcularon nuevamente las emisiones de los años incluidos en los inventarios previos (siendo estas emisiones mayores que en inventarios anteriores), utilizando factores de emisión más adecuados a la situación del país y permitiendo que la información para cada uno de los años presentados fuera comparable entre sí.

El inventario más reciente contiene información sobre las emisiones de las seis fuentes y sumideros así como los seis gases de efecto invernadero incluidos en el Anexo A del Protocolo de Kioto (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, hexafluoruro de azufre), de los cuales las emisiones de los gases fluorados de la categoría de emisión de Procesos Industriales y las emisiones de la categoría de solventes son estimados por primera vez, lo que lo convierte en el Inventario más completo preparado a la fecha (Semarnat, 2009).

1.3.2. Situación actual en México

A principios del año 2009 el 80 % de toda la energía consumida en el mundo provenía de combustibles fósiles. Durante el mismo periodo en México el 92 % de la energía utilizada proviene de estos combustibles.

México emite anualmente 188 millones de toneladas de Carbono equivalente, lo que representa cerca del 2 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y lo ubica como el noveno país en este rubro a nivel mundial. Su contribución per cápita es pequeña respecto a países desarrollados, pero en el contexto del tercer mundo, es de las más elevadas, por su gran dependencia en los combustibles fósiles y las altas tasas de deforestación- que aportan el 29 % de las emisiones totales (Semarnat, 2008).

De seguir las actuales tendencias, las emisiones del país podrían aumentar 50 % para el año 2010, lo cual puede ocasionar grandes sequías y reducción en la superficie apta para cultivo; aumentarían los riesgos de inundaciones y se producirían cambios en la distribución geográfica de más de la mitad de los bosques.

1.3.3. Uso de combustibles por automóviles y contaminación ambiental en la Ciudad de México

Aproximadamente el 50-60 % de la contaminación en las ciudades es causada por los vehículos. Emiten el 34 % de los óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO₂). Emiten además el perjudicial monóxido de carbono (CO) que intoxica la sangre.

Estos son algunos datos relacionados con el consumo excesivo de combustibles fósiles en la Ciudad de México y Zona Metropolitana:

- En la Ciudad de México y el Valle de México se generan alrededor de 43 millones de litros diarios de combustibles. De esta cantidad, 54 % corresponde al transporte de bienes y servicios.
- En la Ciudad de México circulan todos los días más de 3 millones de automóviles que consumen más de 43 millones de litros de combustibles (SEMARNAT, 2008).

1.3.4. Uso de energía fósil en el Zona Metropolitana del Valle de México

Como en cualquier otro país, la mayor parte de la energía producida en México es consumida en las áreas urbanas. Por ello, los niveles de contaminación en la Zona Metropolitana del Valle de México – particularmente la atmosférica – están asociados principal y directamente con la utilización de fuentes fósiles de energía, como también a los patrones intensivos de consumo y a la aún deficiente calidad de los combustibles utilizados (Secretaría del Medio Ambiente, 2008).

El consumo y la producción de energía están íntimamente ligados a la emisión de diversos contaminantes a la atmósfera, tanto a nivel local (bióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y partículas suspendidas) como de impacto

regional/global, esto es, de los llamados gases de efecto invernadero (bióxido de carbono, metano y óxido nitroso).

1.3.5. Consumo de energía en la Zona Metropolitana del Valle de México y en el Distrito Federal

Una vía aproximada para contextualizar el consumo energético en la Zona Metropolitana del Valle de México respecto al país es la siguiente:

- En 2001, el consumo final de energía de la zona centro del país (Distrito Federal, Hidalgo, Estado de México, Moleros, Puebla y Tlaxcala), de la cual la Zona Metropolitana del Valle de México representa 56.6 % en población, equivalió a casi 30 % de la que consume el país (Secretaría del medio ambiente, 2008).
- En los casos de gas LP y querosenos, los consumos se acercan al 40 % y la leña al 20 % respecto del total nacional. La gasolina, el diesel y el combustóleo participan con valores menos a 35 %; sin embargo, la suma de dichas fuentes es de 516.7 Petajoules [PJ], esto es, 55 % del total de la energía consumida por la zona centro.
- Para dimensionar la importancia de sus repercusiones ambientales, el consumo de gasolinas y diesel 449.34 PJ en 2001 representó casi la mitad de la energía consumida en la región centro; le siguen el gas LP y electricidad
- De acuerdo con un estudio prospectivo de la Secretaría del Medio Ambiente del GDF (Estrategia Local de Acción Climática, 2005) el consumo anual energético de la Zona Metropolitana del Valle de México (para la que se consideran las 16 delegaciones y 18 municipios conurbados) muestra un incremento anual de 13 % entre 1996 y 2000 en los diferentes sectores de consumo, según en el orden de importancia siguiente: transporte, industria, residencial, comercial y público.

- Durante el año 2000, la Zona Metropolitana del Valle de México consumió un total 555.3 PJ provenientes del uso de combustibles y 88 PJ de electricidad, cantidades que respecto al consumo nacional, representan 14 % y 16 % respectivamente, e incluye la energía consumida por los sectores transporte, industrial residencia, comercial, publico y generación eléctrica (Secretaria del medio ambiente, 2008).

Tabla 1. Consumo energético de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) en el año 2000

| CONSUMO ENERGÉTICO DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO 2000 | | |
|--|---|----------------------|
| Energético | Tipo | Consumo (Petajoules) |
| | Consumo total | 625.5 |
| Combustibles | Subtotal | 555.3 |
| | Gasolinas | 252.9 |
| | GN (incluye generación eléctrica) | 142.8 |
| | Gas Licuado de Petróleo | 90 |
| | Diesel | 51.2 |
| | Combustóleo | 8.6 |
| | Gasóleo | 7.6 |
| | Leña | 2.1 |
| | Petróleo diáfano | 0.1 |
| | Coque | 0 |
| | Querosinas | 0 |
| | GN dedicado a la generación eléctrica en la ZMVM | 54.9 |
| Consumo de electricidad | Subtotal | 88 |
| | Generación eléctrica en la ZMVM | 17.8 |
| | Importación de electricidad hacia la ZMVM | 70.2 |
| Nota | Combustibles y electricidad deben sumarse por separado ya que en la Zona metropolitana del Valle de México el 10% de los combustibles (55 PJ) provenientes del gas natural, se utilizaron para la generación de energía eléctrica | |

Fuente: GDF. Secretaria del Medio Ambiente

Durante el año 2000, el Distrito Federal consumió un total de 343 PJ de energía, el 55 % del consumo de la Zona Metropolitana del Valle de México, 291 PJ provenientes de

combustibles y 52 PJ de electricidad. Esto representa 52 % de los combustibles de la Zona Metropolitana del Valle de México y 59 % de la electricidad, 7.8 % del consumo nacional de combustibles y 9.5 % de la electricidad (UAM, 2003).

La generación de electricidad fue mínima en el DF y básicamente con el fin de dar estabilidad al sistema de distribución; en ellas se empleó únicamente gas natural y represento 0.3 % del consumo de combustibles, con lo que generó 0.1 % de sus requerimientos energéticos. El resto de la electricidad provino del Sistema Interconectado Nacional.

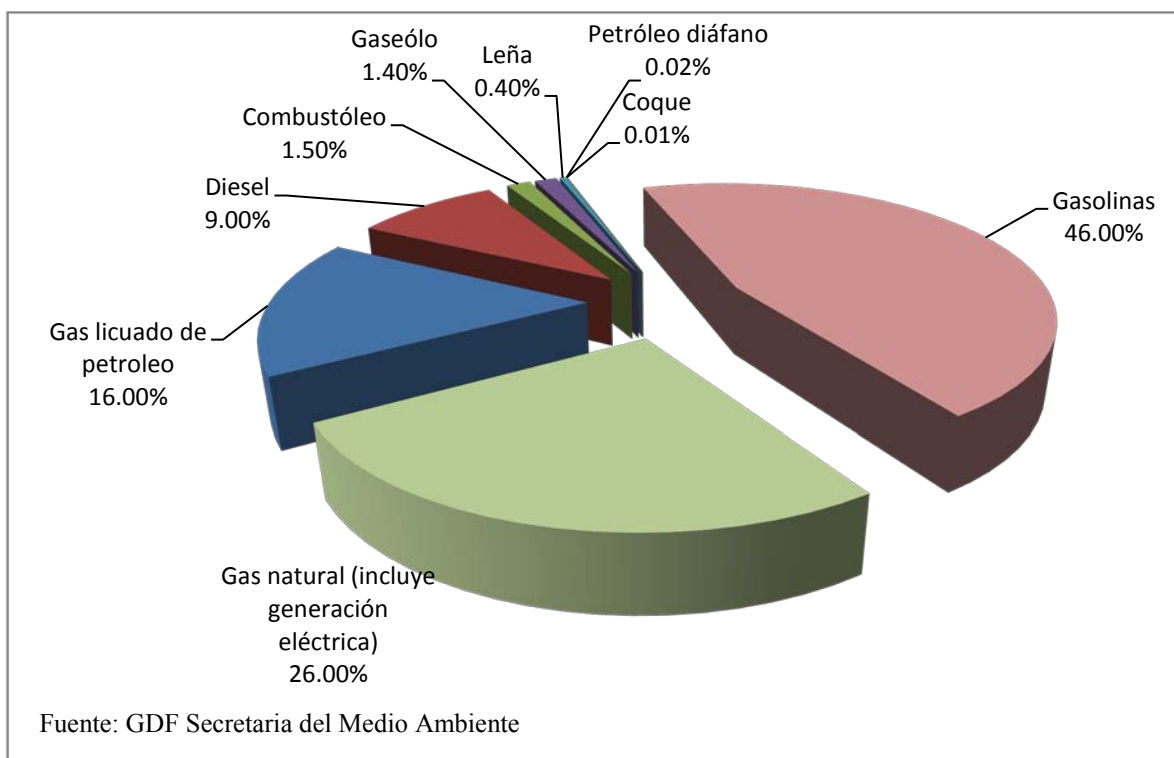
En cuanto a los combustibles, tres contribuyeron con 90 % de los requerimientos energéticos: gasolina, gas LP y diesel. La primera cubre más de la mitad de los requerimientos de energía del Distrito Federal (UAM, 2003).

El transporte (como en la Zona Metropolitana del Valle de México) es también el mayor consumidos, al utilizar casi tres cuartas partes de los combustibles. La industria y el sector residencial le siguen en el consumo. Estos tres sectores consumen el 94 % de la energía del Distrito Federal.

En términos de consumo energético por sectores en el Distrito Federal, cabe destacar que en la Zona Metropolitana del Valle de México se encuentra el 72 % de la industria, 53 % de la vivienda y el 1.4 % de la generación de energía eléctrica de todo el país.

Debido a sus implicaciones ambientales, es particularmente importante analizar las tendencias del consumo de energía, identificar las fuerzas que guían los cambios y diseñar las opciones de mitigación que contribuyan al desarrollo sustentable del país (UAM, 2003).

Gráfica 1. Consumo de combustibles en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) en el año 2000



1.3.5.1. Tipo de unidad de medida utilizada

La diversidad de unidades en las que se suelen medir los energéticos (toneladas, barriles, pies cúbicos, BTU, litros, watts-hora, etc.) impide su comparación directa, por lo que es necesaria una unidad común. Aquí utilizamos el Joule (J) como unidad común, de acuerdo con la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

En dicha ley se establece que el Sistema General de Unidades de Medida es el único instrumento legal de usos obligatorio en los Estados Unidos Mexicanos. Allí se establece que la cantidad de calor y energía debe medirse en Joules (UAM, 2003).

1.4. Impacto ambiental de los combustibles fósiles

Actualmente México enfrenta problemas de contaminación atmosférica en sus principales zonas metropolitanas, siendo el Valle de México el caso más conocido y documentado de disminución de la calidad del aire (Semarnat, 2003). Además, enfrentamos los efectos globales del cambio climático y contribuimos con la emisión de los llamados gases de efecto invernadero y de sustancias agotadoras de la capa de ozono estratosférico, aunque, en este último caso, los efectos más evidentes no se expresan en nuestro país sino en latitudes más altas.

Para entender y enfrentar esta problemática, se requiere conocer por lo menos los factores que generan emisión de contaminantes, contar con un diagnóstico del efecto sobre la atmósfera (alteración de su composición natural y efectos locales, regionales y globales), así como conocer las medidas que se toman y aquellas que se deben impulsar para la solución de los problemas (programas y acuerdos nacionales e internacionales) (Semarnat, 2003).

La emisión de contaminantes deteriora la calidad del aire y genera daños sobre la salud de las poblaciones y los ecosistemas. Los principales contaminantes, llamados contaminantes criterio, que participan en el deterioro de la calidad del aire son: bióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno (NO_2), partículas suspendidas (PST), partículas menores de 10 micras (PM_{10}), ozono (O_3) y plomo (Pb) (Semarnat, 2003).

También, como resultado de las actividades humanas, se emiten las llamadas sustancias agotadoras de la capa de ozono estratosférico, como los clorofluorocarbonos, hidroclorofluorocarbonos y halones. Estas sustancias contienen átomos de cloro y bromo,

los cuales destruyen el ozono estratosférico que protege a la tierra de los rayos ultravioleta, dañinos para los seres vivos.

Algunos de los compuestos emitidos tienen múltiples efectos y participan en más de uno de los problemas de contaminación atmosférica. Por ejemplo, el monóxido de carbono o CO₂ producido por la quema de combustibles, bosques y pastizales y el bióxido de azufre generado por los procesos industriales y durante la quema de combustibles con azufre, deterioran la calidad del aire y son considerados como gases de efecto invernadero (Semarnat, 2008).

Debido a las características de los contaminantes, los problemas atmosféricos tienen efectos en diferentes niveles. El deterioro de la calidad del aire es considerado un problema local, ya que principalmente afecta a las ciudades, aunque debido a la dispersión de los contaminantes puede convertirse en un problema regional afectando a localidades vecinas. En contraste, el cambio climático es un problema mundial, aunque la degradación del ozono estratosférico es un problema en el que participan todos los países, los impactos son regionales y se observan principalmente sobre Antártica, donde se presenta el llamado “agujero de ozono”; en Latinoamérica sus efectos se observan principalmente en Argentina, Chile, Brasil y Uruguay (Semarnat, 2008).

Es claro que los problemas atmosféricos son complejos, las fuentes de emisión son diversas y los contaminantes emitidos actúan en diferentes niveles. Actualmente existen, sin embargo, programas y convenios para el monitoreo de la calidad del aire, del cambio climático y del ozono estratosférico (Semarnat 2008).

1.4.1. Combustibles alternativos

Considerando que durante el desarrollo de culturas y sociedades los sistemas de energía han fungido como herramienta para el desarrollo de la forma, prosperidad y estilos de vida, los combustibles de origen fósil han sido útiles en el desarrollo de nuestra sociedad y en particular para México, han sido la base para el desarrollo nacional.

La diversificación de fuentes primarias de energía favorece la seguridad energética al disminuir la dependencia en una sola fuente de energía; es importante fomentar la diversificación tecnológica para usos de combustibles tradicionales; sin embargo, los principales esfuerzos deben estar enfocados en incorporar las fuentes de energías renovables como parte del sistema de producción (CONAE, 2007).

La bioenergía se define como la energía que se obtiene de la biomasa, es decir, energía que se produce a partir de materiales orgánicos. Estos materiales orgánicos pueden tener su origen en cultivos energéticos, acuicultivos, alga cultivos, productos, subproductos y residuos forestales, residuos orgánicos municipales, excremento de animales, grasas y aceites de origen vegetal o animal.

En México se estima un potencial de producción de bioenergía que oscila entre los 2,635 y 3,771 Petajoules al año; en el sector agroindustrial de la caña de azúcar, se ha calculado un potencial de generación de electricidad, a partir del bagazo de caña, superior a 1,080 Petajoules al año (CONAE, 2007).

El proyecto de la empresa Sistemas de Energía Internacional S.A. de C.V., en Monterrey, N. L., es el primero en México que aprovecha el biogás liberado por un relleno sanitario para entregar energía eléctrica a la red, con una capacidad de 7 MW.

En este marco y a partir de la aprobación de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, México establece como objetivo claro de su política la promoción y desarrollo de los bioenergéticos con el fin de coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sustentable como condiciones que permiten garantizar el apoyo al campo mexicano (Secretaría de Energía, 2007).

La industria de los bioenergéticos en México se desarrolla a partir de la integración de actividades de los sectores público, privado y social.

Las tecnologías que se utilizan para producir Bioenergéticos, en forma de calor, electricidad o combustibles para el transporte, están avanzando rápidamente, enfocándose principalmente en los biocombustibles líquidos como el *Biodiesel* (Secretaría de Energía, 2007).

Algunos países de la Unión Europea y Asia buscan impulsar el desarrollo del Biodiesel, mientras que otros países están analizando la participación que los biocombustibles deberán de tener en sus sistemas de energía en el futuro. Durante la década pasada, la producción de Biodiesel se concentró en países europeos, con un marcado liderazgo por parte de Alemania. En años recientes la mayor capacidad de producción se ha incorporado en Estados Unidos, Brasil, Australia y el sur de Asia (Secretaría de Energía, 2006).

La política integral para desarrollar la industria de los bioenergéticos, como se explica más ampliamente en la Estrategia Intersecretarial de los Bioenergéticos, se puede sintetizar en:

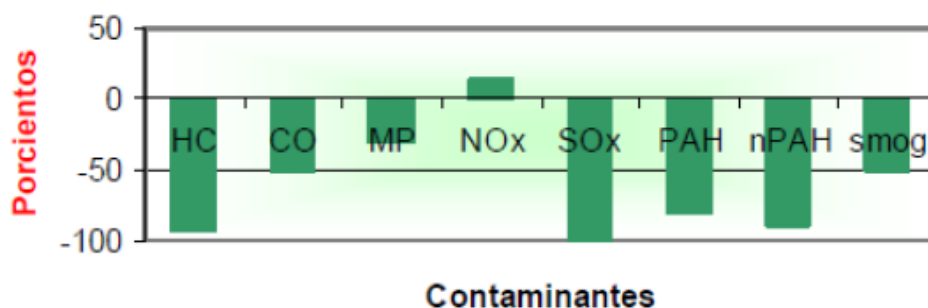
- Establecer las acciones para elevar el nivel de desarrollo humano, social y patrimonial de las zonas rurales del país, a través de la producción de Insumos para Bioenergéticos
- Diversificar las fuentes de energía, ayudando a reducir la dependencia de las fuentes primarias y fortaleciendo la seguridad energética nacional
- Fomentar el desarrollo sustentable de bioenergéticos como una mediat que permita disminuir el impacto ambiental por el uso de combustibles fósiles
- Asegurar la sustentabilidad, calidad, eficiencia y accesibilidad en toda la cadena de producción de insumos, así como en la cadena de producción y comercialización de los bioenergéticos.
- Propiciar una coordinación y colaboración permanente entre los diferentes actores políticos, económicos, académicos y sociales para garantizar el desarrollo de los Bioenergéticos (Secretaría de Energía, 2006).

1.4.2. Ventajas y desventajas

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:

- 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 atmosfera (Jérôme, Hervé, 2007).

Gráfica 2. Reducción de emisiones con uso de biodiesel puro



Fuente: BDA

- La viscosidad cinemática es mayor, mejorando la capacidad del biodiesel a lubricar el motor.
- El contenido de azufre es muy bajo, inferior a 15 ppm, permitiendo disminuir las emisiones de SO_2 y material particulado. Este elemento naturalmente presente en el petróleo diesel aumenta la lubricidad pero el uso de biodiesel en mezcla con diesel de bajo contenido de azufre permite compensar esta propiedad por su mayor viscosidad.
- Este nuevo combustible es fácil de implementar porque se puede usar en mezcla con diesel. Se usa el símbolo BXX para designar la proporción de biodiesel, XX designando el porcentaje de biodiesel en el diesel. Hasta 20 %, no se necesitan cambios en el motor y para porcentajes de reemplazo mayores los cambios son mínimos, por ejemplo, en los filtro de combustible ya que como no se trata de un producto sucio sirve como limpiador, además que puede retardar el tiempo de inyección y con el tiempo puede corroer las piezas de caucho del sistema de combustible, especialmente cuando se utiliza al 100% (B100).

- Las características del motor son similares, o sea que el rendimiento, el torque y el consumo no cambian significativamente. Los cambios para el conductor son imperceptibles.
- Su mayor punto de ignición disminuye el peligro de explosión durante el almacenamiento.
- No son necesarias modificaciones de la infraestructura de distribución (estaciones de servicio, transporte, etc.) (Jérôme Hervé, 2007)

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 NO_x aumentan, hasta un 10 % cuando se usa biodiesel puro, este compuesto participa en la creación del smog.
- El costo de producción del biodiesel es más alto que el obtenido a partir del petróleo si se basa en los precios vistos los últimos años teniendo un rango de \$12.4 a \$23.00 pesos por litro.
- Producir biodiesel supone extender las zonas y las cantidades de vegetales cultivadas, lo que genera una utilización creciente de fertilizantes y pesticidas. Así, ganamos en cuanto a los residuos a la atmósfera pero, por otro lado, se vierten a la tierra compuestos químicos que contaminan los suelos.
- El biodiesel puro genera corrosión en algunos plásticos, por lo que se deben cambiar ciertas partes del motor para usarlo como B100.
- 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 (Arbeláez Marí, 2007).

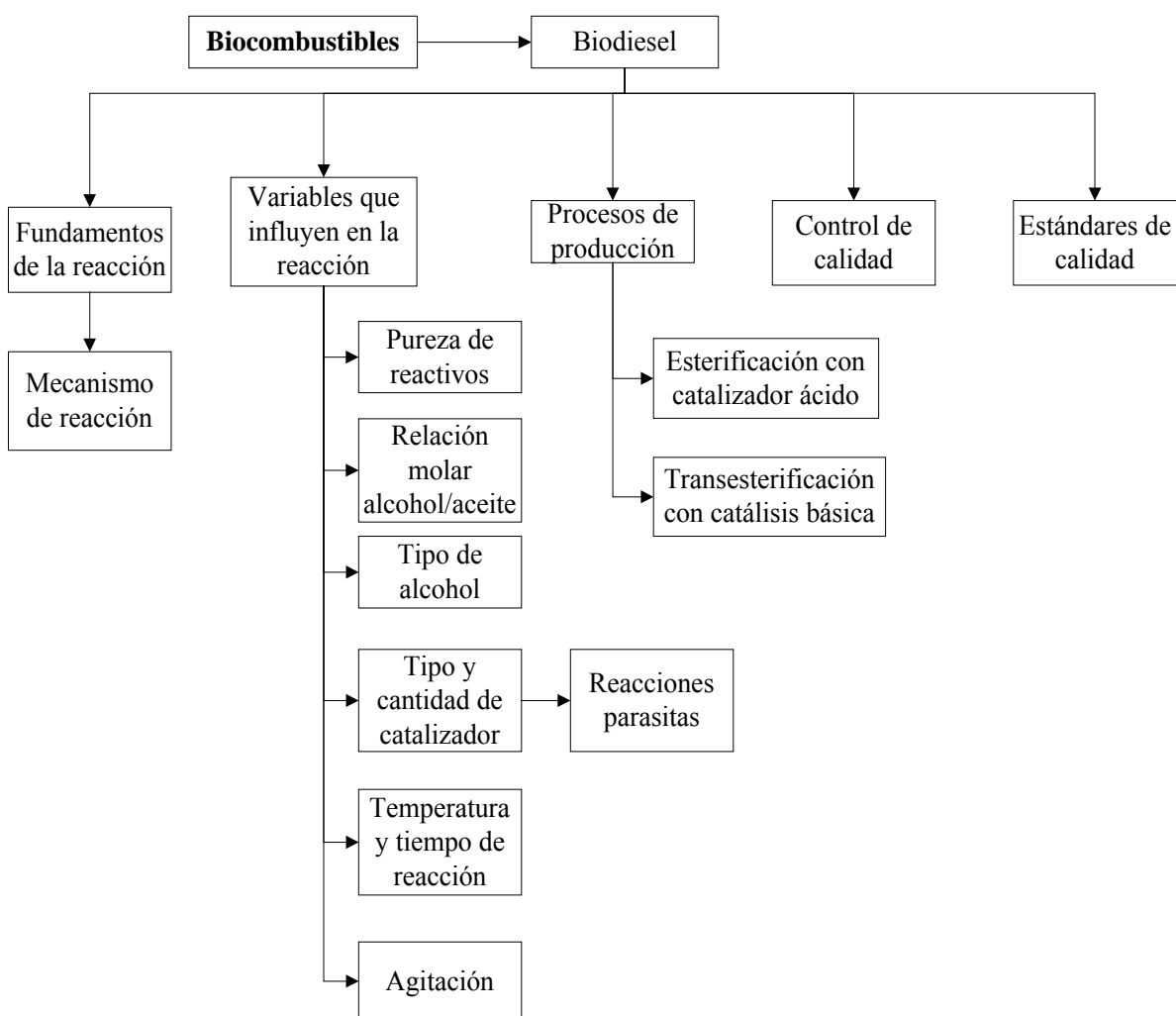
1.5. Recapitulación

El consumo de los combustibles fósiles tanto a nivel mundial como en el país es la principal fuente de energía, sin embargo, en países desarrollados se llevan a cabo medidas de aprovechamiento de recursos renovables como fuentes de energía. En México las medidas de aprovechamiento de recursos renovables no están bien establecidas y la falta de conciencia en el consumo de los combustibles fósiles es mínima. A pesar de eso, existen medidas ambientales factibles que se pueden realizar como la producción de biodiesel y bioetanol para ser empleados como combustibles.

Capítulo 2. Biocombustibles

En este capítulo vamos a tratar a los biocombustibles desde el punto de vista químico, en el Diagrama 1 se presenta un mapa conceptual en el que se esquematiza el contenido de este capítulo para comodidad del lector.

Diagrama 1. Diagrama conceptual del capítulo.



Los biocombustibles son combustibles de origen biológico obtenidos de manera renovable a partir de restos orgánicos. Todos ellos reducen el volumen de CO₂ que se emite en la atmósfera.

Los biocombustibles son alcoholes, éteres, ésteres y otros compuestos orgánicos, producidos a partir de biomasa (como las plantas herbáceas y leñosas, residuos de la agricultura y actividad forestal, y en gran cantidad de desechos industriales así como los desperdicios de la industria alimenticia). El término biomasa hace referencia a toda materia que puede obtenerse a través de fotosíntesis o de grasa animal; todas de las especies vegetales utilizan la energía solar para crear azúcares, partiendo de sustancias simples como el agua y el dióxido de carbono, almacenando esta energía en forma de moléculas de glucosas, almidón, aceite, etc. (Ian Homer, 2006)

Entre los biocombustibles se pueden incluir el bioetanol, biodiesel, biometanol, entre otros. Y el más desarrollado y empleado es el biodiesel.

Para que un biocombustible tenga éxito, se debe lograr que los motores no sufran grandes modificaciones ni presenten problemas a largo plazo y, al mismo tiempo, que la potencia y el consumo no se vean muy afectados.

Una de las grandes limitantes para la utilización de aceites vegetales como biocombustibles es la elevada viscosidad del aceite (hasta 16 veces mayor que el diesel), pero se puede adaptar el motor para esas condiciones o adaptar el aceite para trabajar con los motores actuales utilizando aditivos en el biodiesel como reductores de viscosidad (Ian Homer, 2006).

Las adaptaciones que se puede hacer al motor son de tres tipos: la creación de un motor específico, la utilización de un motor con pre-cámara (que son menos exigentes en

cuanto a regulaciones) y la adaptación el motor para precalentar el combustible a 60 ° C antes de la bomba inyectora (Ian Homer, 2006).

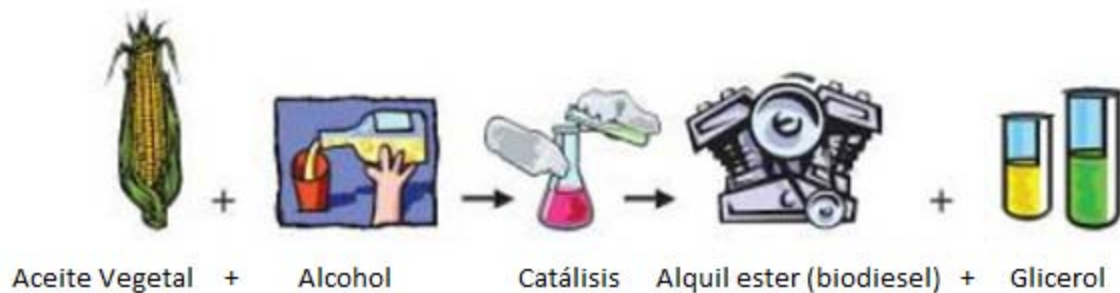
Mientras que existen cuatro métodos para reducir la alta viscosidad de los aceite vegetales para permitir su uso como combustibles en motores sin tener problemas operacionales, tales como son; mezclarlo con diesel, pirolisis, micro-emulsificación (mezcla con solvente) y la transesterificación; en donde esta ultima tiene como producto comúnmente conocido el biodiesel, es decir, ésteres alquílicos de aceites o grasas (Ian Homer, 2006).

2.1. Biodiesel

La ASTM (American Society for Testing and Materials), define al biodiesel como ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables, tales como aceites vegetales o grasas de animales y que se emplea en los motores de ignición por compresión (Jérôme Hervé, 2007).

El biodiesel está constituido por ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, obtenidos mediante la reacción entre un aceite vegetal u otro cuerpo graso y un alcohol en presencia de un catalizador básico (NaOH, KOH) o ácido (H_2SO_4).

Figura 1. Fabricación del biodiesel



Esta reacción produce los ácidos grasos del biodiesel y un subproducto que se debe eliminar, la glicerina. De cada molécula de metanol (o etanol) se reemplaza un elemento hidrógeno por un grupo con radical, marcado R_x , constituyendo la molécula metil éster.

El biodiesel se puede hacer a partir de una gran variedad de materia prima, entre otros aceites extraídos de soya, maíz, colza, palma, aceite usado en cocina o grasa animal. Se estima que esta materia base representa un 80 % del precio final del combustible, y puede aumentar esta proporción si es necesario un tratamiento preliminar de eliminación de los contaminantes. Para lograr una total eficiencia del proceso químico, el aceite debe estar libre de ácidos grasos libres, agua, fósforo y sulfuros (Jérôme Hervé, 2007).

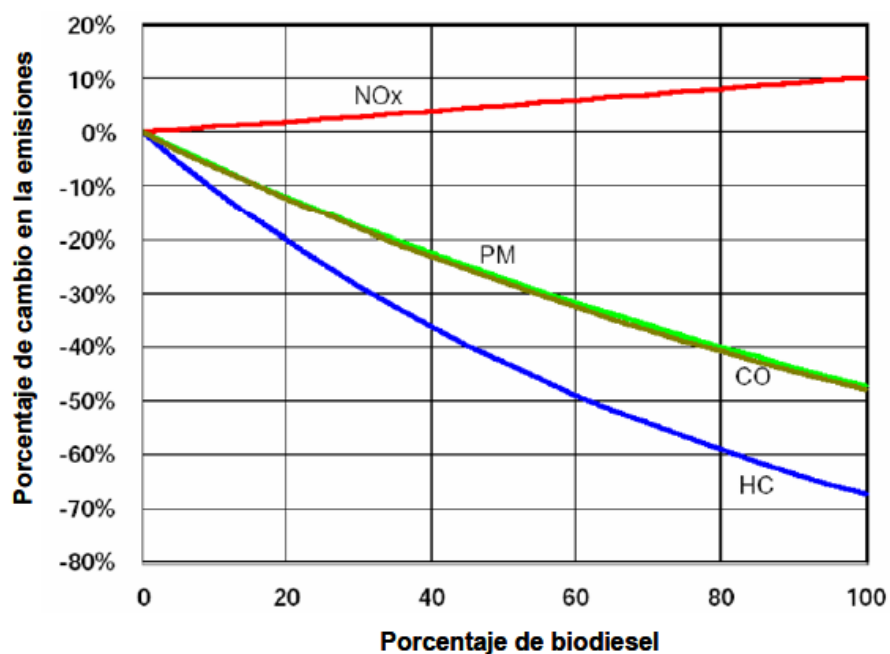
Desde el punto de vista de inflamabilidad y toxicidad, el biodiesel es más seguro que el diesel proveniente del petróleo; además es biodegradable, ya que el biodiesel está formado por cadenas hidrocarbonadas que forman ésteres con dos átomos de oxígeno, lo que lo hace biológicamente activo; a diferencia del diesel convencional que no es biodegradable, ya que está formado por una mezcla de alcanos, alcanos ramificados, ciclo alcanos e hidrocarburos aromáticos (Jérôme Hervé, 2007).

En cuanto a las características lubricantes, éstas se mejoran al adicionar biodiesel al petrodiesel, el combustible lubrica algunas partes móviles de las bombas diesel y de los inyectores.

En la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environment Protection Agency (EPA)) de los Estados Unidos, el biodiesel se encuentra registrado como combustible y como aditivo para combustible.

En la gráfica 3 se observan las emisiones de gases de efecto invernadero, la del óxido de nitrógeno compete en desventaja con el diesel convencional.

Gráfica 3. Emisiones de Biodiesel (EPA 2002)



NOx: óxidos de nitrógeno PM: Material particulado CO: Monóxido de carbono HC: Hidrocarburos

La combustión del biodiesel es generalmente más eficiente en cuanto a su relación estequiometría aire/combustible; adicionalmente el biodiesel presenta un balance energético positivo. El balance energético para un combustible renovable es la cantidad de energía necesaria para producir el biocombustible, comparado con la energía liberada por éste cuando se quema (Jérôme Hervé, 2007).

Algunas desventajas del biodiesel a nivel técnico son: Problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0 °C), escasa estabilidad oxidativa (vida útil/periodo máximo de almacenamiento inferior a seis meses), incompatible con una serie de plásticos y derivados del caucho natural (eventual sustitución de algunos componente del motor: mangueras, juntas, sellos, diafragmas, partes de filtros y similares) (Arbeláez Marín, 2007).

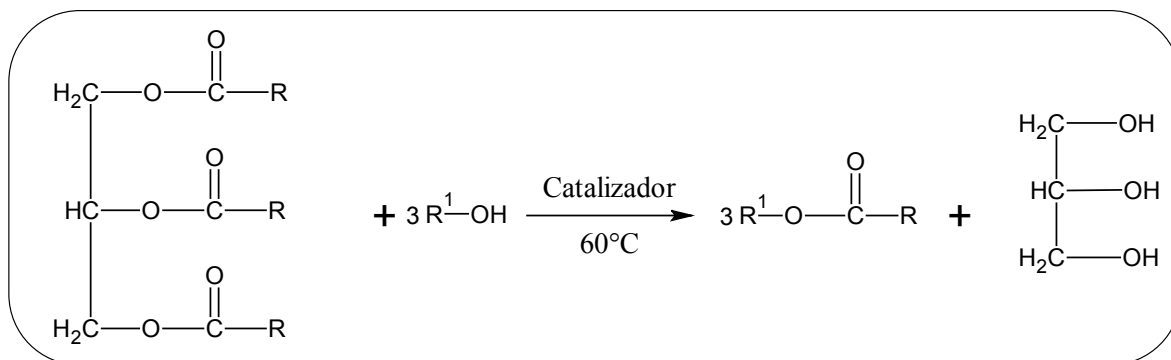
2.2. Fundamentos de la reacción de transesterificación

La transesterificación se basa en el reacción de moléculas de triglicéridos (el número de átomos de las cadenas está comprendido entre 15 y 23, siendo el más habitual de 18) con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol) para producir ésteres y glicerina (que puede ser utilizada en cosmética, alimentación, farmacia, etc.).

Los ésteres comúnmente preparados son los ésteres metílicos, en gran medida porque el metanol es el alcohol menos costoso, aunque existen excepciones en algunos países. En Brasil, por ejemplo, donde el etanol es el menos costoso, los etil ester es son usados como combustible (Vázquez Espinoza, 2005).

En la reacción de transesterificación, el aceite vegetal o grasa animal reacciona en presencia de un catalizador (usualmente una base como NaOH o KOH) con un alcohol, para obtener el correspondiente alquíl éster. La reacción general de transesterificación se presenta en la Reacción 1.

Reacción 1. Reacción de transesterificación (R es una mezcla de varias cadenas de ácidos grasos).



Generalmente, la transesterificación puede producirse con base en una catálisis ácida, sin embargo, una catálisis alcalina (con hidróxido de sodio o potasio, o sus correspondientes alcóxidos) es un proceso más rápido que la catálisis ácida (Jérôme Hervé, 2005).

Además del tipo de catálisis (alcalina o ácida), los parámetros de la reacción como la relación molar, el alcohol, el aceite vegetal, temperatura, tiempo de reacción, grado de refinación del aceite vegetal, la presencia de la humedad y los ácidos grasos libre (AGL) son importantes para que la transesterificación tenga un alto rendimiento. El contenido máximo de ácidos grasos libres aceptables con el proceso de transesterificación es de 2 %, lo mejor siendo inferior a 1 % y el alcohol debe estar libre de humedad.

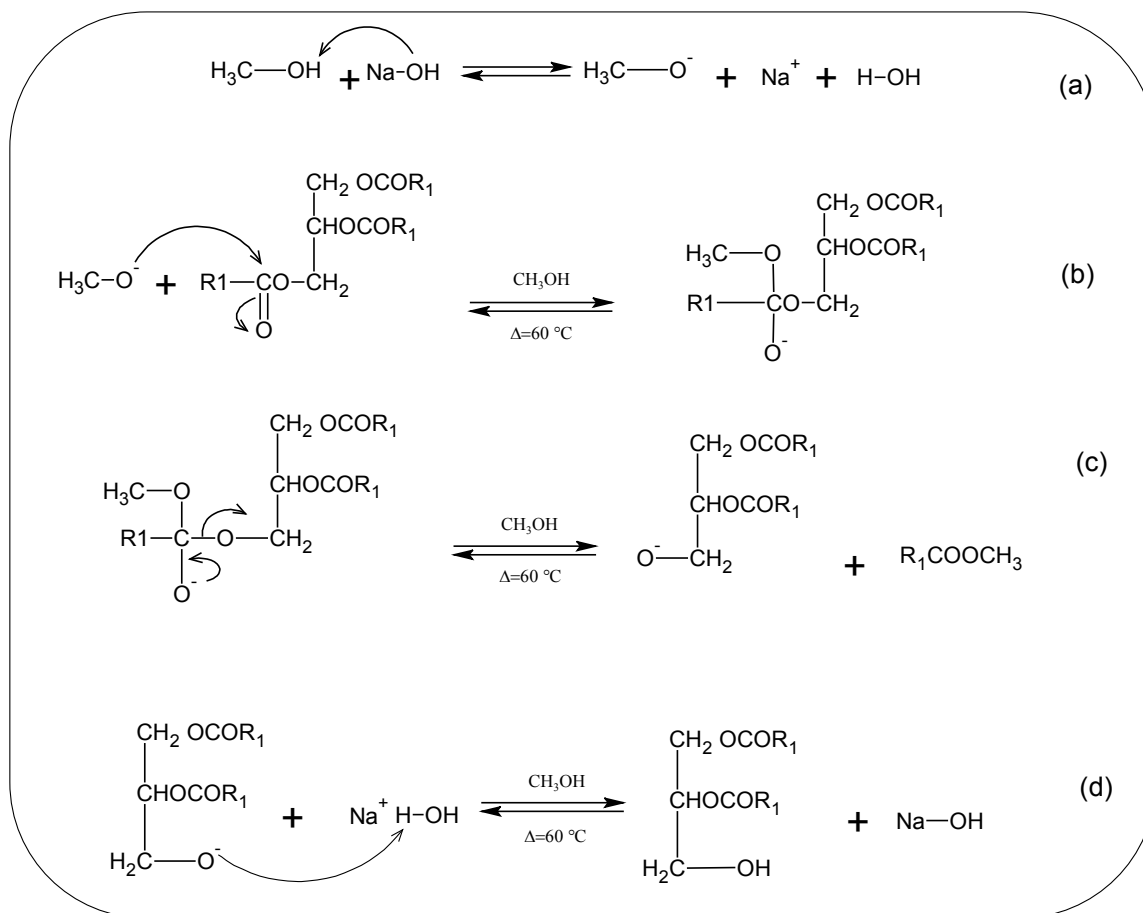
La reacción de transesterificación es reversible y se emplea un exceso de alcohol para desplazar el equilibrio hacia la formación de ésteres. El modelo que más se ajusta de cinética de reacción, es el de segundo orden en la etapa inicial de la reacción, seguido de un primer orden (Vázquez Espinoza, 2005).

2.2.1. Mecanismo de la reacción de transesterificación

Químicamente, el mecanismo de transesterificación consiste en tres reacciones consecutivas reversibles, el triglicérido es convertido consecutivamente en di glicérido, mono glicérido y glicerol. En cada reacción se libera un mol de éster metílico. En la reacción 2 se presentan las etapas de la reacción de transesterificación, los productos finales que se obtienen son alquil ésteres de los ácidos grasos del aceite o grasa y glicerol (Jérôme Hervé, 2005).

En la reacción 2, se explica químicamente el proceso de transformación de una de las tres cadenas ácidas de un triglicérido, el componente principal del aceite vegetal, en un metil éster (biodiesel).

Reacción 2. Mecanismo de la reacción de transesterificación



R1= Radicales alquilo

Los pasos (a) al (d) se repiten hasta la desaparición del triglicérido con la formación del mono alquíl 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 ésteres metílicos, juega un papel importante en el desplazamiento de la reacción hacia la derecha, alcanzándose conversiones cercanas al 100 % (Larosa Rodolfo, 2004).

Para resumir, se puede añadir que en la transesterificación tienen lugar tres reacciones reversibles y consecutivas (reacción 3). El triglicérido es convertido consecutivamente en di glicérido, mono glicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado (Larosa Rodolfo, 2004).

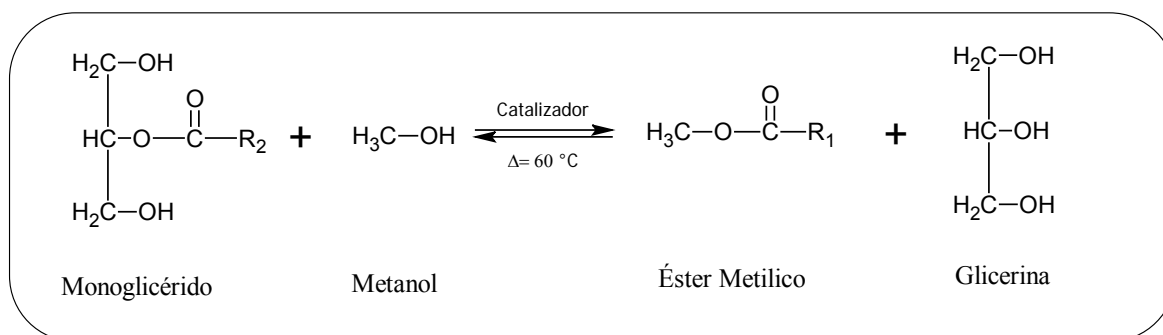
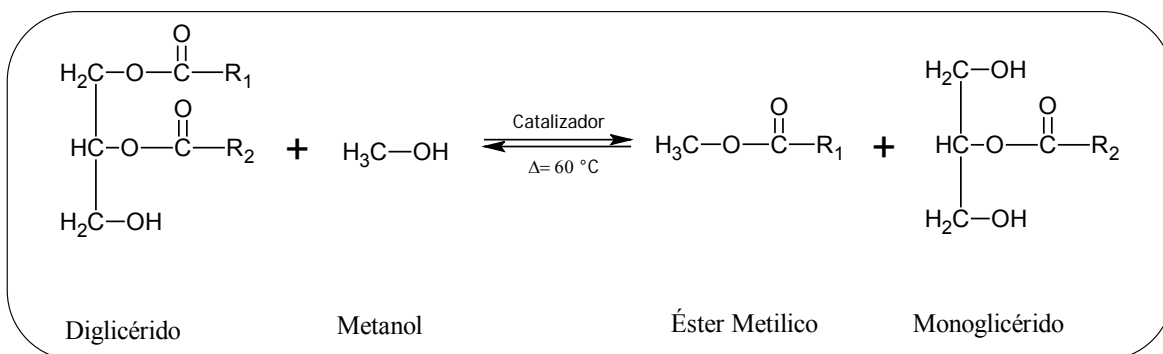
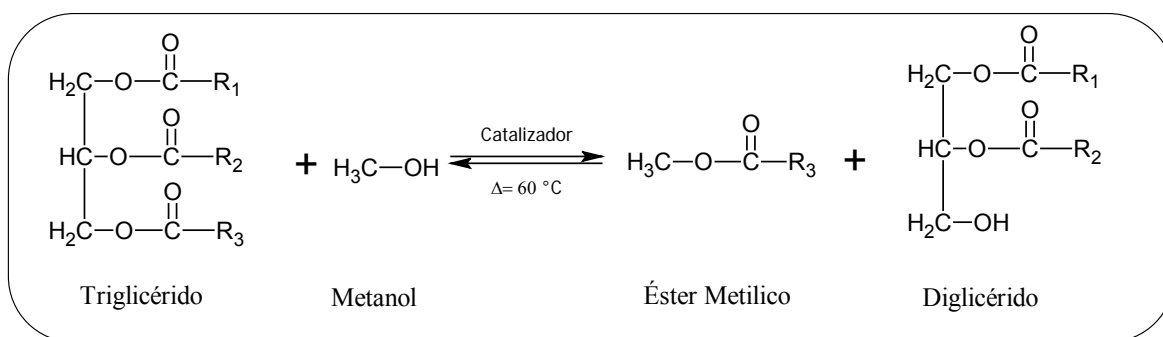
2.3. Variables que influyen en la reacción de transesterificación

Las variables de mayor influencia en la reacción de transesterificación son la pureza y calidad de los reactivos, la relación molar alcohol/aceite, el tipo de alcohol utilizado, tipo y cantidad de catalizador, además de la temperatura, el tiempo de reacción y la agitación.

