

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETROLEO, GAS NATURAL Y  
PETROQUIMICA**



**“PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN REFINERÍAS  
NACIONALES”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO PETROQUÍMICO**

**SERGIO DAVID SEDANO CHIHUALA**

**PROMOCIÓN 2007-I**

**LIMA-PERÚ 2008**

# INDICE

<b>SUMARIO</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
I.1. Situación de los biocombustibles en América del Sur	5
I.1.1. Argentina	5
I.1.2. Brasil	6
I.1.3. Chile	7
I.1.4. Colombia	8
I.1.5. Paraguay	9
I.1.6. Perú	9
I.1.7. Uruguay	11
I.2. Justificación	12
I.3. Denominación del proyecto	13
I.4. Clasificación y ubicación del proyecto	13
I.5. Responsables de su ejecución	14
I.6. Objetivos del proyecto	14
I.6.1. Generales	14
I.6.2. Específicos	14
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	<b>15</b>
II.1. Situación energética de los combustibles	15
II.2. Concepto de Biocombustible	18
II.3. Clasificaciones de los biocombustibles	19
II.4. Características físicas y químicas que definen un biocombustible	20
II.5. Los biocombustibles líquidos	23
II.5.1 Ventajas y desventajas de estos cultivos	24
II.6. Definición y especificaciones del biodiesel	26
II.7. Materias primas para la producción de biodiesel	28
II.7.1. Aceites vegetales convencionales	30
II.7.2. Aceites vegetales alternativos	30
II.7.3. Aceites vegetales modificados genéticamente	31
II.7.4. Aceites de fritura usados	31
II.7.4.1. La hidrólisis	32
II.7.4.2. La oxidación	33

II.7.4.3	La polimerización	34
II.7.5.	Grasas animales	34
II.7.6.	Aceites de otras fuentes	34
II.7.7	Otras fuentes	35
II.8.	Caracterización de los aceites para su empleo en motores	36
II.8.1.	Índice de acidez	36
II.8.2.	Índice de Yodo	37
II.8.3.	Índice de peróxidos	38
II.9.	Reacciones en la producción de biodiesel	39
II.9.1.	Reacciones de transesterificación de triglicéridos	39
II.9.2.	Reacciones de esterificación de ácidos grasos	43
II.9.3.	Catalizadores	44
II.9.4.	Proceso de lavado	46
II.10.	Variables que afectan a la reacción de transesterificación	47
II.10.1.	Acidez y humedad	47
II.10.2	Tipo de catalizador y concentración	49
II.10.3	Relación molar de alcohol / aceite y tipo de alcohol	51
II.10.4	Efecto del tiempo de reacción y temperatura	52
II.11.	Aplicaciones	52
II.11.1.	Utilización de biodiesel como combustible	56
II.11.1.1.	Utilización directa de aceites vegetales	56
II.11.1.2.	Utilización de biodiesel	61
II.11.2.	Pros y contras	64
II.11.3.	Aplicaciones de la glicerina y su problemática	66
III.	<b>EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DEL BODIESEL</b>	<b>69</b>
III.1.	Lugar de ensayo	69
III.2.	Reactivos, equipos y materiales	69
III.2.1.	Reactivos	69
III.2.2	Equipos y materiales de laboratorio	69
III.3.	Ensayos fisicoquímicos	70
III.4.	Tipos de corridas realizadas	71
III.5.	Diagrama de flujo del procedimiento utilizado	73
III.5.1.	Aceite recolectado	74
III.5.2.	Sedimentación	74

III.5.3. Filtración	75
III.5.4. Secado del aceite	75
III.5.5. Proceso	75
III.5.6. Productos obtenidos	76
III.6. Determinación de temperatura de operación	77
III.6.1. Rendimiento de biodiesel	79
III.6.2. Rendimiento de glicerina	81
III.6.3. Punto de inflamación	83
III.6.4. Viscosidad	85
III.6.5. Índice de cetano	87
III.6.6. Destilación (90% de recuperado)	89
III.6.7. Punto de fluidez	91
III.6.8. Gravedad específica (API)	93
III.7. Determinación del tiempo óptimo de reacción	95
III.7.1. Rendimiento de biodiesel	97
III.7.2. Rendimiento de glicerina	99
III.7.3. Punto de inflamación	101
III.7.4. Viscosidad	103
III.7.5. Índice de cetano	105
III.7.6. Destilación (90% de recuperado)	107
III.7.7. Punto de fluidez	109
III.7.8. Gravedad específica (API)	111
III.8. Discusión de resultados	113
III.8.1. Temperatura, tiempo y catalizador óptimo de reacción	113
III.8.2. Punto de inflamación	114
III.8.3. Viscosidad	115
III.8.4. Índice de cetano	115
III.8.5. Destilación (90% de recuperado)	116
III.8.6. Punto de fluidez	116
III.8.7. Gravedad específica (API)	117
III.9. Determinación del porcentaje óptimo de mezcla biodiesel-diesel	117
III.9.1. Lugar de ensayo	117
III.9.2. Ensayos fisicoquímicos	118
III.9.3. Tipos de corridas realizadas	118
III.10. Discusión de resultados	121
III.10.1. Punto de inflamación	121
III.10.2. Viscosidad	121

III.10.3. Índice de cetano	121
III.10.4. Destilación (90% de recuperado)	122
III.10.5. Contenido de azufre	122
<b>IV. ESTUDIO DE MERCADO</b>	<b>123</b>
IV.1. Producto	123
IV.1.1. Definición del producto	123
IV.1.2. Codificación del producto	124
IV.1.3. Clasificación del producto	124
IV.1.4. Componentes del producto	125
IV.1.4.1 Características físico – químicas de producto	125
IV.2. Estructura de la demanda	128
IV.2.1. Identificación del mercado objetivo	128
IV.2.2. Demanda nacional de diesel	130
IV.2.3. Proyección de la demanda nacional de diesel	132
IV.2.4. Demanda de diesel de Petroperú	133
IV.2.5. Proyección de la demanda de diesel de Petroperú	134
IV.2.6. Despacho de diesel de Operaciones Conchán	135
IV.2.7. Proyección de la demanda de diesel de Operaciones Conchán	136
IV.2.8. Proyección de la demanda de biodiesel	137
IV.2.9. Proyección de la demanda de biodiesel de Petroperú	138
IV.3. Estructura de la oferta	140
IV.3.1. Producción nacional	140
IV.3.2. Proyección de la producción nacional de diesel	141
IV.3.3. Producción de diesel de Petroperú	142
IV.3.4. Proyección de la producción de Petroperú	143
IV.3.5. Producción de diesel en Operaciones Conchán	144
IV.3.6. Proyección de la producción de diesel en Operaciones Conchán	145
IV.3.7. Producción mundial de biodiesel	145
IV.4. Balance oferta- demanda	147
IV.4.1. Demanda insatisfecha de diesel de Petroperú	149
IV.4.2. Demanda insatisfecha de diesel de Operaciones Conchán	150

IV.5.	Análisis de precios	151
IV.6.	Materias primas	152
IV.7.	Análisis de comercialización	155
	IV.7.1 Sistema de distribución	155
IV.8.	Análisis FODA del proyecto	157
	IV.8.1 Fortalezas	157
	IV.8.2. Oportunidades	158
	IV.8.3 Debilidades	159
	IV.8.4 Amenazas	160
IV.9.	Tamaño del proyecto	161
	IV.9.1. Alternativas de tamaño	161
	IV.9.1.1. Relación tamaño – mercado	161
	IV.9.1.2. Relación tamaño – ingeniería	162
	IV.9.1.3. Relación tamaño – localización	162
	IV.9.2. Definición del tamaño del proyecto	163
<b>V.</b>	<b>INGENIERÍA DEL PROYECTO</b>	<b>164</b>
V.1.	Estudios previos	164
V.2	Procesos en la producción industrial de biodiesel	166
	V.2.1. Proceso general de transesterificación	167
	V.2.1.1 Proceso discontinuo	168
	V.2.1.2. Proceso continuo	169
	V.2.1.3. Proceso de esterificación	172
	V.2.1.4. Proceso combinado	
	esterificación-transesterificación	173
	V.2.1.5 Proceso en condiciones supercríticas	174
V.3.	Selección del proceso productivo	176
V.4.	Proceso de producción	176
	V.4.1 Recepción de materias primas	177
	V.4.2. Zona de esterificación	180
	V.4.3. Zona de transesterificación	184
	V.4.4. Zona de separación y purificación	188
	V.4.5. Zona de almacenaje y mezcla	191
V.5.	Ubicación de planta y adaptación de infraestructura	193
V.6.	Capacidad y programa de producción	200

<b>VI.</b>	<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>	<b>203</b>
VI.1.	Dimensionamiento de los equipos de proceso	203
VI.2.	Costos de capital	205
VI.3.	Costos operativos	211
VI.4.	Flujo de caja	216
	VI.4.1. Valor actual neto (VAN)	216
	VI.4.2 Tasa interna de retomo (TIR)	217
	VI.4.3. Periodo de recuperación de la inversión (PAYOUT)	217
VI.5.	Punto de equilibrio	219
VI.6.	Análisis de sensibilidad	219
	VI.6.1. Análisis de sensibilidad al valor de la materia prima (aceite)	221
	VI.6.2. Análisis de sensibilidad al volumen de ventas	221
	VI.6.3. Análisis de sensibilidad al costo de procesamiento	222
	VI.6.4. Análisis de sensibilidad a la inversión	222
<b>VII.</b>	<b>EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>226</b>
VII.1.	Introducción	226
VII.2.	Evaluación de impactos	228
VII.3.	Plan de manejo ambiental	232
VII.4.	Programa de monitoreo ambiental (PMOA)	232
VII.5.	Plan de contingencia (PC)	233
VII.6.	Plan de abandono (PAB)	233
	VII.6.1.Plan de abandono temporal	234
	VII.6.2 .Plan de abandono parcial	234
	VII.6.3 .Plan de abandono total	234
<b>VIII.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>237</b>
<b>IX.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>243</b>
	<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>245</b>

<b>ANEXO I</b>	
<b>LEY 28054 LEY DE PROMOCIÓN DEL MERCADO DE BIOCOMBUSTIBLES</b>	<b>248</b>
<b>ANEXO II</b>	
<b>DS-021-2007 COMERCIALIZACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES</b>	<b>251</b>
<b>ANEXO III</b>	
<b>DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y ANALISIS DE LA VARIANZA</b>	<b>255</b>
<b>ANEXO IV</b>	
<b>IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE MATERIAS PRIMAS</b>	<b>267</b>
<b>ANEXO V</b>	
<b>DIMENSIONES DE EQUIPOS PROPUESTOS</b>	<b>272</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>275</b>

<b>TABLA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PAGINA</b>
<b>CAPITULO 2</b>		
2.1	Reservas y recursos de combustibles fósiles y combustibles nucleares en el mundo	16
2.2	Energía primaria y final en el mundo por fuente	17
2.3	Algunas externalidades puestas de manifiesto en sector combustibles fósiles	18
2.4	Clasificación de los biocombustibles en función de su origen	19
2.5	Clasificación de los biocombustibles en función de su aspecto físico	20
2.6	Características físicas, químicas y físico- químicas de los biocombustibles y sus unidades de medida	21
2.7	Características generales de distintos combustibles líquidos renovables obtenidos a partir de la biomasa	24
2.8	Especificaciones del Biodiésel	28
2.9	Ventajas e Inconvenientes de los Catalizadores Utilizados en la Transesterificación	46
<b>CAPITULO 3</b>		
3.1	Elaboración de biodiesel con aceite nuevo utilizando NaOH como catalizador.	77
3.2	Elaboración de biodiesel con aceite nuevo utilizando KOH como catalizador.	78
3.3	Elaboración de biodiesel con aceite usado utilizando NaOH como catalizador.	78
3.4	Elaboración de biodiesel con aceite usado utilizando KOH como catalizador.	78
3.5	Rendimiento de Biodiesel en Función de la Temperatura	79
3.6	Rendimiento de Glicerina en Función de la Temperatura	81
3.7	Punto de Inflamación en Función de la Temperatura	83
3.8	Viscosidad en Función de la Temperatura	85
3.9	Índice de Cetano en Función de la Temperatura	87
3.10	Destilación (90% de Recuperado) en Función de la Temperatura	89
3.11	Punto de Fluidéz en Función de la Temperatura	91
3.12	Gravedad Específica (API) en Función de la Temperatura	93
3.13	Elaboración de biodiesel con aceite nuevo utilizando NaOH como catalizador.	95
3.14	Elaboración de biodiesel con aceite nuevo utilizando KOH como catalizador.	96
3.15	Elaboración de biodiesel con aceite usado utilizando NaOH como catalizador.	96
3.16	Elaboración de biodiesel con aceite usado utilizando KOH como catalizador.	96
3.17	Rendimiento de Biodiesel en Función del Tiempo	97
3.18	Rendimiento de Glicerina en función del Tiempo	99
3.19	Punto de Inflamación en Función del Tiempo	101
3.20	Viscosidad en Función del Tiempo	103

3.21	Índice de Cetano en Función del Tiempo	105
3.22	Destilación (90% de Recuperado) en Función del Tiempo	107
3.23	Punto de Fluidéz en Función del Tiempo	109
3.24	Gravedad Específica (API) en Función del Tiempo	111
3.25	Porcentajes de adición de biodiesel	119
3.26	Resultados de la evaluación de la mezcla de biodiesel / diesel en Operaciones Conchán	120

#### **CAPITULO 4**

4.1	Producción Evolutiva de Biodiesel	146
4.2	Proyección de los Requerimientos de Materias Primas	153
4.3	Siembra, Cosecha, Rendimiento y Producción de Cultivos	154
4.4	Proyección de Hectáreas a Cultivar en función de la demanda de Biodiesel	155

#### **CAPITULO 5**

5.1	Composición de Aceite Crudo de Palma	177
5.2	Capacidad de Almacenamiento de Materias Primas	180
5.3	Equipos Requeridos en la Zona de Esterificación	182
5.4	Equipos Requeridos en la Zona de Transesterificación	186
5.5	Equipos Requeridos en la Zona de Purificación y Separación	189
5.6	Programa de Producción de la Planta de Biodiesel	202