2.3.1. Pureza y calidad de los reactivos

Para la obtención de biodiesel de buena calidad es necesario que el aceite empleado sea lo más refinado posible, debe estar exento de material sólido libre y en suspensión; además poseer bajo contenido de ácidos grasos, en especial cuando se emplean catalizadores homogéneos, ya que el exceso de estos ácidos se puede ver reflejado en una baja eficiencia de reacción. Adicionalmente, el contenido de gomas y material insaponificable debe ser bajo.

Reacción 3. Etapas de la reacción de transesterificación



El aceite y las otras sustancias empleadas en la reacción (catalizador y alcohol) deben ser esencialmente anhidros, ya que el agua favorece la formación de jabones por saponificación, dificultando la purificación del biodiesel (Instituto para la diversificación y Ahorro de la energía, 2005).

El aceite empleado se puede obtener a partir de aceites vegetales y/o grasas animales, aunque los aceites vegetales se han convertido en una alternativa atractiva debido a sus beneficios medioambientales y el hecho que se producen de recursos renovables.

2.3.2. Relación molar alcohol/aceite

La relación molar alcohol/aceite es una de las variables de mayor importancia y mayor influencia en el rendimiento de la reacción de transesterificación. Según la estequiometría se requieren tres moles de alcohol y un mol de triglicérido, para obtener tres moles de ésteres alquílicos de ácidos grasos y un mol de glicerol, pero se debe utilizar un exceso de alcohol para desplazar el equilibrio hacia la formación de alquil ésteres.

La relación molar alcohol/aceite recomendada en literatura varía desde 6:1 hasta 10:1, sin embargo, una alta relación molar dificulta la separación de la glicerina. La relación molar óptima se debe determinar experimentalmente, ya que depende del tipo y calidad del aceite empleado como materia prima (Jérôme Hervé, 2007).

2.3.3. Tipo de alcohol

Los alcoholes empleados en el proceso de transesterificación son primarios y secundarios con cadena de 1-8 carbonos. Entre los alcoholes que pueden ser empleados en este proceso se encuentran: metanol, etanol, propanol, butanol; aunque suele emplearse más el metanol y etanol debido a sus ventajas químicas y a sus bajos costos con respecto a los demás alcoholes.

El metanol y el etanol no son miscibles en los triglicéridos a temperatura ambiente y es necesario realizar una agitación mecánica para favorecer la transferencia de masa sin embargo, en el transcurso de la reacción se forman emulsiones (Jérôme Hervé, 2007).

La transferencia de masa es muy importante para los alcoholes; en el caso de la metanólisis por ejemplo, ni el metanol es soluble en los triglicéridos, ni los ésteres metílicos en la glicerina. Cuando se emplean alcoholes como el etanol es más complicada la recuperación del alcohol puro dentro del proceso, debido a la formación de un azeótropo del alcohol con el agua.

2.3.4. Tipo y cantidad de catalizador

En la transesterificación se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final; sin él no sería posible esta reacción.

Los catalizadores empleados en el proceso de producción de biodiesel pueden ser homogéneos y heterogéneos. Los catalizadores homogéneos son solubles en el medio de reacción pues se encuentran en una sola fase ya sea líquida o gaseosa, entre estos podemos encontrar ácidos y bases inorgánicas homogéneas (H_2SO_4 , HCl , H_3PO_4 , RSO_3 , KOH , $NaOH$). Por el contrario, en la catálisis heterogénea existen dos fases y una superficie de contacto, siendo los catalizadores óxidos metálicos (MgO , CaO), zeolitas, ácidos de Lewis, catalizadores de titanio y catalizadores zirconio (Jérôme Hervé, 2007).

De todos los mencionados, los catalizadores que suelen ser utilizados a escala comercial son los catalizadores homogéneos básicos ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas. Cuando se utiliza un catalizador ácido, se requieren condiciones de temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos, lo que limita su interés.

La utilización de álcalis como catalizador es la opción más utilizada a escala industrial, implica que los triglicéridos, catalizador y el alcohol deben ser anhidros (<0.06 % v/v) para evitar la saponificación. Además, los triglicéridos deben tener una baja

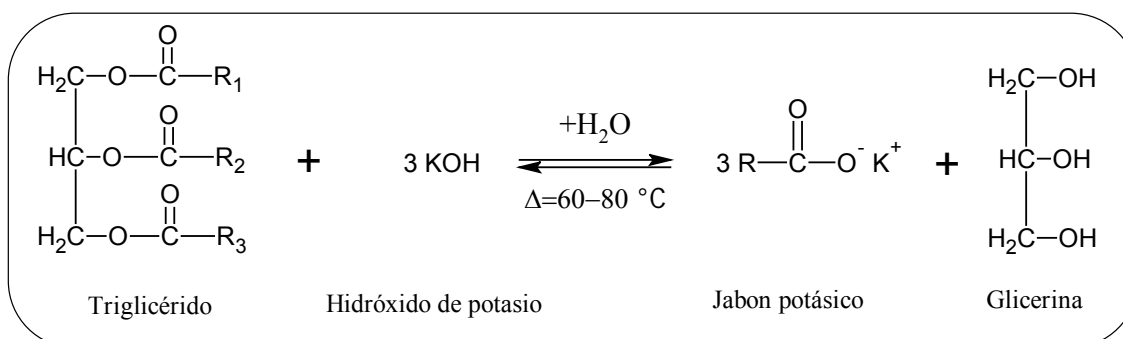
proporción de ácidos grasos libres (AGL) para evitar que se neutralicen con el catalizador y se formen también jabones (Jérome Hervé, 2007).

Las reacciones secundarias parasitas que se pueden dar en el proceso son las siguientes:

2.3.4.1. Reacción de saponificación

En presencia de agua y a temperatura de 60-80 °C, el triglicérido reacciona con el catalizador básico, consumiendo éste y dando lugar a la formación de jabones (reacción de saponificación), como se puede ver en la reacción 4.

Reacción 4. Saponificación de un triglicérido



Este fenómeno se explica por la formación intermedia de AGL que ocurre en presencia de agua. En condiciones tales, el agua puede hidrolizar el triglicérido en di glicérido y formar un AGL. Cuando un catalizador básico está presente, el AGL reacciona para formar jabón, como en la reacción expuesta en la reacción 5 (Jérome Hervé, 2007).

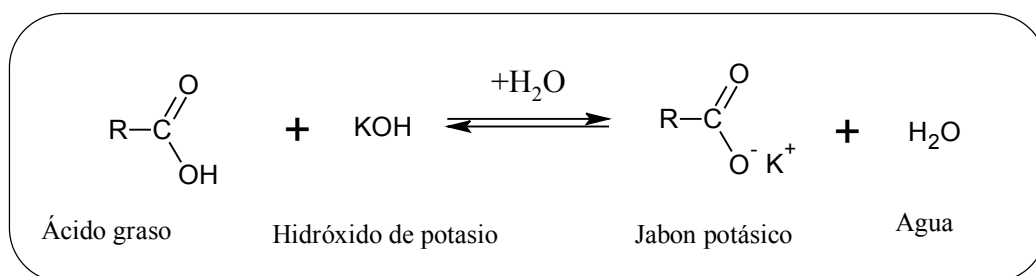
Así, cuando se utilizan estos catalizadores, se debe tener precaución con las condiciones de reacción, especialmente la temperatura y la cantidad de catalizador básico, para reducir al máximo la saponificación. Sin embargo, los metóxidos solo contienen el

grupo OH como impureza, por lo que su utilización no produce prácticamente jabones por saponificación. En cualquier caso, se deben utilizar aceites y alcoholes esencialmente anhidros; por este motivo, se debe eliminar el agua mediante evaporación en los aceites con altos contenidos en humedad, antes de llevar a cabo la transesterificación.

2.3.4.2. Reacción de neutralización de ácidos grasos libres (AGL)

Los AGL presentes en el aceite vegetal pueden reaccionar con el catalizador básico en presencia de agua, ocurriendo asimismo una reacción indeseable, produciendo jabón (reacción 5).

Reacción 5. Saponificación de un ácido graso.



Esta reacción se considera parasita porque pone el catalizador en una forma en que no contribuye a acelerar la reacción. Además, el exceso de jabón puede inhibir el proceso de biodiesel (por las etapas de separación del éster y del glicerol y durante el lavado por agua del éster). En efecto, los jabones de ácidos grasos libres tienden a solidificarse a temperatura ambiente así que una mezcla de productos con exceso de jabón podría gelificar y formar una masa media sólida que sería difícil de remover (Jérôme Hervé, 2007).

Existen dos maneras de neutralizar los AGL: se puede permitir la saponificación y luego se recuperan los jabones. Otra manera de eliminarlos es mediante una reacción de

esterificación con un catalizador ácido con lo que se formaría el éster metílico (Jérôme Hervé, 2007).

2.3.5. Temperatura y tiempo de reacción

La transesterificación puede ocurrir a diferentes temperaturas dependiendo del aceite que se emplee. A medida que la temperatura aumenta, también lo hace el rendimiento de la reacción, sin embargo, después de un determinado tiempo la diferencia entre temperaturas no afecta de manera considerable el rendimiento. Por lo general la reacción de transesterificación se lleva a cabo cerca del punto de ebullición del alcohol, sin embargo, esta reacción ha sido estudiada con temperaturas que varían desde 25 hasta 250 ° C, siendo el rango más recomendado de 60-65 °C (Zapata Carlos, 2006).

A medida que el tiempo de reacción crece, se incrementa la conversión de la reacción; puede variar de acuerdo con el catalizador empleado. Los tiempos reportados en la literatura varían desde 30 hasta 120 minutos, siendo el más recomendado un tiempo de 45 minutos (Zapata Carlos, 2006).

2.3.6. Agitación

La agitación es una variable muy importante, ya que el aceite es inmisible con el alcohol. Es necesario garantizar la agitación para que se mezclen las dos fases y se pueda llevar a cabo la reacción sin limitaciones por transferencia de masa. La agitación debe garantizar un régimen turbulento, es decir, Números de Reynolds mayores que 10 000 (Zapata Carlos, 2006).

2.4. Producción de biodiesel

Como ya se describió existen dos formas para la producción de biodiesel a partir de triglicéridos; en este apartado se explicará de manera sencilla estos dos procesos, los cuales se analizarán en el capítulo VI.

2.4.1. Etapas del proceso de esterificación con catalizador ácido de un aceite con metanol

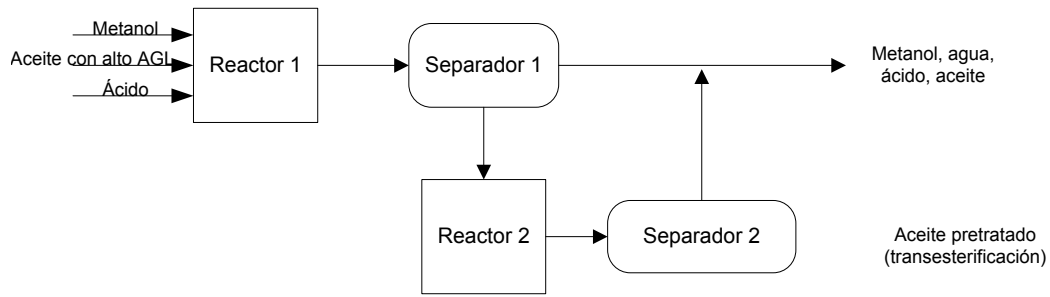
Aunque los catalizadores ácidos pueden ser utilizados para transesterificación se considera generalmente que son demasiados lentos para una fabricación industrial de biodiesel. Los sistemas con catálisis ácida se caracterizan entonces por una velocidad de reacción baja y un requerimiento de relación molar triglicérido/alcohol más alta (20:1 aproximadamente). (Jérôme Hervé, 2007)

Los catalizadores ácidos incluyen a los ácidos sulfúrico y fosfórico. El tiempo de residencia de la mezcla en el reactor puede variar de 10 a 120 minutos. 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 bares.
- Necesita un retiro continuo del agua.
- Se necesita aceros resistentes al ácido.
- El rendimiento alcanza 99 % en sistemas de contra corriente.

En la diagrama 2 se muestra un diagrama de bloques del pre-tratamiento del aceite por esterificación (Jérôme Hervé, 2007).

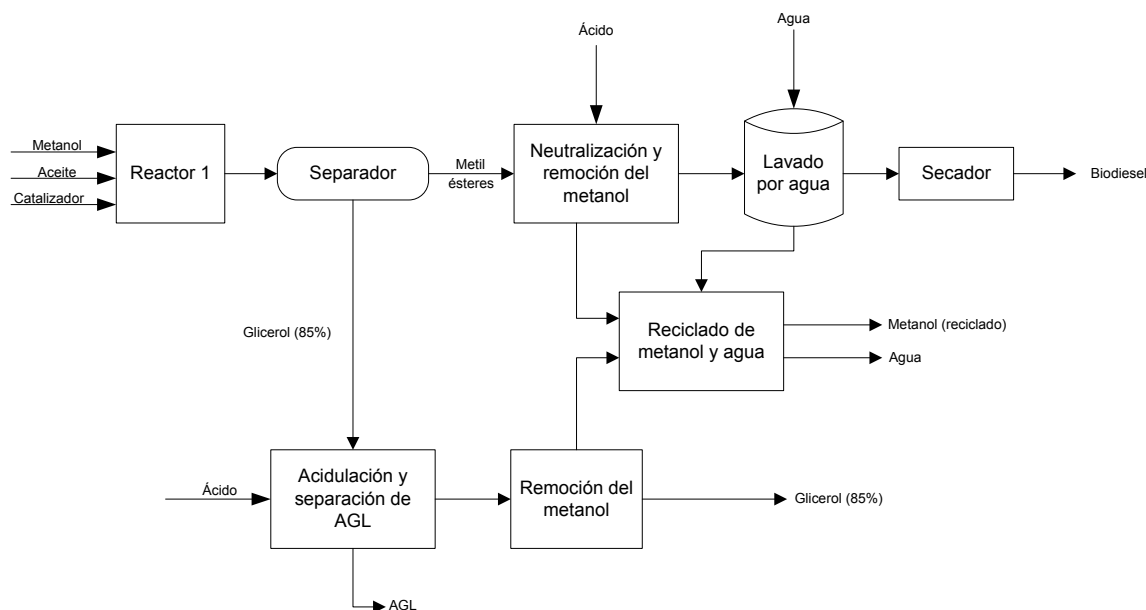
Diagrama 2. Pre-tratamiento de aceite de alto contenido en AGL por esterificación



2.4.2. Etapas del proceso de transesterificación con catálisis básica

El proceso de transesterificación tiene muchas variantes según los tratamientos que se hacen y el orden de los subsistemas en el proceso. Sin embargo, el diagrama 3 es un buen ejemplo de un proceso clásico. Este diagrama muestra de manera esquemática los procesos involucrados en la producción de biodiesel a partir de materia base con bajo contenido de ácidos grasos libres (AGL). A continuación, se describen de manera breve las diferentes etapas del proceso de transesterificación, desde la recepción del aceite hasta la producción del biodiesel terminado (Jérôme Hervé, 2007).

Diagrama 3. Diagrama del proceso de producción de biodiesel por catálisis básica



2.5. Control de calidad

A diferencia de los motores de gasolina, los motores diesel pueden funcionar con combustible de mala calidad durante un tiempo; funcionan con aceite de motor gastado, con queroseno y hasta con gasolina, también con biodiesel pésimo y es normal que lleguen a recorrer medio millón de kilómetros a lo largo de su vida útil (Querini Carlos, 2006).

En la empresa Bosch se realizó un detallado estudio sobre los problemas causados por el biodiesel en Alemania en los últimos años, Las fallas reportadas en motores adecuados para el uso de biodiesel, estuvieron relacionadas con la falta de calidad del combustible, lo que destaca la importancia del control de calidad del biodiesel y la observación de las normas que especifican los parámetros del mismo. Este es un aspecto

clave que determina el funcionamiento y la vida útil de los equipos de inyección de combustibles en motores diesel (Querini Carlos, 2006).

Cada falla de motores producida por el biodiesel contribuye a una insatisfacción de los consumidores, que ayuda a destruir la positiva imagen pública del biodiesel, por lo que se debe asegurar que la calidad del producto sea adecuada (Querini Carlos, 2006).

2.6. Estándares de calidad

Todos los motores han sido diseñados y fabricados para un combustible que tenga determinadas características. Los países que utilizan el biodiesel, han dictado sus propias normas. En la Tabla 2 se comparan los estándares de diferentes países.

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 y otros biocombustibles como alternativa para contar con la autosuficiencia energética a través de fuentes renovables (Secretaría de energía, 2010).

Otro instrumento que está en discusión entre los legisladores es la *Ley para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía*, en el 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 (Querini Carlos, 2006).

2.7. Recapitulación

La producción del biodiesel es una buena alternativa como sustituto o complemento del diesel, ya que se trata de un combustible limpio que disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera.

La reacción de transesterificación es muy sencilla y segura debido a que p sustancias reaccionantes no son tóxicas (en el caso del catalizador empleado), además de que se cuenta con varias alternativas para llevarse a cabo, esto permite tener una flexibilidad en cuanto a la reacción.

Debido a la simplicidad de la reacción, es posible llevar a cabo este proceso a nivel industrial, ajustando las cantidades de reactivos a emplear así como las condiciones de operación requeridas para ser llevadas a cabo a una mayor escala. Por tal motivo en los capítulos posteriores están dedicados a la adaptación de este proceso para producir biodiesel a mayor escala. Para la adaptación del proceso es necesario realizar un estudio de mercado, un análisis para seleccionar la tecnología adecuada, la realización de la ingeniería básica, entre otros, por lo que el capítulo III está dedicado a la definición de los objetivos principales del proyecto.

Tabla 2. Estándares y especificaciones del biodiesel.

| | Austria | Alemania | Italia | Francia | Europea | USA | Argentina |
|------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Norma | ONORM C1191 | DIN V 51606 | CUNA | Journal Officiel | EN 14214 | ASTM D-6751 ^[1] | IRAM 6515 |
| Fecha | ene-96 | sep-97 ^[7] | abr-93 | sep-97 ^[5] | 2003 | dic-01 | oct-01 |
| Densidad 15°C g/cm ³ | 0.85-0.89 | 0.875-0.9 | 0.86-0.90 | - | 0.86-0.9 | - | 0.86-0.9 |
| 20°C | - | - | - | - | - | - | - |
| Viscosidad 20°C cSt | - | - | - | - | - | - | - |
| 40°C | 3.5-5.0 | 3.5-5.0 | 3.5-5.0 | - | 3.5-5.0 | 1.9-6.0 | 3.5-5.0 |
| Punto de ignición °C | ≥ 100 | ≥ 100 | ≥ 100 | - | ≥ 120 | ≥ 100 | - |
| POFF verano °C | ≤ 0 | ≤ 0 | ≤ 0 | - | - | - | - |
| invierno | ≤ -15 | ≤ -20 | ≤ -15 | - | - | - | - |
| PE verano °C | - | - | - | - | - | - | - |
| invierno | - | - | - | - | - | - | - |
| Azufre total %P | ≤ 0.02 | ≤ 0.01 | ≤ 0.01 | - | 10 mg/Kg | ≤ 0.05 | 10 mg/Kg |
| CC 100% (%P) | ≤ 0.05 | - | - | - | - | ≤ 0.05 | - |
| 10% res. Destilado | - | ≤ 0.3 | ≤ 0.5 | - | ≤ 0.3 | - | ≤ 0.3 |
| Ceniza sulfat %P | ≤ 0.02 | ≤ 0.03 | - | - | ≤ 0.02 | ≤ 0.02 | ≤ 0.02 |
| Ceniza %P | - | ≤ 0.01 | - | - | - | - | - |
| Agua mg/Kg | ^[2] | | ≤ 700 | ≤ 200 | ≤ 500 | ≤ 0.05% | ≤ 500 |
| Impureza total mg/Kg | ^[3] | ≤ 20 | - | - | ≤ 24 | - | ≤ 24 |
| Corrosión-Cu 3h/50°C | - | 1 | - | - | 1 | < N°3 | 1 |
| Número de centano | ≥ 48 | ≥ 49 | - | ≥ 49 | ≥ 51 | ≥ 40 | ≥ 50 |
| N° Neutralización mgKOH/g | ≤ 0.80 | ≤ 0.50 | ≤ 0.50 | ≤ 1 | ≤ 0.50 | ≤ 0.80 | ≤ 0.50 |
| Estabilidad Oxidación 110°C h | - | - | - | - | 6 | - | 6 |
| Metanol %P | ≤ 0.20 | ≤ 0.30 | ≤ 0.20 | ≤ 0.10 | ≤ 0.20 | - | ≤ 0.20 |
| N° Saponificación mg KOH/g | - | - | ≥ 170 | - | - | - | - |
| Contenido esteres %P | - | - | ≥ 98 | ≥ 96.5 | ≥ 96.5 ^[8] | - | ≥ 96.5 ^[8] |
| Triglicérido %P | - | ≤ 0.1 | ≤ 0.1 | - | ≤ 0.2 | - | ≤ 0.2 |
| Diglicérido %P | - | ≤ 0.1 | ≤ 0.2 | - | ≤ 0.2 | - | ≤ 0.2 |
| Monoglicérido %P | - | ≤ 0.8 | ≤ 0.8 | ≤ 0.8 | ≤ 0.8 | - | ≤ 0.8 |
| Glicerina combinada %P | - | - | - | - | - | - | - |
| Glicerina libre %P | ≤ 0.02 | ≤ 0.02 | ≤ 0.05 | - | - | ≤ 0.02 | ≤ 0.02 |
| Glicerina total %P | ≤ 0.24 | ≤ 0.25 | - | ≤ 0.25 | ≤ 0.25 | ≤ 0.24 | ≤ 0.25 |
| Número Iodo | ≤ 120 ^[4] | ≤ 115 | - | ≤ 115 | ≤ 120 | - | - |
| Fósforo mg/Kg | ≤ 20 | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 | - | ≤ 10 |
| Metales alcalinos mg/Kg | - | < 5 | - | ≤ 5 | ≤ 5 (Na+K) ≤ 5 (Ca+MG) | - | ≤ 5 (Na+K) |

- [1] basado en la norma provisional PS121-99, de junio de 1999
- [2] libre de agua separada
- [3] libre de sólidos
- [4] contenido de ácido linoleico (C18:3) y otros de 3 o más insaturaciones $\leq 15\%P$
- [5] previamente norma de Dic. 93
- [6] versión anterior de Nov. 94
- [7] versión anterior Junio 94
- [8] esteres de ácido linoleico $\leq 12\%P$, esteres de poliinsaturados (≥ 4 dobles ligaduras) $\leq 1\%P$

POFF: punto de obturación filtro en frío, PE: punto de escurrimiento, CC: carbón conradson

Fuente: SENER

Capítulo 3. Objetivos y alcance del proyecto

En ciudades como México el uso de combustibles fósiles provoca, además de la emisión de gases de efecto invernadero, serios problemas de contaminación del aire. En los últimos años esta situación ha empeorado debido al incremento del parque vehicular.

Existen muchas razones en todo el mundo para interesarse por el estudio y producción del biodiesel; una de ellas es que permite reducir (en pequeña proporción) la dependencia de combustibles fósiles, esto brinda una oportunidad para que los países diversifiquen su consumo energético de acuerdo con sus recursos naturales.

Debido a las razones mencionadas anteriormente y a la gran necesidad de disminuir el consumo de los combustibles fósiles, se quiere estudiar la posibilidad de obtener otras fuentes de combustibles alternativos como el biodiesel.

3.1. Objetivos generales

- Desarrollar el diseño conceptual de un proceso para la obtención del biodiesel a partir de aceites vegetales usados.
- Evaluar los beneficios de la producción y uso de biodiesel en una población desde un punto de vista técnico, económico y social.

3.2. Objetivos específicos

- Proponer un proceso eficiente y limpio para la producción de biodiesel que permita obtener dicho combustible a un menor costo de materia prima con el fin de presentar alternativas que contribuyan a disminuir la dependencia de combustibles fósiles.
- Establecer el balance de materia y energía así como los documentos en ingeniería conceptual necesarios (Diagrama de Flujo de Proceso, Diagramas de Tuberías e

Instrumentación, Plano de Localización General, Bases de diseño, etc.) para llevar a cabo la instalación de una unidad productora de biodiesel.

3.3. Alcance del proyecto

Este trabajo pretende evaluar la viabilidad técnica y económica de un proyecto de producción de biodiesel a partir de los desechos de aceite vegetal usado por los fabricantes de frituras, hogares y/o restaurantes; ayudado con algunos documentos de Ingeniería Básica emitidos para dicho fin, como son:

- Estudio de Mercado
- Selección de la Tecnología
- Balance de Materia y Energía del proceso seleccionado
- Diagrama de Flujo del Proceso seleccionado
- Planos de Localización General
- Diagramas de Tuberías e Instrumentación del proceso seleccionado y servicios auxiliares
- Estimado de tiempo para la realización del proyecto

Capítulo 4. Estudio de Mercado

El estudio de mercado que se expone en este capítulo se dividirá en 3 partes; la demanda de los biocombustibles, procedencia de las materias primas a utilizar y el mercado de los productos. En cada una de las partes se expondrán los factores significativos para el análisis del mercado, útiles para la selección de la localidad donde se espera llevar a cabo la realización de este proyecto.

4.1. Demanda de biocombustibles

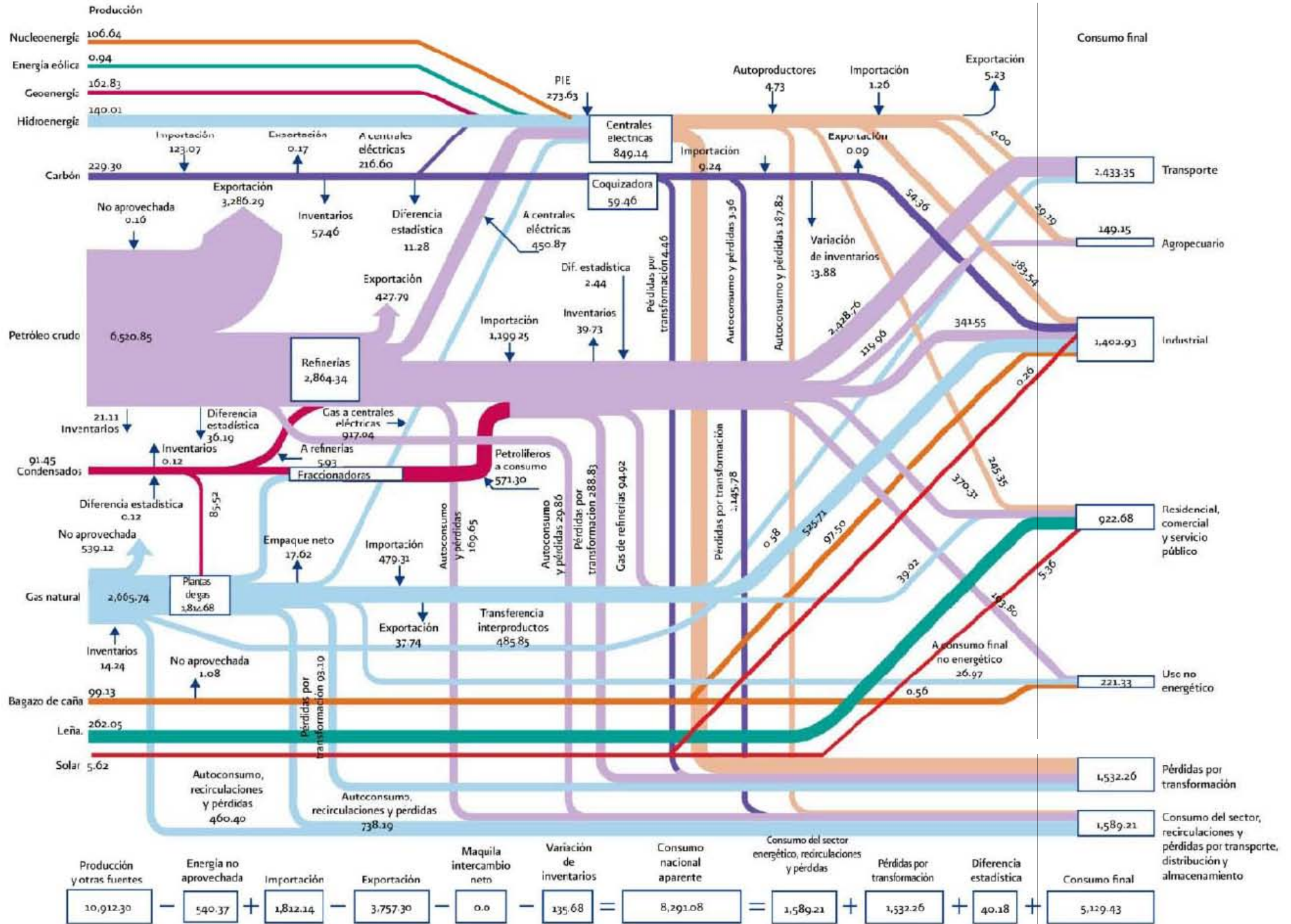
Para prever las cantidades de biodiesel a producir, es necesario conocer primero el consumo actual del combustible diesel en el país.

4.1.1. Consumo de combustibles en México

La actividad de las refinerías de petróleo crudo depende directamente de la demanda doméstica de combustibles. Debido a la evolución de la economía local y de los cambios en la demanda de diferentes combustibles, combinado con el crecimiento del transporte de cargas, el diesel actualmente tiene que ser importado parcialmente (Secretaría de energía, 2009).

Como se muestra en el diagrama 4 se muestra el balance nacional de energía del 2008, en donde se muestra el consumo en Petajoules de cada sector, siendo el sector de transporte el que más consumo tiene con 2,433.35 PJ y no se espera su disminución conforme a las políticas seguidas por el gobierno, que han favorecido el mayor consumo, caracterizándose por los siguientes factores:

Diagrama 3. Balance Nacional de Energía 2008 (petajoules)



- Incremento del parque vehicular
- Crecimiento del movimiento de carga y pasajeros, reflejado en un incremento del parque vehicular a diesel.
- Mayor adquisición de automóviles a diesel, debido a mejoras en el rendimiento de los motores, elevando la relación de compresión y regulación de la potencia mediante la inyección adecuada de la cantidad de combustible y de mezcla; con ventajas respecto a los vehículos a gasolina por su capacidad de carga, potencia y menor costo de mantenimiento.

Como se muestra en la Tabla 3, el consumo del sector transporte durante el 2008 fue de 2,427.54 PJ, 12.4 % por arriba del 2007. Este aumento fue producto de un mayor consumo en el autotransporte, que registró 269.6 PJ más que en 2007, y el incremento en el transporte marítimo. El transporte aéreo registro un menor consumo de querosenos, resultado de un menor número de vuelos por parte de la aviación comercial nacional. Destaca la disminución de 0.8 puntos porcentuales en su participación, respecto a 2007 (Secretaría de energía, 2009).

Los mayores incrementos en relación al consumo de energéticos, fueron los correspondientes a gasolinas (directamente atribuible al autotransporte) y diesel, con variaciones porcentuales de 15.2 % y 11.6 %, respectivamente. En contraste, los de combustóleo, gas licuado de petróleo, gas seco y querosenos presentaron disminuciones de 13.1 %, 12.1 %, 10.2 % y 2.7 %, en dicho orden (Secretaría de energía, 2009).

Tabla 3. Consumo de energía en el sector transporte 2008 (Petajoules).

| | Total | Aéreo | Auto-transporte | Eléctrico | Ferroviario | Marítimo |
|--------------------------------|---------|--------|-----------------|-----------|-------------|----------|
| Gas licuado | 10.32 | - | 10.82 | - | - | - |
| Gasolinas | 1607.51 | 1.04 | 1606.47 | - | - | - |
| Querosenos | 129.57 | 129.57 | - | - | - | - |
| Diesel | 639.3 | - | 581.27 | - | 24.3 | 33.74 |
| Combustóleo | 5.77 | - | - | - | - | 5.77 |
| Gas seco | 0.58 | - | 0.58 | - | - | - |
| Electricidad | 3.9 | - | - | 3.85 | 0.14 | - |
| Total 2008 | 2427.54 | 130.61 | 2229.14 | 3.85 | 24.43 | 39.51 |
| Total 2007 | 2159.9 | 134.14 | 1959.57 | 3.79 | 24.68 | 36.71 |
| Estructura porcentual 2008 | 100% | 5.40% | 91.80% | 0.20% | 1.00% | 1.60% |
| Variación porcentual 2008/2007 | 12.40% | -2.60% | 13.80% | 1.70% | -1.00% | 7.60% |

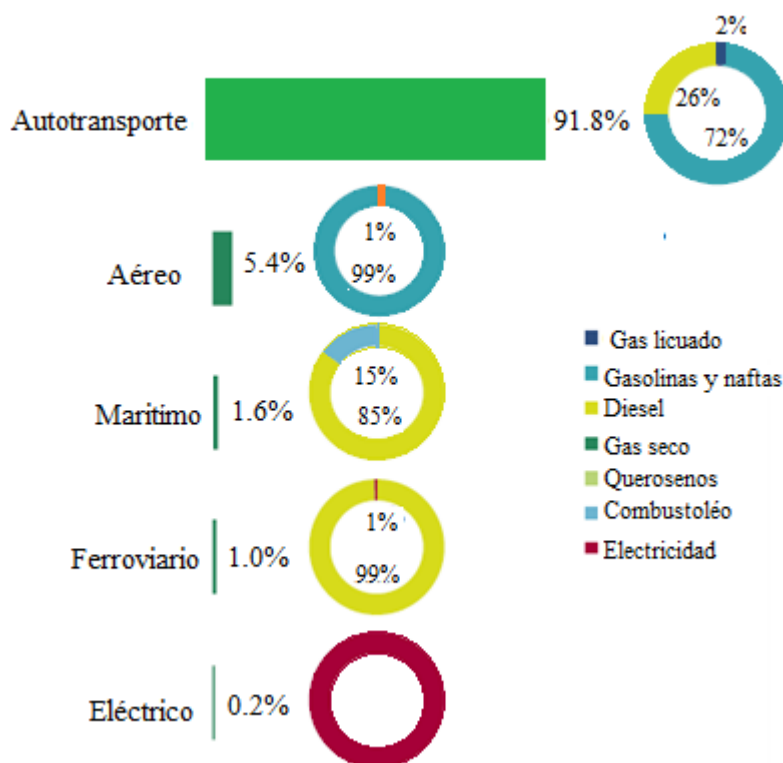
Fuente: Sistema de Información Energética SENER

El gas seco incluye gas no asociado

La suma de los parciales puede no coincidir con los totales debido al redondeo de las cifras

En la Gráfica 4 se muestra las participaciones del consumo de energía del autotransporte, transporte aéreo, marítimo, ferroviario y eléctrico dentro del sector transporte, así como la distribución por tipo de combustible en cada uno de ellos. El gas licuado de petróleo tuvo una participación de 1.8 % en el consumo del autotransporte en 2008, mientras que en 2007 esta fue de 2.4 %. El diesel mostro una participación 0.4 puntos porcentuales menor a la de 2007. Ambas disminuciones fueron compensadas por el aumento de 0.9 puntos porcentuales en la participación de gasolinas y naftas. En el transporte marítimo se observo un incremento de 3.5 puntos porcentuales en el consumo de diesel, mismo que vio reflejado en una caída de igual magnitud en la utilización de combustóleo. Las distribuciones del consumo de combustibles tanto en el transporte aéreo como en el ferroviario se mantuvieron prácticamente constantes a las del año anterior (Secretaría de energía, 2009).

Gráfica 4. Consumo de energía del sector transporte 2008 (estructura porcentual por subsector y energético)



Fuente: Sistema de Información Energética, con cálculos propios.

4.1.2. Consumo actual de biodiesel a nivel mundial

En Estados Unidos de América la producción anual de biodiesel fue de aproximadamente 570 millones de litros en 2004 (80 % a partir de la soya, 19 % de grasa amarilla y un 1 % de otros cultivos). En enero de 1999 solo algunas flotas vehiculares utilizaban biodiesel, para septiembre de 2001 el número se incrementó en más de un 10 % (Secretaría de energía, 2009).

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 alterno. Entre los gobiernos estatales más activo 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 de 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 (Secretaria de energía, 2009).

La Unión Europea es líder mundial en la producción y consumo de biodiesel; tan solo en el año 2003 produjo alrededor de 1, 504,000 toneladas de biodiesel y donde los tres principales países productoras de este bioenergético son: Alemania (con 715,000 toneladas), Francia (357,000 toneladas) e Italia (273,000 toneladas). (ESMAP, 2005)

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 como aceite de calefacción y el resto para utilizarlo como mezcla B5.

Han sido dos los factores que han permitido a la Unión Europea convertirse en el líder en la producción de biodiesel; una política agrícola en común (CAP) en la que se promueve el subsidio a los productores de granos, oleaginosas y cultivos proteínicos que

dediquen un 10% de sus tierra para la producción de insumos para obtener biodiesel y 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 solo en el año 1994 el Parlamento Europeo exento en un 90 % los impuestos al biodiesel; en Alemania el biodiesel está exento al 100 % de impuestos (Secretaria de energía, 2006)

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 su origen, la industria del biodiesel ha trabajado conjuntamente con la industria automotriz (Secretaria de energía, 2006).

4.1.3. Consumo actual de biodiesel en 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 de Cadereyta, Nuevo León, que produce este combustible a partir de aceites y grasas reciclada 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 (Secretaria de energía, 2006).

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 (Secretaria de energía, 2007).

Según el estudio “Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el transporte en México”, una alternativa para la introducción y empleo de biodiesel en México se puede basar en materias primas de bajo costo, como 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 requiere, entre otras cosas: el aumento significativo de los cultivos oleaginosos, la instalación de 10 plantas industriales con una capacidad de 100 000 ton/año o más de 140 plantas pequeñas con una capacidad de 5 000 ton/año, así como inversiones de alrededor de \$3 100 millones de pesos (Secretaria de energía, 2007).

Estableciendo la cantidad a producir de acuerdo a lo realizado este estudio y así mismo pretendiendo implementar el uso de combustibles alternos en el transporte público, se estima que la producción anual del biocombustible empleado (biodiesel) será de 100 000 ton/año.

4.1.4. Mercado de aplicación en México

La producción de biodiesel a escala comercial en México en el mediano plazo de realizar acciones integrales que deben incluir aspectos técnicos, económicos y medioambientales, de concertación con el sector agrario y agroindustrial así como un esfuerzo importante en investigación y desarrollo tecnológico (Sarmiento Torres, 2009).

México cuenta con incipiente mercado de automóviles con motores diesel por lo que se considera que el mayor uso de este bioenergético está en los camiones dedicados al transporte de pasajeros y de mercancías.

Además, es importante mencionar que en Europa algunos fabricantes como Volkswagen han anunciado que han adaptado sus motores diesel para operar con un B100 y B30, mientras que en Reino Unido los fabricantes de automóviles mantienen su garantía si no se excede en un 5% de biodiesel.

Se sugiere una estrategia gradual de introducción de biodiesel en México de manera inmediata, la introducción de biodiesel podría basarse sobre todo en el uso de materias primas de bajo costo como aceites y grasas recicladas y mediano plazo se implementan esquemas de incentivos para la introducción de biodiesel de manera masiva, a fin de permitir la sustitución de diesel de petróleo. Para lograr estas metas se necesita un plan de desarrollo del mercado de estos combustibles que contemple aspectos como: establecer de manera inmediata el marco legal, por ejemplo, una directiva de biodiesel con metas claras, estándares nacionales para combustible e incentivos a la producción agrícola y comenzar a desarrollar una industria nacional de producción de biodiesel, incluyendo actividades de capacitación y de investigación y desarrollo (Secretaría de energía, 2006).

Para llegar a sustituir un 5 % de diesel de petróleo en el país será necesario instalar 10 plantas industriales con capacidad de 100 000 ton/año cada una o más de 140 plantas pequeñas con capacidad de 5 000 ton/año cada una. Para el suministro de los cultivos agrícolas y reducción del costo de distribución de biodiesel y sus subproductos, las plantas de producción deben instalarse en las cercanías de refinerías o de las plantas productoras de aceites vegetales. Desde el punto de vista logístico, la mejor opción son plantas integradas de producción de aceites vegetales y biodiesel (Secretaría de energía, 2006).

Las inversiones estimadas para llegar al escenario de 5 % de biodiesel, alcanzan \$3,100 millones de pesos aproximadamente, puesto que cada planta industrial de gran escala tiene un costo unitario de \$ 311 millones de pesos aproximadamente.

Uno de los campos de aplicación de biodiesel en el transporte público abarcaría la línea del metrobús del Distrito Federal. Se encontró que los autobuses Volvo marca CISA con motores DH12-340, que operan con diesel convencional con un contenido de 350 ppm de azufre, presentaron un rendimiento de campo de 1.35 km/litro. Por lo que con estos datos, se estima un consumo de diesel del petróleo de aproximadamente 26 548 litros/día (considerando que todos los autobuses tuvieran el mismo rendimiento), que en términos de energía corresponde a 0.9 Petajoules (PJ)/día. Por tal motivo, el uso de este combustible en este sector sería muy factible (Secretaría de energía, 2006).

4.2. Origen de la Materia Prima

La materia prima para la producción de biodiesel es aceite o grasas, así como alcohol y un catalizador para poder convertir los aceites y grasas en ésteres alquílicos.

4.2.1. Residuos de aceite usado de cocina

Se entiende por aceite usado, al aceite vegetal que se utiliza en un proceso agroindustrial para cocer alimentos, éste aceite se ocupa durante un tiempo determinado en estas industrias antes de ser eliminado y cambiado por un aceite virgen.

Sin embargo, el aceite usado es generalmente una mezcla de varios aceites vegetales (algodón, soya, girasol, colza, etc.) y tiene cierto grado de impureza al entrar en contacto directo con alimentos durante la cocción. Esto influye en la contaminación del aceite por sales u otros componentes que se añaden (Vulling Mónica, 2008).

El repetido uso de un aceite vegetal comestible en procesos de recalentamiento o quemado, cambia su estructura y pierde las características originales de un aceite vegetal natural, volviéndolo no digerible para el cuerpo humano, provocando obesidad y otros problemas relacionados, teniendo como la mejor opción, ambientalmente amigable, el reciclaje del aceite que se desecha para obtener biodiesel.

En México son pocas empresas que se dedican a la recolección de este residuo, y aún mas, son pocos los estados de la República que se preocupan por confinamiento y reciclaje de los aceites vegetales usados por restaurantes y hogares para cocinar.

Una de estas empresas es Biofuels S.A. de C.V. que es una compañía que en colaboración con asociaciones de restaurantes u organismos constituidos como la CANIRAC del Valle de México y la Ciudad de México; industrias, comercios y el público en general, han implementado la Campaña Regional de Regional de Recolección de Aceite Vegetal Usado (AVU) que ha iniciado en la Zona Metropolitana del Valle de México y tiene por objetivo recolectar el aceite vegetal quemado de restaurantes, hoteles, centros comerciales o de comunidades organizadas. Otra organización en México dedicada a esta labor es la empresa REOIL, organización creada por empresas mexicanas y europeas para el correcto reciclado y gestión de residuo sólido de manejo especial conocido como aceite usado de cocina (Vulling Mónica, 2008).

4.2.1.1. Fuentes de obtención de residuos de aceite usado de cocina

El de aceite de cocina, es en la actualidad una de las principales causas de contaminación de las aguas residuales urbanas, ya que una vez utilizados se vierten por el desagüe a la red de alcantarillado, contaminando el medio ambiente, produciendo atascos y malos olores en las cañerías y una gran cantidad de problemas ambientales.