#### **CAPITULO 6**

6.1	Costo de las Bombas del Proceso	207
6.2	Costo de Intercambiadores de Calor	208
6.3	Costo de Recipientes a Presión, torres de platos, separadores y tanques de almacenamiento	209
6.4	Costo operativo año 2009	213
6.5	Precio de venta del biodiesel	214
6.6	Precio de mezcla bio-diesel	215
6.7	Ingreso por ventas año 2009	216
6.8	Flujo de Caja	218
6.9	Punto de Equilibrio	220
6.10	Análisis de sensibilidad al valor de la materia prima (Aceite)	224
6.11	Análisis de sensibilidad al volumen de ventas	224
6.12	Análisis de sensibilidad al costo del procesamiento	225
6.13	Análisis de sensibilidad a la inversión	225

#### **CAPITULO 7**

7.1	Impactos asociados al medio ambiente	229
7.2	Impactos asociados al medio económico y social	230
7.3	Matriz simple de identificación y de evaluación de impactos	231
7.4	Matriz simple de identificación, cuantificación y de evaluación de impactos	232

<b>GRÁFICO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>CAPITULO 2</b>		
2.1	Reacción de Hidrólisis	33
2.2	Reacción de Oxidación	33
2.3	Reacción de Transesterificación	40
2.4	Reacciones Implicadas en la Transesterificación	40
2.5	Reacción de Saponificación	42
2.6	Reacción de Neutralización de Ácidos Grasos Libres	43
2.7	Reacción de Esterificación	44
<b>CAPITULO 3</b>		
3.1	Rendimiento de Biodiesel en Función de la Temperatura	80
3.2	Rendimiento de Glicerina en Función de la Temperatura	82
3.3	Evaluación del Punto de Inflamación en Función de la Temperatura	84
3.4	Evaluación de la Viscosidad en Función de la Temperatura	86
3.5	Evaluación del Índice de Cetano en Función de la Temperatura	88
3.6	Evaluación de la Destilación en Función de la Temperatura	90
3.7	Evaluación del Punto de Fluidez en Función de la Temperatura	92
3.8	Evaluación de la Gravedad Específica en Función de la Temperatura	94
3.9	Evaluación del Rendimiento de Biodiesel en Función del Tiempo	98
3.10	Evaluación del Rendimiento de la Glicerina en Función del Tiempo	100
3.11	Evaluación del Punto de Inflamación en Función	102
3.12	Evaluación de la Viscosidad en Función del Tiempo	104
3.13	Evaluación del Índice de Cetano en Función del Tiempo	106
3.14	Evaluación de la Destilación en Función del Tiempo	108
3.15	Evaluación del Punto de Fluidez en Función del Tiempo	110
3.16	Evaluación de la Gravedad Específica en Función del Tiempo	112

## **CAPITULO 4**

4.1	Demanda de Diesel por Sector Económico	129
4.2	Proyección del Parque Automotor Nacional Diesel	130
4.3	Demanda Nacional de Diesel	131
4.4	Proyección de la Demanda Nacional de Diesel	132
4.5	Demanda de Diesel de PETROPERÚ	133
4.6	Proyección de la Demanda Nacional de Diesel de PETROPERÚ	134
4.7	Despachos de diesel de Operaciones Conchán	135
4.8	Proyección de la Demanda de Diesel de Refinería Conchán	136
4.9	Proyección de la Demanda Nacional de Biodiesel	138
4.10	Proyección de la Demanda Nacional de Biodiesel de PETROPERÚ	139
4.11	Producción Nacional de Diesel	140
4.12	Proyección de la Producción Nacional de Diesel	141
4.13	Producción de Diesel de PETROPERÚ	142
4.14	Producción de Diesel de Refinería Conchán	144
4.15	Demanda Insatisfecha de Diesel	147
4.16	Proyección de la Demanda Insatisfecha de Diesel	148
4.17	Demanda Insatisfecha de Diesel de PETROPERÚ	149
4.18	Proyección de la Demanda Insatisfecha de Refinería Conchán	150
4.19	Evolución de Precio de Diesel	151

## **CAPITULO 5**

5.1	Proceso de Transesterificación	169
5.2	Proceso de Producción de Biodiesel mediante Reactores de Flujo Pistón	171
5.3	Proceso de esterificación	173
5.4	Proceso de Elaboración de Biodiesel mediante Esterificación/Transesterificación. Proceso de catálisis ácida	174
5.5	Proceso de Elaboración de Biodiesel mediante proceso supercrítico	175
5.6	Proceso de Esterificación	183
5.7	Proceso de Transesterificación	187
5.8	Proceso de Separación y Purificación	190
5.9	Movimiento de Diesel de Refinería Conchán	193
5.10	Exteriores de Ex Planta de Químicos	196
5.11	Exteriores de Ex Planta de Químicos	197
5.12	Interiores Ex Planta de Químicos	197
5.13	Interiores Ex Planta de Químicos	198
5.14	Zona Contigua a Ex Planta Químicos	199
5.15	Zona Contigua a Ex Planta Químicos	199
5.16	Zona Contigua a Ex Planta Químicos	201

## **SUMARIO**

El presente estudio de pre factibilidad para la producción de biodiesel en refinerías nacionales, definió al sector transporte como mercado objetivo. La presentación del producto es una inclusión del 2%, 5%, 20% y 100% de biodiesel en diesel; denominándose B2, B5, B20 y B100 respectivamente; según lo permitido en el D.S. 021.2007 (Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles).

La demanda de biodiesel será en promedio unos 277 MB durante los años 2009 y 2010 debido al uso obligatorio de biodiesel en 2% (B2); durante el periodo 2011-2016 se estima una demanda 800 MB dado el incremento de la inclusión en mezcla (5%).

La ubicación de la planta se encuentra en las instalaciones de Operaciones Conchán; la cual se encuentra ubicada en el kilómetro 26,5 de la carretera Panamericana Sur, Distrito de Lurín, Departamento de Lima. Siendo los factores más favorables su ubicación estratégica dentro del mercado de mayor consumo, la flexibilidad de operación, sistema de distribución y recepción de productos.

La inversión de capital fijo asciende a US\$ 6 069 526.85. El costo de los equipos de bombeo, intercambiadores de calor, recipientes a presión, patio de tanques para materias primas y productos representan el 4,74 %, 1,21 %, 8,62 % y 77,92% del costo modular total respectivamente.

El costo de producción de un barril de biodiesel se calculó en US\$ 91,16 con un precio de venta de US\$ 130,00 considerando una utilidad de 10%. Además se hallaron los precios de las diferentes mezclas permitidas para la comercialización de biodiesel B2, B5, B20 y B100 en S./Gal 12,05, S./Gal 12,11, S./Gal 12,43 y S./Gal 12,30 respectivamente, tomando como referencia el valor de diesel en S./Gal 12,01.

**El proyecto resultó rentable económicamente, siendo el VAN de US\$ 143 1469 711 y la TIR de 199,28%, asimismo presenta un PAYOUT de 0,6 años.**

## **I. INTRODUCCIÓN**

Cuando se trata de predecir el futuro de los combustibles, y específicamente de los carburantes, se concluye que el petróleo seguirá teniendo una innegable importancia a corto y mediano plazo, aunque coexista con otras energías.

Anticipar una escasez inevitable del petróleo a largo plazo, es una tarea a la cual debemos abocarnos, es por eso, que nuestra mirada se proyecta en estas épocas hacia los biocombustibles, los cuales nos darán una fuente de energía alternativa para poder cubrir nuestras necesidades.

La presente investigación, surge como alternativa ante la situación por la cual atravesamos; nuestra situación actual exige una alta importación de diesel para cubrir una demanda importante, ante una capacidad productiva limitada y materia prima con alto costo que afecta nuestra rentabilidad. Esta investigación no sólo se avoca ante una perspectiva netamente comercial y/o productiva; sino que trata de crear sensibilidad ante el grado de contaminación por la que actualmente atraviesa todo el planeta.

Existe un marcado interés mundial por los biocombustibles. En América Latina varios países han comenzado, o están preparando, programas de sustitución de energía. Brasil es líder mundial en el mercado de etanol, Europa es el principal productor de biodiesel; Asia, India, China, Corea y Japón tienen un enorme interés en estos productos. Durante el primer cuarto del siglo XXI, la industria agroquímica de biocombustibles, tiene quizás la mayor importancia a nivel mundial. El progresivo agotamiento del patrón energético basado en los combustibles fósiles no sólo

convirtió en una necesidad la producción de biocombustibles sino que además lo transformó en una oportunidad para el sector agropecuario.

En EE.UU., desde hace más de 30 años no se construye una refinería de petróleo, mientras que durante los años 2003 y 2004 se han estado construyendo más de 100 destilerías de bioetanol basadas en maíz como materia prima. Uno de los beneficios de introducir los biocombustibles, es sin duda, tener una diversificación en la matriz energética, en caso en el que la situación del petróleo y sus derivados se tome más complicada y conflictiva en los próximos años.

De la misma manera, la producción de biocombustibles involucra una gran cantidad de mano de obra local, con diverso grado de preparación para cubrir las nuevas necesidades agrícolas, energéticas, tecnológicas, de control de calidad, etc. Para los países que no son autosuficientes en diesel (caso Perú), la producción de biocombustibles debe generar una menor importación de dichos productos y consecuentemente una mejor balanza comercial.

Otro de los beneficios, es que constituye una opción para reducir la contaminación de gases de efecto invernadero (por ejemplo, en Brasil, el etanol y el biodiesel ya forman parte de la matriz energética). En los países de América Latina y el Caribe estas sustituciones pueden muy fácilmente calificar como proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), al evitar la generación de CO<sub>2</sub> con combustibles tradicionales. El biodiesel disminuye las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera así como también disminuye las emisiones de azufre y componentes aromáticos cancerígenos. Esto hace que los proyectos de biodiesel sean elegibles para obtener créditos de carbono según el Protocolo de Kyoto, que compromete a

los países industrializados a reducir para el año 2012, el 5% de sus emisiones de CO<sub>2</sub> respecto a los niveles registrados en 1990.

Mientras que en el resto del mundo, la concentración de partes por millón de azufre permitida en el diesel fluctúa entre las 50 y las 350, en nuestro país, los niveles existentes varían muy por encima de este valor. Además, el estado de nuestro envejecido parque automotor colabora con dicha situación, debido a la mala combustión de los combustibles que utilizan, y al mal o escaso mantenimiento que se proporciona a dichas unidades.

## **I.1. SITUACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN AMÉRICA DEL SUR**

### **I.1.1. Argentina**

En el mes de mayo del 2006 se promulgó la Ley 26.093 que estableció un régimen de regulación y promoción para los biocombustibles. Esta ley dispone que a partir del año 2010, el diesel comercializado deba tener un 5% de productos derivados de oleaginosas o cereales. Esta ley generará a partir del 2010 una demanda cautiva anual de 637 000 toneladas de bioetanol para atender el corte obligatorio en el país. La Secretaría de Agricultura estima que durante el primer año después de la puesta en práctica de la ley, 3,5 millones de toneladas de granos de soja serán necesarias para generar el biodiesel necesario. Tan solo la soja se constituiría como el 35% de la demanda nacional de biodiesel.

Este país posee ventajas comparativas para el desarrollo de un mercado de biodiesel y bioetanol, un complejo oleaginoso eficiente y altamente tecnificado, una

producción de metanol y etanol creciente, y un mercado de nafta y gasoil con volúmenes significativos. Actualmente, las plantas elaboradoras de aceites se localizan en seis provincias, la mayoría de las mismas cercanas a las zonas de embarque de la provincia de Santa Fe y sur de la provincia de Buenos Aires, respondiendo a la actual estructura agro exportadora argentina.

### **I.1.2. Brasil**

Este país ha estado estimulado por una coyuntura favorable que incluye alta productividad y petróleo a un precio en promedio de US\$ 90.00 en el mercado internacional; dicho país está llevando a cabo una revolución verde capaz de alejar definitivamente el riesgo del desabastecimiento y de la degradación medioambiental. Primero con el alcohol combustible (etanol) y ahora con el biodiesel. El alcohol combustible no sólo comienza a ser adoptado por países como Venezuela e India, también ha sido estudiado por especialistas japoneses y chinos. Como prueba de su viabilidad comercial, Petrobras incorporó las dos alternativas al portafolio de inversiones. El Director de Abastecimiento, Paulo Roberto Costa, de la estatal brasileña reveló que para el año 2008 la empresa pretende exportar un equivalente a 350 mil m<sup>3</sup> de alcohol combustible a Venezuela y Nigeria, con una proyección hasta los 1 800 millones de litros por año. Además dicha empresa ha formado un *joint venture* con Japón Alcohol Trading, con el objetivo de activar el mercado japonés (dicho mercado permite el uso del 3% de bioetanol en la formulación de sus gasolinas).

Para tener una idea, en Brasil, el segmento azúcar – alcohol ha estado atrayendo cada vez más intereses de los inversionistas extranjeros. Una encuesta realizada

en julio (2006), demostró que fueron realizadas 229 operaciones de fusión y adquisiciones en esta área, en comparación con las 383 llevadas a cabo durante el año anterior. Actualmente existen en dicho país, 330 fábricas en operación y más de una centena de proyectos en construcción.

El gobierno determinó mediante una medida, la obligatoriedad de la adición de un porcentaje de biodiesel al diesel fósil. A partir del 2008 todo el diesel comercializado en este país tendrá que contener una mezcla obligatoria que incluya un 2% de biodiesel. A partir del año 2013, esa proporción tendrá que ser ampliada a 5%. Una de las primeras en mezclar el producto, BR Distribuidora, (Distribuidor de Petrobrás), ya comenzó a comercializar diesel con el 2% estipulado en las 1750 estaciones de su red.

Según la expectativa de la Presidente de BR Distribuidora, Maria de Gracas Foster, en los próximos años un total de 4 110 estaciones de servicios de diferentes banderas, distribuirán el biodiesel en todo el país. El producto es comercializado mediante subasta, promovido por la Agencia Nacional de Petróleo. Además de BR Distribuidora, otras distribuidoras que también participan de esas subastas, como Shell e Iparinga, se preparan para iniciar la comercialización de su biodiesel.

### **1.1.3. Chile**

El plan de gobierno de la Presidenta Bachelet promueve el uso de las energías renovables para disminuir la dependencia de las importaciones. La Superintendencia de Combustibles está estudiando en el presente año el estado de la legislación para la inclusión de los biocombustibles. Esta es una decisión

estratégica que busca reducir la dependencia energética de los productos importados en el país, en un orden del 10%, generando actividad económica y fuentes de trabajo en el sector agrícola.

Dicho país cuenta, en la actualidad, con un grupo de trabajo constituido por el Ministerio de Agricultura, el Ministerio de Transporte, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles y la Comisión Nacional de Energía para analizar las especificaciones que debiese tener este tipo de combustibles; asimismo, las normas de calidad y su impacto en la agricultura, la disponibilidad de tierras y la sustentabilidad. Empresas como LANSA y ENAP están en la actualidad elaborando los estudios de factibilidad técnica y económica para la generación de biocombustibles.