Estos vertidos hacen que la depuración de las aguas sea tremendamente costosa, además de dificultar el normal funcionamiento de las depuradoras o plantas tratadoras.

El reciclado del residuo se obtiene de la industria de alimentos preparados, banquetes, comedores industriales, hoteles, restaurantes y en general a toda actividad comercial o productiva que genere residuos de aceite de cocina en sus procesos.

El reciclado también se puede llevar a partir de pequeños generadores lo que ayudaría a detener la generación del residuo de aceite usado de cocina en los hogares (que representa un poco menos del 50 % del consumo total de aceite vegetal en el país) para que no vaya a parar a los sistemas de drenaje (Vulling Mónica, 2008).

4.2.2. Alcoholes

Los alcoholes empleados comúnmente en el proceso de producción de biodiesel son los de bajo peso molecular, siendo los más usados el metanol y etanol.

En México existen muchas empresas que se dedican a la fabricación y distribución de reactivos químicos en los cuales se puede abastecer el alcohol a emplear en la producción de biodiesel.

4.2.3. Catalizador

Como ya se menciona en el capítulo II, los catalizadores empleados en el proceso de producción de biodiesel pueden ser homogéneos y heterogéneos. Los más comúnmente usados son los homogéneos por ser solubles en el medio de reacción.

Los catalizadores homogéneos pueden ser ácidos o bases, en donde los más utilizados son el Hidróxido de Sodio (NaOH), Hidróxido de Potasio (KOH) y Ácido sulfúrico (H₂SO₄).

4.3. Productos

Los productos obtenidos principalmente son el alquíl éster (metil éster si se utilizó metanol en la reacción o etil éster si se utilizó etanol en la reacción) y glicerol o glicerina.

4.3.1. Demanda de Biodiesel

Actualmente, los Bioenergéticos representan el 3.38% por ciento del consumo de energía primaria en México. Los principales Bioenergéticos utilizados son el bagazo de caña y la leña (Secretaría de energía, 2006).

En países integrantes de la Unión Europea, el biodiesel es producido y comercializado ampliamente, reportando producciones de alrededor de 1.9, 0.6 y 0.5 billones de litros para Alemania, Francia e Italia respectivamente.

En este sentido, en México se han desarrollado diferentes proyectos de los cuales el más importante es el proyecto del Grupo Energético S.A., en colaboración con el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), en el que se instaló una planta productora de biodiesel a partir de grasa animal y desechos de rastros. En julio del 2005, en Nuevo León, se inauguró la planta con una inversión de 1.5 millones de dólares y una capacidad de producción inicial de 500 mil litros por mes. El biodiesel se utiliza como combustibles para camiones industriales en el norte de México. Se espera comercializar el producto en la Ciudad de Monterrey, ya que la planta posee potencial para la producción de 1 millón de litros por mes (Secretaría de energía, 2007).

La SENER, en colaboración con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ), realizó un estudio para analizar el potencial de producción y uso del biodiesel como combustible para el sector transporte en México. En el estudio se plantean los siguientes escenarios:

- 1) Mezcla del 5 % de biodiesel en volumen en el diesel convencional.
- 2) Mezcla de 10 % de biodiesel en volumen en el diesel convencional.

En la tabla 4 se muestra la demanda estimada de biodiesel, tomando en cuenta la demanda esperada de diesel derivado de petróleo para cada uno de los escenarios (Secretaría de energía, 2006).

Tabla 4. Demanda esperada de biodiesel 2006-2012

| | Miles de litros por día | | | | | | |
|--------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| Diesel | 45,474 | 46,746 | 49,290 | 49,290 | 50,721 | 52,152 | 53,583 |
| Escenario 1 | 2,274 | 2,337 | 2,465 | 2,465 | 2,536 | 2,608 | 2,679 |
| Escenario 2 | 4,547 | 4,675 | 4,929 | 4,929 | 5,072 | 5,215 | 5,358 |

Fuente: SENER-BID-GTZ

4.3.2 Demanda de Glicerina

Después de la reacción de transesterificación la glicerina debe ser removida de los metil ésteres debido a que si se encuentra libre en el combustible en cantidades superiores a las exigidas por norma, podría causar inconvenientes en los filtros de combustible y en la combustión.

Debido a la baja solubilidad de la glicerina en los metil ésteres, la separación en general ocurre rápidamente y puede llevarse a cabo por diferentes métodos, como ser decantado en un tanque o por centrifugación (Larosa Rodolfo, 2004).

Luego de la separación, la mayor parte de la glicerina se encuentra en la fase inferior, pudiendo alcanzar una concentración del 50-70 %. Los demás componentes de esta misma fase son: metanol no reaccionado, la mayor parte del catalizador utilizado y los jabones formados por la reacción entre los ácidos grasos libres y el hidróxido de sodio. Por tal motivo, el valor comercial de la glicerina en este estado es bajo, por lo que necesario purificarla (Armaretti Nora, 2008).

El primer paso para purificar la glicerina es la eliminación de los jabones utilizando un ácido mineral obteniendo ácidos grasos libres y sus sales, luego se remueve el metanol mediante un proceso de destilación flash al vacío u otro tipo de evaporación. De esta forma se obtiene glicerina con una pureza aproximada del 85 % que puede ser vendida a refinerías. En productos comerciales, el término glicerina se aplica a aquellos que normalmente contienen un porcentaje mayor al 95 % de glicerol (Armaretti Nora, 2008).

Una alternativa es utilizarla como fertilizante para suelos. En este caso es necesario utilizar KOH como catalizador de la reacción de transesterificación de modo que al realizar el tratamiento para eliminar jabones se obtenga SO_4K_2 o PO_4HK_2 según se utilice H_2SO_4 o H_3PO_4 como ácidos minerales de neutralización. Si bien ésta es una opción más simple, es importante un control adecuado del pH para no afectar el desarrollo bacteriano (Armaretti Nora, 2008).

4.4. Recapitulación

Como se puede ver el consumo de combustibles fósiles en la Ciudad de México se encuentra principalmente en la industria del transporte con un de 91.8% del consumo total, del cual el 72% es de gasolinas por automóviles y el 26% se consume de diesel por el transportes público.

La materia prima para la producción de biodiesel son los triglicéridos. Estos pueden obtenerse de varias fuentes como el aceite vegetal usado; éste tiene un costo menor porque es considerado como desecho y las fuentes de obtención de son variadas (restaurantes, colaboración ciudadana y de industrias alimenticias).

Sí existe un mercado potencial para el biodiesel en la ciudad de México. Es necesario encontrar una zona en la ciudad o en su cercanía para la instalación de una planta para producirlo, por lo que es necesario efectuar un análisis de selección del lugar más adecuado para este fin, lo cual lo podemos ver desarrollado en el siguiente capítulo.

Capítulo 5. Localización de la planta

Uno de los objetivos a largo plazo de este trabajo es llevar a cabo este proyecto, por tal motivo es necesario realizar un estudio de la localidad, en el que sea posible su realización.

En este capítulo haremos la selección de una localidad a partir de 3 sitios colindantes con el DF y Zona Metropolitana, área donde se llevo a cabo el estudio de mercado.

A lo largo del capítulo se desglosan las características principales de cada localidad, como lo son clima, localización, mercado y mano de obra. En el punto 4.1 se expone el procedimiento a seguir para la selección del lugar.

5.1. Procedimiento de selección

Para seleccionar la ubicación de la localidad en la que se instalará una planta para producir biodiesel se realizará un análisis por medio del método de factores ponderados.

Este método consiste en establecer un porcentaje a los factores que tengan mayor relevancia para la localización de la planta.

A continuación se muestran tres posibles localidades en las que se puede ubicar la planta productora de biodiesel y en la tabla 5 se observan los factores evaluados para la selección de la localidad.

5.1.1. Zona Industrial Cuautitlán Izcalli

El municipio de Cuautitlán Izcalli se localiza en el parte noroeste de la cuenca de México. Su cabecera municipal se ubica en las coordenadas 19° 40' 50'' de latitud norte y a

los 99° 12' 25'' de la longitud oeste. Tiene una extensión territorial de 109.9 km² por lo que representa el 0.5 % de la superficie del Estado; colinda al norte con el municipio de Tepetzotlán, Cuautitlán y Teoloyucan, al este con Cuautitlán y Tultitlan, al sur con Tlalnepantla de Baz y Atizapán de Zaragoza, al oeste con Villa Nicolás Romero y Tepetzotlán.

Se presenta una temperatura promedio propia del clima templado subhúmedo, cuya variación máxima alcanza los 27.8 ° C, y como mínima de 5 ° C, la temperatura media anual es de 16 ° C. Su humedad relativa es del 77 %, los vientos varían de 0 a 7 km/h y una presión de 580 mmHg (Fragoso Castañares, 2005).

5.1.2. Zona Industrial Vallejo

La zona industrial Vallejo tiene una extensión total de 378 hectáreas, alberga a 500 empresas de todo género y tamaño. Colinda al norte con el municipio de Tlalnepantla, al sur con las colonias Euzkadi, Monte Alto y Barrio Cotongo, al este con la Delegación Gustavo A. Madero y al oeste con Ferrería y las colonias Santa Catarina y el Jagüey.

El clima de esta zona es templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura máxima es de 30 ° C y la mínima de 9 ° C, su presión atmosférica es 580 mmHg y tiene una humedad relativa del 65 % (Fragoso Castañares, 2005).

5.1.3. Zona Industrial Naucalpan

Es uno de los municipios más industrializados del Estado de México antecedido por Toluca. Limita al este con las delegaciones Miguel Hidalgo y Azcapotzalco de la Ciudad de México, además al sur con el municipio de Huixquilucan, al norte con el de Tlalnepantla y Atizapán de Zaragoza y al oeste con el Jilotzingo. Este municipio se

caracteriza por ser uno de los más ricos del país y con aportaciones importantes a la federación (Fragoso Castañares, 2005).

El clima es templado con lluvias de Mayo a Octubre, su temperatura promedio es de 18 ° C, la temperatura máxima es de 24 ° C y la mínima de 3 ° C, su presión es de 580 mmHg el viento es variable con una velocidad de 2 km/h.

De acuerdo a la tabla 5 elaborada de acuerdo al método de factores ponderados la zona que cumple mejor los requerimientos para la instalación de la planta de biodiesel es la zona industrial de Cuautitlán Izcalli. A continuación se hace un estudio de mercado de la zona así como los aspectos técnicos y sociales de la zona elegida.

5.2. Estudio de mercado de la zona seleccionada

Cuautitlán Izcalli cuenta con una importante base industrial que representa su mayor y más importante potencial económico y que muestra gran diversidad de ramas. Para el desarrollo de esta actividad existen seis parques industriales, en los que se ubican aproximadamente 1,337 empresas (Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli, 2010):

- Parque Industrial Cuamatla
- Condominio Industrial Cuamatla
- Parque Industrial La Luz
- La joya
- Parque Industrial Cuautitlán
- Parque Industrial Xhala

Tabla 5. Valores ponderados para selección de lugar

| % | Criterio | Zona Industrial Vallejo | | | | Cuautitlan Izcalli | | | | Naucalpan | | | |
|--------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------|-----------|-------------|--------------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| | | Mala (1) | Regular (2) | Buena (3) | Total | Mala (1) | Regular (2) | Buena (3) | Total | Mala (1) | Regular (2) | Buena (3) | Total |
| 25 | 1. Recursos Materiales | | | | | | | | | | | | |
| | 1.1 Materias Primas | | | 3 | 0.75 | | | 3 | 0.75 | | | 3 | 0.75 |
| | 1.2 Enèrgeticos | | | | 0 | | | | 0 | | | | 0 |
| | 1.2.1 Agua | | 2 | | 0.5 | | | 3 | 0.75 | | 2 | | 0.5 |
| | 1.2.2 Combustible | | 2 | | 0.5 | | | 3 | 0.75 | | 2 | | 0.5 |
| | 1.2.3 Energia | | 2 | | 0.5 | | | 3 | 0.75 | | 2 | | 0.5 |
| | 1.3 Refacciones | | | 3 | 0.75 | | 2 | | 0.5 | | | 3 | 0.75 |
| 25 | 2. Comunicaciòn | | | | | | | | | | | | |
| | 2.1 Transporte vìa marítima | | | | 0 | | | | 0 | | | | 0 |
| | 2.2 Transporte vìa ferroviaria | | | 3 | 0.75 | | | 3 | 0.75 | | 2 | | 0.5 |
| | 2.3 Transporte vìa terrestre | | 2 | | 0.5 | | | 3 | 0.75 | | 2 | | 0.5 |
| | 2.4 Transporte vìa àerea | 1 | | | 0.25 | 1 | | | 0.25 | 1 | | | 0.25 |
| 20 | 3. Recursos Humanos | | | | | | | | | | | | |
| | 3.1 Mano de Obra | | | 3 | 0.6 | | | 3 | 0.6 | | | 3 | 0.6 |
| | 3.2 Calidad de vida | | 2 | | 0.4 | | | 3 | 0.6 | | | 3 | 0.6 |
| 15 | 4. Condiciones climatològicas | | | | | | | | | | | | |
| | 4.1 Temperatura Màmima | | | 3 | 0.45 | | | 3 | 0.45 | | | 3 | 0.45 |
| | 4.2 Temperatura Mìnima | | | 3 | 0.45 | | | 3 | 0.45 | | | 3 | 0.45 |
| | 4.3 Humedad relativa | | | 3 | 0.45 | | 2 | | 0.3 | 1 | | | 0.15 |
| | 4.4 Direcciòn de los vientos | | | 3 | 0.45 | | | 3 | 0.45 | | | 3 | 0.45 |
| | 4.5 Precipitaciòn Pluvial | | 2 | | 0.3 | | 2 | | 0.3 | | 2 | | 0.3 |
| 15 | 5. Factor social | | | | | | | | | | | | |
| | 5.1 Instalaciones | | | 3 | 0.45 | | | 3 | 0.45 | | | 3 | 0.45 |
| | 5.2 Marco juridico | | 2 | | 0.3 | | 2 | | 0.3 | | 2 | | 0.3 |
| | 5.3 Impuestos | | 2 | | 0.3 | | 2 | | 0.3 | 1 | | | 0.15 |
| TOTAL | | 8.65 | | | | 9.45 | | | | 8.15 | | | |

Dentro de la rama manufacturera existe una diversificación cuya participación está caracterizada por productos distribuidos en la siguiente forma (tabla 6) (Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli, 2010):

Tabla 6. Distribución de productos por rama manufacturera en Cuautitlán Izcalli

| Rama Manufacturera | Productos distribuidos | Porcentaje |
|---------------------------|---|-------------------|
| Industria Alimentaria | Bebidas y tabacos | 30.6 % |
| Industria Textil | Textiles y prendas de vestir | 10.6 % |
| Industria Maderera | Productos de madera | 5.2 % |
| Industria Papelera | Producto de papel | 3.83 % |
| Industria Petroquímica | Sustancias químicas y productos derivados del petróleo, carbón, hule y plástico | 13.25 % |
| Industria Minería | Productos no metálicos | 1.74 % |
| Industria Metalúrgica | Productos metálicos, maquinaria y equipo | 31.56 % |
| Otros | ---- | 7.54 % |

Existen 25 distritos para el desarrollo industrial de Cuautitlán Izcalli, ocupando un área de 1,132 hectáreas localizadas principalmente al oriente del municipio expandida en las laterales de la autopista México – Querétaro. Actualmente las instalaciones ocupan un área de 79,350 hectáreas, quedando 33,850 hectáreas como reserva a fin de permitir el futuro crecimiento industrial (Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli, 2010).

5.2.1. Aspectos técnicos

- Comunicaciones y Vías de transporte

Presenta una comunicación fluida con diferentes municipios y ciudades, a través de arterias regionales como son: Autopista México - Querétaro, México – Cuautitlán - Teoloyucan, Lechería – Chamapa - Toluca, Prolongación Av. Teotihuacán - Lago de

Guadalupe - Atizapán de Zaragoza, carretera Lechería - Tepojaco, Nicolás Romero y Calzada de Guadalupe a Cuautitlán (Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli, 2010).

- Clima y descripciones territoriales

Tiene una altura promedio de 2 252 m sobre nivel del mar, sus porciones más altas están ubicadas al sur con un máxima altura de 2 430 m sobre nivel del mas y la más baja se encuentra al occidente con 2 250 m sobre nivel del mar.

Existen importantes corrientes superficiales y cuerpos de agua, entre las primeras el río de Cuautitlán que atraviesa el territorio municipal, con una longitud de 10.98 km y el río Hondo de Tepotzotlán. Los principales cuerpos de agua son: embalse Espejo de los Lirios, Bordo la Piedad, Presa el Angulo, Laguna de Axotlán y la Presa Lago Protegida, con categoría de Parque Estatal denominado “Santuario del Agua y Forestal Presa Guadalupe” (Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli, 2010).

Este municipio tiene clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media en un 30.60 % de la superficie territorial y templado subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad en un 69.40 % de la superficie municipal.

Cuenta con la temperatura promedio propia del clima templado subhúmedo cuya variación máxima alcanza los 27.8 ° C y como mínima de 5 ° C, la media anual se ubica en los 16 ° C.

El régimen pluvial medio anual oscila entre los 600 y 800 mm. Y los principales de precipitación son: junio, julio, agosto y septiembre. Durante los meses de noviembre a febrero se presentan con una frecuencia de 20 a 120 días las heladas en el municipio, las granizadas tienen una frecuencia de 0 a 10 al año, principalmente los meses de julio y agosto (Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli, 2010).

- Servicios públicos

Del caudal total de agua, únicamente el 19 % es aportado por el sistema Cutzamala, el 11 % por derivaciones federales y estatales y el resto por fuentes de abastecimiento subterráneo (pozos) que opera directamente el organismo OPERAGUA y que representa el 70 %.

La infraestructura con que cuenta el municipio para dotar agua a la población es la siguiente:

- a) 300 km. Aproximados en líneas de agua potable en diámetros que van de 5 a 91 cm.
- b) 250 km. Aproximados en redes de drenaje en diámetros de 30 cm. a 2.44 m.
- c) 42 pozos profundos
- d) 11 estaciones de bombeo de agua potable
- e) 7 cárcamos de aguas negras (1 sin equipar)
- f) 18 tanques de almacenamiento y/o regulación

Basándose en el anuario estadístico del Estado de México en su edición 1997 en todo el estado solo 23 municipios de la entidad cuentan con plantas de tratamiento, en este sentido Cuautitlán Izcalli cuenta con 2, una de las cuales se ubica en Lechería y está concesionada a particulares (Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli, 2010).

La electricidad es un aspecto fundamental para el bienestar social y el fomento al desarrollo económico, en Cuautitlán Izcalli existe un total de 88,802 tomas eléctricas las cuales se distribuyen de la siguiente manera; 83,601 corresponden a zonas residenciales, 3,769 comerciales, 1,430 son industriales y 2 son tomas eléctricas no domiciliarias (corresponden a usuarios de bombes para riego agrícola).

- Mano de obra

En el último censo realizado se registro que 74,192 hombres tiene trabajo o desempeñan alguna actividad que le genere ingresos y tenemos a 26,649 mujeres que al igual que los hombres tienen algún trabajo o desempeñan alguna actividad que proporciona ingresos para poder subsistir (Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli, 2010).

5.2.2. Aspectos sociales

Según el Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) en su II Censo de Población y Vivienda 2005, existen 498,021 habitantes, de los cuales 242,798 son hombres y 255,223 son mujeres. Dado el alto crecimiento urbano en el municipio durante los últimos años se considera actualmente la población haciende aproximadamente a 826,750 habitantes (Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli, 2010).

5.2.3. Aspectos ambientales

El municipio de Cuautitlán Izcalli se incorporó en marzo del 2004 para ser parte del programa Ciudades por la Protección Climática (CCP) de ICEL-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad, donde han realizado las actividades propuestas en su metodología. En septiembre del 2004 iniciaron las actividades del PEPS en México, las ocho ciudades del programa CCP como un esfuerzo del ICEL-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad, los laboratorios Lawrence Berkeley del Departamento de Energía de los Estados Unidos y la Agencia de Desarrollo Internacional de los Estados Unidos. El programa fue promovido en su primera etapa por la Asociación de Municipios de México y desde octubre del 2005 se promueve en la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) (Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli, 2010).

Capítulo 6. Selección de tecnología

Este combustible se obtiene por transesterificación, proceso que combina aceites vegetales y/o grasas animales con alcohol (metanol o etanol) en presencia de un catalizador con el fin de formar ésteres grasos. Del producto recuperado se separa la glicerina como subproducto muy valioso para la industria. La mezcla de alcohol/éster restante se separa y el exceso de alcohol se recicla. Posteriormente los ésteres son sometidos a un proceso de purificación que consiste en el lavado con agua, secado al vacío y posterior filtrado (IIDEPROQ, 2007).

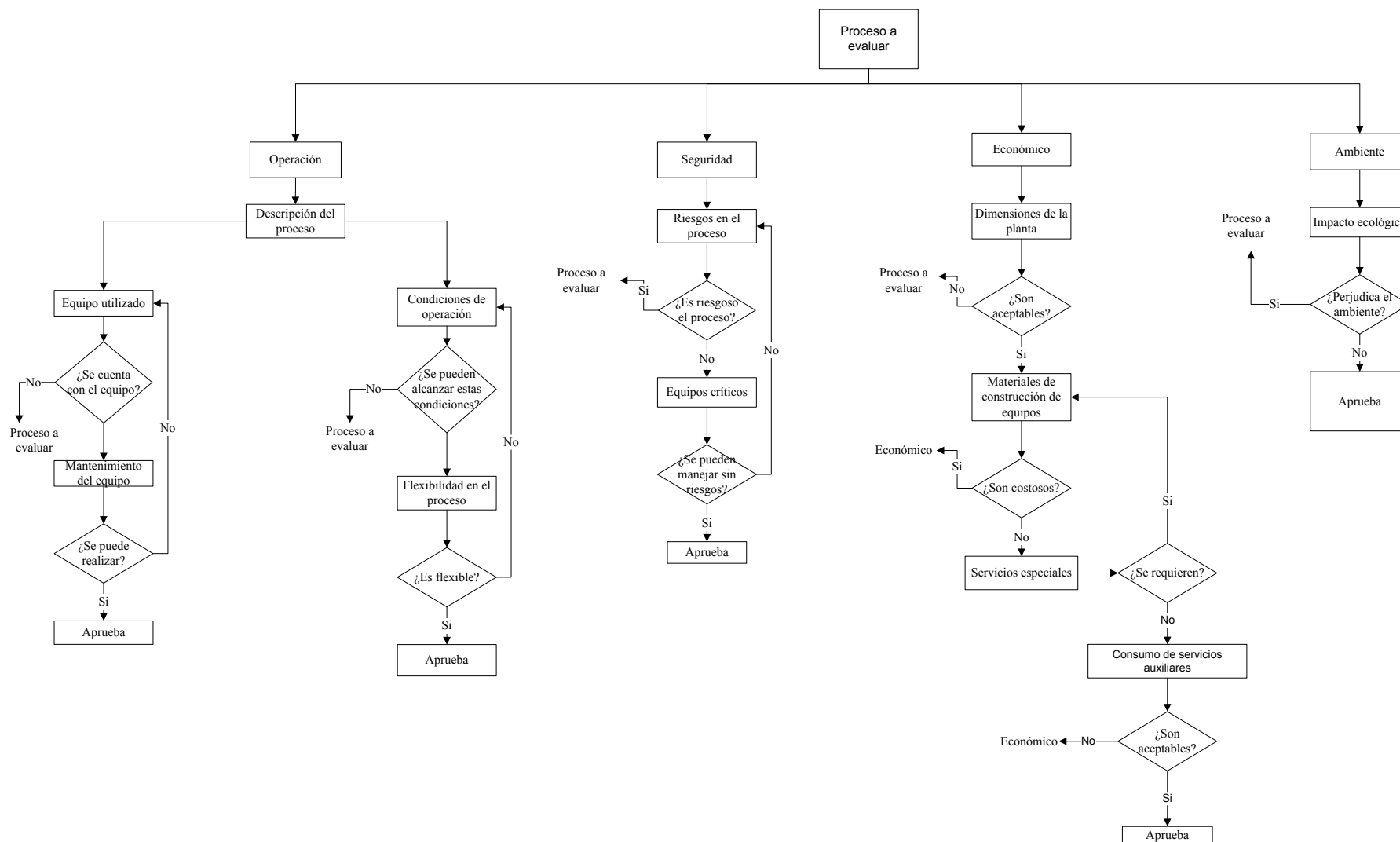
La evaluación de la viabilidad tecnológica y económica de la planta de biodiesel comprende todas las unidades operativas. Por lo tanto, hay una necesidad de diseñar un proceso continuo completo y evaluar su rendimiento desde el punto de vista de una planta entera. En la esquema 1 se muestran los factores que se tomarán en cuenta para la selección de la tecnología.

Los procesos estudiados en esta sección son prototipos simulados en un software (HYSYS.Plant by Hyprotech) y del cual se usarán los datos obtenidos en dichas simulaciones (Y. Zhang, 2003) para este estudio. Siendo dos los procesos que se evaluarán para la producción del biodiesel utilizando como materia prima aceite de cocina usado:

- a) Proceso de producción con pre tratamiento de neutralización alcalina de ácidos grasos libres para producir biodiesel utilizando aceite de cocina usado (Proceso I).
- b) Proceso de producción con pre tratamiento de esterificación catalizada por un ácido usando aceite de cocina usado (Proceso II).

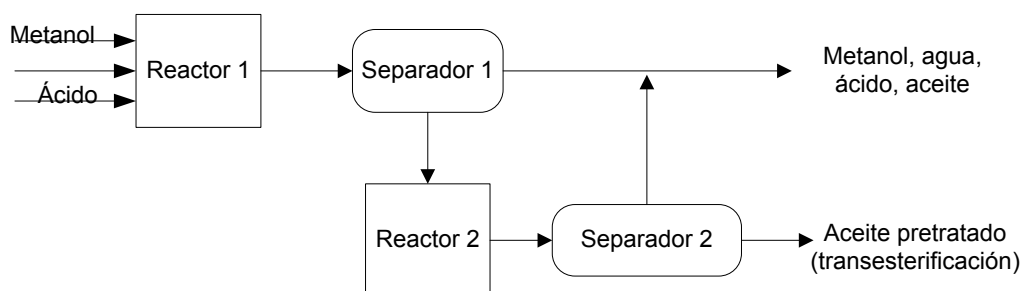
En donde cada uno de estos procesos se especifica en el siguiente apartado.

Esquema 1. Proceso para la evaluación de la tecnología.



6.1. Proceso de producción con pre tratamiento de neutralización alcalina de ácidos grasos libres para producir biodiesel utilizando aceite de cocina usado (Proceso I)

Diagrama 5. Diagrama de bloques del Proceso I



6.1.1. Descripción del proceso

Pre tratamiento. Neutralización de AGL

El aceite usado necesita una base, generalmente NaOH, para neutralizar los ácidos grasos libres que se forman al cocinarlo y que pueden retrasar o impedir la transesterificación.

Para determinar la cantidad de NaOH que se requiere, es necesario llevar a cabo una valoración para establecer la cantidad de AGL que contiene el aceite. El NaOH convierte los AGL en jabón que se sedimenta junto con la glicerina. La cantidad necesaria de NaOH para neutralizar los AGL es importante ya que si se tiene en exceso se producirá más jabón y menos biodiesel y, por tanto, éste será más alcalino, difícil de lavar y probablemente no se produzca la reacción; en contra postura, si falta NaOH, una parte del aceite quedará sin reaccionar (Y. Zhang, 2003).

Para llevar a cabo la reacción se debe mantener a una temperatura de 65 ° C ya que se trata de una reacción endotérmica. Una vez llevada a cabo la reacción se pasa a un separador donde se separa el sólido de la mezcla.

Posteriormente la corriente líquida de aceite libre de AGL pasa a un sistema de secado por evaporación en el que se remueve el agua del aceite neutralizado. Una vez removida toda el agua la corriente de aceite con una composición de triglicéridos del 100 % es bombeada a la zona de reacción (Y. Zhang, 2003).

Zona de reacción. Transesterificación

De acuerdo con el tipo de reacción global (irreversible) se realizó el análisis de diseño de la zona de reacción. Se ajusta la relación molar de alcohol/aceite 6:1 y con 1 % de NaOH como catalizador.

Se mezcla el metanol fresco con el hidróxido de sodio para ser alimentado a un reactor, el aceite vegetal es precalentado antes de entrar al reactor. En el reactor, se asume que el 95 % de aceite es convertido a FAME, produciendo glicerol como subproducto. Posteriormente se lleva a una columna para recuperar el metanol (Y. Zhang, 2003).

Recuperación de metanol

El metanol es el compuesto más volátil en la corriente de salida del reactor. En una columna de cinco etapas teóricas y una relación de reflujo de 2 se obtiene una buena separación entre metanol y otros componentes. En el domo de la torre se obtiene un destilado puro de metanol, el cual contiene un 94 % del metanol total alimentado, la destilación se realiza al vacío para mantener la temperatura del fondo por debajo de los 150°C. El metanol recuperado de la torre es mezclado con el metanol puro de alimentación para después ser cargado otra vez dentro del reactor. Los fondos de la torre, se enfrían a 35°C y son bombeadas a la torre de lavado (Y. Zhang, 2003).

Zona de lavado

El propósito de este paso es separar los metil ésteres del glicerol, metanol y catalizador. Por lo que después de llevar a cabo la recuperación de metanol en DA-1001, se lleva a una columna de lavado de cinco etapas teóricas.

Los metil ésteres son separados del glicerol, metanol y catalizador adicionando agua a 25 ° C, siendo este obtenido en la parte superior de la torre mientras que en el fondo de esta se tiene el glicerol, agua, metanol e hidróxido de sodio (Y. Zhang, 2003).

Purificación de FAME

Con el fin de obtener un producto final de biodiesel apegado a las especificaciones de la ASTM (pureza mayor al 99.6 %), la corriente de metil ésteres se destila en una columna de cinco etapas teóricas y con una relación de reflujo de 2 ya que con estas especificaciones la pureza del producto alcanza a lo establecido en la ASTM.

La torre es operada en condiciones de vacío para mantener la temperatura lo suficientemente baja con el fin de prevenir la degradación del biodiesel. Un condensador parcial proporciona una buena separación entre el biodiesel y la mezcla de metanol-agua en el domo de la torre. El agua y metanol son removidos como gases de venteo, el producto FAME es obtenido como un líquido destilado (Y. Zhang, 2003).

El aceite no convertido remanente en el fondo de la columna, dado que solo una pequeña cantidad de aceite no se convierte es tratado como residuo.

Remoción de álcalis

Los álcalis presentes en el proceso se encuentran en la línea de salida de la torre de lavado, en donde se encuentra el glicerol y los restos de hidróxido de sodio. Para la

eliminación de los álcalis se requiere neutralizarlos, esto se lleva a cabo en un segundo reactor para quitar el hidróxido de sodio haciéndolo reaccionar con ácido fosfórico con una alta pureza. La sal resultante Na_3PO_4 es eliminada mediante un separador de gravedad (Y. Zhang, 2003).

Purificación de glicerina

Después de eliminar el hidróxido de sodio de la línea de salida de la torre lavadora, esta corriente contiene principalmente glicerol. Este subproducto se pasa a una columna de cuatro etapas teóricas y un reflujo de 2 para remover el agua y metanol presente en la corriente, obteniéndose de ese modo el glicerol en el fondo de la torre y la mezcla de metanol-agua en el domo de esta (Y. Zhang, 2003).

6.1.2. Factores de selección

Algunos de los factores que nos pueden servir como referencia para la selección de esta tecnología se muestran en la tabla 7

Tabla 7. Factores de selección del proceso (Proceso I)

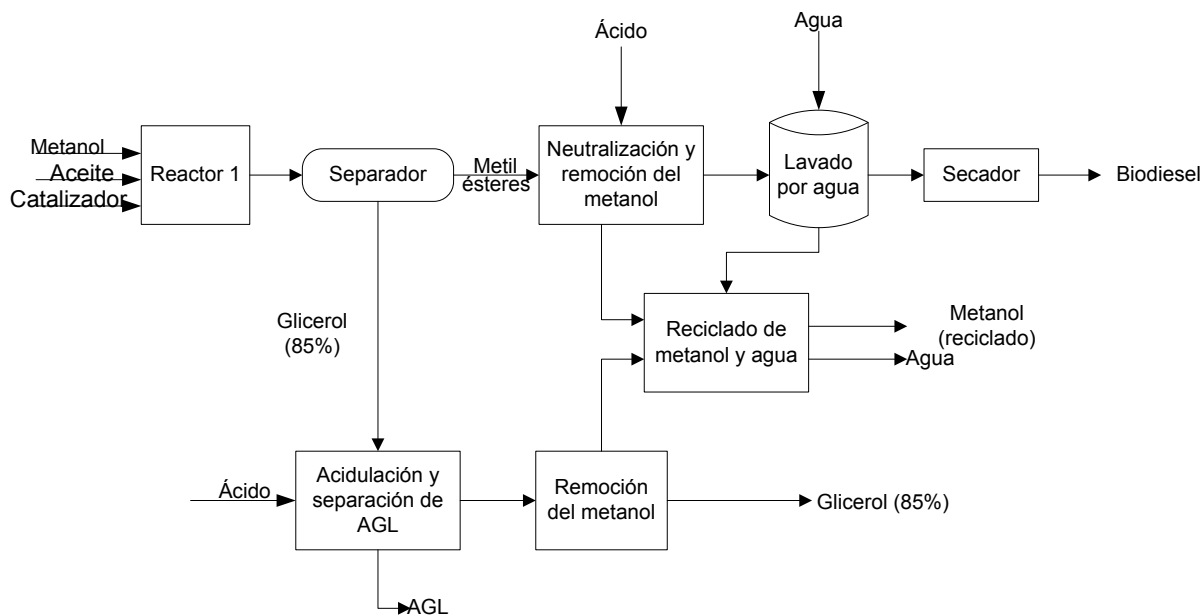
| CRITERIOS | PUNTOS A EVALUAR | PROCESO I | |
|--------------|-----------------------------|--|--|
| 1) OPERACIÓN | Eficiencia | 95.14 % | |
| | Servicios requeridos | Electricidad, kWh | Se requieren mínimo 6 bombas centrífugas de una capacidad 1 HP |
| | | Vapor requerido, Kg/hrs | Se requiere aproximadamente 3,495 kg/hrs a 150°C y 3.5 kg/cm ² manométricos |
| | Presión, kg/cm ² | Las condiciones de presión fluctúan desde presiones al vacío hasta 4 kg/cm ² máx. | |

| | | | | |
|------------------------------------|---|--|---|--|
| | | Agua de enfriamiento (23°C), m ³ | Se requiere aproximadamente 2 m ³ /hrs | |
| | Condiciones de operación (P, T, Flujos) | <ul style="list-style-type: none"> - El flujo de operación se ajusta de acuerdo a la capacidad de la planta. - La temperatura de trabajo debe ser a 250 ° C - Las condiciones de presión varían de vacío < 4 kg/cm² | | |
| | Mantenimiento | Poco | | |
| | Capacitación | Los operadores deben estar familiarizados con el manejo de reactores y torres | | |
| | Personal Requerido | Se requiere por lo menos 2 operadores en los equipos críticos, con experiencia en el manejo de estos y carrera técnica | | |
| | Flexibilidad del proceso | Se tiene la factibilidad de cambiar el catalizador a utilizar | | |
| | Operación continua | Si | | |
| | Dificultades técnicas | Las condiciones de presión al vacío | | |
| | Consumo de potencia | Está definida por las bombas utilizadas | | |
| | Actualización del proceso | 2007 | | |
| 2) SEGURIDAD | Peligrosidad de Reactivos | El catalizador (NaOH) peligroso | | |
| | Equipos críticos | 3 Reactores, 4 Torres de destilación | | |
| | Riesgo de Operación | Medio | | |
| 3) ECONÓMICO | Dimensiones de la Planta | De acuerdo al estudio de mercado se plantea una capacidad de 100 000 ton/año | | |
| | Cotizaciones de equipo | ---- | | |
| | Materiales de construcción de equipo | Acero al carbón | | |
| | Servicios especiales requeridos | Ninguno | | |
| | Personal requerido | ---- | | |
| | Grado de automatización | ---- | | |
| | Instalación y mantenimiento | ---- | | |
| | Repuestos | Disponibles | | |
| | Disponibilidad de la tecnología | Disponible | | |
| | Capacitación de personal | ---- | | |
| | Costo de operación | ---- | | |
| | Tipo de cambio | \$ | | |
| | Restricciones legales e Impuestos | ---- | | |
| | Materia prima | Aceite usado | El costo es de recolección | |
| | | Catalizador | Costo relativamente bajo | |
| | | Metanol | Costo relativamente bajo | |
| Depreciación | Los equipos se deprecian un 10 % al año | | | |
| Derechos de patentes | Actualmente no existe la patente | | | |
| Periodo de retorno de la inversión | ---- | | | |
| 4) AMBIENTE | Peligrosidad de reactivos | Se debe tener especial manejo con el catalizador y metanol | | |

| | Impacto ecológico | Bajo |
|--|--|---|
| 5) TIEMPO | De instalación | ---- |
| | De arranque | ---- |
| 6) MATERIAS PRIMAS Y RESIDUOS Y/O SUBPRODUCTOS | Disponibilidad presente y futura | Como se trata de una planta piloto se tiene disponibilidad |
| | Pre o post tratamiento de la materia prima | Pre tratamiento de neutralización de AGL con NaOH |
| | Requerimiento de almacenaje | Almacenamiento en tanques |
| | Facilidad de transporte | Debido a la localización de la planta se tiene gran facilidad en el transporte de materias primas y productos |
| | Materia prima común con otro proceso. | Aceite de cocina usado |
| | Cantidad de residuos y/o subproductos | Se produce aproximadamente 11.3 % de subproductos |
| | Valor de los residuos y/o subproductos | Aproximadamente \$1,200 /tonelada con una pureza del 92 % |
| | Normas para los residuos generados | NORMA Oficial Mexicana NOM-CRP-004-ECOL/1993 |

6.2. Proceso de producción con pre tratamiento de esterificación catalizada por ácido usando aceite de cocina usado (Proceso II)

Diagrama 6. Diagrama de bloques del proceso II



6.2.1. Descripción del proceso

Unidad de pre tratamiento. Esterificación

En la zona de pre tratamiento, el aceite se somete a una reacción de esterificación de los ácidos grasos libres catalizada por un ácido para producir los metil ésteres correspondientes y agua (Y. Zhang, 2003).

El aceite se hace reaccionar con una mezcla de metanol/ácido, la cantidad de metanol es ajustada para obtener una conversión del 99 % aproximadamente una relación molar de 6:1 metanol/aceite, mientras que el ácido utilizado (ácido sulfúrico) se ajusta en una proporción de 1 % del flujo total del aceite.

La mezcla de metanol acidificado y aceite es calentada a 60 ° C y bombeada al reactor de esterificación donde reacciona a esta temperatura y 3 kg/cm² man. El efluente pasa a una torre de extracción líquida donde se remueve el agua y el ácido sulfúrico (Y. Zhang, 2003).

Extracción de ácido

La zona de extracción consiste en una torre de siete etapas teóricas con agua como solvente extractor. La torre opera a 35 ° C tiene una presión de entrada de 2 kg/cm² y una caída de presión de 15 psi. El flujo de solvente se ajusta para extraer prácticamente todo el ácido sulfúrico. La pérdida de masa de triglicéridos es mínima y el aceite neutralizado sale por la parte superior de la columna para pasar después a la zona de reacción (Y. Zhang, 2003).

Zona de reacción. Transesterificación

El análisis de reacción para este proceso es igual al del proceso I, así como las condiciones de presión y temperatura de reacción. Se utilizó una relación molar alcohol/aceite de 9.8:1 para obtener una conversión total de triglicéridos. El efluente del reactor pasa a la zona de separación, en donde se recupera el metanol y es separado el biodiesel del glicerol y posteriormente son purificados (Y. Zhang, 2003).

Recuperación de metanol

En una columna de destilación de cinco etapas teóricas, relación de reflujo de 2 y destilación al vacío se destila el metanol presente en la corriente de salida del reactor. En el domo de la torre al igual que en el proceso I, se recupera el 94 % de metanol (Y. Zhang, 2003).

El metanol reciclado y el metanol nuevo son mezclados con el catalizador para después ser alimentados al reactor nuevamente.

Remoción de ácido

Para la eliminación de ácido, el principio de diseño es el mismo como para la eliminación de álcalis en el proceso I. El ácido sulfúrico se elimina mediante una reacción de neutralización con óxido de calcio (CaO) produciendo sulfato de calcio (CaSO₄) y agua (H₂O). El óxido de calcio es utilizado sobre todo por su bajo costo en comparación con otras sustancias alcalinas, también debido a que el agua producida es absorbida por el sulfato de calcio para producir CaSO₄ · H₂O (Y. Zhang, 2003).

De este modo, el CaSO₄ es separado como residuo sólido en un separador de gravedad y la corriente líquida resultante que contiene los metil ésteres, glicerol, aceite sin convertir y trazas de agua es conducido a la zona de lavado para la separación del biodiesel del glicerol.

Zona de lavado

Después de la remoción del ácido, la corriente pasa a la zona de lavado donde son separados los metil ésteres del glicerol y los restos de metanol existentes en la corriente de salida del reactor de neutralización de ácido sulfúrico. Adicionando agua a 25 ° C, siendo obtenido en la parte superior de la columna los metil ésteres y en fondo de esta el glicerol (Y. Zhang, 2003).

Purificación de FAME

Para obtener un producto final de biodiesel apegado a las especificaciones de la ASTM (pureza mayor al 99.6 %), la corriente de salida del separador de gravedad es destilada en una columna de cuatro etapas teóricas y relación de reflujo de 2.

La torre se opera en condiciones de vacío para mantener la temperatura baja para evitar la degradación del biodiesel. La utilización de un condensador parcial proporciona una buena separación entre el biodiesel y la mezcla de metanol-agua, obteniéndose de este modo el biodiesel como producto destilado mientras que la mezcla como gases de venteo (Y. Zhang, 2003).

El aceite no convertido se encuentra en el fondo de la columna y es considerada como residuo debido a la pequeña cantidad que resulta.

Purificación de glicerina

Los fondos de la torre de lavado contienen primordialmente glicerol, por lo que son llevadas a una columna donde se destila las trazas de metanol y agua que pudiera haber en dicha corriente. La torre consta de cuatro etapas teóricas y un reflujo de 2 para remover la mezcla de metanol-agua en el domo de la torre y en fondo obtener el glicerol producido en la reacción de transesterificación.

6.2.2. Factores de selección

Algunos factores en los que nos referenciaremos para la selección de la tecnología se desglosan en la tabla 8

Tabla 8. Factores de selección del proceso (Proceso II)

| CRITERIOS | PUNTOS A EVALUAR | PROCESO II | | |
|---------------------------|---|--|--|--|
| 1) OPERACIÓN | Eficiencia | 97.08 % | | |
| | Servicios requeridos | Electricidad, kWh | Se requieren mínimo 5 bombas centrífugas de una capacidad 1 HP | |
| | | Vapor requerido, Kg/hrs | Se requiere aproximadamente 7,780 kg/hrs a 150°C y 3.5 kg/cm ² manométrico | |
| | | Presión, kg/cm ² | Las condiciones de presión fluctúan desde presiones al vacío hasta 4 kg/cm ² máx. | |
| | | Agua de enfriamiento (23°C), m ³ | Se requiere aproximadamente 2 m ³ /hrs | |
| | Condiciones de operación (P, T, Flujos) | <ul style="list-style-type: none"> - El flujo de operación se ajusta de acuerdo a la capacidad de la planta. - La temperatura de trabajo debe ser a 250 ° C - Las condiciones de presión varían de vacío < 4 kg/cm² | | |
| | Mantenimiento | Poco | | |
| | Capacitación | Los operadores deben estar familiarizados con el manejo de reactores y torres | | |
| | Personal Requerido | Se requiere por lo menos 2 operadores en los equipos críticos, con experiencia en el manejo de estos y carrera técnica | | |
| | Flexibilidad del proceso | Se disminuye el consumo de catalizador | | |
| | Operación continua | Si | | |
| | Dificultades técnicas | Las condiciones de presión al vacío y manejo de materias primas | | |
| | Consumo de potencia | Está definida por las bombas utilizadas | | |
| Actualización del proceso | 2007 | | | |
| 2) SEGURIDAD | Peligrosidad de Reactivos | El catalizador (NaOH), el ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) y metanol | | |
| | Equipos críticos | 3 Reactores, 4 Torres de destilación | | |
| | Riesgo de Operación | Medio | | |
| 3) ECONÓMICO | Dimensiones de la Planta | De acuerdo al estudio de mercado se plantea una capacidad de 100 000 ton/año | | |
| | Cotizaciones de equipo | --- | | |
| | Materiales de construcción de equipo | Acero al carbón y acero inoxidable | | |
| | Servicios especiales requeridos | Ninguno | | |
| | Personal requerido | --- | | |

| | | |
|--|--|---|
| | Grado de automatización | ---- |
| | Instalación y mantenimiento | ---- |
| | Repuestos | Disponibles |
| | Disponibilidad de la tecnología | Disponible |
| | Capacitación de personal | ---- |
| | Costo de operación | ---- |
| | Tipo de cambio | \$ |
| | Restricciones legales e Impuestos | ---- |
| | Materia prima | Aceite usado El costo es de recolección |
| | | Catalizador Costo relativamente bajo |
| | | Metanol Costo relativamente bajo |
| | | Acido Sulfúrico Costo relativamente bajo |
| | Depreciación | Los equipos se deprecian un 10 % al año |
| | Derechos de patentes | Actualmente no existe la patente |
| | Periodo de retorno de la inversión | ---- |
| 4) AMBIENTE | Peligrosidad de reactivos | Se debe tener especial manejo con el catalizador y metanol |
| | Impacto ecológico | Bajo |
| 5) TIEMPO | De instalación | ---- |
| | De arranque | ---- |
| 6) MATERIAS PRIMAS Y RESIDUOS Y/O SUBPRODUCTOS | Disponibilidad presente y futura | Como se trata de una planta piloto se tiene disponibilidad |
| | Pre o post tratamiento de la materia prima | Pre tratamiento de esterificación de AGL con H ₂ SO ₄ |
| | Requerimiento de almacenaje | Almacenamiento en tanques |
| | Facilidad de transporte | Debido a la localización de la planta se tiene gran facilidad en el transporte de materias primas y productos |
| | Materia prima común con otro proceso. | Aceite de cocina usado |
| | Cantidad de residuos y/o subproductos | Se produce aproximadamente 12.8 % de subproductos |
| | Valor de los residuos y/o subproductos | Aproximadamente \$1 200 /tonelada con una pureza del 92 % |
| Normas para los residuos generados | NORMA Oficial Mexicana NOM-CRP-004-ECOL/1993 | |

6.3 Evaluación de tecnologías

Haciendo una comparación de los procesos I y II, y apoyándonos de las tablas 7 y 8 podemos ver que el proceso II genera mayor cantidad de biodiesel para una misma cantidad de aceite de entrada puesto que, en el proceso previo de esterificación, los ácidos grasos son convertidos a biodiesel.

Ambos procesos presentan un número similar de equipos y en cuanto a los materiales de construcción, las condiciones de proceso permiten, para la mayoría de los equipos de ambos procesos, utilizar acero al carbón. No obstante, la presencia de ácido sulfúrico en la zona de pre tratamiento del proceso II implica el uso de acero inoxidable, lo que eleva el costo de los equipos. Por otro lado, el proceso I requiere dos separadores sólido/líquido frente a uno del proceso II.

Aunque el proceso II requiere mayor consumo de metanol y de ácido sulfúrico adicional, la demanda de hidróxido de sodio del sodio del proceso I compensa dichos costos. Con la tablas 7 y 8, podemos llevar a cabo un análisis para la selección de la mejor tecnología, donde se expongan los factores de selección por orden de prioridad y así poder elegir una de las dos propuestas.

En la tabla 9 se muestra el desglose de los factores considerados para la selección de la tecnología más adecuada, así como los valores que se dan a cada uno de estos factores de acuerdo al porcentaje de los criterios empleados para la selección.

De esta comparación (ver tabla 9) podemos concluir que el proceso más apto para ser implementado a nivel industrial es el proceso I, debido a que el manejo de las materias primas es menos riesgoso y los materiales de construcción de los equipos son más económicos. Aunque en el proceso I se cuenta con algunos equipos adicionales, como un

Tabla 9. Factores para la evaluación de tecnología



| % | Criterios de selección | PROCESO I | | | | PROCESO II | | | |
|-----|--|-----------|-------------|-----------|-------------|------------|-------------|-----------|--------------|
| | | Mala (1) | Regular (2) | Buena (3) | Total | Mala (1) | Regular (2) | Buena (3) | Total |
| 20 | 1. Factores Técnicos | | | | | | | | |
| | 1.1 Flexibilidad del proceso | 0 | 0 | 3 | 0.6 | 0 | 2 | 0 | 0.4 |
| | 1.2 Operación especial | 0 | 0 | 3 | 0.6 | 0 | 0 | 3 | 0.6 |
| | 1.3 Instrumentación especial | 0 | 0 | 3 | 0.6 | 0 | 0 | 3 | 0.6 |
| | 1.4 Servicios auxiliares especiales necesarios | 0 | 0 | 3 | 0.6 | 0 | 0 | 3 | 0.6 |
| | 1.5 Rendimientos comerciales | 0 | 2 | 0 | 0.4 | 0 | 0 | 3 | 0.6 |
| | 1.6 Consumo de energía | 0 | 0 | 3 | 0.6 | 0 | 2 | 0 | 0.4 |
| | 1.7 Dificultades técnicas | 0 | 2 | 0 | 0.4 | 0 | 2 | 0 | 0.4 |
| | 1.8 Factibilidad de desarrollos futuros | 0 | 2 | 0 | 0.4 | 0 | 2 | 0 | 0.4 |
| | 1.9 Seguridad operacional | 0 | 0 | 3 | 0.6 | 0 | 2 | 0 | 0.4 |
| | Subtotal | | | | 4.8 | | | | 4.4 |
| 20 | 2. Materias primas | | | | | | | | |
| | 2.1 Disponibilidad presente y futura | 0 | 0 | 3 | 0.6 | 0 | 0 | 3 | 0.6 |
| | 2.2 Tratamiento previo | 0 | 2 | 0 | 0.4 | 1 | 0 | 0 | 0.2 |
| | 2.3 Requerimientos de almacenamiento | 0 | 0 | 3 | 0.6 | 0 | 2 | 0 | 0.4 |
| | 2.4 Manejo de materiales | 0 | 0 | 3 | 0.6 | 0 | 2 | 0 | 0.4 |
| | Subtotal | | | | 2.2 | | | | 1.6 |
| 20 | 3. Productos, subproductos y desechos | | | | | | | | |
| | 3.1 Cantidad producida | | | | | | | | |
| | 3.1.1 Cantidad producida de productos | 0 | 2 | 0 | 0.4 | 0 | 0 | 3 | 0.6 |
| | 3.1.2 Cantidad producida de subproductos | 0 | 2 | 0 | 0.4 | 0 | 0 | 3 | 0.6 |
| | 3.1.3 Cantidad producida de desechos | 0 | 2 | 0 | 0.4 | 1 | 0 | 0 | 0.2 |
| | 3.2 Mercados potenciales y usos | | | | | | | | |
| | 3.2.1 Mercados potenciales de productos | 0 | 0 | 3 | 0.6 | 0 | 0 | 3 | 0.6 |
| | 3.2.2 Mercados potenciales de subproductos | 0 | 2 | 0 | 0.4 | 0 | 2 | 0 | 0.4 |
| | 3.2.3 Mercados potenciales de desechos | 0 | 2 | 0 | 0.4 | 1 | 0 | 0 | 0.2 |
| | 3.3 Valor comercial | | | | | | | | |
| | 3.3.1 Valor comercial de producto | 0 | 0 | 3 | 0.6 | 0 | 0 | 3 | 0.6 |
| | 3.3.2 Valor comercial de subproductos | 0 | 2 | 0 | 0.4 | 0 | 2 | 0 | 0.4 |
| | 3.3.3 Valor comercial de desechos | 0 | 2 | 0 | 0.4 | 1 | 0 | 0 | 0.2 |
| | 3.4 Normas y sistemas de tratamiento | 1 | 0 | 0 | 0.2 | 1 | 0 | 0 | 0.2 |
| | 3.5 Aspectos ambientales | 0 | 2 | 0 | 0.4 | 0 | 2 | 0 | 0.4 |
| | Subtotal | | | | 4.6 | | | | 4.4 |
| 15 | 4. Equipo | | | | | | | | |
| | 4.1 Disponibilidad del equipo | 0 | 0 | 3 | 0.45 | 0 | 0 | 3 | 0.45 |
| | 4.2 Materiales de construcción de equipo | 0 | 0 | 3 | 0.45 | 0 | 2 | 0 | 0.3 |
| | 4.5 Costos iniciales | 1 | 0 | 0 | 0.15 | 1 | 0 | 0 | 0.15 |
| | 4.4 Instalación y mantenimiento de equipo | 0 | 2 | 0 | 0.3 | 0 | 2 | 0 | 0.3 |
| | 4.5 Diseños especiales | 0 | 2 | 0 | 0.3 | 0 | 2 | 0 | 0.3 |
| | 4.6 Instalaciones especiales | 0 | 0 | 3 | 0.45 | 0 | 0 | 3 | 0.45 |
| | | Subtotal | | | | 2.1 | | | |
| 5 | 5. Consideraciones tecnológicas | | | | | | | | |
| | 5.1 Disponibilidad de tecnologías | 1 | 0 | 0 | 0.05 | 1 | 0 | 0 | 0.05 |
| | 5.2 Materias primas con otros procesos | 0 | 0 | 3 | 0.15 | 0 | 0 | 3 | 0.15 |
| | Subtotal | | | | 0.2 | | | | 0.2 |
| 10 | 6. Costos | | | | | | | | |
| | 6.1 Materias primas | 0 | 0 | 3 | 0.3 | 0 | 2 | 0 | 0.2 |
| | 6.2 Energía | 0 | 2 | 0 | 0.2 | 1 | 0 | 0 | 0.1 |
| | 6.3 Depreciación | 1 | 0 | 0 | 0.1 | 1 | 0 | 0 | 0.1 |
| | 6.4 Procesamiento y gastos generales | 0 | 2 | 0 | 0.2 | 0 | 2 | 0 | 0.2 |
| | 6.5 Requisitos de trabajo especial | 0 | 0 | 3 | 0.3 | 0 | 0 | 3 | 0.3 |
| | 6.6 Controles ambientales | 0 | 0 | 3 | 0.3 | 0 | 2 | 0 | 0.2 |
| | 6.7 Capacitación de personal | 0 | 2 | 0 | 0.2 | 0 | 2 | 0 | 0.2 |
| | 6.8 Derechos de patente | 0 | 0 | 3 | 0.3 | 0 | 0 | 3 | 0.3 |
| | Subtotal | | | | 1.9 | | | | 1.6 |
| 5 | 7. Factor tiempo | | | | | | | | |
| | 7.1 Fecha de entrega | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 7.2 Valor de dinero | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Subtotal | | | | 0 | | | | 0 |
| 5 | 8. Aspectos contractuales | | | | | | | | |
| | 8.1 Garantía | 1 | 0 | 0 | 0.05 | 1 | 0 | 0 | 0.05 |
| | 8.2 Formas de pago | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 8.3 Restricciones legales | 1 | 0 | 0 | 0.05 | 1 | 0 | 0 | 0.05 |
| | Subtotal | | | | 0.1 | | | | 0.1 |
| 100 | TOTAL | | | | 15.9 | | | | 14.25 |

separador de gravedad, el material de construcción de estos es menos costoso en comparación a los del proceso II en el cual se tienen que tener equipos de acero inoxidable por el ácido sulfúrico que se maneja en el pre tratamiento.

Además de los equipos, también se tomo en cuenta la eficiencia de los procesos en donde el proceso II es más eficiente en la producción de biodiesel, sin embargo, el proceso I además de tener una buena generación de productos y subproductos tiene la flexibilidad de que si se cambia el catalizador empleado (KOH) uno de los desechos que se obtendrían puede ser utilizado como fertilizante, dando de este modo un producto más (Zapata Carlos, 2006).

Como se puede ver en la tabla 9 y de acuerdo con los valores brindados en cada uno de los factores, el proceso I tiene un puntaje mayor que el proceso II; por lo que el proceso seleccionado para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado será el proceso I. En la siguiente sección se mostrarán las bases de diseño para el proceso y en los posteriores capítulos los documentos de ingeniería básica y los documentos necesarios para el proyecto.

6.4. Recapitulación

Como se pudo ver los procesos propuestos para la producción de biodiesel son muy eficientes y no tiene dificultades técnicas, esto debido a que la reacción que sucede es muy sencilla como ya se menciona en el capítulo II, por lo que no se requieren de condiciones de operación especiales para la obtención del producto; sin embargo, se decide por el proceso I debido a que no maneja reactivos peligrosos como en el proceso II, como es el caso del ácido utilizado para la esterificación de los ácidos grasos libres que en consecuencia se ve afectado por el uso de equipos de materiales más costosos y/o recubrimientos para protección de los mismos

Sin embargo, la selección del proceso I como el más apto para la producción de biodiesel no quiere decir que sea el mejor de los propuestos, si no que para este trabajo se considero que sería de mayor utilidad por los factores expuestos anteriormente.

Una vez definido el proceso a utilizar se procede a la elaboración de la ingeniería básica, considerando la escala de producción, estudiada en el capítulo IV, que hace referencia al estudio de mercado.

Capítulo 7. Bases de diseño

7.1. Generalidades

La planta de Biodiesel U-1000, está diseñada para producir biodiesel, para entregarse como producto final, utilizando como carga una mezcla de aceite vegetal usado proveniente de empresas productoras de frituras y metanol. Estos se recibirán en los tanques FA-1001 y FA-1002 localizados fuera de límite de batería.

7.1.1. Tipo de proceso

Se trata de una transesterificación del aceite vegetal con el metanol usando NaOH como catalizador para producir esteres de ácidos grasos del alquilo (biodiesel) y glicerina.

7.2. Capacidad, Rendimiento y Flexibilidad

7.2.1. Factor de servicio

La planta operará durante 330 días al año, equivalente a un factor de servicio de 0.92, previéndose paro por mantenimiento del equipo o sustitución del mismo a falta de alguno.

7.2.2. Capacidad y rendimiento

La capacidad que tendrá la planta depende de la demanda que se tiene en el consumo del producto, ya que la capacidad de la planta determinara el tamaño de todos los equipos a utilizar, así como la superficie que debe tener el terreno para la instalación de la planta.

De acuerdo al estudio de mercado la demanda que se espera actualmente en la ciudad es de 100 toneladas/ año por lo que la capacidad normal de la planta será de 27.5

lb/hrs de carga. La planta tendrá un 10 % de sobre diseño equivalente a 30.3 kg/hrs. La capacidad mínima de la planta será el 50 % de la capacidad de diseño.

7.2.3. Flexibilidad

7.2.3.1. Tipo de carga

La planta procesará una carga consistente de una corriente de aceite de cocina usado proveniente de industrias alimenticias y metanol proveniente del proveedor Química Delta S.A. de C.V. cumpliendo con las especificaciones establecidas para los productos.

Estas corrientes se reciben de tanques de almacenamiento FA-1001 y FA-1002 fuera del límite de batería como operación normal.

7.2.3.2. Falla de energía eléctrica

A falta de energía eléctrica la planta operará a base de vapor.

7.2.3.3. Falla de vapor

A falla de vapor la planta no operará, por lo que debe realizarse un diseño que permita efectuar un paro ordenado de la misma.

7.3. Especificaciones de materia prima

Las siguientes corrientes constituyen la alimentación a la planta de biodiesel U-1000

7.3.1. Aceite de cocina usado

Tabla 10. Propiedades de aceite vegetal usado proveniente de industrias alimenticias

| Propiedades | Aceite de cocina usado |
|--|-------------------------------|
| Peso molecular (g/mol) | 807 – 891 |
| Densidad (g/cm ³) | 0.909 – 0.933 |
| Punto de ebullición (° C) | 759 – 818 |
| % Ácidos grasos libres | 3.5 – 5 |
| % de Agua | 5 – 10 |
| Presión de recepción (kg/cm ²) | 1 |
| Temperatura de recepción (°C) | 25 |

7.3.2. Metanol

Tabla 11. Propiedades de metanol proveniente del proveedor Química Delta S.A. de C.V.

| Propiedades | Metanol |
|--|----------------|
| Densidad (g/ml a 5 ° C) | 0.7915 |
| Punto de fusión (° C) | -97.8 |
| Punto de ebullición (° C) | 64.7 |
| Índice de refracción | 1.3292 |
| Punto de inflamación (°C) | 12 |
| Punto de congelación (°C) | -97.68 |
| Temperatura crítica (° C) | 240 |
| Presión crítica (atm) | 78.5 |
| Temperatura de auto ignición (° C) | 380 |
| Presión de recepción (kg/cm ²) | 1 |
| Temperatura de recepción (°C) | 25 |

7.3.3. Hidróxido de sodio

Tabla 12. Propiedades del hidróxido de sodio proveniente del proveedor Química Delta S.A. de C.V.

| Propiedades | Ácido sulfúrico |
|---------------------------|-----------------|
| Densidad (g/ml) | 2.13 |
| Punto de fusión (° C) | 318.4 |
| Punto de ebullición (° C) | 140 |
| Pureza | 99% |

7.4. Especificaciones de productos y subproductos en límite de batería.

7.4.1. Biodiesel (FAME)

Tabla 13. Propiedades de biodiesel en límite de batería.

| Propiedades | FAME |
|--|---------|
| Peso Molecular | 296 |
| Temperatura de ebullición (° C) | 248.5 |
| Viscosidad (cP) | 0.00738 |
| Densidad (g/m ³) | 0.87 |
| Presión en límite de batería (kg/cm ²) | 1 |
| Temperatura en límite de batería (°C) | 40 |

7.4.2. Glicerina

Tabla 14. Propiedades de glicerol en límite de batería.

| Propiedades | Glicerina |
|--|-----------|
| Peso Molecular | 152.59 |
| Temperatura crítica (° C) | 607.19 |
| Viscosidad (cP) | 1.0819 |
| Densidad (g/m ³) | 1.18 |
| Presión en límite de batería (kg/cm ²) | 1 |
| Temperatura en límite de batería (°C) | 40 |

7.5. Efluentes

La planta constará con drenajes pluvial (DP), aceitoso (DD), químico (DQ) y sanitario (DS). En las tomas de muestra se deben instalar sistemas de muestreo cerrado para evitar derrames al drenaje.

7.6. Servicios auxiliares

7.6.1. Vapor

Tabla 15. Especificaciones de vapor

| Tipo | Mínimo | Normal | Máximo | Diseño Proceso |
|---|----------------|---------------|---------------|-----------------------|
| Vapor de media presión (kg/cm ² man) | 13 | 19 | 23 | 19 |
| Temperatura (° C) | 300 | 330 | 350 | 330 |
| Calidad | Sobrecalentado | | | |
| Disponibilidad | La requerida | | | |
| Vapor de baja presión (kg/cm ² man) | 3.1 | 3.5 | 3.9 | 3.5 |
| Temperatura (° C) | 150 | 150 | 160 | 150 |
| Calidad | Sobrecalentado | | | |
| Disponibilidad | La requerida | | | |

7.6.2. Condensado

El condensado generado en la planta será recuperado y enviado a límites de batería para su tratamiento correspondiente.

7.6.3. Agua

7.6.3.1. Agua de caldera

Tabla 16. Especificaciones de agua de caldera

| Agua de Caldera | Normal | Diseño Mecánico |
|---|---------------|------------------------|
| Presión manométrica (kg/cm ²) | 40 | 44 |
| Temperatura (° C) | 110 | 138 |
| pH | 7.5 | - |
| Cloruros (ppm peso) | 0 | - |
| Conductividad (mmhos/in) | 0.1 | - |

Se debe proporcionar agua des aireada y desmineralizada a las condiciones especificadas. Esta agua se requiere para la generación de vapor de media presión en una caldereta.

7.6.3.2. Agua de enfriamiento suministro

Tabla 17. Especificaciones de agua de enfriamiento

| Condiciones de suministro dentro de límites de batería | | | | |
|---|--------------|--------|--------|-----------------|
| | Mínimo | Normal | Máximo | Diseño Mecánico |
| Presión manométrica (kg/cm ²) | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 8.0 |
| Temperatura (° C) | 29 | 32 | 33 | 74 |
| Disponibilidad | La requerida | | | |

7.6.3.3. Agua de enfriamiento retorno

Tabla 18. Especificaciones de retorno de agua de enfriamiento

| Condiciones de suministro dentro de límites de batería | | | | |
|---|-----|--------|------|-----------------|
| | Min | Normal | Máx. | Diseño Mecánico |
| Presión (psig) | 30 | 40 | 42 | 114 |
| Temperatura (° F) | 102 | 107 | 115 | 165 |

7.6.3.4. Agua para servicios

Tabla 19. Especificaciones de agua pre tratada para servicios

| Condiciones de suministro dentro de límites de batería | | |
|---|--------------|-----------------|
| | Normal | Diseño Mecánico |
| Presión manométrica (kg/cm ²) | 3.0 | 5.1 |
| Temperatura (° C) | Ambiente | 68 |
| Disponibilidad | La requerida | - |

7.6.3.5. Agua contra incendio

Tabla 20. Especificaciones de agua contra incendio

| Condiciones de suministro dentro de límites de batería | | |
|---|--------------|-----------------|
| | Normal | Diseño Mecánico |
| Presión manométrica (kg/cm ²) | 7.0 | 9.1 |
| Temperatura (° C) | Ambiente | 68 |
| Disponibilidad | La requerida | - |

7.6.3.6. Agua potable

Tabla 21. Especificaciones de agua potable

| Agua potable | Normal | Diseño Mecánico |
|---------------------|---------------|------------------------|
| Disponibilidad | La requerida | - |
| Suministro en: | Cisterna | - |

7.6.4. Aire

7.6.4.1. Aire de instrumentos

Se suministrará un paquete completo que incluya un compresor en operación normal y uno de relevo y un paquete de secado de aire de instrumentos incluyendo pre y post-filtros, tanques acumuladores de aire así como toda la instrumentación y conexiones al sistema de medición de la planta.

Para el suministro se debe considerar equipo de tecnología de punta, en especial la secadora, para lo cual se debe considerar una columna en operación y otra en relevo, totalmente automatizado, la presión del cabezal debe ser mínimo 99 lb/in² man.

El paquete de aire de instrumentos debe contar con la filosofía de suministrar aire de planta, siendo prioritario el suministro de aire de instrumentos.

Tabla 22. Especificaciones de aire de instrumentos

| | Normal | Diseño Mecánico |
|--|---------------|------------------------|
| Presión manométrica del sistema (kg/cm²) | 7.0 | 9.1 |
| Temperatura (° C) | 40 | 68 |
| Temperatura de rocío (° C) | -40 | - |
| Humedad | Seco | - |
| Impurezas (fierro, aceite, etc.) | Ninguna | - |

7.6.4.2. Aire de planta

Se suministrará un paquete completo que incluya un compresor y un tanque acumulador de aire así como toda la instrumentación y conexiones al sistema de medición de la planta. Ambos servicios (Aire de planta y Aire de instrumentos) deben contar con un respaldo.

Tabla 23. Especificaciones de aire de planta

| | Normal | Diseño Mecánico |
|--|---------------|------------------------|
| Presión man del sistema (kg/cm²) | 7.0 | 9.1 |
| Temperatura (° C) | 40 | 68 |

7.6.5. Energía eléctrica

El suministro de energía a las diferentes cargas eléctricas de la unidad será provisto por la Comisión Federal de Electricidad.

7.6.6. Sistema de comunicación

La unidad debe contar con un sistema de comunicación y voceo, un sistema de telefonía en el cuarto de satélite, oficina y subestación eléctrica; así como un circuito cerrado de T.V. con las cámaras de monitoreo localizadas en las áreas críticas de la unidad de acuerdo con el análisis de riesgos de la misma

7.6.7. Desfogue

El diseño e integración del sistema de desfogue, tanques separadores de alta y baja presión y ácido, así como sus bombas de recuperación (con su relevo respectivo) e instrumentación asociada a la construcción del mismo dentro de límite de batería de la unidad se realizara durante la fase de ingeniería de detalle.

7.6.8. Sistemas de seguridad

7.6.8.1. Sistemas contra incendio

Se cuenta con las especificaciones básicas para la localización del sistema de contra incendio conformado genéricamente por la red de agua contra incendio (hidrantes, monitores, tomas para camión, válvulas de diluvio, sistemas de aspersores de agua contra incendio, etc.) y otros equipos del sistema de seguridad (detectores de mezclas explosivas, gases tóxicos, alarmas, extintores portátiles, circuito cerrado de T.V. la protección contra incendio de la subestación eléctrica). Se debe manejar la red de tubería de este servicio en trinchera. Como sistemas de protección contra incendios se han provisto los siguientes:

- Sistema de extinción de espuma, incluye detección, cámara de espuma y vertedero de espuma en cubeto en previsión de posibles derrames
- Refrigeración del tanque, en previsión de posibles incendios en los tanques de almacenamiento colindantes
- Tres armarios de intemperie con dotación completa para hidrantes y un monitos portátil para extinción en zona de tanques
- Pararrayos

7.6.9. Sistema de protección contra corrosión

La protección de los depósitos contra la corrosión se llevará mediante:

- Conexionado a tierra: cada tanque lleva dos conexiones a la red de tierra enterrada de la planta
- Protección superficial: el tratamiento aplicado en la superficie exterior del tanque consiste en imprimación, capa intermedia y acabado.

7.7. Condiciones climatológicas

7.7.1. Temperatura ambiente

Tabla 26. Condiciones de temperatura ambiente

| Temperatura | Bulbo seco | Bulbo húmedo |
|--------------------|-------------------|---------------------|
| Máxima (° C) | 27 | 17 |
| Mínima (° C) | 5 | 0 |
| Promedio | 25 | 16 |

7.7.2. Humedad relativa

Tabla 27. Condiciones de humedad relativa

| Humedad relativa | |
|-------------------------|------|
| Máxima | 71 % |
| Mínima | 46 % |
| Promedio | 60 |

7.7.3. Viento

Dirección de vientos dominantes: de norte a este y en primavera de sur a este.

Velocidad promedio del viento: 17.3 km/hrs

7.7.4. Precipitación pluvial

El régimen pluvial medio anual oscila entre los 600 y 800 mm. Durante los meses de noviembre a febrero se presentan con una frecuencia de 20 a 120 días de heladas en el municipio, las granizadas tienen una frecuencia de 0 a 10 al año.

7.8. Localización de la planta

El terreno se encuentra ubicado en la zona industrial Cuamatla en Cuautitlán Izcalli, con una superficie de 3,447.25 m² muy cerca de la estación del tren suburbano estación Cuautitlán y cerca de centros comerciales y tiendas departamentales.

7.8.1. Plano de localización general

El arreglo general de los equipos (Plot plan) considerará espacios adecuados para permitir el mantenimiento de los equipos, así como el libre acceso de equipo pesado para proporcionar este servicio, de acuerdo con la norma NFR-010-PEMEX 2001

Capítulo 8. Ingeniería Básica

El alcance de este trabajo es la elaboración de la ingeniería básica, por lo que a lo largo de este capítulo se realizarán y mostraran los documentos básicos para cumplir este objetivo.

Entre los documentos a desarrollar se encuentran, las bases de diseño, diagrama de flujo de proceso (DFP), diagramas de tuberías e instrumentación del proceso (DTI proceso), diagramas de tuberías e instrumentación de los servicios auxiliares (DTI servicios), plot plan y especificación de equipos (hojas de datos de equipos).

8.1. Configuración del proceso

Este proceso puede llevarse a cabo en diferentes secciones, estas son como sigue:

- a) Sección de pre tratamiento
- b) Sección de transesterificación
- c) Sección de recuperación de metanol
- d) Sección de lavado
- e) Sección de purificación de FAME
- f) Sección de purificación de glicerina

a) Sección de pre tratamiento (ver DFP-001, sección a)

En esta zona se adiciona NaOH como pre tratamiento con el fin de neutralizar los ácidos grasos libres en el aceite usado. Para saber la cantidad necesaria de NaOH a utilizar es necesario llevar a cabo una valoración para poder identificar la cantidad de ácidos grasos libres que se encuentran presentes en el aceite. Este proceso debe llevarse en cada carga que

se lleve a proceso, como seguridad se puede tener un exceso de NaOH para asegurarse que la neutralización de estos se lleve por completo. También es recomendable llevar a calentamiento el aceite para la eliminación de agua existente (Zapata Carlos, 2006).

b) Sección de transesterificación (ver DFP-001, sección b)

Una vez llevado el pre tratamiento se procede a la zona de transesterificación donde se hace reaccionar el aceite usado (triglicéridos) con metanol en exceso y NaOH como catalizador, para esta zona la reacción se lleva a cabo a una temperatura de 65°C (149°F) y 4 kg/cm^2 man (57 psig). Aproximadamente por un lapso de 30 min (Zapata Carlos, 2006).

c) Sección de recuperación de metanol (ver DFP-001, sección c)

A la salida del reactor de transesterificación se procede a una torre de destilación de cinco etapas teóricas y con un reflujo de 2, en donde se recupera el metanol que no reacciona y de este modo ser recirculado para la zona de transesterificación (Zapata Carlos, 2006).

d) Sección de lavado (ver DFP-001 y DFP-002, sección d)

El remanente de la torre de recuperación de metanol se lleva una mezcla de FAME con Glicerina, por lo que se procede a llevarlo a la zona de lavado, donde es introducida una corriente de agua y la corriente de mezcla por una torre de extracción líquida donde se separa el FAME de la Glicerina, para después ser llevados cada una de las corrientes a la zona de purificación respectivamente.

e) Sección de purificación de FAME (ver DFP-002, sección e)

En la zona de purificación de FAME, la corriente de salida superior de la torre de lavado es llevada a una torre de destilación de cinco etapas teóricas para la eliminación de agua y metanol existente en la corriente y la separación de aceite que no reacciono del FAME (Zapata Carlos, 2006).

f) Sección de purificación de glicerina (ver DFP-002, sección f)

La corriente de salida inferior de la torre de lavado es llevada a la zona de purificación de glicerina, donde esta es pasada a un reactor donde se hace reaccionar el NaOH con ácido fosfórico para eliminar el NaOH existente en la corriente, después de la reacción se lleva la corriente a un separador de gravedad, donde se separan los residuos sólidos de la corriente y después son desechados, después la corriente líquida es llevada a una torre de destilación de cinco etapas teóricas donde se lleva a cabo la purificación de la glicerina eliminando de la corriente la mezcla de metanol con agua existentes aún en la corriente (Zapata Carlos, 2006).

Por último podría mencionarse una zona de almacenamiento y distribución de los productos obtenidos, en la cual se tendrán materiales en condiciones tales que puedan ser transportados convenientemente a los usuarios y compradores.

8.1.1. Diagrama de bloques

En el diagrama de bloques es la representación gráfica del funcionamiento interno del sistema, que se hace mediante bloques y que define la organización de todo el proceso interno incluyendo sus entradas y sus salidas. Este diagrama es preliminar al diagrama de flujo de proceso pero se anexan las entradas y salidas de materia prima, productos,

subproductos, desechos y materiales auxiliares y la información de cantidades de dichos materiales que entran y salen de cada caja. Se indica la operación unitaria.

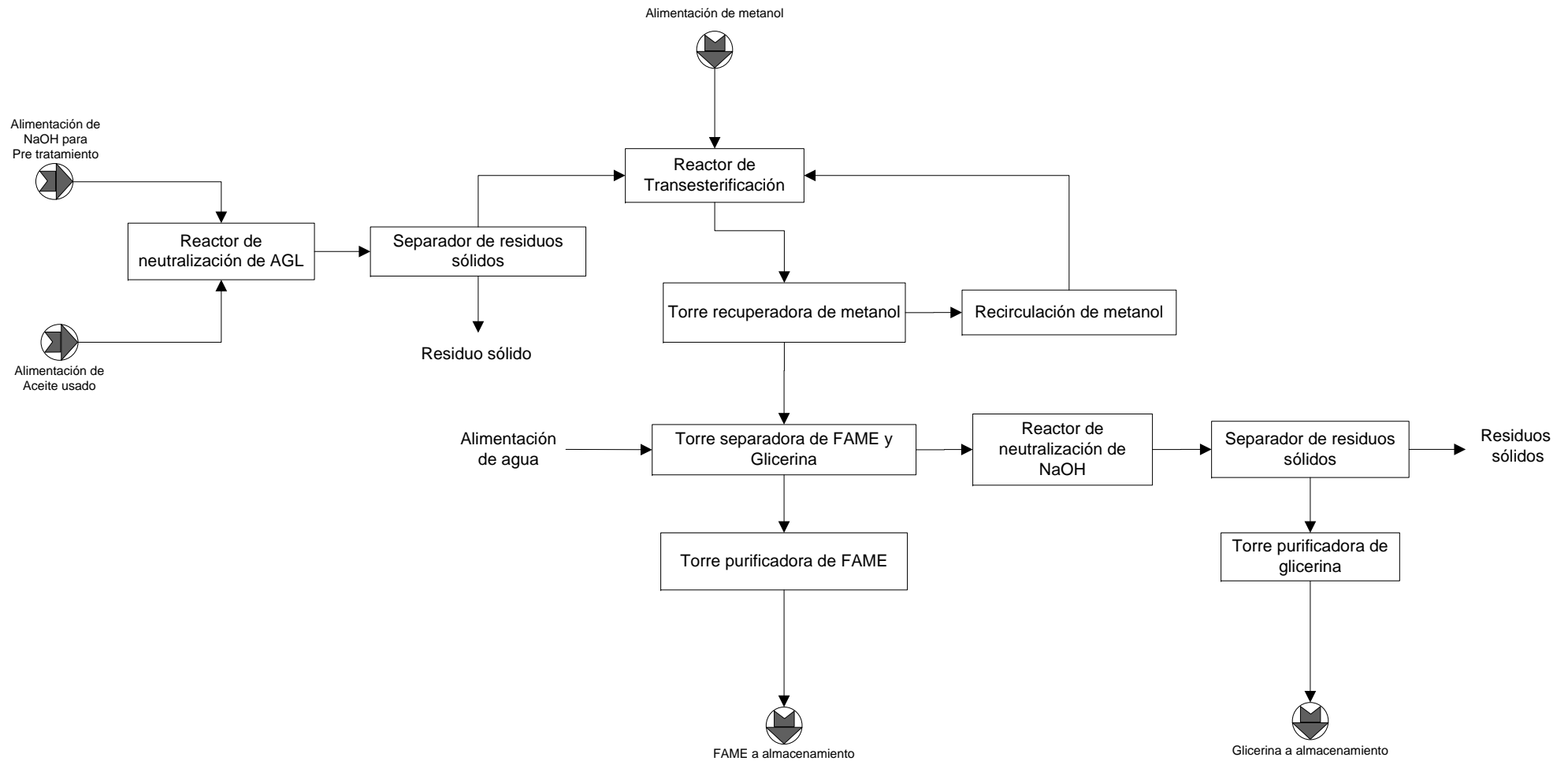
El diagrama de bloques del proceso se muestra en el diagrama 7, en donde se pueden observar las etapas del proceso descritas anteriormente.

8.1.2. Diagrama de Flujo de Proceso

El diagrama de flujo de proceso se basa en el diagrama de bloques y muestra el arreglo y la interrelación de los equipos y este contiene la siguiente información:

- Todos los equipos principales en el proceso se presentan en el diagrama con una descripción de este. Cada equipo tendrá asignado un número único y un nombre descriptivo
- Las corrientes de flujo de proceso están representadas por un número. Se incluye una descripción de las condiciones de proceso y la composición química de cada corriente. Estos datos se incluyen en una tabla adicional que se muestra en el diagrama.
- Se muestran todas las corrientes de servicios que se suministran a los equipos principales o que brindan una función en el proceso.
- Lazos de control básicos, que ilustren la estrategia de control usada para que el proceso opere dentro de condiciones normales.

En los diagramas Diagrama 8 y Diagrama 9 se observa el diagrama de flujo de proceso.

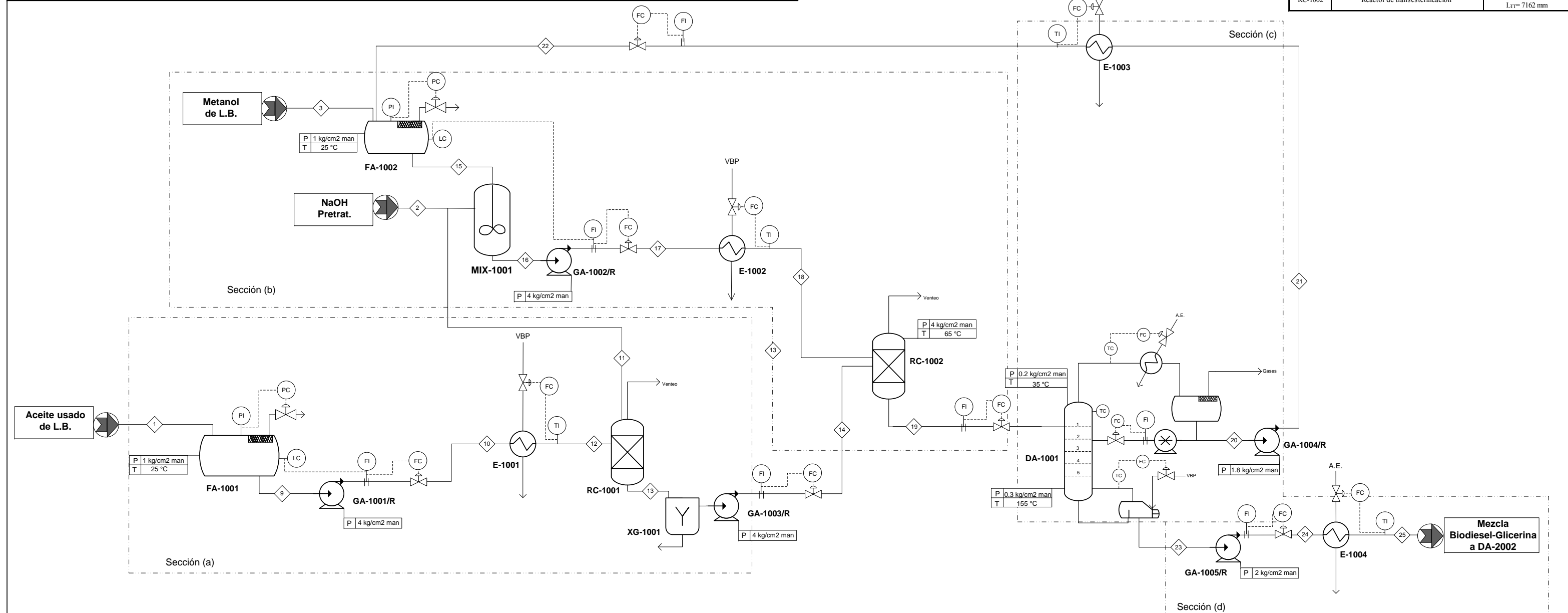


| FECHA | REV. | REALIZO | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|-----------|------|---------|--------|--------|--------|
| 29-jun-10 | 0 | NPB | NPB | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



| Línea | 1 | 9 | 10 | 12 | 13 | 14 | 15 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|
| Fracción de vapor | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Temperatura (°C) | 25.00 | 25.00 | 24.67 | 60.00 | 60.00 | 60.00 | 25.00 | 60.00 | 60.00 | 31.39 | 31.47 | 25.00 | 199.55 | 199.77 | 60.00 |
| Presión (kg/cm ²) | 1.00 | 1.00 | 3.50 | 2.00 | 2.00 | 2.44 | 1.00 | 2.74 | 4.00 | 0.20 | 4.50 | 3.79 | 0.31 | 4.50 | 3.79 |
| Flujo molar (kgmol/h) | 47.98 | 47.98 | 47.98 | 47.97 | 47.97 | 47.97 | 43.24 | 80.89 | 197.18 | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 165.92 | 165.92 | 165.92 |
| Flujo masico (kg/h) | 42750.00 | 42750.00 | 42750.00 | 42750.00 | 42750.00 | 42750.00 | 1385.58 | 2800.00 | 45550.00 | 399.45 | 388.45 | 388.45 | 44544.48 | 44544.48 | 44544.48 |
| Flujo volumétrico (m ³ /h) | 45.82 | 45.82 | 45.82 | 45.82 | 45.81 | 45.81 | 1.74 | 2.80 | 51.75 | 0.4877 | 0.4877 | 0.4877 | 50.490 | 50.490 | 50.490 |
| Composición | | | | | | | | | | | | | | | |
| Biodiesel | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0020 | 0.7301 | 0.0013 | 0.0013 | 0.0013 | 0.8677 | 0.8677 | 0.8677 |
| Acido fosofórico | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Na ₃ PO ₄ | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| AGL | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Oleato de sodio | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Aceite vegetal | 0.9000 | 0.9000 | 0.9000 | 0.9000 | 0.9000 | 0.9000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Metanol | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.6827 | 0.1584 | 0.9987 | 0.9987 | 0.9987 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Glicerol | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1031 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1223 | 0.1223 | 0.1223 |
| NAOH | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3171 | 0.0084 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0100 | 0.0000 | 0.0000 |
| H ₂ O | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| AGL | 0.1000 | 0.1000 | 0.1000 | 0.1000 | 0.0021 | 0.0021 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Sal | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0979 | 0.0979 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

| Clave | Descripción | Características |
|-----------|---|--|
| DA-1001 | Torre recuperadora de metanol | $\phi = 1676 \text{ mm}$ $L_{TT} = 4572 \text{ mm}$ |
| E-1001 | Calentador de carga para RC-1001 | $Q_T = 7.95 \times 10^7 \text{ Kcal/hrs}$ |
| E-1002 | Calentador de metanol para RC-1002 | $Q_T = 1.95 \times 10^7 \text{ Kcal/hrs}$ |
| E-1003 | Enfriador de metanol para recirculación | $Q_T = -2102 \text{ Kcal/hrs}$ |
| E-1004 | Enfriador de mezcla para DA-1002 | $Q_T = -3.08 \times 10^7 \text{ KJ/hrs}$ |
| FA-1001 | Tanque de almacenamiento de aceite usado | $\phi = 3200 \text{ mm}$ $L_{TT} = 7315 \text{ mm}$ |
| FA-1002 | Tanque de almacenamiento de metanol | $\phi = 4876 \text{ mm}$ $L_{TT} = 9906 \text{ mm}$ |
| GA-1001/R | Bomba de carga de aceite usado para E-1001 | $\Delta P = 2.5 \text{ kg/cm}^2$ Capacidad = 45.8 m^3 |
| GA-1002/R | Bomba de carga de metanol para E-1002 | $\Delta P = 3 \text{ kg/cm}^2$ Capacidad = 3 m^3 |
| GA-1003/R | Bomba de carga de aceite usado para RC-1002 | $\Delta P = 2 \text{ kg/cm}^2$ Capacidad = 45.8 m^3 |
| GA-1004/R | Bomba de recirculación de metanol | $\Delta P = 4 \text{ kg/cm}^2$ Capacidad = 0.5 m^3 |
| GA-1005/R | Bomba de carga a E-1004 | $\Delta P = 4 \text{ kg/cm}^2$ Capacidad = 0.5 m^3 |
| RC-1001 | Reactor de neutralización de AGL | $\phi = 2286 \text{ mm}$ $L_{TT} = 5182 \text{ mm}$ |
| RC-1002 | Reactor de transesterificación | $\phi = 3657 \text{ mm}$ $L_{TT} = 7162 \text{ mm}$ |



| FECHA | REV. | REALIZO | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|-----------|------|---------|--------|--------|--------|
| 02-jul-10 | 0 | NPB | NPB | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