#### **I.1.4. Colombia**

En este país, los expertos consideran establecer un Programa de Biocombustibles, cuya meta inmediata a corto plazo, es la creación de 30 complejos agro químicos de Bioetanol y 10 de Biodiesel. En la actualidad como resultado de la Ley 693 del año 2001, se contempla la instalación de 9 plantas de Bioetanol. Otra de las asignaturas pendientes, es promover la creación de compañías o complejos agro químicos autónomos que incluyan en forma integrada las tierras de los cultivos agrícolas y las plantas químicas que procesarán los productos vegetales para producir biocombustibles; también proponen crear una empresa del Estado bajo la dirección del Ministerio de Energía, para promocionar la creación de las nuevas compañías, o complejos agro químicos, y coordinar el desarrollo dentro de un programa lógico e integral.

### **I.1.5. Paraguay**

En este país la hidroenergía, la biomasa y últimamente los biocombustibles componen la estructura de la producción de energía primaria. El plan estratégico del sector energético para el periodo 2005 – 2013 contempla, entre otras acciones, la puesta en marcha de una planta piloto de biodiesel con una capacidad aproximada de 5 000 toneladas/año, la aprobación de una ley para la promoción de los biocombustibles y su decreto reglamentario; elaboración y aprobación de normas a ser aplicadas en la industria de los biocombustibles.

Para la difusión de los biocombustibles el gobierno de dicho país, ha creado el Grupo Impulsor de Biocombustibles, con la participación del sector público y privado. El programa de producción de biocombustibles 2006 – 2008 establece entre sus principales aspectos, diversificación de la oferta energética renovable, disminución de la dependencia de la importación de derivados del petróleo, sustitución de energía fósil por renovables, introducción de Mecanismos de Desarrollo Limpio en la Producción de Biocombustibles, y el desarrollo de Cadenas Productivas Agroindustriales.

### **I.1.6. Perú**

El Consejo Directivo del Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) mediante el decreto 024-01—CD/CONAM, creó un Grupo Técnico Multisectorial para promover el uso de biocombustibles en el año 2002; dicho grupo concluyó que el uso de biocombustibles líquidos se presenta como una gran oportunidad para reducir la

contaminación ambiental, la promoción de la agricultura e incrementar las fuentes de trabajo.

El 7 de agosto del 2003 se promulgó la Ley 28054, con el objetivo de establecer el marco general para promover el desarrollo de los biocombustibles. Este mercado se debe basar en la libre competencia y el libre acceso de la actividad económica. También tuvo como objetivo diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, disminuir la contaminación ambiental y ofrecer un mercado alternativo en la lucha contra las drogas (Ver anexo I).

El 20 de marzo del 2006 se aprobó el Decreto Supremo 012-2005- EM, que norma el contenido de azufre a niveles de 50 partes por millón, además de la reducción a partir del 1 de enero de 2008. Asimismo, determinará el Impuesto Selectivo al Consumo de los combustibles, introduciendo el criterio de proporcionalidad al grado de nocividad para la salud de la población por los contaminantes que éstos contengan.

Mediante el Decreto Supremo 021-2007-EM (20 de abril del 2007) se aprobó el Reglamento para la Comercialización de los Biocombustibles. Este reglamento establece que el porcentaje de mezcla de alcohol carburante en las gasolinas será de 7,8%, denominando a cada tipo, como gasohol 84 Plus, gasohol 90 Plus, gasohol 95 Plus y gasohol 97 Plus; y para el caso del biodiesel, será de 2%, 5% y 20%, denominando a cada tipo de biodiesel, como diesel B2, diesel B5 y diesel B20. Señala, que las mezclas deberán realizarse sólo en plantas de abastecimiento con autorización de la Dirección General de Hidrocarburos (Ver anexo II)

Este reglamento permite la comercialización del gasohol en todo el país a partir de 21 de abril del 2007 y a partir del 1 de enero del 2010 será de uso obligatorio; para el caso del diesel B2 se permite su comercialización en todo el país a partir del 21 de abril del 2007, y a partir del 1 de enero del 2009 será obligatorio su uso y a partir del 1 de enero del 2011 será obligatorio el uso del diesel B5 en reemplazo del diesel B2.

Sin embargo, no se ha iniciado una comercialización a gran escala, para tener un indicador en tomo al mercado, aceptación del cliente, etc. Se han desarrollado planes pilotos, destacando la Universidad Nacional Agraria, que ha tomado la batuta en este asunto y ha dado a conocer a través de los medios de comunicación las ventajas del biodiesel con muy buenas expectativas para su uso por los consumidores, lo que a su vez alienta las investigaciones acerca de los biocombustibles.

#### **I.1.7. Uruguay**

El gran desafío que se le presenta a este país es cómo actuar sobre la matriz de consumo de combustibles con recursos autóctonos. Desde el Ministerio de Industria, Energía y Tecnología Nuclear aseguran que se busca sustituir un porcentaje de los 800 000 m<sup>3</sup> /año de gasoil consumidos en el país. Paralelamente se piensa introducir alcohol en dicho sistema.

Las medidas para este año están dirigidas a lograr un aumento del área sembrada de caña de azúcar, inversión en el proceso de adquisición de equipos para la destilación de alcohol, establecimiento del marco legal para los agrocombustibles,

incorporar a la matriz energética agrocombustibles de origen nacional y con materias primas nacionales (biodiesel, 2% en el año 2008 y 5% en 2015; en el caso del alcohol, las previsiones indican 5% en el 2015).

## **I.2. JUSTIFICACIÓN**

La sustitución de los combustibles fósiles por aquellos combustibles producidos a partir de biomasa, nos dan una diferencia significativa en la cantidad de los gases tóxicos emitidos en nuestro medio ambiente, se reducen potencialmente las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG, Green House Gas), dado que el CO<sub>2</sub> producido deriva del carbono extraído de la atmósfera durante el crecimiento de la planta. En la práctica, sin embargo, se necesita un consumo de energía para cultivar la cosecha, procesar el residuo y convertirlo en biocombustible, por lo que la ganancia neta de energía y el ahorro neto de CO<sub>2</sub> podría reducirse significativamente. Las emisiones de N<sub>2</sub>O, un potente gas de efecto invernadero, procedentes de la agricultura también pueden afectar de forma significativa al balance de los GHG.

Predecir el futuro de los combustibles es una tarea no exenta de dificultad, pero necesaria para encuadrar la conducta que se debe mantener con el objeto de lograr un abastecimiento adecuado para el bienestar de la población; asimismo, obtener una oferta adecuada que pueda satisfacer la demanda, y todo dentro de un marco de desarrollo sostenible, que contemple también como objetivo la mejora de las condiciones medioambientales y de seguridad compatibles con el deseable incremento del nivel de vida; para ello, serán precisas las medidas tanto políticas como las de inversiones.