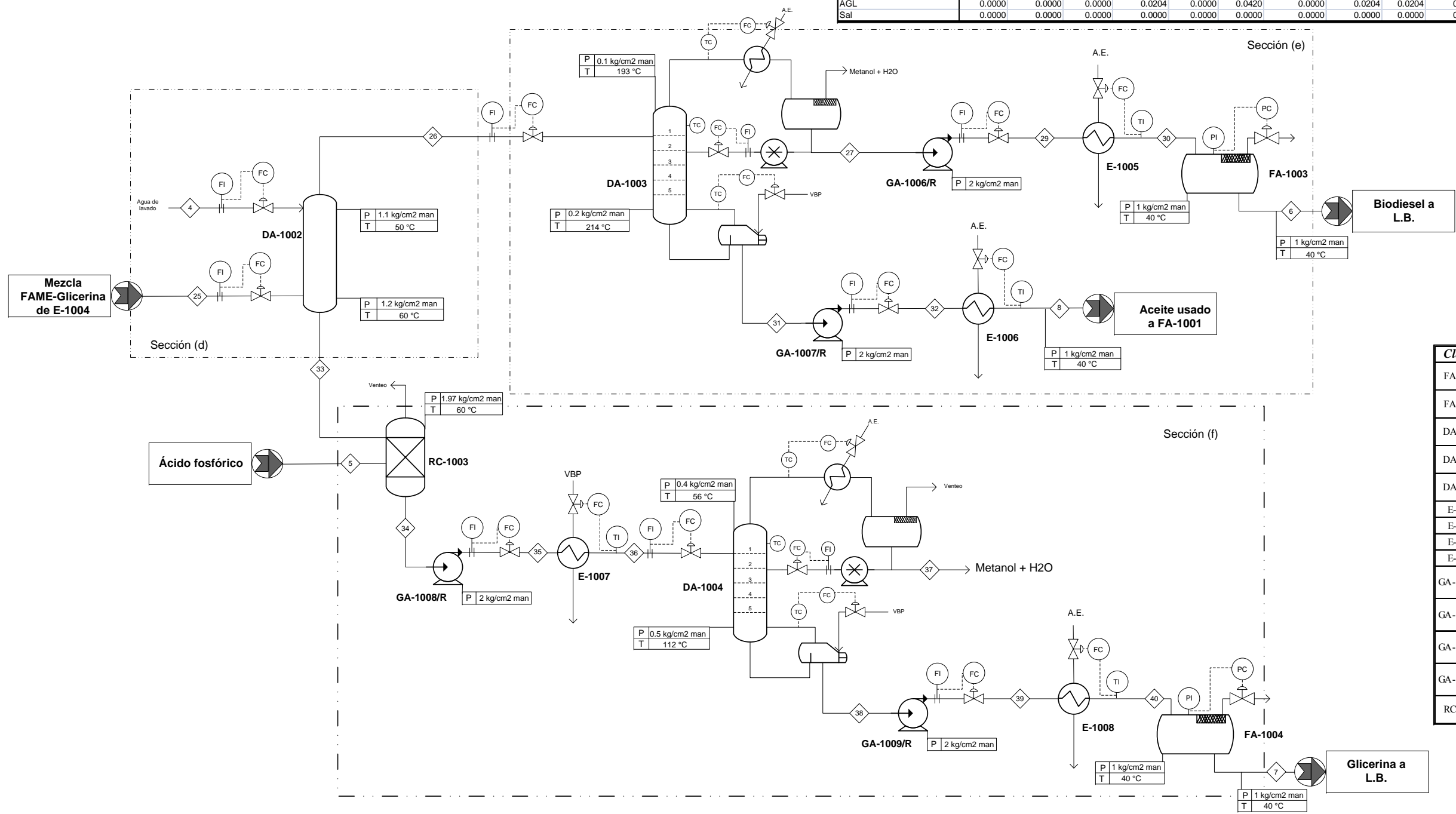


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
"PLANTA DE BIODIESEL U-1000"

| | | |
|--------------|---------|--------|
| Diagrama No. | DFP-001 | Rev. 0 |
|--------------|---------|--------|

| Línea | 25 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 26 | 29 | 30 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
|---------------------------------------|----------|-----------|--------|---------|----------|--------|----------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Fracción de vapor | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Temperatura (°C) | 60.00 | 25.00 | 30.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.04 | 75.03 | 25.00 | 32.73 | 32.39 | 32.39 | 100.00 | 80.53 | 85.90 | 85.90 | 25.00 |
| Presión (kg/cm ²) | 3.79 | 1.00 | 1.20 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.10 | 2.00 | 1.00 | 1.20 | 1.13 | 2.00 | 1.79 | 0.50 | 0.60 | 1.80 | 1.00 |
| Flujo molar (kgmol/h) | 165.92 | 5695.22 | 5.10 | 144.66 | 1250.40 | 2.53 | 148.45 | 144.66 | 144.66 | 5712.69 | 5717.76 | 5717.67 | 5717.67 | 4421.11 | 1250.40 | 1250.40 | 1250.40 |
| Flujo masico (kg/h) | 44544.48 | 102600.00 | 500.00 | 4200.00 | 24061.00 | 666.34 | 42694.61 | 4200.00 | 4200.00 | 104449.87 | 104949.23 | 104949.23 | 104949.23 | 80000.00 | 24061.00 | 24061.00 | 24061.00 |
| Flujo volumétrico (m ³ /h) | 50.490 | 102.800 | 0.30 | 48.27 | 23.69 | 0.76 | 49.05 | 48.27 | 48.27 | 104.24 | 104.53 | 104.53 | 104.53 | 79.98 | 23.69 | 23.69 | 23.69 |
| Composición | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Biodiesel | 0.8677 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9796 | 0.0000 | 0.0840 | 0.9696 | 0.9796 | 0.9796 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Acido fosforico | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0010 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Na3PO4 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| AGL | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Oleato de sodio | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Aceite vegetal | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.7691 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Metanol | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Glicerol | 0.1223 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0163 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.4989 | 0.5012 | 0.5012 | 0.5012 | 0.0000 | 0.0163 | 0.0163 | 0.0163 |
| NAOH | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0011 | 0.1313 | 0.0022 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0200 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0011 | 0.0011 | 0.0011 |
| H2O | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9827 | 0.0000 | 0.0282 | 0.0000 | 0.0000 | 0.4811 | 0.4977 | 0.4977 | 0.4977 | 0.9990 | 0.9827 | 0.9827 | 0.9827 |
| AGL | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0204 | 0.0000 | 0.0420 | 0.0000 | 0.0204 | 0.0204 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Sal | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |



| Clave | Descripción | Características |
|-----------|---|---|
| FA-1003 | Tanque de almacenamiento de Biodiesel | $\phi = 3200$ mm $L_{TI} = 7163$ mm |
| FA-1004 | Ranque de almacenamiento de glicerina | $\phi = 2590$ mm $L_{TI} = 5791$ mm |
| DA-1002 | Torre separadora de Biodiesel y Glicerina | $\phi = 1828$ mm $L_{TI} = 3810$ mm |
| DA-1003 | Torre purificadora de Biodiesel | $\phi = 1829$ mm $L_{TI} = 4572$ mm |
| DA-1004 | Torre purificadora de Glicerina | $\phi = 1676$ mm $L_{TI} = 4572$ mm |
| E-1005 | Enfriador de carga a FA-1003 | $Q_T = -8.5 \times 10^5$ Kcal/hrs |
| E-1006 | Enfriador de aceite usado a FA-1001 | $Q_T = -5.4 \times 10^4$ Kcal/hrs |
| E-1007 | Calentador de carga a DA-1004 | $Q_T = 7.31 \times 10^6$ Kcal/hrs |
| E-1008 | Enfriador de glicerina a FA-1004 | $Q_T = -1.5 \times 10^6$ Kcal/hrs |
| GA-1006/R | Bomba de carga a E-1005 | $\Delta P = 1.8$ kg/cm ² Capacidad = 48.2 m ³ |
| GA-1007/R | Bomba de carga a E-1006 | $\Delta P = 1.8$ kg/cm ² Capacidad = 1 m ³ |
| GA-1008/R | Bomba de carga a E-1007 | $\Delta P = 1.3$ kg/cm ² Capacidad = 104 m ³ |
| GA-1009/R | Bomba de carga a E-1008 | $\Delta P = 1.2$ kg/cm ² Capacidad = 23.69 m ³ |
| RC-1003 | Reactor neutralizador de NaOH | $\phi = 1524$ mm $L_{TI} = 4572$ mm |

| FECHA | REV. | REALIZO | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|-----------|------|---------|--------|--------|--------|
| 02-jul-10 | 0 | NPB | NPB | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
"PLANTA DE BODIESEL U-1000"

Diagrama No. DFP-002 Rev. 0

8.2. Balance de Materia y Energía del Proceso

Tabla 28. Balance de Materia y Energía del Proceso

| Línea | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 15 |
|---|----------|---------|---------|-----------|--------|----------|-----------|--------|-------|-----------|--------|----------|--------|
| Temperatura (° C) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 65 | 60 | 24.5 | 24.68 | 65 |
| Presión (kg/cm ²) | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 30.00 | 75.03 | 85.90 | 190.69 | 1.9 | 1.1 | 4 | 4 | 3 |
| Flujo másico (kg/hrs) | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.2000 | 0.1020 | 0.6000 | 0.2039 | 0.15 | 0.3 | 12.5 | 0.5 | 13 |
| Flujo volumétrico (m ³ /hrs) | 47.9798 | 25.6519 | 43.2427 | 5695.2222 | 5.1020 | 144.6693 | 1250.4099 | 2.5396 | -- | 3.77 E-04 | 0.0135 | 3.2 E-04 | 0.0138 |
| Peso molecular | 42750.00 | 1026.00 | 1385.58 | 102600.00 | 500.00 | 42000.00 | 24061.10 | 666.34 | 304.4 | 141.96 | 858.7 | 32.42 | 433.61 |
| % Composición molar | | | | | | | | | | | | | |
| H ₂ O | 0.000 | 0.050 | 0.000 | 0.050 | 0.003 | 0.150 | 0.001 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.050 | 0.177 |
| Metanol | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| NaOH | 0.000 | 0.950 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.950 | 0.337 |
| Aceite usado | 0.965 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.999 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.965 | 0.000 | 0.470 |
| AGL | 0.035 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.035 | 0.000 | 0.016 |
| FAME | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.997 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Glicerina | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.850 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Residuo sólido | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ac. Fosfórico | 0.000 | 0.000 | 0.00 | 0.950 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 | 0.050 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fosfato de sodio | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.950 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Tabla 28. Balance de Materia y Energía del Proceso (continuación)

| Línea | 17 | 18 | 20 | 22 | 23 | 24 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
|---|--------|--------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|
| Temperatura (° C) | 65 | 65 | 65 | 22.5 | 65 | 65 | 31 | 31 | 25 | 155.5 | 155.5 | 40 | 40 |
| Presión (kg/cm ²) | 1.9 | 1.9 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0.2 | 1.8 | 1 | 0.3 | 2 | 2 | 0.3 |
| Flujo másico (kg/hrs) | 13 | 12.85 | 12.35 | 0.7 | 0.7 | 12.65 | 0.3454 | 0.3454 | 0.3454 | 10.76 | 10.76 | 10.76 | 10.76 |
| Flujo volumétrico (m ³ /hrs) | 0.0138 | 0.0137 | 0.0133 | 8.3 E-04 | 8.3 E-04 | 0.0137 | 4.3 E-04 | 4.3 E-04 | 4.31E-04 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 |
| Peso molecular | 433.81 | 428.89 | 878.89 | 32.61 | 32.61 | 217.38 | 32.23 | 32.23 | 32.23 | 256.82 | 256.82 | 256.82 | 256.82 |
| % Composición molar | | | | | | | | | | | | | |
| H ₂ O | 0.194 | 0.210 | 0.000 | 0.050 | 0.050 | 0.001 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Metanol | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.940 | 0.940 | 0.251 | 0.996 | 0.996 | 0.996 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| NaOH | 0.320 | 0.320 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.013 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 |
| Aceite usado | 0.470 | 0.470 | 0.990 | 0.000 | 0.000 | 0.029 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| AGL | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.541 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| FAME | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.751 | 0.751 | 0.751 | 0.751 |
| Glicerina | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.166 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.229 | 0.229 | 0.229 | 0.229 |
| Residuo sólido | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ac. Fosfórico | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fosfato de sodio | 0.016 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Tabla 28. Balance de Materia y Energía del Proceso (continuación)

| Línea | 33 | 37 | 38 | 39 | 40 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Temperatura (° C) | 60 | 60 | 60 | 80 | 56 |
| Presión (kg/cm ²) | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1 | 0.4 |
| Flujo másico (kg/hrs) | 10.26 | 0.8 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Flujo volumétrico (m ³ /hrs) | 0.016 | 6.99E-04 | 3.22E-04 | 3.22E-04 | 3.22E-04 |
| Peso molecular | 577.69 | 118.04 | 94.13 | 94.13 | 50.10 |
| % Composición molar | | | | | |
| H ₂ O | 0.001 | 0.066 | 0.116 | 0.116 | 0.363 |
| Metanol | 0.003 | 0.028 | 0.032 | 0.032 | 0.637 |
| NaOH | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Aceite usado | 0.050 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| AGL | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| FAME | 0.946 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.000 |
| Glicerina | 0.000 | 0.850 | 0.850 | 0.850 | 0.000 |
| Residuo sólido | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ac. Fosfórico | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fosfato de sodio | 0.000 | 0.050 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

8.2.1. Notas al Balance de Materia y Energía

El balance de materia se realizó tomando en consideración una capacidad de la planta de 100 toneladas anuales consideradas en el estudio de mercado (capítulo III); los valores mostrados en este balance son estimados por el simulador de procesos HYSYS. (Zapata Carlos, 2006).

8.3. Descripción de equipo de proceso

- Tanque de almacenamiento de aceite vegetal FA-1001

El tanque FA-1001 es de acero al carbono, con serpentín de vapor para mantenimiento de la temperatura del aceite, diseñado con tapas elípticas, aislamiento externo térmico y con dimensiones de 1828 mm de diámetro y 3962 mm de longitud (QuimiNet, 2008).

La recogida de agua de lluvia y posibles fugas es común, en una arqueta en esta se vierte directamente, desde la cual se evacua los fluidos (incluso el agua de limpieza) por bombeo hasta un camión cisterna para ser depurados posteriormente.

Si bien la operación de la planta es manual, la carga del primer tanque se limita mediante un elemento sensor de control de nivel mediante flotantes con comando eléctrico para el corte automático, a fin de no introducir más producto que el necesario (QuimiNet, 2008).

- Tanque de almacenamiento de NaOH para pre-tratamiento FA-1002

Un tanque de acero al carbón diseñado con tapas elípticas y con dimensiones de 1219 mm de diámetro y 2895 mm de longitud, con una capacidad total de 15 litros/hrs, de 10 litros reales de capacidad de producción de biodiesel por hora.

La recogida de agua de lluvia y posibles fugas es común, en una arqueta en esta se vierte directamente, desde la cual se evacua los fluidos (incluso el agua de limpieza) por bombeo hasta un camión cisterna para ser depurados posteriormente (QuimiNet, 2008).

- Tanque de almacenamiento de metanol FA-1003

El tanque FA-1003 es de acero al carbono, diseñado con tapas elípticas con unas dimensiones de 1371 mm de diámetro y 3200 mm de longitud. La línea de venteo prevista en el tanque se conecta con el colector general de venteos, dimensionado para operación normal y para caso de emergencia. La línea de venteos tiene tamaño suficiente para desalojar los gases de metanol en operación normal y en caso de emergencia.

La recogida de agua de lluvia y posibles fugas es común, en una arqueta en esta se vierte directamente, desde la cual se evacua los fluidos (incluso el agua de limpieza) por bombeo hasta un camión cisterna para ser depurados posteriormente (QuimiNet, 2008).

- Tanque de almacenamiento de biodiesel FA-1004

El tanque FA-1004 es de acero al carbono diseñado con tapas elípticas con dimensiones de 1676 mm de diámetro y 4267 mm de longitud. La recogida de agua de lluvia y posibles fugas es común, en una arqueta en esta se vierte directamente, desde la cual se evacua los fluidos (incluso el agua de limpieza) por bombeo hasta un camión cisterna para ser depurados posteriormente (QuimiNet, 2008).

- Tanque de almacenamiento de glicerina FA-1005

El tanque FA-1005 es de acero al carbono diseñado con tapas elípticas con dimensiones de 914 mm de diámetro y 2743 mm de longitud. La línea de venteo prevista en el tanque tiene el tamaño adecuado para la actuación de venteo de emergencia para evitar la presurización del tanque en caso de incendio exterior (QuimiNet, 2008).

La recogida de agua de lluvia y posibles fugas es común, en una arqueta en esta se vierte directamente, desde la cual se evacua los fluidos (incluso el agua de limpieza) por bombeo hasta un camión cisterna para ser depurados posteriormente.

- Reactor de neutralización de ácidos grasos libres RC-1001

Un reactor de neutralización de construcción metálica, en el que reaccionan los ácidos grasos libres presentes en el aceite vegetal con hidróxido de sodio. De manera aproximada las dimensiones del reactor son 457 mm de diámetro y 4267 mm de longitud. El proceso del se lleva a cabo en forma discontinua con un tiempo de reacción de aproximadamente de 20 minutos (QuimiNet, 2008).

- Reactor para la transesterificación RC-1002

Este tanque posee una estructura reforzada de acero inoxidable, con tapa superior de inspección, con revestimiento para efecto térmico y chapa exterior de cierre, con sistema de calefacción interno por serpentina conductora de vapor a 105° C, con su correspondiente bomba de carga de fluidos y bomba de trasvase y todos los demás accesorios de montaje e instrumentación necesaria, su exterior se encuentra pintado con pintura epóxica apta para combustibles (QuimiNet, 2008).

- Separador de gravedad SG-1001 y SG-1002

Dos separadores de gravedad o tanques suplementarios de decantación, con aislamiento térmico, contruidos de acero al carbón, con el fin de realizar el reposo y la decantación por separación de fases por diferencia de densidades, obteniéndose el producto principal y el residuo así mismo (QuimiNet, 2008).

- Columna de destilación recuperadora de metanol DA-1001

Las distintas corrientes con mezclas agua-metanol que se generan en la planta son conducidas a una columna de destilación que recupera el metanol (DA-1001), devolviéndolo al proceso, y eliminando el agua limpia a la red de saneamiento.

La envolvente de la columna, realizada en acero inoxidable, está dividida en tres partes. La parte de enriquecimiento, con tapa superior, en esta sección se encuentran las conexiones de venteo, entrada de reflujo, salida de vapor de cabeza y entrada de corriente de alimentación. La parte de agotamiento, en esta sección se ubican los soportes del equipo; el calderín incluye la zona de decantación de fase orgánica que pudiera estar presente en la corriente de alimentación (QuimiNet, 2008).

- Columna de extracción de líquidos DA-1002

La columna consta de cuatro etapas y se trata de una columna de extracción líquido-líquido, recuperando el flujo másico de metilésteres de la corriente utilizando agua como solvente extractor (QuimiNet, 2008).

- Tablero eléctrico

Un tablero de comando de operaciones equipado con dispositivos de control y seguridad. La planta se provee con toda la instalación eléctrica completa, es decir que en

la nave industrial donde se instalara la planta, solamente se requiere contar con un tablero general. La planta posee su propio tablero de alimentación, con entrada de corriente eléctrica trifásica, inclusive también se proveen las bandejas metálicas porta cables, sus correspondientes elementos de fijación, salidas estructurales, mangueras metálicas flexibles de conexiónado, todo el cableado correspondiente y todos los conectores necesarios para una segura instalación eléctrica (QuimiNet, 2008).

También se proveen con la planta, todos los sistemas de arranque y de protección de los motores de las bombas, cada uno con su botonera independiente para su accionamiento. Es decir que contando solo con el tablero que corresponde, todo el resto de la instalación eléctrica, inclusive el cableado completo y bandejas porta cables, son equipamiento de provisión normal (QuimiNet, 2008).

- Instrumentos

Válvulas de seguridad, termómetros de contacto, manómetros y otros elementos y accesorios necesarios para la instalación, montaje, control y seguridad del proceso.

8.3.1. Hojas de datos de equipo de proceso



HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA COLUMNAS

| | |
|---|--|
| CLIENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | PROYECTO: Evaluación técnico-económica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho |
| PLANTA: UNIDAD U-1000 | HOJA: 1 DE 1 |
| LOCALIZACIÓN: Zona Industrial Cuamatla | REQ / O.C. No. |
| CLAVE DEL EQUIPO: DA-1001 | No. DE UNIDADES: UNA |
| SERVICIO: Torre recuperadora de metanol | |

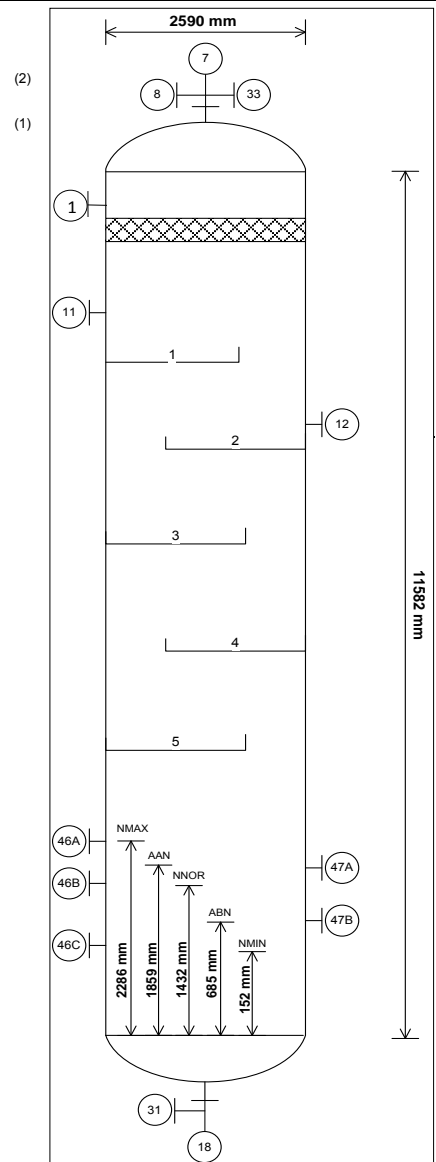
| | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|---|
| Torre recuperadora de metanol | | | |
| TORRE DE PLATOS | | | |
| Diámetros: | 2,590 | mm | |
| Altura Total: | 11,582 | mm | |
| Temperatura de Operación: | Superior 35 | °C | Inferior 155 °C |
| Temperatura de Diseño: | Superior 60 | °C | Inferior 180 °C |
| Presión de Operación: | Superior 0.2 | kg/cm ² man. | Inferior 0.3 kg/cm ² man. |
| Presión de Diseño: | 1.00 | kg/cm ² man. | |

| BOQUILLAS | | | |
|-----------|----------|----------|-----------------------------------|
| Clave | No. Req. | Diámetro | Servicio |
| 1 | 1 | 610 | Registro Hombre |
| 7 | 1 | 25 | Salida de metanol a recirculación |
| 8 | 1 | 25 | Venteo |
| 11 | 1 | 102 | Entrada de reflujo |
| 12 | 1 | 102 | Alimentación de RC-1001 |
| 18 | 1 | 25 | Salida de Glicerina/FAME |
| 31 | 1 | 20 | Drene |
| 33 | 1 | 38 | Válvula de seguridad |
| 46 A/C | 3 | 20 | Instrumentos de Nivel |
| 47 A/C | 3 | 20 | Interruptores de Nivel |

Notas:

¹ La válvula de seguridad (PSV) debe ser diseñada por el fabricante del equipo

² Las cotas están dadas en mm



| | | | | | | | |
|----------|---|-------|-----------|---------------|-----|--------------|--|
| Revisión | 0 | Fecha | 29-jun-10 | Elaborado por | NPB | Aprobado por | |
|----------|---|-------|-----------|---------------|-----|--------------|--|



HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA COLUMNAS

| | |
|---|--|
| CLIENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | PROYECTO: Evaluación tecnico-economica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho |
| PLANTA: UNIDAD U-1000 | HOJA: 1 DE 1 |
| LOCALIZACIÓN: Zona Industrial Cuamatla | REQ / O.C. No. |
| CLAVE DEL EQUIPO: DA-1002 | No. DE UNIDADES: UNA |
| SERVICIO: Torre de lavado de biodiesel | |

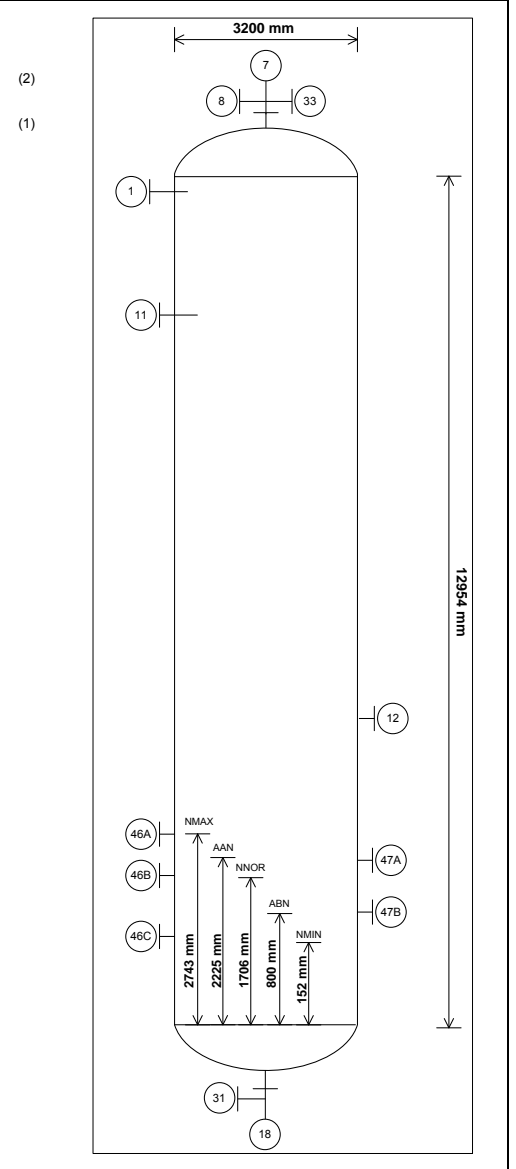
| | | | |
|---------------------------|---------------------|-------------------------|---|
| Torre de lavado | | | |
| TORRE DE LAVADO | | | |
| Diámetros: | 3,200 | mm | |
| Altura Total: | 12,954 | mm | |
| Temperatura de Operación: | Superior 50 | °C | Inferior 60 °C |
| Temperatura de Diseño: | Superior 75 | °C | Inferior 85 °C |
| Presión de Operación: | Superior 1.1 | kg/cm ² man. | Inferior 1.2 kg/cm ² man. |
| Presión de Diseño: | 2.20 | kg/cm ² man. | |

| BOQUILLAS | | | |
|-----------|----------|----------|-------------------------------|
| Clave | No. Req. | Diámetro | Servicio |
| 1 | 1 | 610 | Registro Hombre |
| 7 | 1 | 25 | Salida de biodiesel a DA-1003 |
| 8 | 1 | 25 | Venteo |
| 11 | 1 | 152 | Entrada de agua de lavado |
| 12 | 1 | 102 | Alimentación de E-1004 |
| 18 | 1 | 102 | Salida de Glicerina a RC-1002 |
| 31 | 1 | 20 | Drene |
| 33 | 1 | 38 | Válvula de seguridad |
| 46 A/C | 3 | 20 | Instrumentos de Nivel |
| 47 A/C | 3 | 20 | Interruptores de Nivel |

Notas:

¹ La válvula de seguridad (PSV) debe ser diseñada por el fabricante del equipo

² Las cotas estan dadas en mm



| | | | | | | | |
|----------|---|-------|-----------|---------------|-----|--------------|--|
| Revisión | 0 | Fecha | 29-jun-10 | Elaborado por | NPB | Aprobado por | |
|----------|---|-------|-----------|---------------|-----|--------------|--|



HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA COLUMNAS

| | |
|---|--|
| CLIENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | PROYECTO: Evaluación tecnico-economica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho |
| PLANTA: UNIDAD U-1000 | HOJA: 1 DE 1 |
| LOCALIZACIÓN: Zona Industrial Cuamatla | REQ / O.C. No. |
| CLAVE DEL EQUIPO: DA-1003 | No. DE UNIDADES: UNA |
| SERVICIO: Torre purificadora de Biodiesel | |

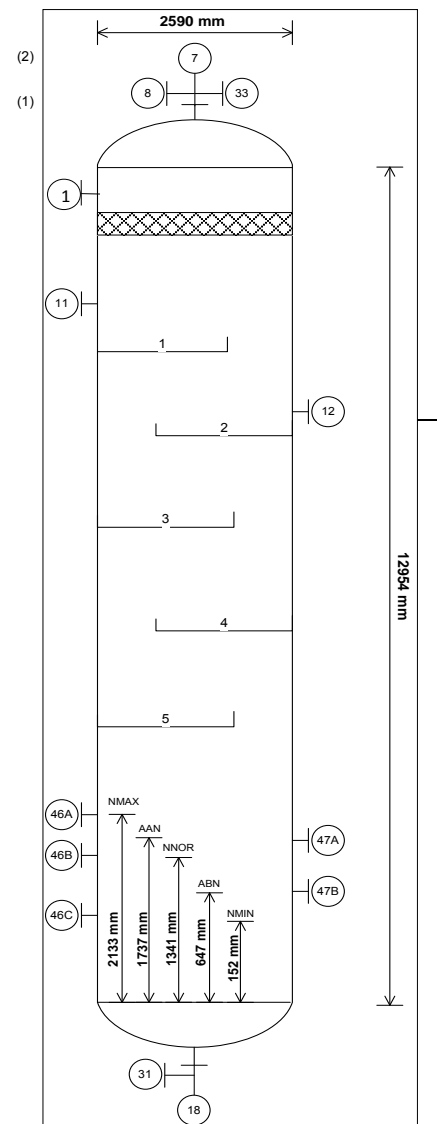
| | |
|------------------------------|---|
| Tipo: TORRE DE LAVADO | |
| Diámetros: | 2,590 mm |
| Altura Total: | 12,954 mm |
| Temperatura de Operación: | Superior 193 °C Inferior 214 °C |
| Temperatura de Diseño: | Superior 208 °C Inferior 229 °C |
| Presión de Operación: | Superior 0.1 kg/cm ² man. Inferior 0.2 kg/cm ² man. |
| Presión de Diseño: | 1.10 kg/cm ² man. |

BOQUILLAS

| Clave | No. Req. | Diámetro | Servicio |
|--------|----------|----------|----------------------------------|
| 1 | 1 | 610 | Registro Hombre |
| 7 | 1 | 25 | Salida de biodiesel a FA-1003 |
| 8 | 1 | 25 | Venteo |
| 12 | 1 | 77 | Entrada de reflujo |
| 11 | 1 | 102 | Alimentación de DA-1002 |
| 18 | 1 | 102 | Salida de aceite usado a FA-1001 |
| 31 | 1 | 20 | Drene |
| 33 | 1 | 38 | Válvula de seguridad |
| 46 A/C | 3 | 20 | Instrumentos de Nivel |
| 47 A/C | 3 | 20 | Interruptores de Nivel |

Notas:

- ¹ La válvula de seguridad (PSV) debe ser diseñada por el fabricante del equipo
- ² Las cotas estan dadas en mm



| | | | | | |
|---------------|-----------|--|--|--|--|
| Revisión | 0 | | | | |
| Fecha | 29-jun-10 | | | | |
| Elaborado por | NPB | | | | |
| Aprobado por | | | | | |



HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA COLUMNAS

| | |
|---|--|
| CLIENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | PROYECTO: Evaluación técnico-económica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho |
| PLANTA: UNIDAD U-1000 | HOJA: 1 DE 1 |
| LOCALIZACIÓN: Zona Industrial Cuamatla | REQ / O.C. No. |
| CLAVE DEL EQUIPO: DA-1004 | No. DE UNIDADES: UNA |
| SERVICIO: Torre purificadora de Glicerina | |

| | | | |
|------------------------------|--------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Tipo: TORRE DE PLATOS | | | |
| Diámetros: | 3,352 | mm | |
| Altura Total: | 12,954 | mm | |
| Temperatura de Operación: | Superior 56 | °C | Inferior 112 °C |
| Temperatura de Diseño: | Superior 71 | °C | Inferior 126 °C |
| Presión de Operación: | Superior 0.4 | kg/cm ² man. | Inferior 0.5 kg/cm ² man. |
| Presión de Diseño: | 1.50 | kg/cm ² man. | |

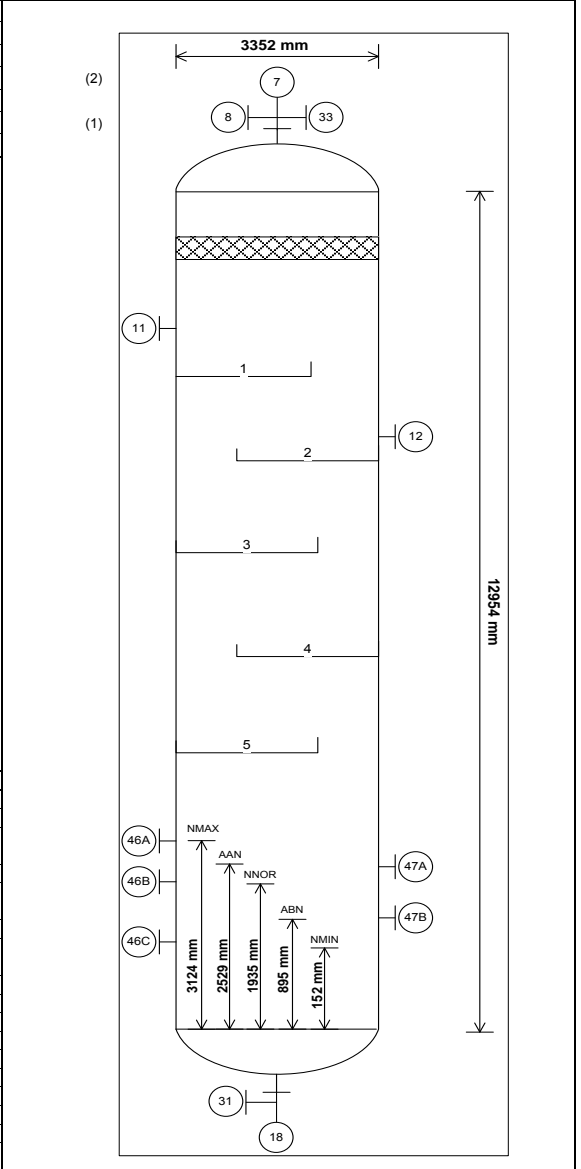
| BOQUILLAS | | | |
|-----------|----------|----------|-------------------------------|
| Clave | No. Req. | Diámetro | Servicio |
| 1 | 1 | 610 | Registro Hombre |
| 7 | 1 | 25 | Salida de metanol + H2O |
| 8 | 1 | 25 | Venteo |
| 11 | 1 | 102 | Entrada de reflujo |
| 12 | 1 | 102 | Alimentación de E-1005 |
| 18 | 1 | 25 | Salida de glicerina a FA-1004 |
| 31 | 1 | 20 | Drene |
| 33 | 1 | 38 | Válvula de seguridad |
| 46 A/C | 3 | 20 | Instrumentos de Nivel |
| 47 A/C | 3 | 20 | Interruptores de Nivel |

Notas:

¹ La válvula de seguridad (PSV) debe ser diseñada por el fabricante del equipo

² Las cotas estan dadas en mm

| | | | | | | | |
|---------------|-----------|--|--|--|--|--|--|
| Revisión | 0 | | | | | | |
| Fecha | 29-jun-10 | | | | | | |
| Elaborado por | NPB | | | | | | |
| Aprobado por | | | | | | | |

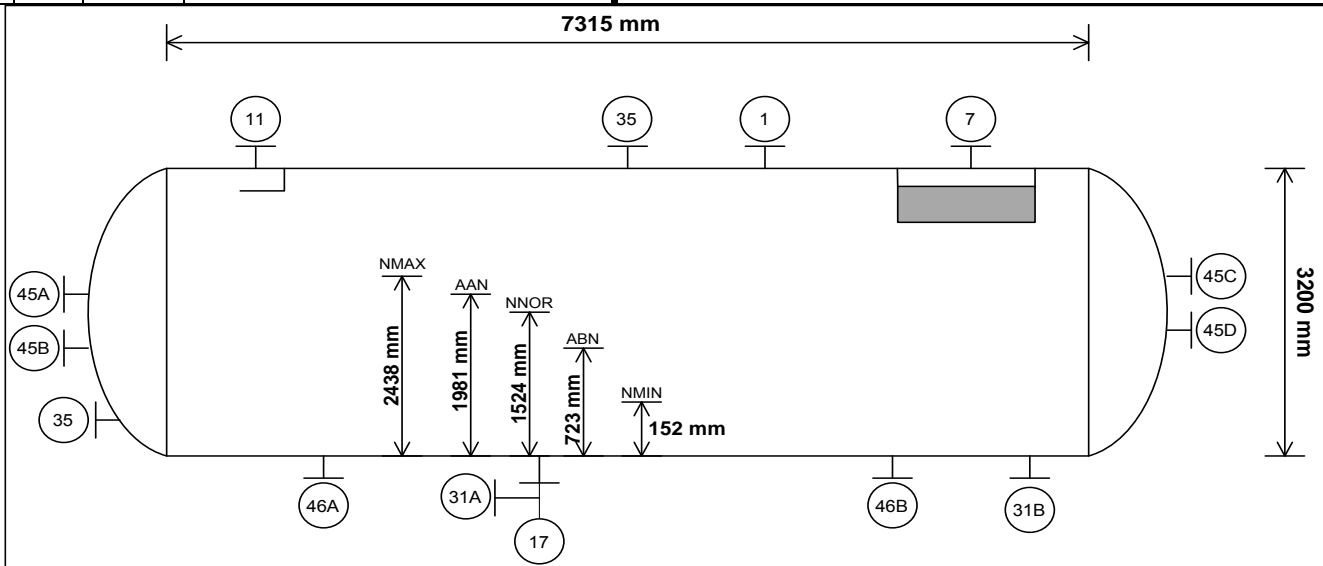




HOJAS DE DATOS DE RECIPIENTES

| | | | |
|-------------------|--|------------------|--|
| CLIENTE: | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | PROYECTO: | Evaluación tecnico-economica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho |
| PLANTA: | UNIDAD U-1000 | HOJA: | 1 DE 1 |
| LOCALIZACIÓN: | Zona Industrial Cuamatla | REQ. / O.C. No. | |
| CLAVE DEL EQUIPO: | FA-1001 | No. DE UNIDADES: | UNA |
| SERVICIO: | TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE USADO | POSICIÓN: | HORIZONTAL |
| Tipo de Fluido: | Líquido: ACEITE USADO | Flujo: | 45.8 m ³ /h |
| | Vapor o Gas: ACEITE USADO | Flujo: | 6.9 m ³ /h |
| Temperatura: | Operación: 25 °C | Máxima: | 30 °C |
| Presión: | Operación: 1.0 kg/cm ² man | Máxima: | 2.0 kg/cm ² man |
| Dimensiones: | Longitud: 7,315 mm | Diámetro: | 3,200 mm |
| Nivel | Normal: 1,524 mm | Máximo: | 2,438 mm |
| | | Mínimo: | 152 mm |
| Alarmas: | Alto nivel: 1,981 mm | Bajo Nivel: | 723 mm |

| BOQUILLAS | | | | NOTAS: |
|-----------|-------|----------|-------------------------------------|---|
| No. | Cant. | Diametro | Servicio | |
| 1 | 1 | 610 | Registro de hombre | 1) Acotaciones en mm |
| 7 | 1 | 38 | Salida de vapores | 2) La válvula de seguridad (PSV) debe ser diseñada por el fabricante del equipo |
| 11 | 1 | 101 | Alimentación de Aceite usado de L.B | |
| 17 | 1 | 101 | Salida de aceite usado a proceso | |
| 31AB | 2 | 50 | Drene | |
| 35 | 1 | 38 | Válvula de seguridad | |
| 45A/D | 8 | 13 | Interruptor de nivel | |
| 46AB | 4 | 13 | Transmisor de nivel | |



| | | | | | | | |
|---------------|-----------|---|---|---|---|---|---|
| Revisión | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Fecha | 29-jun-10 | | | | | | |
| Elaborado por | NPB | | | | | | |
| Aprobado por | | | | | | | |

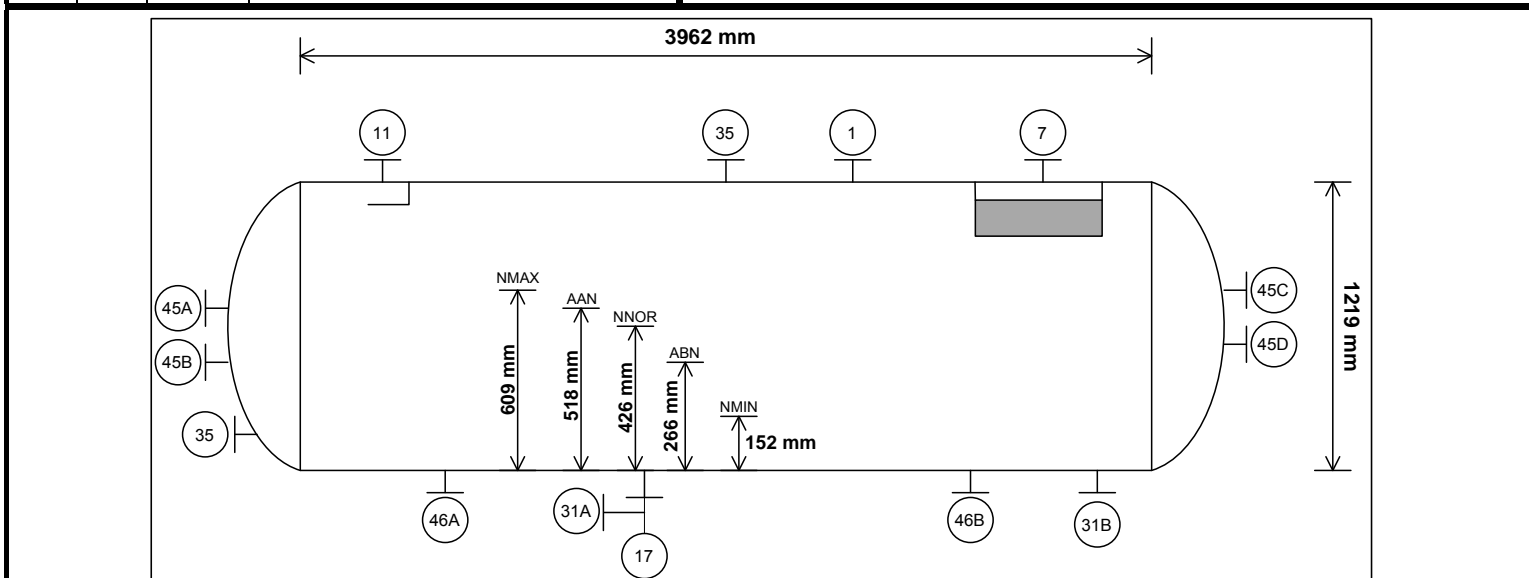


HOJAS DE DATOS DE RECIPIENTES

| | | | | | |
|-------------------|---|------------------|--|----|---|
| CLIENTE: | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | PROYECTO: | Evaluación técnico-economica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho | | |
| PLANTA: | UNIDAD U-1000 | HOJA | 1 | DE | 1 |
| LOCALIZACIÓN: | Zona Industrial Cuamatla | REQ. / O.C. No. | | | |
| CLAVE DEL EQUIPO: | FA-1002 | No. DE UNIDADES: | UNA | | |
| SERVICIO: | TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE METANOL | POSICIÓN | HORIZONTAL | | |

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|----------------------------|-------------|----------------------------|-----------|-------------------------|
| Tipo de Fluido: | Líquido: | Metanol | Flujo: | 1.7 m ³ /h | Densidad: | 2,100 kg/m ³ |
| | Vapor o Gas: | Metanol | Flujo: | 0.17 m ³ /h | Densidad: | 2.10 kg/m ³ |
| Temperatura: | Operación: | 25 °C | Máxima: | 30 °C | Diseño: | 45 °C |
| Presión: | Operación: | 1.0 kg/cm ² man | Máxima: | 2.0 kg/cm ² man | | |
| Dimensiones: | Longitud: | 3,962 mm | Diámetro: | 1,219 mm | | |
| Nivel | Normal: | 426 mm | Máximo: | 609 mm | Mínimo: | 152 mm |
| Alarmas: | Alto nivel: | 518 mm | Bajo Nivel: | 266 mm | | |

| BOQUILLAS | | | | NOTAS: |
|-----------|-------|----------|-----------------------------|---|
| No. | Cant. | Diámetro | Servicio | |
| 1 | 1 | 610 | Registro de hombre | 1) Acotaciones en mm |
| 7 | 1 | 13 | Salida de vapores | 2) La válvula de seguridad (PSV) debe ser diseñada por el fabricante del equipo |
| 11 | 1 | 25 | Alimentación de metanol | |
| 17 | 1 | 25 | Salida de metanol a proceso | |
| 31AB | 2 | 25 | Drene | |
| 35 | 1 | 38 | Válvula de seguridad | |
| 45A/D | 8 | 13 | Interruptor de nivel | |
| 46AB | 4 | 13 | Transmisor de nivel | |



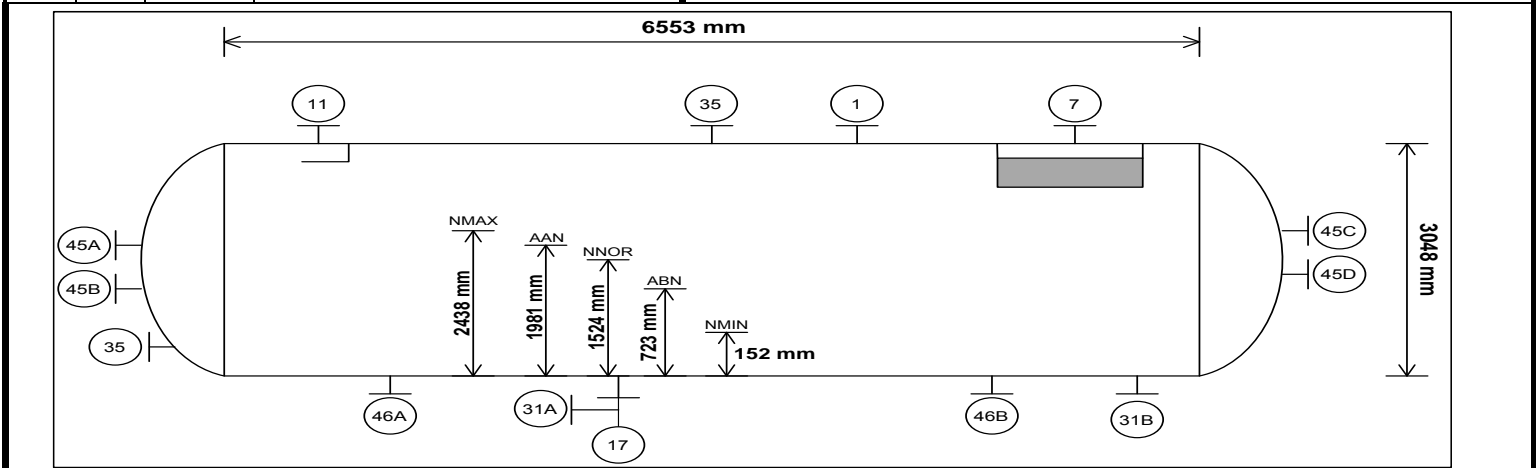
| | | | | | | | |
|------------------|-----------|---|---|---|---|---|---|
| Revisión | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Fecha | 29-jun-10 | | | | | | |
| Elaborado por | NPB | | | | | | |
| Aprobado por | | | | | | | |
| Rev. Dis. Mecáni | | | | | | | |



HOJAS DE DATOS DE RECIPIENTES

| | | | | | | | | | |
|-------------------|---|----------------------------|---------|------------------|--|-----------|---------|-------------------|----|
| CLIENTE: | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | | | PROYECTO: | Evaluación tecnico-economica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho | | | | |
| PLANTA: | UNIDAD U-1000 | | | HOJA | 1 | DE | 1 | | |
| LOCALIZACIÓN: | Zona Industrial Cuamatla | | | REQ. / O.C. No. | | | | | |
| CLAVE DEL EQUIPO: | FA-1003 | | | No. DE UNIDADES: | UNA | | | | |
| SERVICIO: | TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE BIODIESEL | | | POSICIÓN | HORIZONTAL | | | | |
| Tipo de Fluido: | Líquido: | BIODIESEL | Flujo: | 48.3 | m ³ /h | Densidad: | 792 | kg/m ³ | |
| | Vapor o Gas: | BIODIESEL | Flujo: | 4.82 | m ³ /h | Densidad: | 7.92 | kg/m ³ | |
| Temperatura: | Operación: | 70 °C | Máxima: | 80 | °C | Diseño: | 95 | °C | |
| Presión: | Operación: | 1.0 kg/cm ² man | Máxima: | 2.0 | kg/cm ² man | | | | |
| Dimensiones: | Longitud: | 6,553 | mm | Diámetro: | 3,048 | mm | | | |
| Nivel | Normal: | 1,524 | mm | Máximo: | 2,438 | mm | Mínimo: | 152 | mm |
| Alarmas: | Alto nivel: | 1,981 | mm | Bajo Nivel: | 723 | mm | | | |

| BOQUILLAS | | | | NOTAS: |
|-----------|-------|----------|--------------------------------------|---|
| No. | Cant. | Diámetro | Servicio | |
| 1 | 1 | 610 | Registro de hombre | 1) Acotaciones en mm |
| 7 | 1 | 25 | Salida de vapores | 2) La válvula de seguridad (PSV) debe ser diseñada por el fabricante del equipo |
| 11 | 1 | 64 | Alimentación de Biodiesel de DA-1003 | |
| 17 | 1 | 64 | Salida de biodiesel | |
| 31AB | 2 | 30 | Drene | |
| 35 | 1 | 38 | Válvula de seguridad | |
| 45A/D | 8 | 13 | Interruptor de nivel | |
| 46AB | 4 | 13 | Transmisor de nivel | |



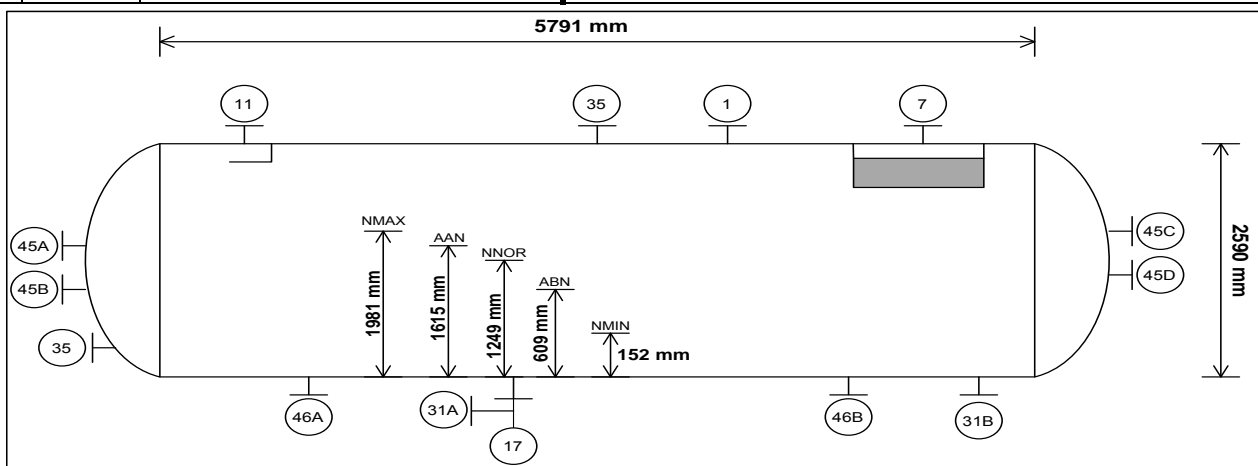
| | | | | | | | |
|---------------|-----------|---|---|---|---|---|---|
| Revisión | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Fecha | 29-jun-10 | | | | | | |
| Elaborado por | NPB | | | | | | |
| Aprobado por | | | | | | | |



HOJAS DE DATOS DE RECIPIENTES

| | | | | | | | |
|-------------------|--|------------------|--|------------------------|-----------|------|-------------------|
| CLIENTE: | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | PROYECTO: | Evaluación tecnico-economica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho | | | | |
| PLANTA: | UNIDAD U-1000 | HOJA | 1 | DE | 1 | | |
| LOCALIZACIÓN: | Zona Industrial Cuamatla | REQ. / O.C. No. | | | | | |
| CLAVE DEL EQUIPO: | FA-1004 | No. DE UNIDADES: | UNA | | | | |
| SERVICIO: | TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLICERINA | POSICIÓN | HORIZONTAL | | | | |
| Tipo de Fluido: | Líquido: GLICERINA | Flujo: | 23.69 | m ³ /h | Densidad: | 867 | kg/m ³ |
| | Vapor o Gas: GLICERINA | Flujo: | 3.5 | m ³ /h | Densidad: | 8.65 | kg/m ³ |
| Temperatura: | Operación: 100 °C | Máxima: | 120 | °C | Diseño: | 130 | °C |
| Presión: | Operación: 1.0 kg/cm ² man | Máxima: | 2.0 | kg/cm ² man | | | |
| Dimensiones: | Longitud: 5,791 mm | Diámetro: | 2,590 mm | | | | |
| Nivel | Normal: 1,249 mm | Máximo: | 1,981 | mm | Mínimo: | 152 | mm |
| Alarmas: | Alto nivel: 1,615 mm | Bajo Nivel: | 609 mm | | | | |

| BOQUILLAS | | | | NOTAS: |
|-----------|-------|----------|--------------------------------------|---|
| No. | Cant. | Diámetro | Servicio | |
| 1 | 1 | 610 | Registro de hombre | 1) Acotaciones en mm |
| 7 | 1 | 25 | Salida de vapores | 2) La válvula de seguridad (PSV) debe ser diseñada por el fabricante del equipo |
| 11 | 1 | 50 | Alimentación de Glicerida de DA-1004 | |
| 17 | 1 | 50 | Salida de glicerina | |
| 31AB | 2 | 25 | Drene | |
| 35 | 1 | 38 | Válvula de seguridad | |
| 45A/D | 8 | 13 | Interruptor de nivel | |
| 46AB | 4 | 13 | Transmisor de nivel | |



| | | | | | | | |
|---------------|-----------|---|---|---|---|---|---|
| Revisión | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Fecha | 29-jun-10 | | | | | | |
| Elaborado por | NPB | | | | | | |
| Aprobado por | | | | | | | |



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

PROYECTO: **Evaluación tecnico-economica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho**

HOJA: **1** DE **1**

HOJA DE DATOS DE BOMBAS

| | | | |
|-------------------|--|------------------------------|-----------------------|
| CLIENTE: | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | LIQUIDO: | NaOH + Metanol |
| PLANTA: | UNIDAD U-1000 | TEMP. DE BOMBEO, °C: | 25 °C |
| LOCALIZACION: | Zona Industrial Cuamatla | DENSIDAD KG/M ³ : | 928.20 kg/m3 |
| CLAVE DEL EQUIPO: | GA-1002 | GASTO, m ³ /hr: | 3 m3/hr |
| SERVICIO: | Alimentación a E-1002 | PRESION DESCARGA, Kg/cm2 m: | 4 kg/cm2 m |
| PARTIDA: | CANTIDAD REQUERIDA: 2 | PRESION SUCCION, Kg/cm2 m: | 1 kg/cm2 |
| USO REGULAR: | 1 ACCIONADOR: MOTOR | PRESION DIF., Kg/cm2: | 3 kg/cm2 |
| REPUESTO: | 1 ACCIONADOR: TURBINA | CABEZA DIF, m: | 2.268 m |
| FECHA: | 29-jun-10 | NPSH DISP., m: | 10.65 m |
| REVISADO POR: | | POT. HIDRÁULICA, Kw: | 1.88 kW |

ELABORO: **PASCUAL B. NAYELI** REVISION: **0**
VALIDO:

NOTAS:





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

PROYECTO: Evaluación tecnico-economica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho

HOJA: 1 DE 1

HOJA DE DATOS DE BOMBAS

| | | | |
|-------------------|---|---|-------------------------------|
| CLIENTE: | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | LIQUIDO: | Mezcla de aceite usado + NaOH |
| PLANTA: | UNIDAD U-1000 | TEMP. DE BOMBEO, °C: | 60 °C |
| LOCALIZACION: | Zona Industrial Cuamatla | DENSIDAD KG/M ³ : | 807.19 kg/m ³ |
| CLAVE DEL EQUIPO: | GA-1003 | GASTO, m ³ /hr: | 45.8 m ³ /hr |
| SERVICIO: | Alimentación a RC-1002 | PRESION DESCARGA, Kg/cm ² m: | 2.5 kg/cm ² m |
| PARTIDA: | CANTIDAD REQUERIDA: 2 | PRESION SUCCION, Kg/cm ² m: | 0.5 kg/cm ² m |
| USO REGULAR: | 1 ACCIONADOR: MOTOR | PRESION DIF., Kg/cm ² : | 2 kg/cm ² |
| REPUESTO: | 1 ACCIONADOR: TURBINA | CABEZA DIF, m: | 3.71 m |
| FECHA: | 29-jun-10 | NPSH DISP., m: | 10.87 m |
| REVISADO POR: | | POT. HIDRÁULICA, Kw: | 5.17 kW |
| ELABORO: | PASCUAL B. NAYELI | REVISION: | 0 |
| VALIDO: | | | |

NOTAS:





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

PROYECTO: Evaluación técnico-económica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho

HOJA: 1 DE 1

HOJA DE DATOS DE BOMBAS

| | | | |
|-------------------|---|---|--------------------------|
| CLIENTE: | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | LIQUIDO: | Metanol |
| PLANTA: | UNIDAD U-1000 | TEMP. DE BOMBEO, °C: | 32 °C |
| LOCALIZACION: | Zona Industrial Cuamatla | DENSIDAD KG/M ³ : | 783.33 kg/m ³ |
| CLAVE DEL EQUIPO: | GA-1004 | GASTO, m ³ /hr: | 0.5 m ³ /hr |
| SERVICIO: | Bomba de recirculación de metanol | PRESION DESCARGA, Kg/cm ² m: | 4.5 kg/cm ² m |
| PARTIDA: | CANTIDAD REQUERIDA: 2 | PRESION SUCCION, Kg/cm ² m: | 0.5 kg/cm ² m |
| USO REGULAR: | 1 ACCIONADOR: MOTOR | PRESION DIF., Kg/cm ² : | 4 kg/cm ² |
| REPUESTO: | 1 ACCIONADOR: TURBINA | CABEZA DIF, m: | 2.045 m |
| FECHA: | 29-jun-10 | NPSH DISP., m: | 9.75 m |
| REVISADO POR: | | POT. HIDRÁULICA, Kw: | 2.4 kW |
| ELABORO: | PASCUAL B. NAYELI | REVISION: | 0 |
| VALIDO: | | | |

NOTAS:





UNIVERSIDAD NACIONALAUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

PROYECTO: Evaluación tecnico-economica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho

HOJA: 1 DE 1

HOJA DE DATOS DE BOMBAS

| | | | |
|-------------------|---|---|---|
| CLIENTE: | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | LIQUIDO: | Mezcla de FAME + Glicerina + Aceite usado |
| PLANTA: | UNIDAD U-1000 | TEMP. DE BOMBEO, °C: | 195 °C |
| LOCALIZACION: | Zona Industrial Cuamatla | DENSIDAD KG/M ³ : | 924.25 kg/m ³ |
| CLAVE DEL EQUIPO: | GA-1005 | GASTO, m ³ /hr: | 44.5 m ³ /hr |
| SERVICIO: | Bomba de alimentación a E-1004 | PRESION DESCARGA, Kg/cm ² m: | 4.5 kg/cm ² m |
| PARTIDA: | CANTIDAD REQUERIDA: 2 | PRESION SUCCION, Kg/cm ² m: | 0.5 kg/cm ² m |
| USO REGULAR: | 1 ACCIONADOR: MOTOR | PRESION DIF., Kg/cm ² : | 4 kg/cm ² |
| REPUESTO: | 1 ACCIONADOR: TURBINA | CABEZA DIF, m: | 3.83 m |
| FECHA: | 29-jun-10 | NPSH DISP., m: | 13.26 m |
| REVISADO POR: | | POT. HIDRÁULICA, Kw: | 9.84 kW |
| ELABORO: | PASCUAL B. NAYELI | REVISION: | 0 |
| VALIDO: | | | |

NOTAS:





UNIVERSIDAD NACIONALAUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

PROYECTO: Evaluación tecnico-economica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho

HOJA: 1 DE 1

HOJA DE DATOS DE BOMBAS

| | | | |
|-------------------|---|---|--------------------------|
| CLIENTE: | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | LIQUIDO: | FAME |
| PLANTA: | UNIDAD U-1000 | TEMP. DE BOMBEO, °C: | 75 °C |
| LOCALIZACION: | Zona Industrial Cuamatla | DENSIDAD KG/M ³ : | 870 kg/m ³ |
| CLAVE DEL EQUIPO: | GA-1006 | GASTO, m ³ /hr: | 48.2 m ³ /hr |
| SERVICIO: | Bomba de alimentación a E-1005 | PRESION DESCARGA, Kg/cm ² m: | 2 kg/cm ² m |
| PARTIDA: | CANTIDAD REQUERIDA: 2 | PRESION SUCCION, Kg/cm ² m: | 0.2 kg/cm ² m |
| USO REGULAR: | 1 ACCIONADOR: MOTOR | PRESION DIF., Kg/cm ² : | 1.8 kg/cm ² |
| REPUESTO: | 1 ACCIONADOR: TURBINA | CABEZA DIF, m: | 5.23 m |
| FECHA: | 29-jun-10 | NPSH DISP., m: | 16.25 m |
| REVISADO POR: | | POT. HIDRÁULICA, Kw: | 244 kW |
| ELABORO: | PASCUAL B. NAYELI | REVISION: | 0 |
| VALIDO: | | | |

NOTAS:





UNIVERSIDAD NACIONALAUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

PROYECTO: Evaluación tecnico-economica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho

HOJA: 1 DE 1

HOJA DE DATOS DE BOMBAS

| | | | |
|-------------------|---|---|--------------------------|
| CLIENTE: | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | LIQUIDO: | Aceite Usado |
| PLANTA: | UNIDAD U-1000 | TEMP. DE BOMBEO, °C: | 86 °C |
| LOCALIZACION: | Zona Industrial Cuamatla | DENSIDAD KG/M ³ : | 951.1 kg/m ³ |
| CLAVE DEL EQUIPO: | GA-1007 | GASTO, m ³ /hr: | 1 m ³ /hr |
| SERVICIO: | Bomba de alimentación a E-1006 | PRESION DESCARGA, Kg/cm ² m: | 2 kg/cm ² m |
| PARTIDA: | CANTIDAD REQUERIDA: 2 | PRESION SUCCION, Kg/cm ² m: | 0.2 kg/cm ² m |
| USO REGULAR: | 1 ACCIONADOR: MOTOR | PRESION DIF., Kg/cm ² : | 1.8 kg/cm ² |
| REPUESTO: | 1 ACCIONADOR: TURBINA | CABEZA DIF, m: | 1.95 m |
| FECHA: | 29-jun-10 | NPSH DISP., m: | 6.45 m |
| REVISADO POR: | | POT. HIDRÁULICA, Kw: | 0.63 kW |
| ELABORO: | PASCUAL B. NAYELI | REVISION: | 0 |
| VALIDO: | | | |

NOTAS:





UNIVERSIDAD NACIONALAUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

PROYECTO: Evaluación tecnico-economica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho

HOJA: 1 DE 1

HOJA DE DATOS DE BOMBAS

| | | | |
|-------------------|---|---|--|
| CLIENTE: | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | LIQUIDO: | Mezcla de Glicerina + Ac. Fosfórico + NaOH |
| PLANTA: | UNIDAD U-1000 | TEMP. DE BOMBEO, °C: | 33 °C |
| LOCALIZACION: | Zona Industrial Cuamatla | DENSIDAD KG/M ³ : | 951.1 kg/m ³ |
| CLAVE DEL EQUIPO: | GA-1008 | GASTO, m ³ /hr: | 104 m ³ /hr |
| SERVICIO: | Bomba de alimentación a E-1007 | PRESION DESCARGA, Kg/cm ² m: | 2 kg/cm ² m |
| PARTIDA: | CANTIDAD REQUERIDA: 2 | PRESION SUCCION, Kg/cm ² m: | 1.13 kg/cm ² m |
| USO REGULAR: | 1 ACCIONADOR: MOTOR | PRESION DIF., Kg/cm ² : | 1.3 kg/cm ² |
| REPUESTO: | 1 ACCIONADOR: TURBINA | CABEZA DIF, m: | 7.69 m |
| FECHA: | 29-jun-10 | NPSH DISP., m: | 12.64 m |
| REVISADO POR: | | POT. HIDRÁULICA, Kw: | 4.51 kW |
| ELABORO: | PASCUAL B. NAYELI | REVISION: | 0 |
| VALIDO: | | | |

NOTAS:





UNIVERSIDAD NACIONALAUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

PROYECTO: Evaluación tecnico-economica para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina de desecho

HOJA: 1 DE 1

HOJA DE DATOS DE BOMBAS

| | | | |
|-------------------|---|---|--------------------------|
| CLIENTE: | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | LIQUIDO: | Glicerina |
| PLANTA: | UNIDAD U-1000 | TEMP. DE BOMBEO, °C: | 86 °C |
| LOCALIZACION: | Zona Industrial Cuamatla | DENSIDAD KG/M ³ : | 1180 kg/m ³ |
| CLAVE DEL EQUIPO: | GA-1009 | GASTO, m ³ /hr: | 23.69 m ³ /hr |
| SERVICIO: | Bomba de alimentación a E-1008 | PRESION DESCARGA, Kg/cm ² m: | 1.8 kg/cm ² m |
| PARTIDA: | CANTIDAD REQUERIDA: 2 | PRESION SUCCION, Kg/cm ² m: | 0.6 kg/cm ² m |
| USO REGULAR: | 1 ACCIONADOR: MOTOR | PRESION DIF., Kg/cm ² : | 1.2 kg/cm ² |
| REPUESTO: | 1 ACCIONADOR: TURBINA | CABEZA DIF, m: | 9.69 m |
| FECHA: | 29-jun-10 | NPSH DISP., m: | 12.64 m |
| REVISADO POR: | | POT. HIDRÁULICA, Kw: | 1.43 kW |
| ELABORO: | PASCUAL B. NAYELI | REVISION: | 0 |
| VALIDO: | | | |

NOTAS:



8.3.2. Opción de automatización de la planta de biodiesel

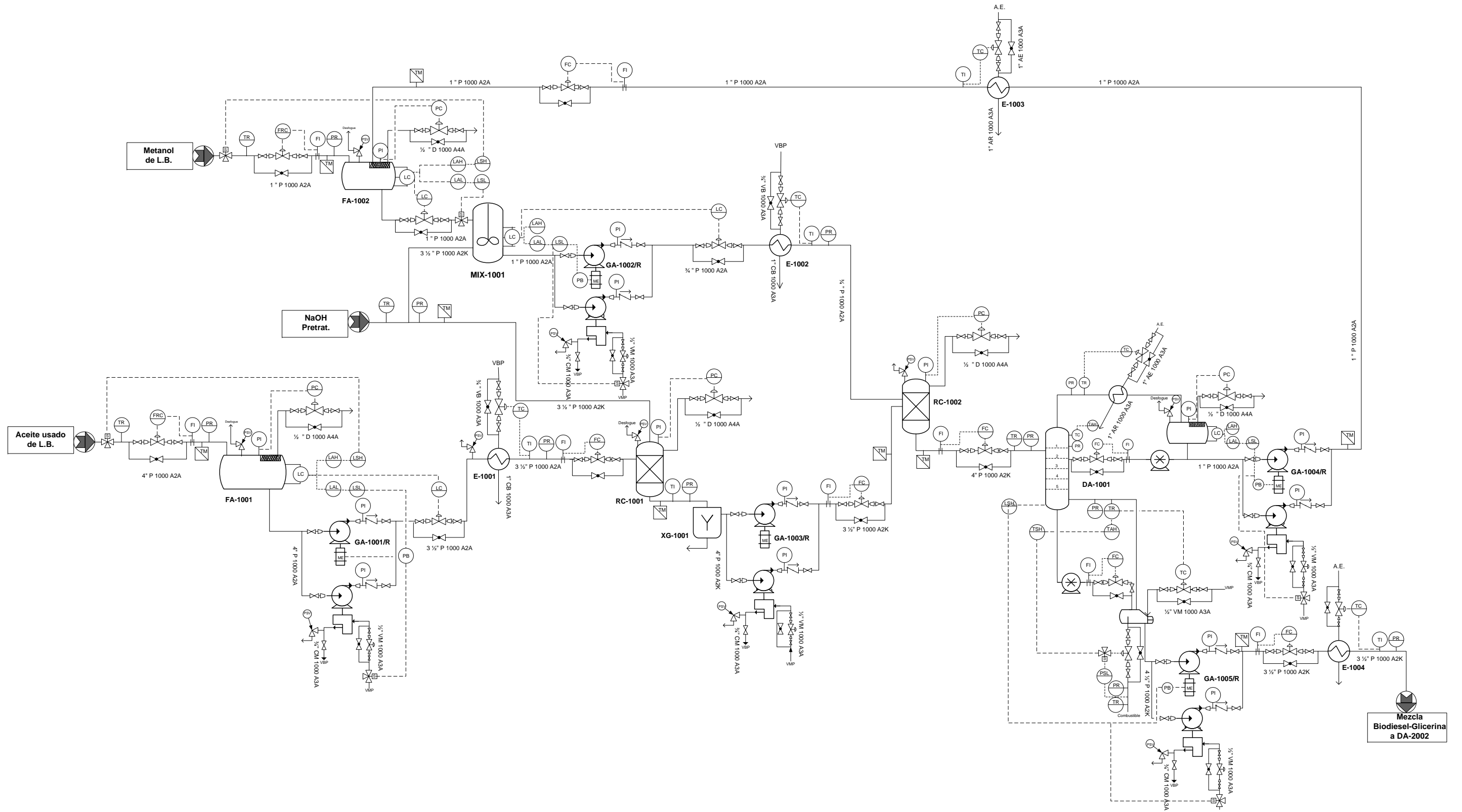
Continuando con la permanente actualización e incorporación de tecnología, como equipamiento opcional se puede implementar la operación automatizada de la planta de la siguiente forma:

- Automatización del “control de las temperaturas”, mediante un centro de comandos por PLC y con la utilización de los sensores correspondientes. Se efectuará el control de todas las temperaturas de planta mediante la actuación de válvulas solenoides y sensores térmicos, sobre las entradas de vapor. De éste modo, se asegura contar con los niveles requeridos de calefaccionado de los tanques, sin diferencias ni en más ni en menos, de los valores requeridos.
- Automatización de las bombas, mediante un centro de comando por PLC y con los sensores correspondientes, se operan las bombas de llenado y vaciado de tanques y reactores, en forma automática.
- Automatización del control de niveles de los tanques, mediante un centro de comando por PLC y con los sensores correspondientes, se controlan los niveles de los tanques (QuimiNet, 2008).

8.5. Diagramas de Tuberías e Instrumentación

8.5.1. Diagramas de Tuberías e Instrumentación del Proceso

DA-1001 Torre recuperadora de metanol FA-1001 Tanque de almacenamiento de aceite usado FA-1002 Tanque de almacenamiento de metanol E-1001 Calentador de carga a RC-1001 E-1002 Calentador de carga a RC-1002 E-1003 Enfriador de metanol para recirculación E-1004 Enfriador de mezcla a DA-1002 GA-1001/R Bomba de carga a E-1001 GA-1002/R Bomba de carga a E-1002 GA-1003/R Bomba de carga a RC-1002 GA-1004/R Bomba de recirculación de metanol GA-1005/R Bomba de carga a E-1004 RC-1001 Reactor de neutralización de AGL RC-1002 Reactor de transesterificación



| FECHA | REV. | REALIZO | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|-----------|------|---------|--------|--------|--------|
| 02-jul-10 | 0 | NPB | NPB | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

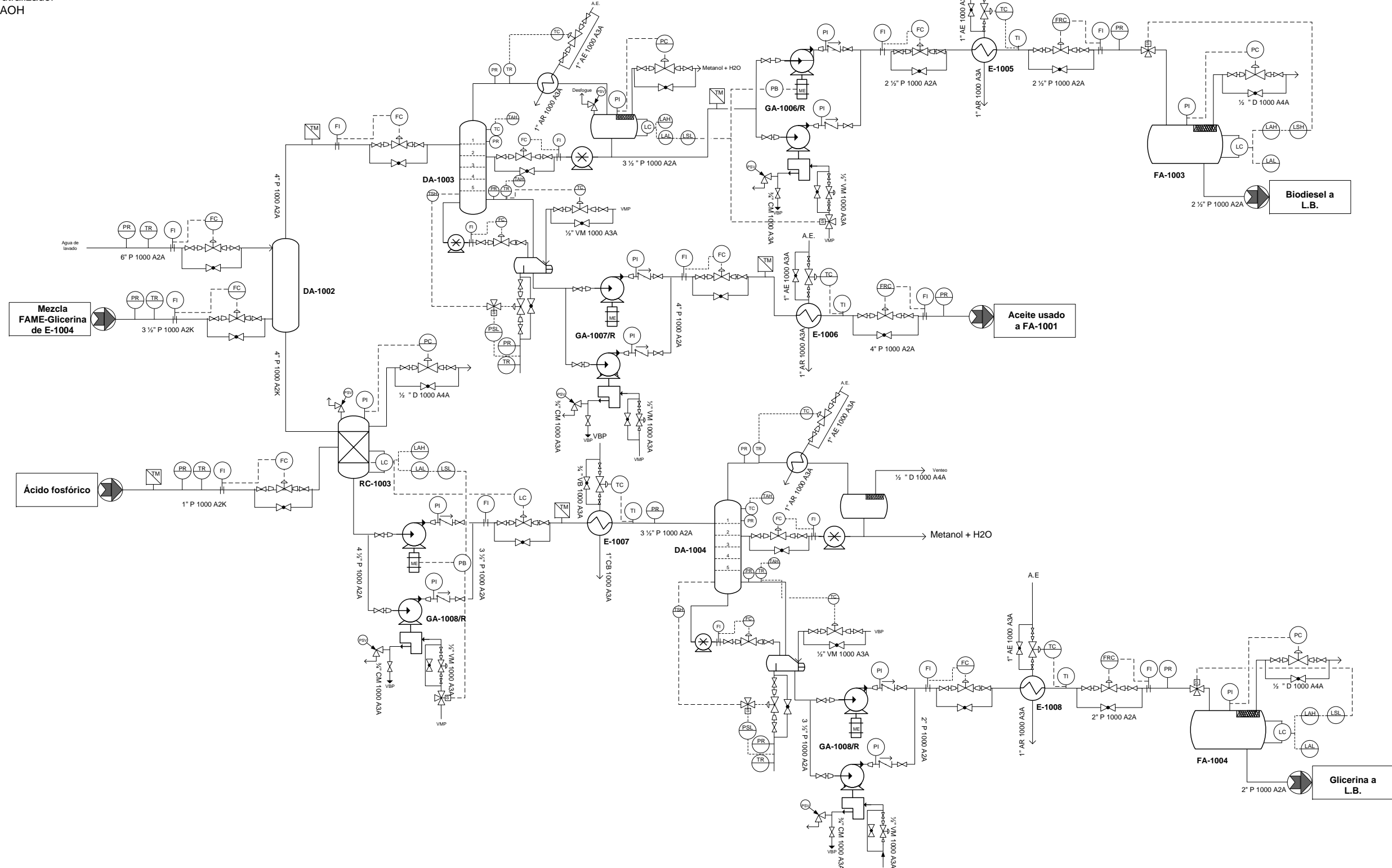


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN
"PLANTA DE BODIESEL U-1000"

| | | |
|--------------|---------|--------|
| Diagrama No. | DTI-001 | Rev. 0 |
|--------------|---------|--------|

DA-1002 Torre lavadora
 DA-1003 Torre purificadora de biodiesel
 DA-1004 Torre purificadora de glicerina
 FA-1003 Tanque de almacenamiento biodiesel
 FA-1004 Tanque de almacenamiento glicerina
 E-1005 Enfriador de carga a FA-1003
 E-1006 Enfriador de aceite a FA-1001
 E-1007 Calentador de carga a DA-1001
 E-1008 Enfriador de glicerina a FA-1004
 GA-1006/R Bomba de carga a E-1005
 GA-1007/R Bomba de carga a E-1006
 GA-1008/R Bomba de carga a E-1007
 GA-1009/R Bomba de carga a E-1008
 RC-1003 Reactor neutralizador de NaOH



| FECHA | REV. | REALIZO | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|-----------|------|---------|--------|--------|--------|
| 02-jul-10 | 0 | NPB | NPB | | |

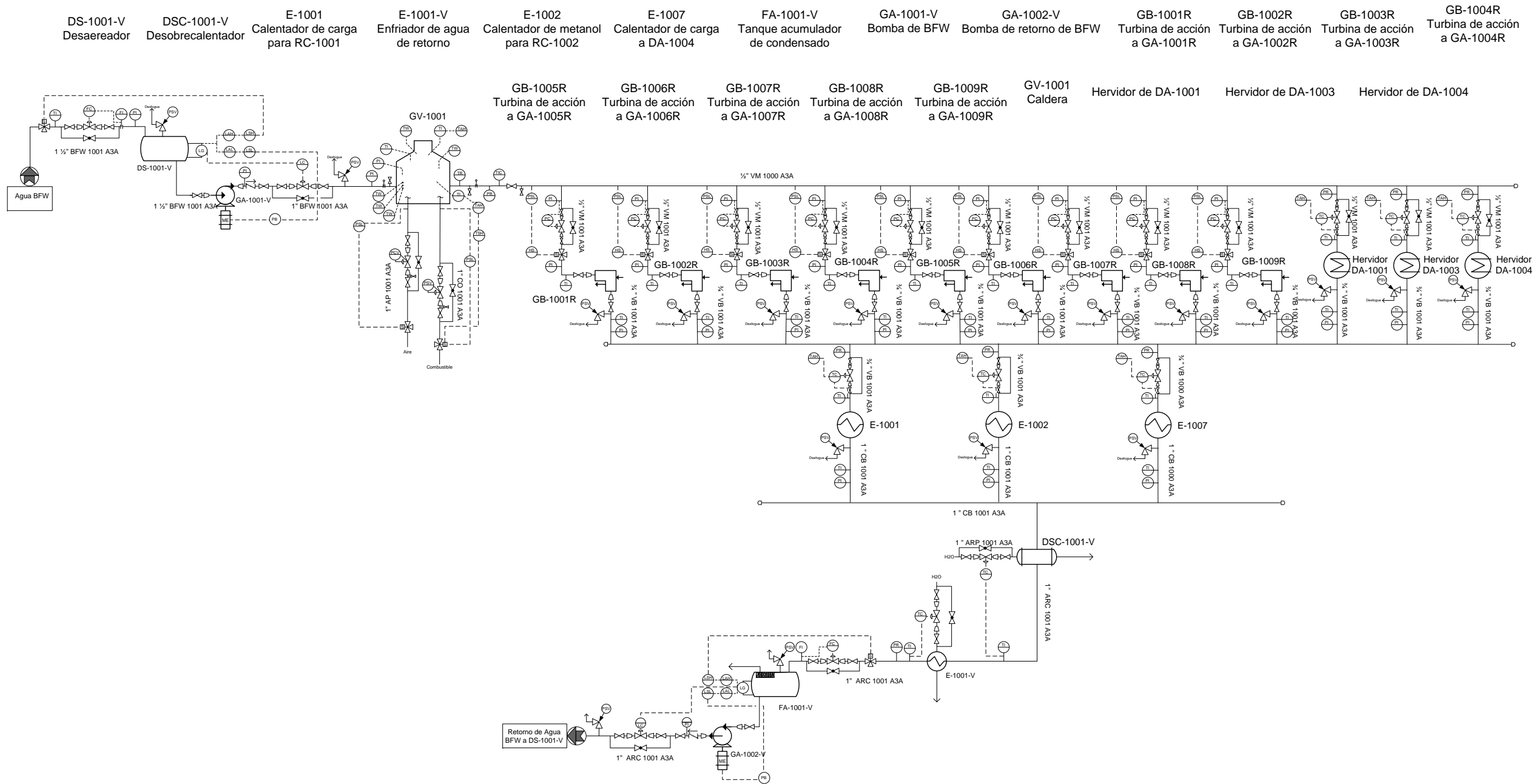


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN
"PLANTA DE BIODIESEL U-1000"

Diagrama No. DTI-002 Rev. 0

8.5.2. Diagramas de Tuberías e Instrumentación de Servicios



| FECHA | REV. | REALIZO | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|-----------|------|---------|--------|--------|--------|
| 02-jul-10 | 0 | NPB | NPB | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



FA-1001-AE
Deposito de
agua de enfriamiento

GA-1001-AE
Bomba de
agua de enfriamiento

GA-1002-AC
Bomba de
Recirculación de AR

E-1003
Enfriador de metanol
para recirculación

Enfriador de
DA-1001
Torre recuperadora
de metanol

E-1004
Enfriador de mezcla
a DA-1002

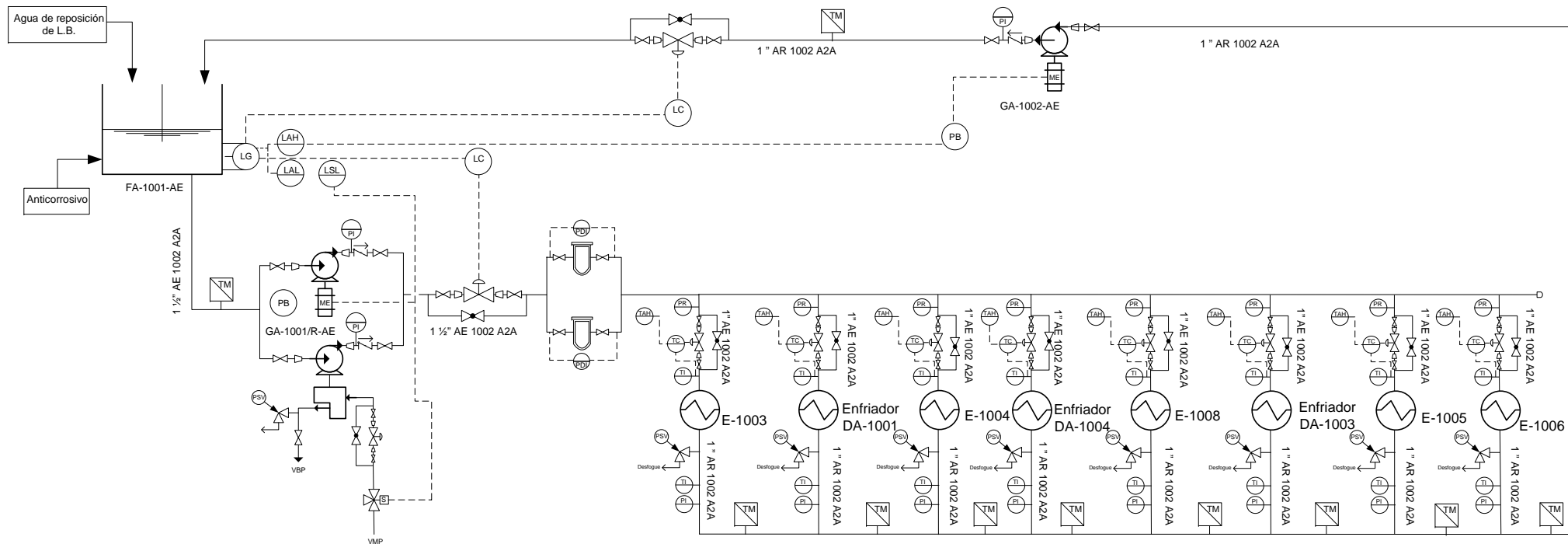
Enfriador de
DA-1004
Torre purificadora
de glicerina

E-1008
Enfriador de glicerina
a FA-1004

Enfriador de
DA-1003
Torre purificadora
de biodiesel

E-1005
Enfriador de carga
a FA-1003

E-1006
Enfriador de aceite
a FA-1001



| FECHA | REV. | REALIZO | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|-----------|------|---------|--------|--------|--------|
| 29-jun-10 | 0 | NPB | NPB | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN DE SERVICIOS
"AGUA DE ENFRIAMIENTO U-1 000"

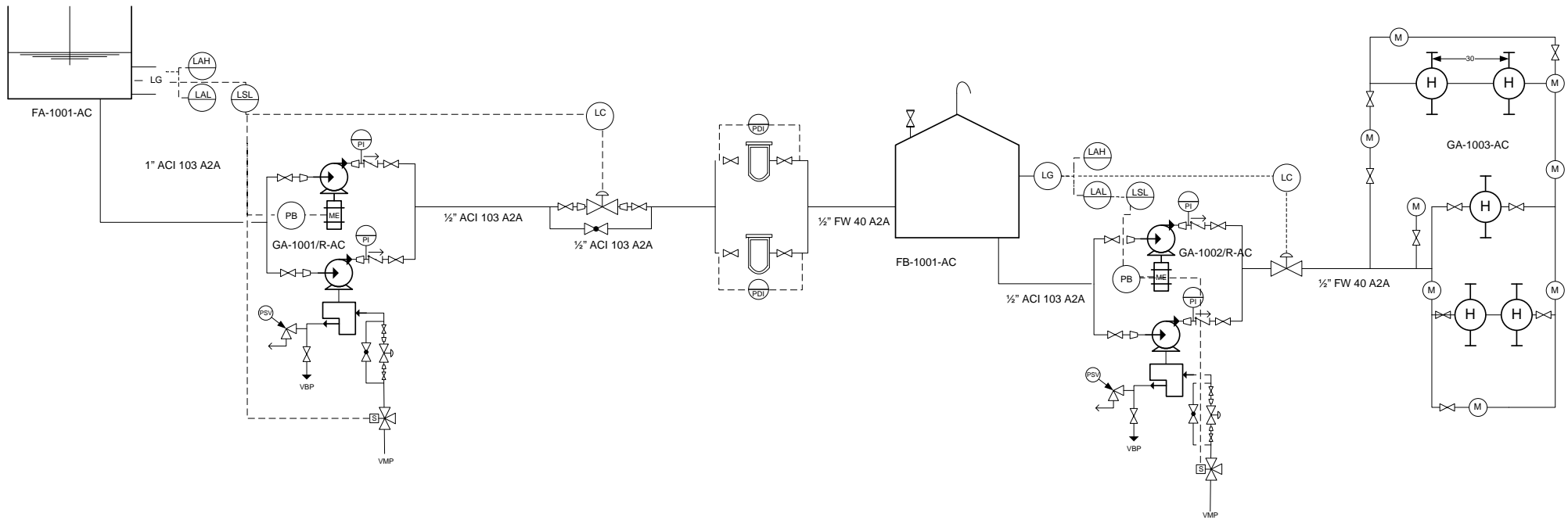
FA-1001-AC
Deposito de
agua contra incendio

GA-1001-AC
Bomba de
agua contra incendio

FB-1001-AC
Deposito 2 de
agua contra incendio

GA-1002-AC
Bomba de alimentación
a Jockey

GA-1003-AC
Bomba Jockey



| FECHA | REV. | REALIZO | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|-----------|------|---------|--------|--------|--------|
| 29-jun-10 | 0 | NPB | NPB | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN DE SERVICIOS

"AGUA CONTRA INCENDIO U-1 000"