En el Perú, la producción de biodiesel es una alternativa económica para disminuir la importación de diesel, considerando el escenario actual, con un mercado donde predomina el diesel (57,56 MBDC de consumo de diesel durante agosto del 2006). La presencia del biodiesel es tan antigua como la existencia del motor, no siendo explotado debido a que no pudo competir con los precios del petróleo. Actualmente, la toma de conciencia ambiental en los consumidores para reducir los elementos tóxicos que se generan en la combustión de los combustibles fósiles, el avance de la tecnología, la reducción de precios de los aceites vegetales y el incremento en el rendimiento por hectárea de los mismos, así como el agotamiento del petróleo, condicionan para volcar los ojos al "oro verde", representado por los recursos de la biomasa; en consecuencia, para desarrollar este nuevo mercado, se está implementando plantas de procesamiento continuo de mediana magnitud con el otorgamiento de incentivos por parte del Gobierno.

### **I.3. DENOMINACIÓN DEL PROYECTO**

Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de Producción de Biodiesel en Refinerías Nacionales, con sede en Operaciones Conchán.

### **I.4. CLASIFICACIÓN Y UBICACIÓN DEL PROYECTO**

La planta de producción de biodiesel clasifica dentro de los sectores de energía e hidrocarburos.

La ubicación del proyecto se define dentro de las instalaciones de la Ex Planta de Químicos, situada a las afueras de Operaciones Conchán.

## **I.5. RESPONSABLES DE SU EJECUCIÓN**

- Cáceres Rolando , Diego Fernando                      Bachiller en Ingeniería Petroquímica
- Sedano Chihuahua, Sergio David                      Bachiller en Ingeniería Petroquímica

## **I.6. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **I.6.1. Generales**

1. Disminuir el contenido de azufre de diesel comercial, para preservar el medio ambiente, y dar cumplimiento a las normas ambientales existentes.
2. Disminuir las importaciones de diesel de Petroperú S.A., con un efecto económico favorable.
3. Incrementar la producción de diesel, con la inclusión de biodiesel para su comercialización, y generar mayores oportunidades de trabajo.
4. Dar un uso al área disponible en la ex planta de químicos, e instalaciones que actualmente se encuentran fuera de servicio.

### **I.6.2. Específicos**

- Determinar el procedimiento, seleccionar los insumos y aditivos para la elaboración de biodiesel.
- Determinar el porcentaje óptimo de inclusión de biodiesel en el pool de diesel producido en Operaciones Conchán

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **II.1. SITUACIÓN ENERGÉTICA DE LOS COMBUSTIBLES**

Los biocombustibles sólidos han sido utilizados siempre por el hombre. El hombre de las cavernas utilizaba leña y paja para calentarse, calentar su comida y transformar metales. Sin embargo, actualmente parecen ser unos “combustibles nuevos”, pero realmente son nuevas las tecnologías con las cuales se manejan y aprovechan.

Las reservas de combustibles fósiles son cada día menores, debido al alto consumo que hacemos de ellos. La civilización actual, para algunos, es la civilización de los automóviles, es decir, del vehículo equipado con un motor térmico que consume gasolina o diesel, ambos derivados del petróleo. Es sabido que resulta muy difícil cuantificar las reservas probadas y probables de combustibles fósiles y de los llamados ‘combustibles nucleares’ (en una reacción nuclear el proceso no es una combustión, sino una transformación de masa en energía según la ecuación de Einstein). Una de las estimaciones de las reservas y recursos de combustibles fósiles, figura en la Tabla 2.1, donde se distinguen tres grupos de fuentes energéticas:

**TABLA 2.1:** Reservas y recursos de combustibles fósiles y “combustibles nucleares” en el mundo

<b>Grupo</b>	<b>Combustible fósil y “combustible nuclear”</b>	<b>Reserva (tec)</b>	<b>Recurso (tec)</b>
<b>I</b>	Petróleo	$1,4 \cdot 10^{11}$	$4,4 \cdot 10^{11}$
	Gas natural	$1,0 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{11}$
	Sólidos (carbones)	$6,8 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{11}$
	Uranio	$6,8 \cdot 10^{11}$	$1,2 \cdot 10^{11}$
<b>II</b>	Petróleo pesado	$5,0 \cdot 10^{11}$	$5,0 \cdot 10^{11}$
	Arenas asfálticas		
	Pizarras bituminosas		
<b>III</b>	Torio	$3,4 \cdot 10^{12}$	$3,4 \cdot 10^{17}$
	Deuterio	-	

Tec: tonelada equivalente de carbón=  $2.93 \times 10^{10}$  J=  $7 \times 10^9$  cal

Fuente: [www.biodieselspain.com](http://www.biodieselspain.com)

- Grupo I, o fuentes de importancia económica actual a nivel regional, con tecnologías plenamente desarrolladas.
- Grupo II, o fuentes de poca importancia económica actual a nivel regional, o con tecnologías poco desarrolladas y que presentan interés a mediano plazo. (Por ejemplo, Canadá tiene como fuente de energía a las arenas asfálticas y petróleos pesados)
- Grupo III, o fuentes no utilizables, actualmente con tecnologías poco o nada desarrolladas y que presentan interés a largo plazo. (Por ejemplo, más del 60% de la energía en Francia es nuclear).

A pesar de ello, el mayor consumo de energía primaria y final en el mundo (Tabla 2.2) es debido a los combustibles fósiles. En términos de energía primaria, estos suponen un 84% del consumo total a nivel mundial. Los biocombustibles (englobados en parte en la biomasa), a nivel mundial, suponen más de un 9% de la energía final ya que en la Tabla 2.1 hay una pequeña cantidad de calor y

electricidad que es obtenida con biocombustibles y que se añade al 9% de la biomasa.

**TABLA 2.2:** Energía primaria y final en el mundo por fuente

<b>Energía primaria</b>			<b>Energía final</b>		
	<b>Mtep</b>	<b>%</b>		<b>Mtep</b>	<b>%</b>
Combustibles sólidos (carbones y otros)	2121	25	Combustibles sólidos	812	14
Petróleo	3224	38	Petróleo	2334	41
Gas	1781	21	Gas	1036	18
<b>Total combustibles fósiles</b>	<b>7126</b>	<b>84</b>	Electricidad	858	15
	510	6	Calor	164	3
Nuclear	848	10	Biomasa	497	9
Renovables					
<b>Total</b>	<b>8484</b>	<b>100</b>	<b>Total</b>	<b>5701</b>	<b>100</b>

Fuente: [www.biodieselspain.com](http://www.biodieselspain.com)

Es conocida entre los planificadores energéticos, la siguiente anécdota: 'Hace 30 años había petróleo para 30 años, hace 20 años había petróleo para 20 años, hace 10 años había petróleo para 10 años, y hoy hay petróleo para 30 años'. El problema no es sólo si hay o no hay reservas de petróleo, si no a qué precio está el barril de petróleo. Para mantener ese precio, y por otros motivos políticos, se acometió una guerra (la Guerra del Golfo), y según los defensores a ultranza de las energías renovables, si consideramos las 'externalidades' (es decir, los costos externos indirectos) del sector petróleo, este combustible fósil sería mucho más caro. Las externalidades del sector combustibles fósiles se presentan en la Tabla 2.3.

**TABLA 2.3:** Algunas externalidades puestas de manifiesto en el sector combustibles fósiles

Petróleo y derivados	Gastos militares Suciedad en ciudades Cauces de agua contaminados Lluvia ácida Gases del efecto invernadero
Carbón	Lluvia ácida Gases del efecto invernadero Suciedad en ciudades
Gas natural	Explosión de gaseoductos

Fuente: [www.biodieselspan.com](http://www.biodieselspan.com)

## II.2. CONCEPTO DE BIOCOMBUSTIBLE

Se entiende por biocombustible aquel combustible de origen biológico que no se ha fosilizado. Si no se añade la frase “no se ha fosilizado”, el petróleo, los carbones minerales (hulla, lignitos, turba antracitas) y gas natural serían considerados biocombustibles, ya que su origen también es biológico; pero han sido fosilizados hace cientos de miles de años.