GB-1001-AI
Compresor de
Aire de Instrumentos

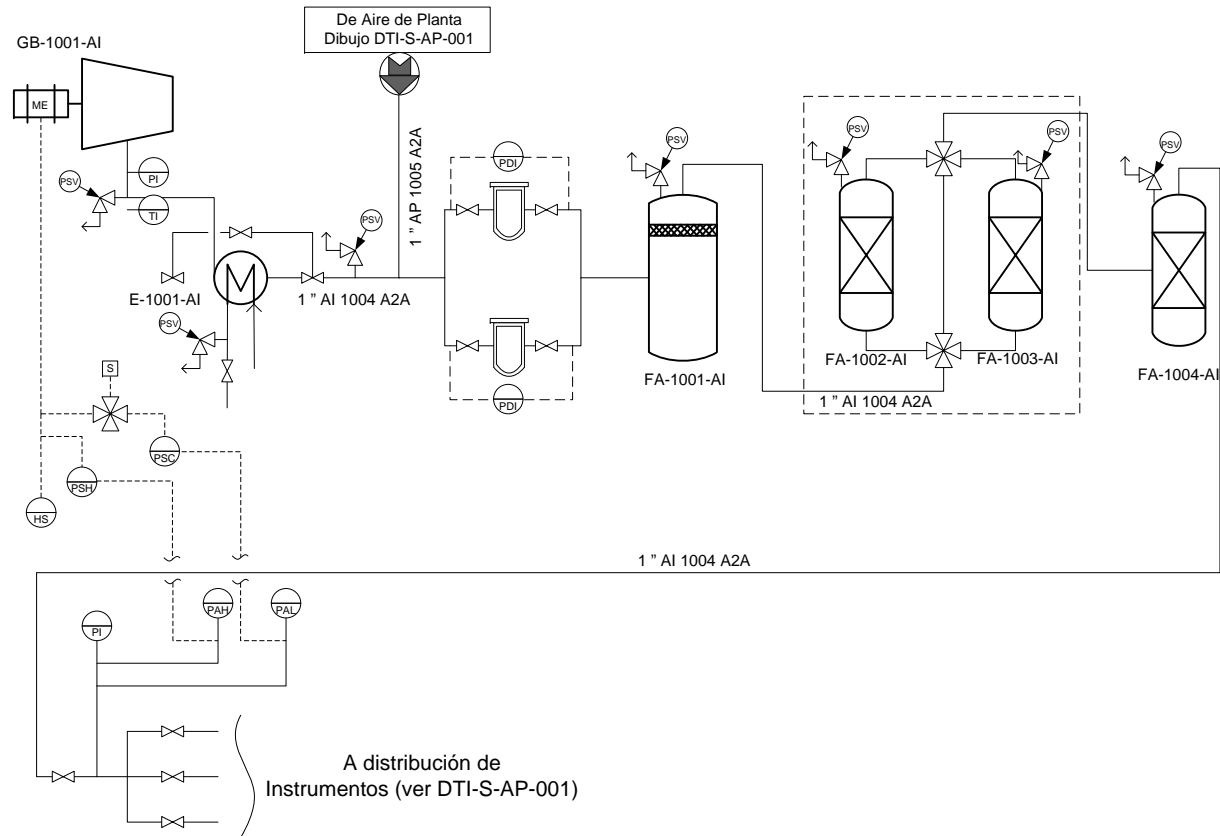
E-1001-AI
Enfriador de
Aire

FA-1001-AI
Tanque de aire
de instrumentos

FA-1002-AI
Tanque de aire
de instrumentos

FA-1003-AI
Tanque de aire
de instrumentos

FA-1004-AI
Tanque de aire
de instrumentos



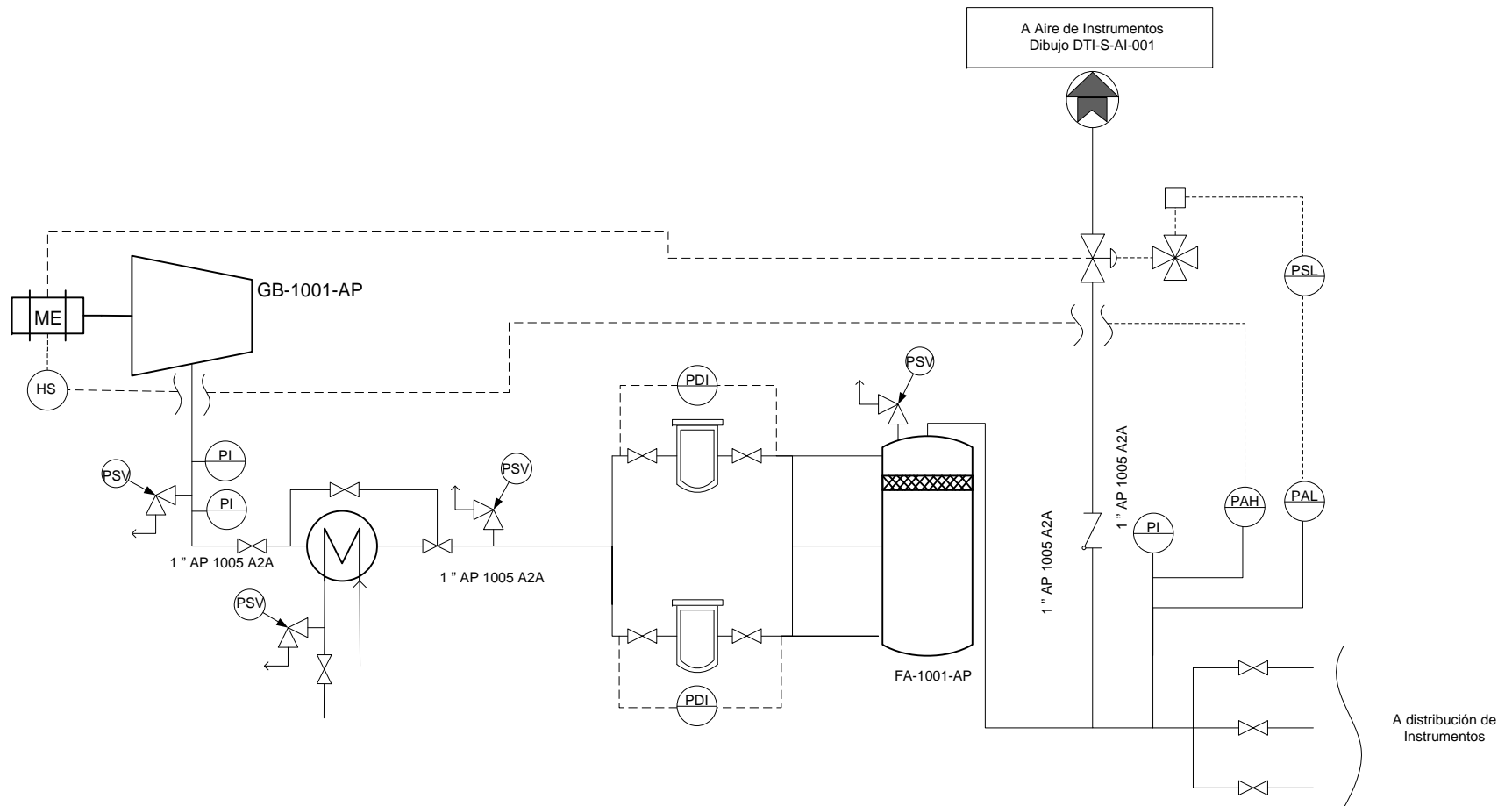
NOTA: A falla de motor, se abre la válvula y entra el Aire de Planta como relevo

| FECHA | REV. | REALIZO | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|-----------|------|---------|--------|--------|--------|
| 03-jul-10 | 0 | NPB | NPB | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



GB-1001-AP
Compresor de Aire
para Planta

FA-1001-AP
Tanque separador

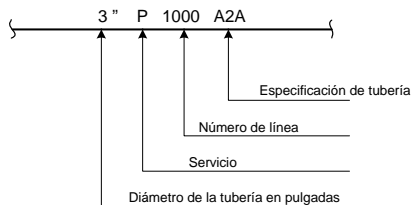


| FECHA | REV. | REALIZO | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|-----------|------|---------|--------|--------|--------|
| 03-jul-10 | 0 | NPB | NPB | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



| | | |
|--|--------------|--------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | | |
| DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN DE SERVICIOS "AIRE DE PLANTA PARA U-1 000" | | |
| Diagrama No. | DTI-S-AP-001 | Rev. 0 |

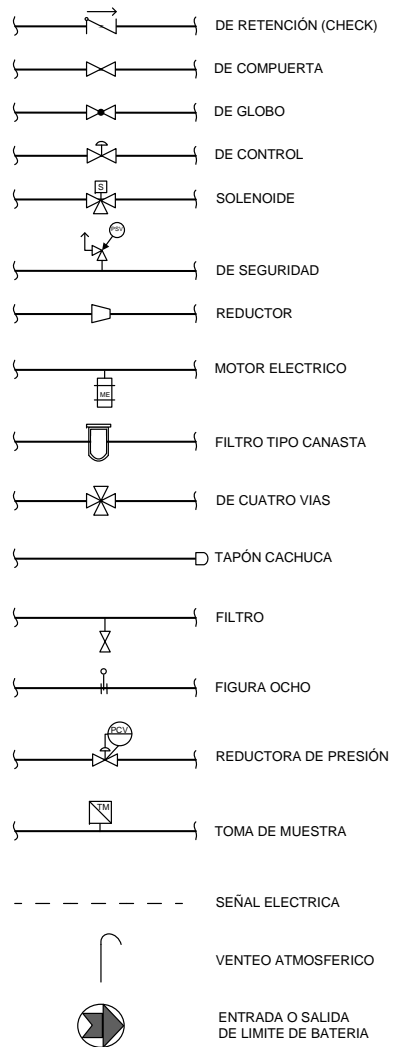
CÓDIGO DE TUBERÍAS



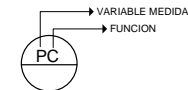
Indice alfabético del servicio

| | |
|-----|---------------------------------|
| ACI | AGUA CONTRA INCENDIO |
| AE | AGUA DE ENFRIAMIENTO |
| AI | AIRE DE INSTRUMENTOS |
| AP | AIRE DE PLANTA |
| ARC | AGUA DE RETORNO DE CALDERA |
| AR | RETORNO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO |
| ARP | AGUA DE REPOSICION |
| BWF | AGUA DE ALIMENTACION A CALDERA |
| CB | CONDENSADOR DE MEDIA PRESION |
| CO | COMBUSTIBLE |
| D | DESFOGUE |
| P | LINEA DE PROCESO |
| VB | VAPOR DE BAJA PRESION |
| VM | VAPOR DE MEDIA PRESION |
| P | LINEA DE PROCESO |
| VB | VAPOR DE BAJA PRESION |
| VM | VAPOR DE MEDIA PRESION |

SIMBOLOGÍA DE VÁLVULAS Y ACCESORIOS EN TUBERÍAS

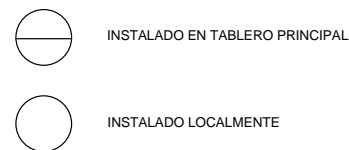


SIMBOLOGÍA DE INSTRUMENTOS



Identificación de instrumentos

| | |
|-----|--------------------------------------|
| FC | CONTROL DE FLUJO |
| FI | INDICADOR DE FLUJO |
| FR | REGISTRADOR DE FLUJO |
| FRC | REGISTRADOR CONTROLADOR DE FLUJO |
| HS | INTERRUPTOR MANUAL |
| LAH | ALARMA POR ALTO NIVEL |
| LAL | ALARMA POR BAJO NIVEL |
| LC | CONTROLADOR DE NIVEL |
| LG | VIDRIO DE NIVEL |
| LSH | INTERRUPTOR POR ALTO NIVEL |
| LSL | INTERRUPTOR POR BAJO NIVEL |
| PAH | ALARMA POR ALTA PRESION |
| PAL | ALARMA POR BAJA PRESION |
| PB | BOTON DE PARO |
| PCV | REGULADOR DE PRESION |
| PDI | INDICADOR DIFERENCIAL DE PRESION |
| PI | INDICADOR DE PRESION |
| PR | REGISTRADOR DE PRESION |
| PSH | INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN |
| PSL | INTERRUPTOR DE BAJA PRESION |
| TAH | ALERTA POR ALTA TEMPERATURA |
| TAL | ALERTA POR BAJA TEMPERATURA |
| TC | CONTROLADOR DE TEMPERATURA |
| TI | INDICADOR DE TEMPERATURA |
| TIC | INDICADOR CONTROLADOR DE TEMPERATURA |
| TM | TOMA DE MUESTRA |
| TR | REGISTRADOR DE TEMPERATURA |
| TSH | INTERRUPTOR POR ALTA TEMPERATURA |
| TSL | INTERRUPTOR POR BAJA TEMPERATURA |
| TW | TERMOPOZO |



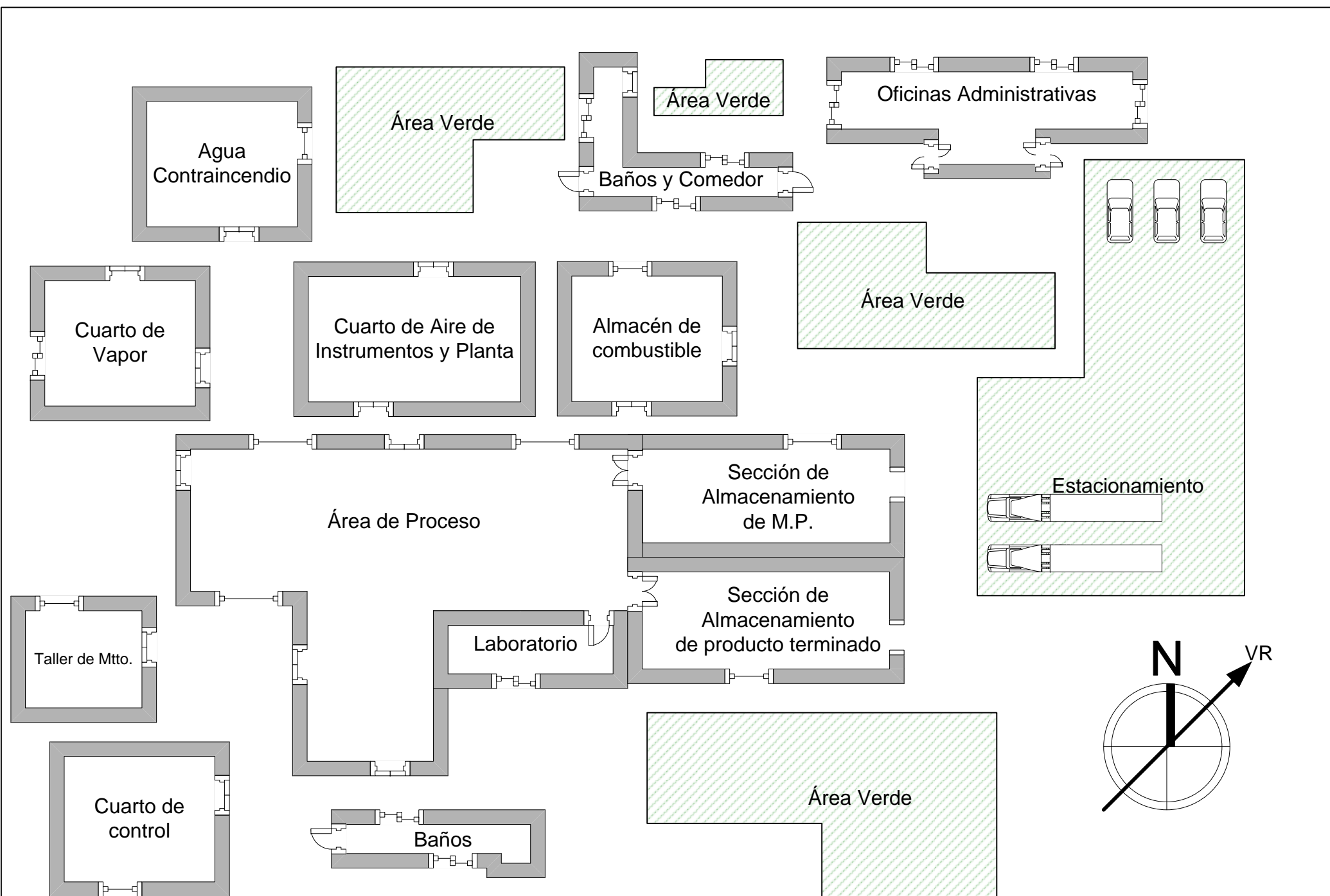
| FECHA | REV. | REALIZO | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|-----------|------|---------|--------|--------|--------|
| 03-jul-10 | 0 | NPB | NPB | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

SIMBOLOGÍA DE INSTRUMENTACIÓN

8.6. Plano de Localización General de Planta y Equipo



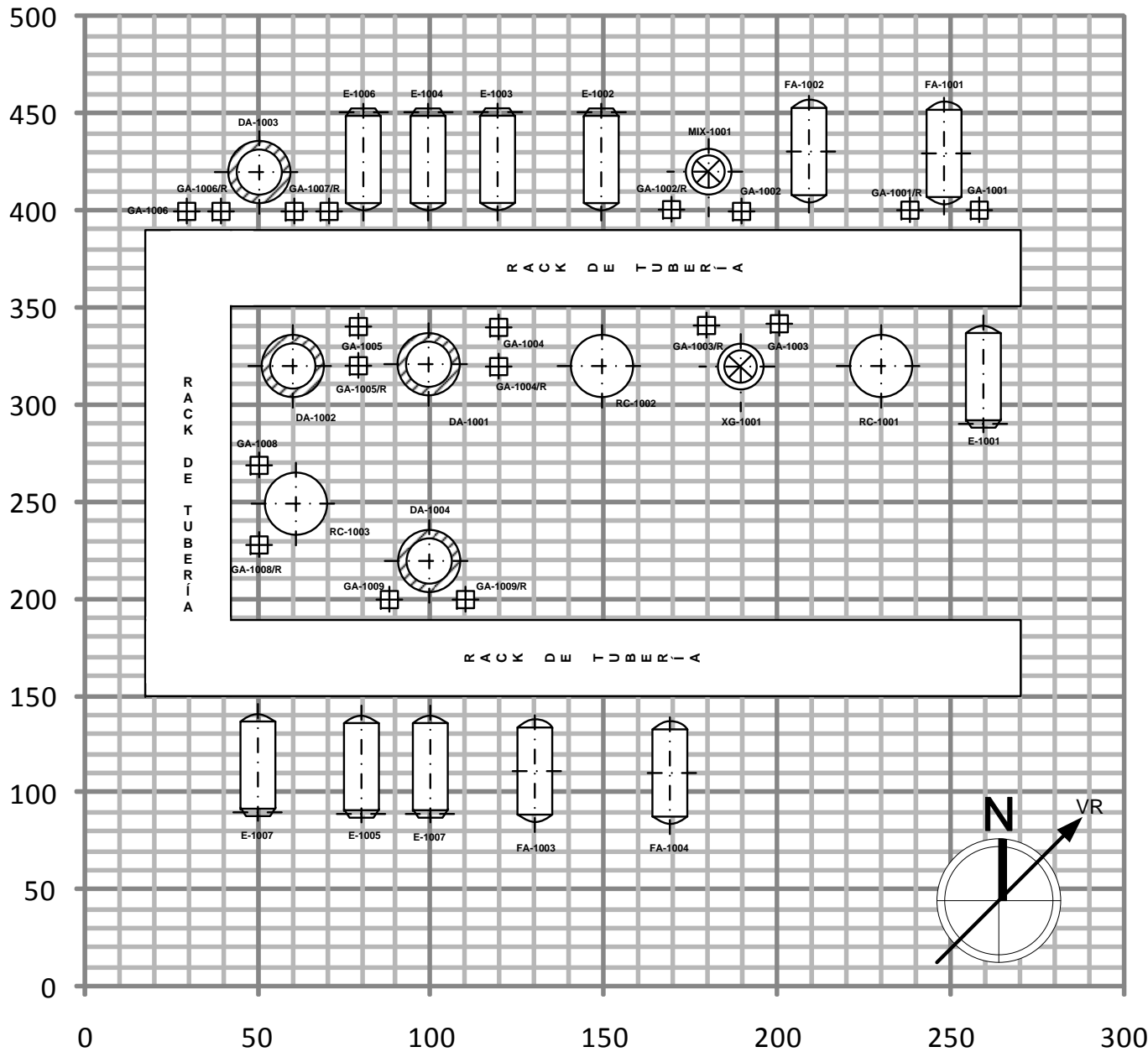
| FECHA | REV. | REALIZO | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|-----------|------|---------|--------|--------|--------|
| 04-jul-10 | 0 | NPB | NPB | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

PLANO DE DISTRIBUCIÓN GENERAL
"PLANTA DE BIODIESEL U-1000"

Diagrama No. PLG-DP-001 Rev. 0



- DA-1001 Torre recuperadora de metanol
- DA-1002 Torre lavadora
- DA-1004 Torre purificadora de glicerina
- DA-1003 Torre purificadora de biodiesel
- E-1001 Calentador de carga a RC-1001
- E-1002 Calentador de carga a RC-1002
- E-1003 Enfriador de metanol para recirculación
- E-1004 Enfriador de mezcla a DA-1002
- E-1005 Enfriador de carga a FA-1003
- E-1006 Enfriador de aceite a FA-1001
- E-1007 Calentador de carga a DA-1001
- E-1008 Enfriador de glicerina a FA-1004
- FA-1001 Tanque de almacenamiento de aceite usado
- FA-1002 Tanque de almacenamiento de metanol
- FA-1003 Tanque de almacenamiento biodiesel
- FA-1004 Tanque de almacenamiento glicerina
- GA-1001/R Bomba de carga a E-1001
- GA-1002/R Bomba de carga a E-1002
- GA-1003/R Bomba de carga a RC-1002
- GA-1004/R Bomba de recirculación de metanol
- GA-1005/R Bomba de carga a E-1004
- GA-1006/R Bomba de carga a E-1005
- GA-1007/R Bomba de carga a E-1006
- GA-1008/R Bomba de carga a E-1007
- GA-1009/R Bomba de carga a E-1008
- RC-1001 Reactor de neutralización de AGL
- RC-1002 Reactor de transesterificación
- RC-1003 Reactor neutralizador de NaOH

| FECHA | REV. | REALIZO | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|-----------|------|---------|--------|--------|--------|
| 04-jul-10 | 0 | NPB | NPB | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIAGRAMA DE LOCALIZACIÓN DE EQUIPO
"PLANTA DE BIODIESEL U-1000"

Capítulo 9. Estudio Financiero

Hacer una ingeniería conceptual de una planta consiste en investigar las tecnologías más adecuadas, diseñar los procesos y calcular los equipos y los balances de materiales. Una vez recompilada la información técnica, es importante hacer una estimación de la inversión y de los costos de operación de la planta. Esta evaluación económica es generalmente el punto que decide de la factibilidad del proyecto y por lo tanto su construcción.

Las siguientes secciones permitirán describir como se determinaron la inversión fija, los costos fijos y de operación de la planta diseñada anteriormente.

9.1. Estimación de costos fijos

Es de conocimiento general que los costos varían de acuerdo con los cambios en el volumen de producción. Los costos con respecto al volumen se clasifican como variables, fijos y mixtos.

Los costos fijos son aquellos cuyo monto total no se modifica de acuerdo con la actividad de producción. En otras palabras, se puede decir que los costos fijos varían con el tiempo más que con la actividad; es decir, se presentarán durante un periodo de tiempo aun cuando no haya alguna actividad de producción (Zapata Carlos, 2006).

Por definición, los costos fijos no cambian durante un periodo específico. Por lo tanto, a diferencia de los variables, no dependen de la cantidad de bienes o servicios producidos durante el mismo periodo, por ejemplo, los pagos de arrendamiento de las instalaciones, el costo de equipos y el salario del presidente de la compañía son costos fijos, cuando menos a lo largo de cierto periodo (Zapata Carlos, 2006).

9.1.1. Costo de equipos

Como paso previo y necesario para la evaluación financiera, se realizó el dimensionamiento de los equipos incluidos en el proceso.

En esta etapa se utilizaron algunas de las herramientas del simulador HYSYS, así como algoritmos de diseño para otros equipos tales como las torres, los reactores y tanques. Para los separadores sólido/líquido no se efectuó un procedimiento de dimensionamiento como tal, debido al desconocimiento de propiedades de los sólidos tales como el tamaño de partícula, que resultan indispensables para dicho fin. Ante tal situación, se decidió buscar diferentes tipos de separadores disponibles en el mercado entre los cuales las centrífugas de discos se muestran como una opción adecuada para cumplir los objetivos de separación (Zapata Carlos, 2006).

Las dimensiones de los equipos se puede observar en el Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) en la lista de equipo, donde se muestran las características principales de los equipos.

Tabla 29. Costo de equipo

| Cantidad | Equipo | Costo unitario | Costo total |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 2 | | \$73,229.94 | \$146,459.88 |
| 2 | Reactor de Neutralización | \$216,207.14 | \$432,414.28 |
| 1 | Reactor de transesterificación | \$269,699.14 | \$269,699.14 |
| 4 | Columna de destilación | \$221,871.74 | \$887,486.96 |
| 4 | Tanques de almacenamiento | \$116,264.00 | \$465,056.00 |
| 3 | Intercambiador de calor/calentador | \$56,592.08 | \$169,776.24 |
| 5 | Intercambiador de calor/enfriador | \$91,240.26 | \$456,201.30 |
| 18 | Bombas centrífugas | \$34,649.59 | \$623,692.62 |
| TOTAL | | | \$3,450,786.42 |

9.1.2. Costo de mano de obra

El personal requerido se clasifica, por su participación en la empresa, en tres categorías de acuerdo al trabajo a realizar (Decelis Contreras, 1998).

9.1.2.1. Mano de obra directa

Incluye solamente al personal que interviene de manera directa en el proceso de producción (Decelis Contreras, 1998).

Tabla 30. Costo de mano de obra directa

| Mano de obra directa | | | | |
|-----------------------------|---------------------------|---------------|-------------------------|---------------------|
| <i>Área</i> | <i>Personal requerido</i> | <i>Tiempo</i> | <i>Salarios mínimos</i> | <i>Costo</i> |
| Materia prima | 2 | 1 | 1.5 | \$88,086.18 |
| Producción | 4 | 1 | 3 | \$352,344.72 |
| Envasado | 2 | 1 | 1.5 | \$88,086.18 |
| TOTAL | | | | \$528,517.08 |

9.1.2.2. Mano de obra indirecta

Incluye a todo el personal que participa indirectamente en la producción, como por ejemplo: los supervisores, los laboratoristas, los de mantenimiento, analistas de reportes de control de calidad y en general, el personal de apoyo a la producción. No se incluyen bodegueros o vigilantes (Decelis Contreras, 1998).

Tabla 31. Costo de mano de obra indirecta

| Mano de obra indirecta | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|---------------|-------------------------|---------------------|
| <i>Área</i> | <i>Personal requerido</i> | <i>Tiempo</i> | <i>Salarios mínimos</i> | <i>Costo</i> |
| Mantenimiento | | 1 | 1.5 | \$88,086.18 |
| Control de calidad | 2 | 1 | 2 | \$117,448.24 |
| Limpieza | 1 | 1 | 1 | \$29,362.06 |
| TOTAL | | | | \$234,896.48 |

9.1.2.3. Personal administrativo y de ventas

Incluye gerentes, vendedores, contadores, secretarias, vigilantes, recepcionistas, bodegueros y despachadores de materiales. No forman parte del personal administrativo ni de ningún área los asesores externos, cualquiera que sea su trabajo, si no están en nómina (Decelis Contreras, 1998).

Tabla 32. Costo de personal administrativo

| Personal Administrativo | | | |
|--------------------------------|--------------------|------------------|---------------------|
| Área | Personal requerido | Salarios mínimos | Costo |
| Gerente | 1 | 7 | \$205,534.42 |
| Contador | 1 | 5 | \$146,810.30 |
| Vigilancia | 2 | 1 | \$58,724.12 |
| Ayudante Gral. | 2 | 1 | \$58,724.12 |
| Chofer | 3 | 1 | \$88,086.18 |
| TOTAL | | | \$557,879.14 |

Tabla 33. Costo de personal de ventas

| Personal de Ventas | | | |
|---------------------------|--------------------|------------------|---------------------|
| Área | Personal requerido | Salarios mínimos | Costo |
| Ventas | 3 | 5 | \$440,430.90 |
| Almacenista | 1 | 1.5 | \$44,043.09 |
| Ayudante de almacén | 1 | 1 | \$29,362.06 |
| TOTAL | | | \$513,836.05 |

9.2. Plan global de inversiones

Este plan comprende la inversión bruta que se requiere para la instalación y operación del proyecto a partir de cuatro rubros.

9.2.1. Inversión Fija

En este documento, se presentan los gastos correspondientes a estudios, investigaciones preliminares, adquisición de derechos de conocimientos técnicos y patentes, organización de la empresa, pago de permisos y licencias; compra de terreno y recursos naturales, gastos de construcción de obras físicas, edificios y servicios complementarios así como de infraestructura; compra de maquinarias, equipos y los gastos respectivos de transporte y montaje; costo de la puesta en marcha del proyecto e imprevistos. Usando los datos suministrados por el estudio técnico (incluyendo la Ingeniería Básica) se estima el valor de cada uno de los elementos del capital fijo (ver tabla 7.5). (Decelis Contreras, 1998).

Notas a la inversión fija:

- Terreno: A partir del estudio de mercado se busco las ofertas de terrenos en la zona seleccionada, obteniéndose un terreno con la superficie de 1500 m² a un costo de \$2,500.00 por metro cuadrado.
- Edificios y construcciones: Se estima que aproximadamente se requieren mínimo 750 m² de superficie construida para naves industriales.
- Maquinaria y equipo industrial: El costo de estos se muestra en la tabla 29.
- Costo de instalación: Es el 15 % del costo total del equipo.
- Instrumentación y control. Se considera un 7% del costo total del equipo.
- Instalación de tubería. Se considera un 8% del costo total del equipo.
- Instalación eléctrica. Se considera un 5% del costo total del equipo.

- Equipo rodante: Estimado en \$400,000.00
- Inmobiliario y equipo de oficina: Estimado en \$100,000.00
- Ingeniería de detalle y tecnología: Son una cantidad aproximada al 3 % del costo total del equipo. (Max S. Peters, 1991).

9.2.2. Costo de organización

Reportado como gastos pre operativos abarcando el costo del estudio de factibilidad y la constitución de la empresa. Estos gastos aparecen en el balance en el renglón del activo diferido (Decelis Contreras, 1998).

Normalmente se deprecia 33 % al año o en algunos casos se envía directamente a los gastos del primer año de operación.

9.2.3. Capital de trabajo

Incluye el capital necesario para la compra de materia prima y el costo del producto terminado en el almacén para iniciar su venta.

El capital se estima en meses o semanas de operación. Si la materia prima es importada, el número de semanas en el almacén será más grande que si es nacional. Forma parte del 2 % del impuesto al activo. No tiene depreciación (Decelis Contreras, 1998).

9.2.4. Imprevistos

Al realizar el plan global de inversiones no se conoce bien una serie de gastos, como pueden ser la contratación de servicios (teléfonos, energía, agua, etc.) y el costo del arranque o la curva de aprendizaje. El monto se estima en un 10 % de A y C. Lo gastado aparecerá en el balance de gastos pre operativos y en el flujo de caja de la construcción (Decelis Contreras, 1998).

El plan global de inversiones se muestra a continuación (tabla 34) con los diferentes rubros que indican el valor absoluto y su porcentaje para ver rápidamente su peso específico dentro de la inversión total.

Tabla 34. Plan Global de Inversión

| Plan Global de inversión | Costo (miles de pesos) | % Total de inversión |
|---|---------------------------|-------------------------|
| A) Inversión fija. (activo fijo) | | |
| Terreno | | 23.67 |
| Edificios y construcciones | \$ 2,200.00 | 13.89 |
| Arreglo de terreno | \$ 75.00 | 0.47 |
| Maquinaria y equipo Industrial | \$ 3,450.79 | 21.78 |
| Instalación de maquinaria | \$ 562.50 | 3.55 |
| Instrumentación y control | \$ 241.56 | 1.52 |
| Tubería | \$ 276.06 | 1.74 |
| Eléctrico | \$ 172.54 | 1.09 |
| Equipo rodante | \$ 400.00 | 2.52 |
| Mobiliario de oficina | \$ 100.00 | 0.63 |
| Ingeniería de detalle | \$ 103.52 | 0.65 |
| Tecnología | \$ 690.16 | 4.36 |
| TOTAL | \$ 12,022.12 | 75.88 |
| B) Costo Organizacional | | |
| Estudio de factibilidad | \$ 360.66 | 2.28 |
| Constitución de la empresa | \$ 240.44 | 1.52 |
| TOTAL | \$ 601.11 | 3.79 |
| C) Capital de trabajo | | |
| TOTAL | \$1,835.13 | 11.58 |
| D) Imprevistos | | |
| TOTAL | \$ 1,385.73 | 8.75 |
| TOTAL DE INVERSIÓN | \$ 15,844.08 | 100.00 |

Los datos numéricos de este plan global de inversiones son estimados por lo que es posible que no se acerquen a la realidad.

9.3. Costo de producción

En este documento se muestran dos aspectos importantes:

- a) La proyección de los ingresos. Se muestran los ingresos de operación totales anuales, es decir, por concepto de venta de los productos
- b) Los gastos de producción. Los cuales comprenden los gastos de inversión (pago de préstamo e intereses) y los gastos de operación, inherentes al funcionamiento de la planta de acuerdo con los datos del estudio de mercado que permiten prever la utilización de la capacidad instalada en los años sucesivos y presentados como cantidades anuales.

9.4. Flujo de efectivo de operación

Constituye un calendario de inversiones y gastos para los sucesivos períodos de vida útil del proyecto de los cuales los gastos de operación y otros se comporten de modo aproximadamente constante.

En el anexo B en las tablas I a V se muestran el flujo de producción de los primeros 5 años de producción.

Notas al flujo de efectivo:

- Los datos se toman del costo de producción y se dividen en doce meses ya que el costo es anual. Para efectos del flujo se considera que el primer mes de ventas en el primer año no se cobra, no porque se dé crédito, sino debido a trámites administrativos de las empresas vendedoras y compradoras.

Tabla 35. Costo de producción

| | Costo de producción | Monto (miles de \$) | % |
|-----------|--|---------------------|--------|
| A) | Ingresos Totales | | |
| | Ventas brutas | \$ 17,241.38 | 100% |
| B) | Costo de lo producido y vendido | \$ - | |
| | <i>Inventario inicial</i> | \$ - | |
| 1 | Materias primas | \$ 152.60 | 0.89% |
| 2 | Empaques y envases | \$ 89.04 | 0.52% |
| 3 | Productos en proceso | \$ - | -- |
| 4 | Producto terminado | \$ 241.64 | 1.40% |
| 5 | Suma inventario inicial | \$ 483.28 | 2.80% |
| 6 | Compra de materias primas y materiales | \$ 1,983.80 | 11.51% |
| 7 | Suma de 5+6: Inventario final | \$ 2,467.08 | 14.31% |
| 8 | Materias primas | \$ - | -- |
| 9 | Empaque y envases | \$ - | -- |
| 10 | Productos en proceso | \$ - | -- |
| 11 | Productos terminados | \$ - | -- |
| 12 | Suma inventario final (8-11). Bienes disponibles | \$ - | -- |
| | (7-12) valor de B | \$ - | -- |
| C) | Gastos de producción | \$ - | -- |
| 13 | Mano de obra directa + prestaciones | \$ 528.52 | 3.07% |
| 14 | Mano de obra indirecta + prestaciones | \$ 234.90 | 1.36% |
| 15 | Depreciación del capital fijo de la planta | \$ 52.10 | 0.30% |
| 16 | Reparación y mantenimiento | \$ 2,404.42 | 13.95% |
| 17 | Energía eléctrica y térmica | \$ 172.54 | 1.00% |
| 18 | Seguro de planta | \$ 52.10 | 0.30% |
| 19 | Repuestos y accesorios | \$ 601.11 | 3.49% |
| 20 | Alquiler | \$ - | -- |
| 21 | Otros | \$ - | -- |
| 22 | Suma gastos de producción (valor de C) | \$ 4,045.68 | 23.46% |
| 23 | Utilidad bruta en venta A - (B + C) | \$ 10,728.62 | 62.23% |
| D) | Gastos de administración | \$ - | -- |
| 24 | Sueldos más prestaciones | \$ 557.88 | 3.24% |

| | | | | |
|-----------|---|----|-----------------|---------------|
| 25 | Gastos de oficina estimada y otro | \$ | 55.00 | 0.32% |
| 26 | Total (valor D) | \$ | 612.88 | 3.55% |
| E) | Gastos de ventas y distribución | \$ | - | -- |
| 27 | Sueldo + prestaciones | \$ | 513.84 | 2.98% |
| 28 | Comisiones | \$ | - | -- |
| 29 | Gastos de prestación | \$ | 20.00 | 0.12% |
| 30 | Publicidad | \$ | 10.00 | 0.06% |
| 31 | Valor total de E | \$ | 543.84 | 3.15% |
| F) | Gastos financieros (valor de F) | \$ | 2,500.00 | 14.50% |
| G) | Utilidad de operación (valor de G) | \$ | 7,071.90 | 41.02% |
| H) | Impuestos | \$ | 2,545.88 | 14.77% |
| I) | Utilidad | \$ | 4,526.02 | 26.25% |

- Los gastos de producción se incluyen todos menos la depreciación ya que no afecta el flujo, pues es un “costo” que permite recuperar dinero para la reposición del equipo, cuando éste haya terminado su vida útil, por ello las diferentes depreciaciones de los distintos equipos.
- Se incluyen en los egresos todos los gastos de administración y ventas, así como el costo de los intereses del préstamo que se pidió al inicio del arranque de la planta con el objetivo de completar el capital de trabajo.

9.5. Balances

Contiene los rubros que constituyen, por un lado, los activos de la empresa, es decir, las propiedades y derechos que se adquieren y por otro, los pasivos u obligaciones financieras que contraen a través de préstamos.

Normalmente el balance tiene del lado del activo tres partes:

- I. Activo circulante: Se define circulante porque circula, se mueve, cambia en pocos días y le da liquidez a la empresa.
- II. Activo fijo: Se refiere al activo propiedad de la empresa que no tiene una reverencia inmediata y que para su liquidación o venta se requiere de tiempo.
- III. Activo diferido: Se refiere a un activo tangible, como lo es un equipo o un mueble. Representa los gastos efectuados por la empresa para su concreción.

Y del lado del pasivo, también tres:

- I. Pasivo circulante:
- II. Capital social
- III. Utilidad o pérdida

En el anexo B tablas VI a X se muestran los balances de los primeros 5 años de operación.

9.6. Punto de Equilibrio

El punto de equilibrio es en el cual la empresa no pierde ni gana dinero, es decir, cuando todos los gastos de lo vendido son iguales a su costo.

Para obtener gráficamente el punto de equilibrio se separan los gastos fijos (GF) de los gastos variables (GV). Los primeros se definen como los gastos que una empresa efectúa aunque no exista producción, ya sea porque no hay ventas o por causas de fuerza mayor (terremoto, huelga, falta de energía, entre otras); para determinarlo se utiliza la

gráfica de ejes cartesianos, empleando valores contra volumen o cantidad producida en un año (ver gráfica 5).

Gráfica 5. Punto de equilibrio



Este punto de equilibrio se puede obtener matemáticamente. Se trata de dos líneas rectas:

Línea de ventas:

$$y_1 = m_1x + b_1$$

donde $b_1 = 0$ pues a $t = 0$ no hay ventas

$$y_1 m_1 = \frac{\text{Venta total anual}}{12 \text{ meses}}$$

Línea de gastos:

$$y_2 = m_2 x + b_2$$

donde b_2 = gastos fijos al año

$$y_2 m_2 = \frac{\text{Gastos variables anuales}}{12 \text{ meses}}$$

y el cruce de ventas con gastos se tiene que

$$y_1 = y_2$$

$$x_1 = x_2$$

Así:

$$m_1 x_1 + b_1 = m_2 x_2 + b_2$$

$$m_1 x_1 - m_2 x_2 = b_2 - b_1$$

$$x(m_1 - m_2) = b_2 - b_1$$

$$x = \frac{b_2 - b_1}{m_1 - m_2}$$

Por lo tanto sustituyendo los valores de m_1 que son las ventas totales/12 meses (miles\$ 1436.78); m_2 que son los gastos variables/12 meses (miles\$ 272.56), b_2 que son los gastos fijos anuales (miles \$ 5,130.60) se obtiene el punto de equilibrio: 1164.22

$$x = \frac{\$5,130.60 - 0}{\$1,436.78 - \$272.56} = 4.4 \text{ meses}$$

9.7. Recapitulación

La estimación de la inversión fija necesaria para el arranque del proyecto está dada por los factores expuestos anteriormente, el costo de la mano de obra se baso en el costo del salario mínimo establecido por el SAT para la zona en donde se localiza la planta.

Como podemos ver la inversión es de aproximadamente \$ 1, 963,319.51 esto debido a que el método de estimación es el de porcentajes, en donde de acuerdo al precio del terreno se le brinda un porcentaje a cada actividad, por lo que este estimado puede variar, ya que no estamos considerando la adquisición de la materia prima, sino simplemente la construcción de la planta.

A pesar de lo expuesto anteriormente, para estar convencidos de que la realización del proyecto es factible, es necesario llevar una evaluación financiera además de una evaluación social para saber cuáles son los beneficios sociales e individuales, en el capítulo IX se expone este tema con mayor claridad.

Capítulo 10. Organización y administración del proyecto

La organización administrativa deberá contemplar el esquema general y específico para operar normalmente la empresa. Se consideran los niveles jerárquicos, número de persona, montos, salarios y prestaciones que se requieran para satisfacer las características de cada uno de los niveles de responsabilidad. Se deben de asumir funciones y responsabilidades de los puestos estratégicos de la organización. Esta organización no se desglosara en este trabajo, no obstante esto no quiere decir que sea menos importante, sino simplemente no se considera imprescindible para el desarrollo del proyecto en esta fase.

En este capítulo se trata de exponer el alcance a largo plazo que tendría el proyecto, siendo este diferente al alcance y objetivos expuestos en el capítulo III.

En cuanto al alcance que se pretende alcanzar a futuro, está la consumación de una planta productora de biodiesel a partir de aceite de cocina usado, siendo el objetivo principal la instalación y arranque de esta para la producción de biodiesel.

Para mostrar la forma en que se pretende llevar a cabo las actividades que constituyen la realización del proyecto final, se requieren de ciertas herramientas para llevar el control y seguimiento en las que se desglosen todas las acciones a cubrir. Para esto nos serviremos de la utilización del diagrama de Gantt y el WBS del proyecto.

10.1. Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt es una herramienta que permite modelar la planificación de las tareas necesarias para la realización del proyecto además de conocer el tiempo aproximado que requiere cada una de las actividades. En el diagrama 16 se muestra el diagrama de Gantt que desglosa todas las actividades necesarias para la realización del proyecto

Diagrama 16. Diagrama de Gantt

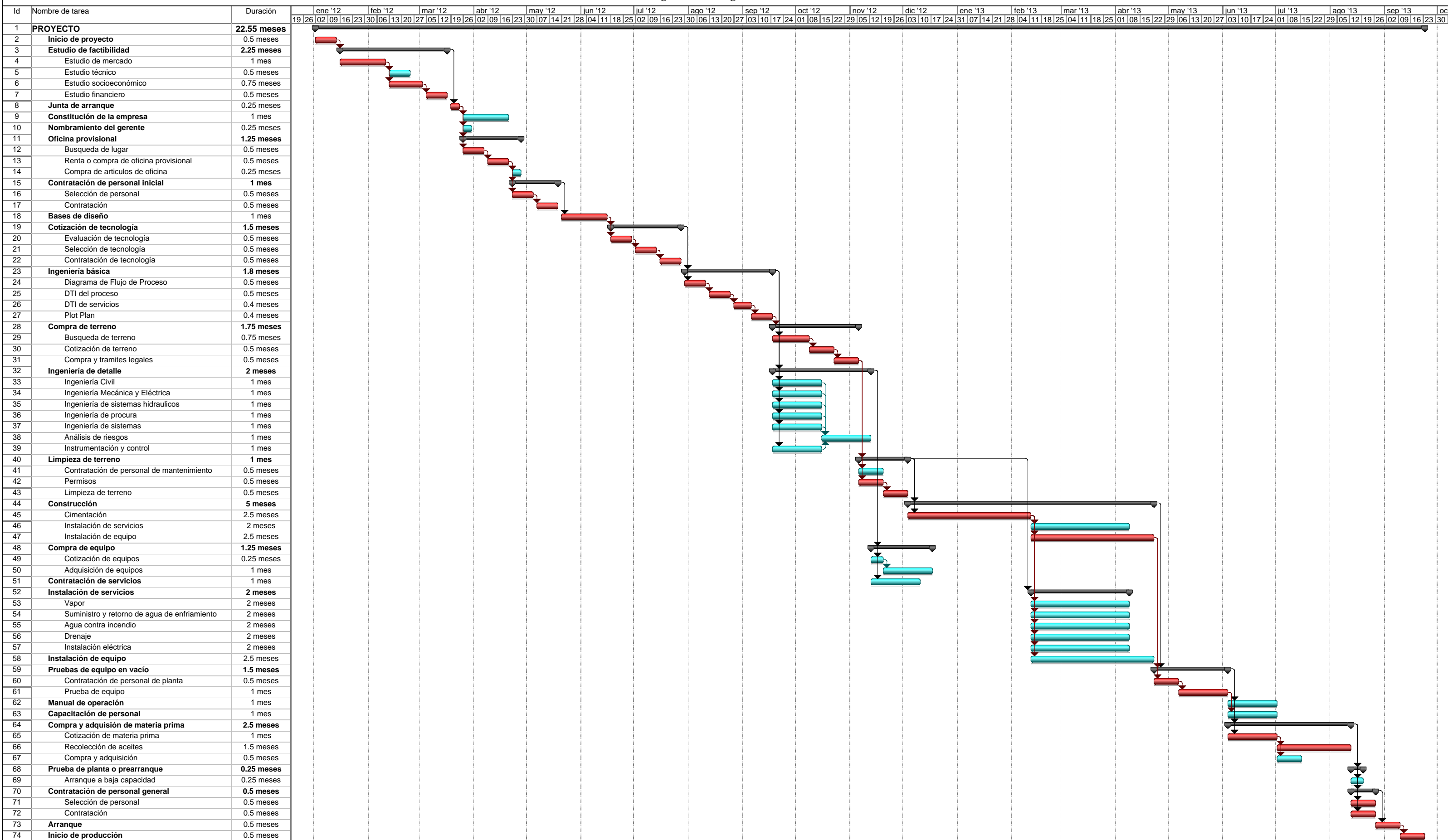
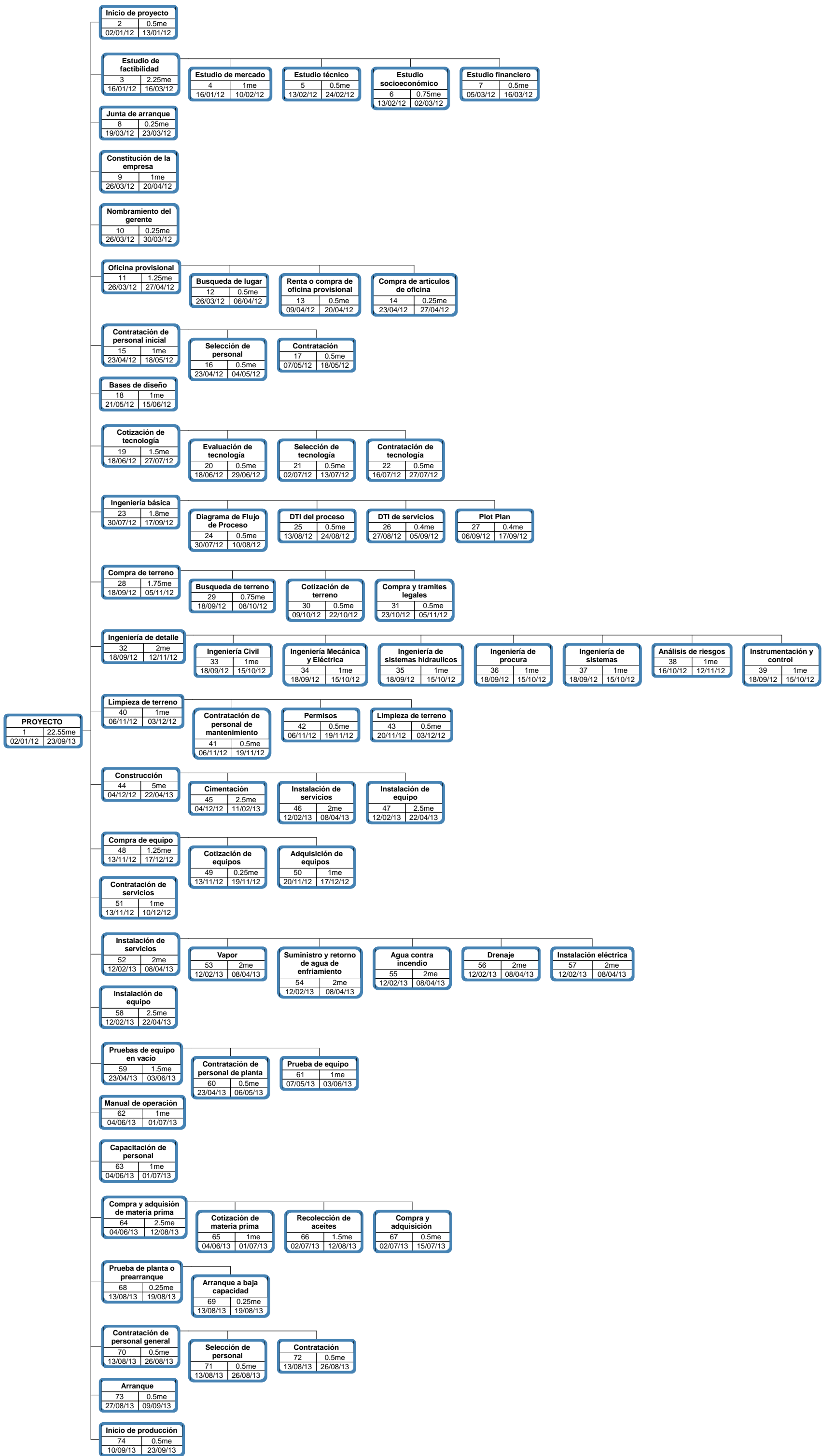


Diagrama 17. Estructura de trabajo (WBS)



Fields

| | |
|-------|----------|
| Name | |
| ID | Duration |
| Start | Finish |

No Flag Task No Flag Summary

considerándolo como cierre del mismo el inicio de la producción de la planta; así mismo en este diagrama se puede observar la ruta crítica del proyecto, la cual nos permitirá saber cuáles son las actividades que tiene flexibilidad y cuáles son las que no se deben retrasar ya que de lo contrario se atrasaría el proyecto.

10.2. WBS

La WBS o Estructura desglosada del Trabajo, es una técnica de planeación mediante la cual se define y cuantifica el trabajo a realizar en todo el proyecto. Es un proceso de pensamiento mediante el cual se pretende organizar el proyecto, es similar al organigrama tradicional de una empresa.

En el diagrama 17 se puede observar el WBS del proyecto, en el que se muestra la estructura de las actividades a realizar en cada uno de los puntos tocados en el diagrama de Gantt.

10.3. Recapitulación

Como se puede observar en el diagrama 16, el tiempo requerido para la culminación del proyecto es de 23 meses aproximadamente, tomados en cuenta hasta el arranque y producción de la planta, sin embargo, este tiempo fue estimado suponiendo las fechas de entrega y construcción. Cabe mencionar que en este capítulo se está considerando el proyecto a futuro, es decir, que se deja abierto el tema para ser llevado a cabo a largo plazo.

Capítulo 11. Conclusiones

El biodiesel es un combustible cuyo consumo está en fuerte aumento al nivel mundial por sus aportes ambientales y la necesidad de diversificar las fuentes de energía. Sus aportes, en términos económicos, todavía se están estudiando al nivel global para ver cuáles son los sectores que pueden ganar con la introducción de cada vez más biocombustibles en los combustibles fósiles.

La producción de biodiesel a partir de aceites comestibles residuales representa una oportunidad para revalorizar los desechos y disminuir la contaminación del sistema de drenaje de la ciudad, al evitar en la medida de lo posible la inadecuada disposición final que se le da a las cantidades de aceites que se generan en los restaurantes.

El uso del biodiesel en un motor diesel, implica que éste debe mezclarse con petróleo diesel en un volumen no mayor a un 15 %, para evitar realizar modificaciones mayores en el motor, aun así, con contenidos superiores a 5 % de biocombustible, se debe tener la precaución de remplazar los elementos que tengan goma y estén en contacto con el biodiesel, como los conductos de combustible, y revisar continuamente los filtros de petróleo, ya que el biodiesel tiene un efecto de limpieza que puede provocar que se desprendan depósitos o incrustaciones antiguas en el sistema de combustible, los cuales podrían taponar los filtros.

También se debe tener en cuenta que el biodiesel presenta una duración de aproximadamente 6 meses y debe ser guardado en recipientes resistentes.

Por otro lado durante el desarrollo de esta tesis, pudieron verificarse diversos puntos y expectativas mencionados al principio, los cuales se concluyen a continuación:

- i. Es posible resolver el problema de consumo de combustibles fósiles en la ciudad de México con la puesta en marcha de un proceso como el propuesto en este documento.
- ii. De los resultados de la fase de investigación, se selecciono el proceso de producción de biodiesel a partir de catálisis básica, como el más funcional para desarrollarse a nivel industrial.
- iii. El proceso de transesterificación con catalizador básico se elige por su alto rendimiento de conversión, su consumo de energía y su sencillez de aplicación. Este tipo de reacción tiene amplio uso a nivel mundial y permite encontrar información al respecto; su desventaja consiste en la producción de sub-productos que se deben tratar y que generan un costo adicional, tanto a la planta como al gasto funcional, que sin embargo, son sub-productos que tienen un mercado potencial siempre y cuando reciban el tratamiento adecuado.
- iv. El proceso propuesto tiene modificación para llevarse a nivel industrial y bajo una operación continua; sin embargo, también se puede efectuar en operación batch. El diseño recomendado corresponde al proceso clásico de transesterificación con tres partes esenciales que son la refinación del aceite, la transesterificación y lavado del biodiesel y el tratamiento de la glicerina y metanol. La capacidad de la planta se fijo de 100,000 toneladas al año, por lo que la ingeniería básica está basada en esta capacidad.
- v. Para la selección del proceso I, influyeron de manera considerable los siguientes factores:
 - a. Las técnicas empleadas en el proceso son las más eficientes ya que el porcentaje de conversión es elevado así como la calidad de los productos, por lo que no se requieren tratamientos costos y/o complicados para la purificación de estos.

- b. No se requiere de un desarrollo industrial muy grande y la mayoría de los equipos implicados se pueden fabricar, comprar y conseguir en el país, abaratándose así los costos y tiempos de entrega de los mismos.
 - c. La flexibilidad del proceso permite que la planta opere y se le efectúe mantenimiento con un mínimo de problemas, lo cual incrementa la eficiencia de la misma.
- vi. La opción de localización de la planta es ventajosa debido al servicio que presta la unidad y sobre todo por funcionar para ciudad tan grande y que genera una cantidad de aceite vegetal como desecho muy grande debido a las cadenas de restaurantes de comida rápida así como restaurantes particulares.
- vii. Del estudio de mercado, se comprobó que el consumo de combustibles fósiles por parte del transporte público tiene una tendencia de mayor demanda. Por otro lado, el proceso propuesto permitirá la disminución en el consumo de estos combustibles y en consecuencia la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, sin la intromisión en el consumo de alimentos básicos para la sociedad, recuperando aceite vegetal usado traduciendo esto en una ganancia monetaria y en la preservación de recursos.

Finalmente se llega al diseño de una planta de biodiesel (U-1000) con capacidad de operación de 100,000 toneladas al año, ubicada en la localidad de Cuautitlán Izcalli y empleando aceite de cocina usado como materia prima (obtenido de las localidades cercanas a la planta como lo son restaurantes, industrias, etc.), con una inversión estimada de \$15, 844,084.00 aproximadamente.

El tiempo estimado para la culminación del proyecto, tomando en cuenta como el fin de éste el inicio de producción, es de 23 meses aproximadamente, esto debido a que el

proceso no es muy complicado y los tiempos de entrega e instalación se están considerando cortos.

Dado el servicio que se pretende dar con la operación de una planta como la propuesta en esta tesis a nivel Nacional, se puede decir que el funcionamiento de sistemas de este tipo en las ciudades de la República Mexicana sería de gran beneficio ya que elevaría la calidad ambiental de la zona así como la disminución de contaminación acuífera al crear una conciencia de recolección y reciclaje del aceite vegetal utilizado.

Anexo A. Memoria de cálculo

- Diseño de tanques

Para hacer el diseño de un tanque horizontal para almacenamiento de un líquido se requieren los siguientes datos:

1. Flujo volumétrico del líquido Q_L [ft³/hrs]
2. Flujo volumétrico del vapor¹ Q_V [ft³/hrs]
3. Densidad del líquido [lb/ft³]
4. Densidad del vapor [lb/ft³]
5. Presión de operación [lb/in² man]

De igual manera se sugieren tiempos de residencia para el líquido.

| Tiempos de residencia para líquidos. | | |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Servicio | Tiempo Hol dup. (NLL-HLL). | Tiempo Surge. (NLL-LLL). |
| a) Unidad de alimentación a batería. | 10 | 5 |
| b) Separador. | | |
| Alimentador a columna. | 5 | 3 |
| Alimentador de tanque a tanque en sistema de alimentación a separador. | | |
| 1. Para bomba o intercambiador. | 5 | 2 |
| 2. Fuera de bombeo. | 2 | 1 |
| Alimentador a fuego directo | 10 | 3 |
| c) Reflujo o acumulador. | | |
| 1. Reflujo único | 3 | 2 |
| 2. Reflujo producto/reactivo | 3 | 2 |

¹ El tanque horizontal se llena a un 80-90% de su capacidad por lo que el flujo volumétrico del vapor del líquido es del 10-20% del flujo volumétrico del líquido.

| | | |
|--|-----|-----|
| d) Columnas | | |
| Alimentador a columna. | 5 | 2 |
| Alimentador de tanque a tanque en sistema de alimentación a columna. | | |
| 1. Para bomba o intercambiador. | 5 | 2 |
| 2. Fuera de bombeo | 2 | 1 |
| Alimentador a boiler. | 5-8 | 2-4 |
| e) Succión de compresor | 3 | 3 |

Como criterio se calculan los flujos con un sobre diseño del 10 %.

Se calcula la velocidad total del fluido U_T de acuerdo a la siguiente expresión:

$$U_T = k \left(\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde k se obtiene de acuerdo a la presión y a partir del siguiente criterio:

| Factor K Con Demister. P (PSIA) | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| $0 < P \leq 15$ | $K = 0.1821 + 0.0029P + 0.046LnP$ |
| $15 < P \leq 40$ | $K = 0.35$ |
| $40 < P \leq 5,500$ | $K = 0.43 - 0.023LnP$ |
| Criterio GPSA P (PSIG) sin Demister. | |
| $0 < P \leq 1,500$ | $K = 0.35 - 0.0001(P - 100)$ |

Una vez calculada la velocidad del fluido, se procede a calcular los volúmenes de Holdup y Surge (V_H y V_S) de acuerdo a:

$$V_H = \text{volumen Holdup} = T_H \cdot Q_L$$

$$V_S = \text{volumen Surge} = T_S \cdot Q_L$$

El diámetro del recipiente se obtiene a través de la ecuación:

$$D = \left(\frac{4(VH + VS)}{\pi(0.6)(L/D)} \right)^{1/3}$$

Donde el L/D se supone de acuerdo a la presión como se muestra en la siguiente tabla:

| Relación de diámetros (L/D) | |
|---------------------------------|-------|
| Presión de operación. (PSIA) | L/D |
| 0 < P ≤ 250 | 1.5-3 |
| 250 < P ≤ 500 | 3-4 |
| 500 < P | 4-6 |

Una vez obtenido el diámetro se procede a obtener el área total.

$$A_T = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)$$

Posteriormente se procede a calcular el área del nivel mínimo A_{LLL}

$$x = \frac{H_{LLL}}{D}$$

Donde H_{LLL} tiene un valor de 0.5 ft, por criterio. De tal modo que obteniendo el valor de x , se puede obtener el valor de y a partir de la tabla XVI que se muestra en el anexo B. Con el valor de y se obtiene el valor A_{LLL} .

$$y = \frac{A_{LLL}}{A_T}$$

De igual manera se calcula el área de vapor en el tanque, considerando por criterio un H_V distinto dependiendo del diseño del tanque.

$$H_V = 1 \text{ ft sin demister o bien } H_V = 2 \text{ ft con demister}$$

Con el valor de H_V se obtiene:

$$x = \frac{H_V}{D}$$

Donde posteriormente se puede obtener y a partir de la tabla XVI del anexo B. Para obtener así A_V de acuerdo con:

$$y = \frac{A_V}{A_T}$$

Finalmente se calcula la longitud del recipiente.

$$L_T = \frac{V_H + V_S}{A_T - A_V - A_{LLL}}$$

Con la longitud y el diámetro se procede a verificar la relación de L/D , si cumple con el supuesto se dejan las dimensiones obtenidas, de lo contrario se reajustan considerando esta relación.

Para calcular los niveles del tanque se utilizan las siguientes relaciones:

$$N_{max} = D - H_V$$

$$N_{min} = 152 \text{ mm } \dots \dots \text{ por criterio}$$

$$ABN = (N_{max} - N_{min})0.25 + N_{min}$$

$$AAN = (N_{max} - N_{min})0.8 + N_{min}$$

$$NN = (N_{max} - N_{min})0.6 + N_{min}$$

Tiempo de vapor llenado.

$$\phi = \frac{H_v}{u_v} = \text{seg}$$

Calculo de la velocidad del vapor.

$$u_{va} = \frac{Q_v}{A_v} = \frac{ft}{seg}$$

Calculo de longitud mínima para separa liquido - vapor.

$$L_{min} = \phi * u_{va} = ft$$

- Costos de mano de obra

Los costos de mano de obra esta basados en las siguientes relaciones

a) *M.O.D (Mano de obra directa)*

#Personas × Tiempo × Salarios mínimos a pagar × 365 días × Prestaciones

b) *M.O.I (Mano de obra indirecta)*

#Personas × Tiempo × Salarios mínimos a pagar × 365 días × Prestaciones

c) *Personal administrativo*

#Personas × Salarios mínimos a pagar × 365 días × Prestaciones

d) *Personal de ventas*

#Personas × Salarios mínimos a pagar × 365 días × Prestaciones

ANEXO B. Tablas



Balance del 1er año

| I Activo Circulante | | |
|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| 1 | Bancos | \$ 5,635.12 |
| 2 | Cuentas x cobrar | \$ 1,436.78 |
| 3 | Doc. x cobrar | \$ - |
| 4 | Inventario | \$ 205.59 |
| TOTAL | | \$ 7,277.49 |
| II Activo Fijo | | |
| 1 | Terreno | \$ 3,750.00 |
| 2 | Edificios y contrucciones | \$ 2,090.00 |
| 3 | Maquinaria y equip. Indus. | \$ 3,105.71 |
| 4 | Instalacion de maquinaria | \$ 506.25 |
| 5 | Equipo rodante | \$ 320.00 |
| 6 | Mob. De oficina y lab. | \$ 67.00 |
| 7 | Ing de detalle | \$ 93.17 |
| 8 | Tecnología | \$ 655.65 |
| TOTAL | | \$ 10,587.78 |
| III Activo Diferido | | |
| 1 | Estudio de Factibilidad | \$ 240.45 |
| 2 | Const de la empresa | \$ 160.30 |
| TOTAL | | \$ 400.76 |
| TOTAL | | \$ 18,266.03 |

| I Pasivo Circulante | | |
|----------------------------|------------------|---------------------|
| 1 | Cuentas x cobrar | \$ 205.59 |
| 2 | Doc. x cobrar | \$ 208.33 |
| 3 | Impuestos | \$ 4,080.98 |
| TOTAL | | \$ 4,494.91 |
| II Capital Social | | \$ 12,022.12 |
| III Utilidad | | \$ 1,748.99 |
| G | | -\$ 5,829.98 |
| TOTAL | | \$ 18,266.03 |

Balance del 2do año

| I Activo Circulante | | |
|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| 1 | Bancos | -\$ 1,090.07 |
| 2 | Cuentas x cobrar | \$ 436.78 |
| 3 | Doc. x cobrar | \$ - |
| 4 | Inventario | \$ 205.59 |
| TOTAL | | \$ 552.30 |
| II Activo Fijo | | |
| 1 | Terreno | \$ 3,750.00 |
| 2 | Edificios y contrucciones | \$ 1,980.00 |
| 3 | Maquinaria y equip. Indus. | \$ 2,760.63 |
| 4 | Instalacion de maquinaria | \$ 450.00 |
| 5 | Equipo rodante | \$ 240.00 |
| 6 | Mob. De oficina y lab. | \$ 34.00 |
| 7 | Ing de detalle | \$ 82.82 |
| 8 | Tecnología | \$ 621.14 |
| TOTAL | | \$ 9,918.59 |
| III Activo Diferido | | |
| 1 | Estudio de Factibilidad | \$ 119.02 |
| 2 | Const de la empresa | \$ 79.35 |
| TOTAL | | \$ 198.37 |
| TOTAL | | \$ 10,669.26 |

| I Pasivo Circulante | | |
|----------------------------|------------------|---------------------|
| 1 | Cuentas x cobrar | \$ 205.59 |
| 2 | Doc. x cobrar | \$ 208.33 |
| 3 | Impuestos | -\$ 1,236.75 |
| TOTAL | | -\$ 822.83 |
| II Capital Social | | \$ 12,022.12 |
| III Utilidad | | -\$ 530.04 |
| G | | \$ 1,766.79 |
| TOTAL | | \$ 10,669.26 |

ANEXO B. Tablas



Balance del 3er año

| I Activo Circulante | | |
|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| 1 | Bancos | \$ 3,980.27 |
| 2 | Cuentas x cobrar | \$ 1,436.78 |
| 3 | Doc. x cobrar | \$ - |
| 4 | Inventario | \$ 205.59 |
| TOTAL | | \$ 5,622.40 |
| II Activo Fijo | | |
| 1 | Terreno | \$ 3,750.00 |
| 2 | Edificios y contrucciones | \$ 1,870.00 |
| 3 | Maquinaria y equip. Indus. | \$ 2,415.50 |
| 4 | Instalacion de maquinaria | \$ 393.75 |
| 5 | Equipo rodante | \$ 160.00 |
| 6 | Mob. De oficina y lab. | \$ 1.00 |
| 7 | Ing de detalle | \$ 72.43 |
| 8 | Tecnología | \$ 586.63 |
| TOTAL | | \$ 9,249.40 |
| III Activo Diferido | | |
| 1 | Estudio de Factibilidad | \$ - |
| 2 | Const de la empresa | \$ - |
| TOTAL | | \$ - |
| TOTAL | | \$ 14,872.04 |

| I Pasivo Circulante | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Cuentas x cobrar \$ 205.59 |
| 2 | Doc. x cobrar \$ 208.33 |
| 3 | Impuestos \$ 1,705.19 |
| TOTAL \$ 2,119.12 | |
| II Capital Social \$ 12,022.12 | |
| III Utilidad \$ 730.80 | |
| G -\$ 2,435.99 | |
| TOTAL \$ 14,872.04 | |

Balance del 4to año

| I Activo Circulante | | |
|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| 1 | Bancos | \$ 7,676.23 |
| 2 | Cuentas x cobrar | \$ 1,436.78 |
| 3 | Doc. x cobrar | \$ - |
| 4 | Inventario | \$ 205.59 |
| TOTAL | | \$ 9,318.60 |
| II Activo Fijo | | |
| 1 | Terreno | \$ 3,750.00 |
| 2 | Edificios y contrucciones | \$ 1,760.00 |
| 3 | Maquinaria y equip. Indus. | \$ 2,070.47 |
| 4 | Instalacion de maquinaria | \$ 337.50 |
| 5 | Equipo rodante | \$ 80.00 |
| 6 | Mob. De oficina y lab. | --- |
| 7 | Ing de detalle | \$ 62.11 |
| 8 | Tecnología | \$ 552.13 |
| TOTAL | | \$ 8,612.21 |
| III Activo Diferido | | |
| 1 | Estudio de Factibilidad | \$ - |
| 2 | Const de la empresa | \$ - |
| TOTAL | | \$ - |
| TOTAL | | \$ 17,930.81 |

| I Pasivo Circulante | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Cuentas x cobrar \$ 205.59 |
| 2 | Doc. x cobrar \$ 208.33 |
| 3 | Impuestos \$ 3,846.34 |
| TOTAL \$ 4,260.26 | |
| II Capital Social \$ 12,022.12 | |
| III Utilidad \$ 1,648.43 | |
| G -\$ 5,494.77 | |
| TOTAL \$ 17,930.81 | |

ANEXO B. Tablas



Balance del 5to año

| <i>I Activo Circulante</i> | | |
|-----------------------------------|----------------------------|---------------------|
| 1 | Bancos | \$ 4,689.32 |
| 2 | Cuentas x cobrar | \$ 1,436.78 |
| 3 | Doc. x cobrar | \$ - |
| 4 | Inventario | \$ 205.59 |
| TOTAL | | \$ 6,331.69 |
| <i>II Activo Fijo</i> | | |
| 1 | Terreno | \$ 3,750.00 |
| 2 | Edificios y construcciones | \$ 1,650.00 |
| 3 | Maquinaria y equipo | \$ 1,725.39 |
| 4 | Instalacion de equipo | \$ 281.25 |
| 5 | Equipo rodante | \$ - |
| 6 | Mob. De oficina | --- |
| 7 | Ing de detalle | \$ 51.76 |
| 8 | Tecnología | \$ 517.62 |
| TOTAL | | \$ 7,976.02 |
| <i>III Activo Diferido</i> | | |
| 1 | Estudio de Factibilidad | \$ - |
| 2 | Const de la obra | \$ - |
| TOTAL | | \$ - |
| TOTAL | | \$ 14,307.72 |

| <i>I Pasivo Circulante</i> | | |
|-----------------------------------|------------------|---------------------|
| 1 | Cuentas x cobrar | \$ 205.59 |
| 2 | Doc. x cobrar | \$ 208.33 |
| 3 | Impuestos | \$ 1,310.17 |
| TOTAL | | \$ 1,724.09 |
| II Capital Social | | \$ 12,022.12 |
| III Utilidad | | \$ 561.50 |
| G | | -\$ 1,871.67 |
| TOTAL | | \$ 14,307.72 |

Tabla VI. Flujo de efectivo año

| Concepto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total |
|---------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| A. Ventas | \$ - | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 15,804.60 |
| B. Materias primas | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 2,467.08 |
| C. Costo | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 4,045.68 |
| D. Gastos de admón. | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 612.88 |
| E. Gastos de ventas | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 543.84 |
| F. Prestamo | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 2,500.00 |
| Suma | \$ 847.45 | \$ 847.45 | \$ 847.45 | \$ 847.45 | \$ 847.45 | \$ 847.45 | \$ 847.45 | \$ 847.45 | \$ 847.45 | \$ 847.45 | \$ 847.45 | \$ 847.45 | \$ 10,169.48 |
| Diferencia | -\$ 847.45 | \$ 589.33 | \$ 589.33 | \$ 589.33 | \$ 589.33 | \$ 589.33 | \$ 589.33 | \$ 589.33 | \$ 589.33 | \$ 589.33 | \$ 589.33 | \$ 589.33 | \$ 5,635.12 |
| Acumulado | -\$ 847.45 | -\$ 258.13 | \$ 331.19 | \$ 920.52 | \$ 1,509.84 | \$ 2,099.17 | \$ 2,688.49 | \$ 3,277.82 | \$ 3,867.14 | \$ 4,456.47 | \$ 5,045.79 | \$ 5,635.12 | \$ 5,635.12 |

Tabla VII. Flujo de efectivo año 2

| Concepto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total |
|---------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| A. Ventas | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 17,241.38 |
| B. Materia prima | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 2,467.08 |
| C. Costo | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 4,045.68 |
| D. Gastos de admón. | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 612.88 |
| E. Gastos de ventas | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 543.84 |
| F. Prestamo | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 2,500.00 |
| H. Impuestos | \$ - | \$ - | \$ 4,080.98 | \$ 1,360.33 | \$ 340.08 | \$ 340.08 | \$ 340.08 | \$ 340.08 | \$ 340.08 | \$ 340.08 | \$ 340.08 | \$ 340.08 | \$ 8,161.97 |
| Suma | \$ 847.46 | \$ 847.46 | \$ 4,928.44 | \$ 2,207.78 | \$ 1,187.54 | \$ 1,187.54 | \$ 1,187.54 | \$ 1,187.54 | \$ 1,187.54 | \$ 1,187.54 | \$ 1,187.54 | \$ 1,187.54 | \$ 18,331.45 |
| Diferencia | \$ 589.33 | \$ 589.33 | -\$ 3,491.66 | -\$ 771.00 | \$ 249.24 | \$ 249.24 | \$ 249.24 | \$ 249.24 | \$ 249.24 | \$ 249.24 | \$ 249.24 | \$ 249.24 | -\$ 1,090.07 |
| Acumulado | \$ 589.33 | \$ 1,178.65 | -\$ 2,313.01 | -\$ 3,084.01 | -\$ 2,834.77 | -\$ 2,585.53 | -\$ 2,336.28 | -\$ 2,087.04 | -\$ 1,837.80 | -\$ 1,588.56 | -\$ 1,339.31 | -\$ 1,090.07 | -\$ 1,090.07 |

Tabla VIII. Flujo de efectivo año 3

| Concepto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total |
|---------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| A. Ventas | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 17,241.38 |
| B. Materia prima | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 2,467.08 |
| C. Costo | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 4,045.68 |
| D. Gastos de admón. | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 612.88 |
| E. Gastos de ventas | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 543.84 |
| F. Prestamo | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 2,500.00 |
| H. Impuestos | \$ 340.08 | \$ 340.08 | \$ 5,317.74 | -\$ 412.25 | -\$ 1,092.42 | -\$ 103.06 | -\$ 103.06 | -\$ 103.06 | -\$ 103.06 | -\$ 103.06 | -\$ 103.06 | -\$ 103.06 | \$ 3,091.63 |
| Suma | \$ 847.46 | \$ 847.46 | \$ 6,165.19 | \$ 435.21 | -\$ 244.96 | \$ 744.39 | \$ 744.39 | \$ 744.39 | \$ 744.39 | \$ 744.39 | \$ 744.39 | \$ 744.39 | \$ 13,261.11 |
| Diferencia | \$ 589.33 | \$ 589.33 | -\$ 4,728.41 | \$ 1,001.58 | \$ 1,681.74 | \$ 692.39 | \$ 692.39 | \$ 692.39 | \$ 692.39 | \$ 692.39 | \$ 692.39 | \$ 692.39 | \$ 3,980.27 |
| Acumulado | \$ 589.33 | \$ 1,178.65 | -\$ 3,549.76 | -\$ 2,548.19 | -\$ 866.45 | -\$ 174.06 | \$ 518.33 | \$ 1,210.72 | \$ 1,903.10 | \$ 2,595.49 | \$ 3,287.88 | \$ 3,980.27 | \$ 3,980.27 |

Tabla IX. Flujo de efectivo año 4

| Concepto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total |
|---------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| A. Ventas | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 17,241.38 |
| B. Materia prima | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 2,467.08 |
| C. Costo | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 4,045.68 |
| D. Gastos de admón. | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 612.88 |
| E. Gastos de ventas | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 543.84 |
| F. Prestamo | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 2,500.00 |
| H. Impuestos | -\$ 103.06 | -\$ 103.06 | -\$ 2,941.95 | \$ 568.40 | \$ 774.52 | \$ 142.10 | \$ 142.10 | \$ 142.10 | \$ 142.10 | \$ 142.10 | \$ 142.10 | \$ 142.10 | \$ 1,469.89 |
| Suma | \$ 847.46 | \$ 847.46 | -\$ 2,094.49 | \$ 1,415.85 | \$ 1,621.98 | \$ 989.56 | \$ 989.56 | \$ 989.56 | \$ 989.56 | \$ 989.56 | \$ 989.56 | \$ 989.56 | \$ 9,565.15 |
| Diferencia | \$ 589.33 | \$ 589.33 | \$ 3,531.27 | \$ 20.93 | -\$ 185.20 | \$ 447.23 | \$ 447.23 | \$ 447.23 | \$ 447.23 | \$ 447.23 | \$ 447.23 | \$ 447.23 | \$ 7,676.23 |
| Acumulado | \$ 589.33 | \$ 1,178.65 | \$ 4,709.92 | \$ 4,730.85 | \$ 4,545.65 | \$ 4,992.88 | \$ 5,440.10 | \$ 5,887.33 | \$ 6,334.55 | \$ 6,781.78 | \$ 7,229.00 | \$ 7,676.23 | |

Tabla X. Flujo de efectivo año 5

| Concepto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total |
|---------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| A. Ventas | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 1,436.78 | \$ 17,241.38 |
| B. Materia prima | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 205.59 | \$ 2,467.08 |
| C. Costo | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 337.14 | \$ 4,045.68 |
| D. Gastos de admón. | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 51.07 | \$ 612.88 |
| E. Gastos de ventas | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 45.32 | \$ 543.84 |
| F. Prestamo | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 208.33 | \$ 2,500.00 |
| H. Impuestos | \$ 142.10 | \$ 142.10 | -\$ 2,141.14 | \$ 1,282.11 | \$ 997.91 | \$ 320.53 | \$ 320.53 | \$ 320.53 | \$ 320.53 | \$ 320.53 | \$ 320.53 | \$ 320.53 | \$ 2,382.58 |
| Suma | \$ 847.46 | \$ 847.46 | -\$ 1,293.68 | \$ 2,129.57 | \$ 1,845.37 | \$ 1,167.98 | \$ 1,167.98 | \$ 1,167.98 | \$ 1,167.98 | \$ 1,167.98 | \$ 1,167.98 | \$ 1,167.98 | \$ 12,552.06 |
| Diferencia | \$ 589.33 | \$ 589.33 | \$ 2,730.47 | -\$ 692.79 | -\$ 408.59 | \$ 268.80 | \$ 268.80 | \$ 268.80 | \$ 268.80 | \$ 268.80 | \$ 268.80 | \$ 268.80 | \$ 4,689.32 |
| Acumulado | \$ 589.33 | \$ 1,178.65 | \$ 3,909.12 | \$ 3,216.33 | \$ 2,807.74 | \$ 3,076.54 | \$ 3,345.34 | \$ 3,614.13 | \$ 3,882.93 | \$ 4,151.73 | \$ 4,420.52 | \$ 4,689.32 | |

Glosario

- **Ácidos Grasos Libres (AGL):** Un ácido graso es una molécula orgánica de naturaleza lipídica formada por una larga cadena hidrocarbonada lineal, en cuyo extremo hay un grupo carboxilo, es lo mismo decir, es un ácido carboxílico de alta masa molecular. El contenido de ácidos grasos libres y humedad son parámetros fundamentales que determinan la viabilidad del proceso de transesterificación y su presencia determina la vía catalítica por el que transcurra.

- **Biocombustibles:** Los biocombustibles, son combustibles de origen biológico obtenido de manera renovable a partir de restos orgánicos. Estos restos orgánicos proceden habitualmente del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas. Todos ellos reducen el volumen total de CO₂ que se emite en la atmósfera, ya que lo absorben a medida que crecen y emiten prácticamente la misma cantidad que los combustibles convencionales cuando se quema, por lo que se produce un proceso de ciclo cerrado.

- **Combustibles fósiles:** Es un término general que se designa a los depósitos geológicos de materiales orgánicos, combustibles que se encuentran enterrados y que se formaron por la descomposición de plantas y animales que fueron posteriormente convertidos en petróleo crudo, carbón, gas natural o aceites pesados al estar sometidos al calor y la presión de la corteza terrestre durante cientos de millones de años.

- **FAME:** Fatty Acid Methyl Ester (Ester Metílico de Ácidos Grasos = Otros tipos de Aceites y/o grasas vegetales y/o animales y/o sus mezclas).

- **Gases efecto invernadero:** Se denominan gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero a los gases cuya presencia en la atmósfera contribuyen al efecto

invernadero. Los más importantes están presentes en la atmósfera de manera natural, aunque su concentración puede verse modificada por la actividad humana, pero también entran en este concepto algunos gases artificiales, producto de la industria. Esos gases contribuyen más o menos de forma neta al efecto invernadero por la estructura de sus moléculas y, de forma sustancial, por la cantidad de moléculas del gas presentes en la atmósfera

- **Óxidos de nitrógeno (NO_x):** El NO_x es un término genérico que hace referencia a un grupo de gases muy reactivos (tales como el NO y NO₂) que contienen nitrógeno y oxígeno en diversas proporciones. Muchos de los óxidos de nitrógeno son incoloros e inodoros.

Los óxidos de nitrógeno se forman cuando se quema combustible, las principales fuentes de NO_x son los automóviles, las centrales eléctricas y otras fuentes industriales, comerciales y domésticas que queman combustibles.

- **Petajoules:** El prefijo en el sistema internaciones “peta” representa un factor de 10¹⁵, es decir, que 1 Petajoules = 10¹⁵ Joules.

- **Petrodiesel:** El petrodiesel es el gasóleo extraído del petróleo. Se diferencia del biodiesel, que es el gasóleo extraído del aceite vegetal. Es una mezcla de hidrocarburos que se obtiene por destilación fraccionada del petróleo entre 250 °C y 350 °C a presión atmosférica. El gasóleo es más sencillo de refinar que la gasolina y suele costar menos. Por el contrario, tiene mayores cantidades de compuestos minerales y de azufre.

- **PEPS:** Método de valuación de inventarios mediante el cual se considera que lo que se vende es lo que primero entró al almacén, por lo que el Inventario queda valuado a los Precios de las últimas adquisiciones. Este método de "costeo" del Inventario es - cuanto

a las Utilidades que se pueden estar reportando, pues aunque éstas fuesen altas, en una época inflacionaria se podría estar vendiendo a Precios bajos y correr el peligro de descapitalizarse.

- **PLC:** Los PLC sirven para realizar automatismos, se puede ingresar un programa en su disco de almacenamiento, y con un microprocesador integrado, corre el programa, se tiene que saber que hay infinitudes de tipos de PLC. Los cuales tienen diferentes propiedades, que ayudan a facilitar ciertas tareas para las cuales se los diseñan.

- **Saponificación:** Se entiende por saponificación la reacción que produce la formación de jabones.

- **Transesterificación:** La Transesterificación es el proceso de intercambiar el grupo alcoxí de un éster por otro alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base.

Referencias

- [1] Armaretti Nora, Intilángelo Luciana. “*Aprovechamiento de la glicerina obtenida durante la producción de Biodiesel*”. Universidad del Centro Educativo Latinoamericano Rosario, Argentina. Pp 137-144. 2008
- [2] Arberlález Marín Angela, Rivera Quiroz Marcela. “*Diseño conceptual de un proceso para la obtención de biodiesel a partir de algunos aceites vegetales colombianos*”. Escuela de Ingeniería, Universidad EAFIT MEDELLÍN. 2007
- [3] Biodiesel del planta. “*Planta refinadora de Biodiesel del 10.000 litros día modelo BDP-10TD*”. Plantas refinadoras de biodiesel. Buenos Aires, Argentina. 2007
- [4] Castro Pareja Paula, Castillo Sánchez Liliana. “*Producción de biodiesel a pequeña escala a partir de aceites usados en la Ciudad de Lima*”. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Perú 2006
- [5] Charles S. Wassell Jr. “*Are subsidies economically efficient?*”. Energy Policy Volumen 34 Pág. 3993-4001. USA 2006
- [6] Corporación para el desarrollo industrial de la Biotecnología y Producción limpia CORPODIB. “*Estado del arte de las tecnologías de producción de Biodiesel*”. Colombia 2004.
- [7] Crisis energética. “*ASPO y las reservas energéticas*”. Octubre 2003. Disponible en: <http://www.crisisenergetica.org/staticpages/index.php?page=20031004115458153>
- [8] Decelis Contreras Rafael. “*Creatividad para el desarrollo, México país líder 2028*”. Costa-Amic Editores S.A., 4ª Edición, México DF, 2008.
- [9] Decelis Contreras Rafael. “*Evaluación de proyectos*”. Costa-Amic Editores S.A., Segunda Edición, México DF, 1998.
- [10] Delgado Ramos Gian Carlo. “*Los límites del patrón energético actual. Combustibles fósiles y medio ambiente*”. Ecoportal.net 2008. Disponible en: <http://www.ecoportal.net/content/view/full/81621>

- [11] Dirección de Ahorro de Energía. “*Biodiesel*” Comisión Nacional para el Ahorro de Energía CONAE. Diciembre 2007
- [12] ESMAP, “Potential for Biofuels for Transport in Developing Countries”, Washington, D.C. U.S.A. October 2005.
- [13] Fernández Durán Ramón. “*El inicio del fin de la era de los combustibles fósiles*”. Madrid 2006. Disponible en: http://www.eutsi.org/kea/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=192
- [14] Fragoso Castañares Alberto. “*Enciclopedia de los Municipios de México. Estado de México, Cuautitlán*”. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2005. Disponible en: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/mexico/mpios/15024a.htm>
- [15] H. Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli. “*Solo Izcalli el que busca encuentra*”. Disponible en <http://www.soloizcalli.com>
- [16] Ian Homer, Evelyn Hunter. “*Biodiesel, métodos artesanales para su fabricación*”. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
- [17] Ing. Rodolfo J. Larosa. “*Proceso para la producción de Biodiesel, refinación de glicerina*”. Italia. 2004
- [18] Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos (IIDEPROQ). “*Adecuación tecnológica de la obtención de Biodiesel*”. Ministerio de Planificación del Desarrollo. Programa Nacional de Cambios Climáticos (PNCC). La Paz, Bolivia 2007.
- [19] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Estadísticas 2005. Disponible en: www.inegi.org.mx
- [20] Instituto para la diversificación y Ahorro de la energía. “*Planta prototipo de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales de Alcalá de Henares*”. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. 2005.

- [21] Jérôme Hervé Lamourex. “*Diseño conceptual de una planta de biodiesel*”. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Mecánica. Santiago de Chile. Agosto 2007
- [22] Max S. Peters. “*Plant Design and Economics for Chemical Engineers*”. 4a Edición McGraw Hill. USA, 1998.
- [23] Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos. 3ª Edición. Norma Nacional Americana ANSI/PMI 99-001-2004
- [24] Querini Carlos A. “*Biodiesel: Producción y control de calidad*”, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE), Facultad de Ing. Químicas UNL, CONICET
- [25] QuimiNet. “*Descripción del equipo de una planta refinadora de biodiesel*”. Disponible en: http://www.quiminet.com/ar3/ar_vcdadddsahgsARsDF-descripcion-del-equipo-de-una-planta-refinadora-de-biodiesel.htm 2008
- [26] REOIL México. Recolección de RAUC y Producción de Biodiesel. “¿*Qué es el Residuo Aceite Usado de Cocina?*”. Disponible en: <http://www.reoil.net/rauc.html>
- [27] Sarmiento Torres Rocío. “*Biodiesel para el Metrobús del DF*”. Energía a debate, Enero-Febrero 2009. Disponible en: <http://www.energiaadebate.com/Articulos/Enero2009/SarmientoEne09.htm>
- [28] Sarmiento Torres Rocío. “*Perspectivas del diesel*”. Energía a debate, Enero-Febrero 2009. Disponible en: <http://www.energiaadebate.com/Articulos/Enero2009/SarmientoEne09.htm>
- [29] Schuchardt, U., Sercheli, R & Vargas, R.M. “*Transterification of Vegetable Oils*”. J. Braz. Chem Soc. Vol. 9 No. 1. 1998.
- [30] Secretaria de Energía. “*Balance Nacional de Energía 2008*”, Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Dirección General de Planeación Energética. México 2009

- [31] Secretaría de Energía. “*Balance Nacional de Energía 2009*”, Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Dirección General de Planeación Energética. México 2010
- [32] Secretaría de Energía. “*Bioenergéticos en México*”. SENER, Gobierno Federal. México 2007.
- [33] Secretaría de Energía. “*Programa de Introducción de Bioenergéticos*”. Gobierno Federal. México 2006
- [34] Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. “*Informe de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México*”. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire. Dirección de Monitoreo Atmosférico. Ciudad de México, 2008.
- [35] Secretaría de energía, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la energía “Normas”, México 2010. Disponible en: http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_normatividad
- [36] SEMARNAT. “*Conjunto de indicadores básicos del desempeño Ambiental. Atmósfera*”. Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/indicadores_2008/01_atmosfera/01_introduccion.html
- [37] SEMARNAT. “*Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero*”. Compendio de Estadísticas Ambientales 2009. Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/compendio_2009/compendio_2009/10.100.8.236_8080/ibi_apps/WFServletfe43.html
- [38] SEMARNAT, Instituto Nacional de Ecología, México 2ª Comunicación Nacional ante la CMNUCC, México, 2001.
- [39] Sistema Nacional de Indicadores Ambientales. “*Indicadores de presión. Consumo de combustibles fósiles*”. SEMARNAT. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/snai/Documents/01_calidad_aire_presion.html

- [40] Tinoco Yenise. “*Costos del diesel impactan la economía familiar*”. Revista Fortuna, Febrero 2009. Disponible en: <http://revistafortuna.com.mx/contenido/index.php/2009/02/15/costos-del-diesel-impactan-la-economia-familiar/>
- [41] T.Q. Gabriel Rodriguez . “*Estudio comparativo entre el combustible diesel y biodiesel*”. UPT.
- [42] Universidad Autónoma Metropolitana, “Uso de combustibles fósiles en México”, México 2003. Disponible en: <http://www.concienciaambiental.com.mx/cca/llantascombustibles.html>
- [43] Universidad Autónoma de Puebla. “*Implicaciones Sociales de la Bioenergía en México: Caso Biodiesel*”. Foro: Avances en Bioenergía, Universidad Iberoamericana. Junio 2008.
- [44] Vázquez Espinoza Ana María. “*Obtención de Biodiesel mediante el reciclado de aceites vegetales residuales y de biomasa a partir de los desechos forestales*”. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali.
- [45] Vulling Mónica. “*Campaña Regional de Recolección de Aceite Vegetal Usado (AVU)*”. Poder EDO MEX, Junio 2008. Disponible en: http://www.poderdomex.com/notas.asp?nota_id=32169
- [46] Y. Zhang, M.A. Dubé. “*Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment*”. Bioresource Technology, Volumen 89 Pág. 1-16. Canada 2003.
- [47] Y. Zhang, M.A. Dubé. “*Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis*”. Bioresource Technology, Volumen 90 Pág. 229-240. Canada 2003.
- [48] Zapata Carlos David, Martínez Iván Darío. “*Producción de Biodiesel a partir de aceite crudo de palma: 1. Diseño y simulación de dos procesos continuos*”. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín. Colombia. 2006.



- [49] Zapata Carlos David, Martínez Iván Darío. “*Producción de Biodiesel a partir de aceite crudo de palma: 2. Evaluación económica*”. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín. Colombia. 2006.