Por otro lado, la definición más sencilla de combustibles es “cuerpo sólido, líquido o gaseoso capaz de arder”. A nivel popular, se entiende como combustible, toda materia que mezclada con el oxígeno produce una reacción (de combustión) que desprende energía calorífica. En el fondo científico, un combustible es un ‘almacén de energía química’. En última instancia, el origen de los biocombustibles es la energía solar que es almacenada por algunos seres vivos en forma de biocombustible.

Una de las grandes ventajas de los biocombustibles frente a los denominados combustibles fósiles, es que son renovables y se consideran como una energía renovable destinada a suplir las carencias futuras de combustibles fósiles.

Por este motivo, las investigaciones recientes tratan de aplicar tecnologías más eficaces y rentables, empleando los nuevos materiales en la obtención y transformación de la biomasa en biocombustible, apto para generar calor y/o energía eléctrica.

### II.3. CLASIFICACIONES DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

Los biocombustibles se pueden clasificar atendiendo a varios criterios. La clasificación en función del origen de los mismos (Tabla 2.4), y la clasificación según su apariencia física. Según este criterio pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos. Así, obtenemos la Tabla 2.5.

**TABLA 2.4:** Clasificación de los biocombustibles en función de su origen

<b>Origen del Biocombustible</b>		<b>Especie o Procedencia</b>
Cultivos energéticos	Agrícolas	Cardo, sorgo, miscanto, girazo, soja, maíz, trigo, cebada, remolacha, especies C-4 agrícolas.
	Forestales	Chopos, sauces, eucaliptos, robinias, acacias, especies C-4 forestales
Restos de cultivos agrícolas	Cultivos herbáceos	Paja, restos de cereales y otras especies herbáceas
Restos de tratamientos selvícolas	Podas, claras, clareos, restos de cortas finales	Especies forestales de los montes

**TABLA 2.4 (Cont): Clasificación de los biocombustibles en función de su origen**

Restos de industrias forestales	Industrias de primera transformación de la madera	Especies de madera española o importada utilizadas por estas industrias
	Industrias de segunda transformación de la madera	Especies de madera española o importada utilizadas por estas industrias
Restos de industrias agro- alimentarias		Especies vegetales usadas en la industria de la alimentación
Restos de explotaciones ganaderas		Animales de granja, domésticos
Restos de actividades humanas		Todo tipo de biomasa sólidas urbanas

Fuente: [www.biodieselspain.com](http://www.biodieselspain.com)

**TABLA 2.5: Clasificación de los biocombustibles en función de su aspecto físico**

Aspecto físico	Biocombustible
Sólidos	Leñas y astillas Paja de cereales y biomasa de cardo, miscantos Biocombustibles sólidos densificados (pelets y briquetas) Carbón vegetal
Líquidos	Líquido piroleñoso Líquido de hidrólisis Bioetanol y bioalcoholes Aditivos oxigenados Aceite vegetal Metiléster
Gases	Biogas de origen muy diverso

Fuente: [www.biodieselspain.com](http://www.biodieselspain.com)

#### **II.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS QUE DEFINEN UN BIOCMBUSTIBLE**

Las características físicas y químicas que definen un combustible, y las unidades en que se miden se recogen en la Tabla 2.6. Algunas de ellas, como la superficie específica sólo es interesante su consideración, en biocombustibles sólidos. Otras

como el porcentaje de corteza, son sólo características de un biocombustible (la leña). Otras (viscosidad, por ejemplo) sólo se pueden determinar en combustibles líquidos.

**TABLA 2.6:** Características físicas, químicas y físico químicas de los biocombustibles y sus unidades de medida

<b>Físicas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Forma</li> <li>2) Aspecto (color, brillo)</li> <li>3) Densidad</li> <li>4) Peso del estéreo</li> <li>5) Humedad</li> <li>6) Superficie específica</li> <li>7) Porcentaje de corteza</li> <li>8) Friabilidad</li> <li>9) Resistencia a la compresión</li> <li>10) Viscosidad</li> <li>11) Índice de <math>K_{uop}</math></li> <li>12) Temperatura de ebullición / Destilación</li> <li>13) Otros índices físicos exclusivos de combustibles líquidos y gaseosos</li> </ol>	<p>-</p> <p>-</p> <p>kg/dm<sup>3</sup></p> <p>kg/estereo</p> <p>%</p> <p>cm<sup>2</sup>/dm<sup>3</sup></p> <p>%</p> <p>índices</p> <p>kg/cm<sup>2</sup></p> <p>poise</p> <p>índice <math>K_{uop}</math></p> <p>°C</p> <p>Índices</p>
<b>Químicas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Composición química elemental</li> <li>2) Composición química por compuestos</li> <li>3) Composición química de cenizas</li> <li>4) Composición química de gases de escape</li> <li>5) Poderes caloríficos</li> <li>6) Índice de yodo</li> <li>7) Índices de octano y cetano</li> <li>8) Otros índices químicos exclusivos de combustibles líquidos y gaseosos</li> </ol>	<p>%</p> <p>%</p> <p>%</p> <p>%</p> <p>kJ/kg, kcal/kg</p> <p>Índice yodo</p> <p>Índices</p> <p>Índices</p>
<b>Físico-químicas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Coeficiente de conductividad térmica</li> <li>2) Combustibilidad: temperaturas y tiempos de combustión</li> <li>3) Inflamabilidad: temperatura y tiempo de inflamación temperatura máxima de llama</li> <li>4) Potencia calorífica</li> <li>5) Densidad energética y energía del estéreo</li> </ol>	<p>W/m.s.</p> <p>°C, s</p> <p>°C, s. °C</p> <p>W/s</p> <p>KJ/dm<sup>3</sup>, kJ/est</p>

Fuente: [www.biodieselspain.com](http://www.biodieselspain.com)

Desde el punto de vista energético, una de las principales características de los biocombustibles es su poder calorífico. La definición clásica de Kollman (1959) sobre el poder calorífico fue "es el calor desprendido por kilogramo de combustible

en combustión completa a la presión constante de  $1\text{Kg}/\text{cm}^2$ ". Bonfill (1985), Buatas (1982), Elvira (1982) y Marcos (1986) han distinguido los conceptos de poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI). Podemos distinguir, por tanto, los siguientes conceptos:

**Poder calorífico superior (PCS).** También es llamado calor de combustión superior. En inglés se denomina Gross Heating Value. Es el calor desprendido por un kilogramo de combustible, y su valor se mide en bomba calorimétrica. La combustión, como ya hemos indicado, se realiza a volumen constante. El agua de combustión es recogida en forma líquida. Su valor depende del contenido de hidrógeno de la muestra.

**Poder calorífico inferior (PCI).** En inglés Lower Heating Value. Es el calor desprendido por un kilogramo de combustible, en una combustión en la que el agua formada por el hidrógeno del combustible se libera en forma de vapor. Si esta agua se condensa desprendería calor y obtendríamos entonces el PCS, y, a mayor humedad del combustible, mayor resulta ser esta diferencia. Como la mayor parte de los equipos térmicos disipan por sus chimeneas el agua en forma de vapor, sin recuperadores, el PCI es el poder calorífico que debe emplearse en la industria. Sin embargo, experimentalmente, sólo se obtiene el PCS, y a partir de éste se obtiene el PCI.

## **II.5. LOS BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS**

Cultivos susceptibles de uso energético a corto plazo:

1. Azucareros, para producción de alcoholes (para mezclar con gasolina y utilizar en motores del ciclo Otto). Los subproductos, energía para la destilación o electricidad.
  
2. Oleaginosos:
  - a) Para esterificar el aceite, y emplear solo o en mezcla para motores de ciclo Diesel. Los subproductos, para alimentación animal o electricidad.
  - b) Para usar en motores Diesel lentos en solitario o mezclados con aceites fósiles. Subproductos, como antes.
  
3. Forestales (de rápido crecimiento):
  - a) Para utilizar en pastillas y quemar en calderas de pequeña y mediana potencia para energía térmica
  - b) Para transformar en polvo de carbón y quemar en calderas de pequeña potencia para energía térmica de uso doméstico e industrial.
  - c) Para utilizar en pastillas, y quemar en grandes centrales (10-30 MW), mediante turbinas.

**TABLA 2.7:** Características generales de distintos combustibles líquidos renovables obtenidos a partir de la biomasa

Parámetro	Metanol	Etanol	Aceite de girasol	Aceites vegetales en general
Fórmula	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	-	
Densidad relativa	0,80	0,79	0,92	0,90-0,92
Viscosidad a 20°C (cSt)	0,75	1,51	70	55-95
Temperatura de:				
Ebullición (°C)	65	78	150	150-300
Congelación (°C)	-95	-118	-	-
Calor latente (kJ/kg)	1 167	925	-	-
Relación estequiométrica	8,7	9,0	-	-
Límite de inflamabilidad (% en volumen)	6,36	1,14	-	-
Punto de enturbamiento (°C)	-	-	-7	-
PCI (MJ/kg)	19,9	26,8	39,8	37-39,5
(MJ/l)	15,9	21,3	36,6	36-39

Fuente: [www.biodieselspain.com](http://www.biodieselspain.com)

### **II.5.1 Ventajas y desventajas de estos cultivos**

Entre las ventajas de utilizar estos cultivos, tenemos:

- La polivalencia del empleo de este producto en su transformación de energía, bien para electricidad, calor, o directamente en un motor de combustión interna.
- Los motores admiten, mal que bien, este combustible diesel; en el año 1900 se hizo funcionar un motor con aceite de maní.
- El petróleo no durará siempre; es cierto que vamos retardando su final, pero hoy se suponen unos 100 años, aunque desde hace algún tiempo se va alejando este final continuamente. En efecto, hace sólo 30 años se pensaba que quedaban unos 70 años de utilización de esta fuente de energía; el aumento es

debido a que se encuentran más bolsas de crudo, siendo algunas consideradas inaccesibles económicamente, y han dejado de serlo, merced a las mejoras conseguidas en los nuevos sistemas de extracción y refinado.

- Diversificación de la producción agrícola, precisamente hacia este tipo de cultivos.
- Protección del medio ambiente; la combustión del aceite no altera el equilibrio del CO<sub>2</sub>, tiene menos sulfuros, se manipulan y almacenan con mayor facilidad, salvo excepciones.
- Se disminuye la dependencia de los países productores de petróleo.
- Aprovechamiento de los subproductos.

Por otra parte, entre las desventajas:

- Las operaciones que requieren los combustibles antes de su empleo en el motor (aditivos, esterificación, calentamiento, etc.).
- Las modificaciones que, en general, necesitan los motores al querer utilizar estos combustibles alternativos (en el caso del Biodiesel no es necesario).
- Las prestaciones, menores que en los motores convencionales, quizás por ser estos muchos más estudiados.

Además de esto, y según el estado propio en que se encuentran estos combustibles, su adecuada forma de empleo parece ser la siguiente:

- En combustibles sólidos, la combustión directa como biomasa en calderas, para producir calor o empleo en desecación; la relación de energía (input / output) puede llegar a ser superior a 3.

- En combustibles líquidos, la esterificación puede ser el ideal, al utilizarse en motores que actualmente están en uso; la relación de energía, contando los subproductos, alcanza el valor de 2,4.
- En combustibles gaseosos, obtenidos por pirolisis o fermentación, usados para obtención de calor, con relaciones de 2,7 a 2,9, hay tecnologías que consiguen un gas de un poder calorífico inferior de 20 a 25 MJ/m<sup>3</sup>.

## **II.6. DEFINICIÓN Y ESPECIFICACIONES DEL BIODIESEL**

El biodiesel es un biocombustible líquido producido a partir de los aceites vegetales grasas animales, siendo la palma, la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas para este fin. Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas que las del diesel automotor en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiesel puede mezclarse con el diesel para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente.

La definición de biodiesel propuesta por las especificaciones ASTM (American Society for Testing and Material Standard, Sociedad Americana de Estándares de Pruebas y Materiales) lo describe como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión. Sin embargo, los ésteres más utilizados, como veremos más adelante, son los de metanol y etanol (obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites vegetales o grasas animales o de la esterificación de los ácidos grasos) debido a su bajo costo y sus ventajas químicas y físicas.

A diferencia de otros combustibles, los biocarburantes presentan la particularidad de utilizar productos vegetales como materia prima. Esto es la causa de que sea preciso tener en cuenta las características de los mercados agrícolas, junto a la complejidad que ya de por sí presentan los mercados energéticos. En este sentido, hay que destacar que el desarrollo de la industria de los biocarburantes depende tanto de la disponibilidad local de materia prima como de la existencia de una demanda suficiente.

Al asegurar la existencia de una demanda de biocarburantes, el desarrollo de su mercado puede aprovecharse para potenciar otras políticas como la agrícola, favoreciendo la creación de empleo en el sector primario, la fijación de población en el ámbito rural, el desarrollo industrial y de actividades agrícolas, y reduciendo a la vez los efectos de la desertización gracias a la plantación de cultivos energéticos.

En cuanto al uso de biodiesel como combustible automotor, ha de señalarse que las características de los ésteres son más parecidas a las del diesel que las del aceite vegetal sin modificar. La viscosidad del éster es dos veces superior a la del diesel frente a diez veces o más de la del aceite crudo; además, el índice de cetano de los ésteres es superior, siendo los valores adecuados para su uso como combustible. ASTM ha especificado la norma ASTM-D6751-06 ESPECIFICACIONES DE BIODIESEL PARA B100, la cual será una referencia en nuestro país hasta que se apruebe la NTP (Norma Técnica Peruana) correspondiente. En la Tabla 2.8 se enumeran las especificaciones establecidas para el biodiesel y el método de ensayo correspondiente.

**TABLA 2.8:** Especificaciones del Biodiesel

<b>Propiedades del combustible</b>	<b>Unidades</b>	<b>Biodiesel</b>
Norma		ASTM D6751
Composición		C12-C22 FAME
Viscosidad cinemática	CSt a 40°C	1,9 – 6,0
Agua y sedimentos	% Vol.	0,05 máx.
Residuo de carbón	% peso	0,05 máx.
Azufre	% peso	0,05 máx.
Cenizas sulfatadas	% masa	0,020 máx.
Corrosión en lamina de cobre		N°3 máx.
Punto de inflamación	°C	130 min.
Numero de cetano		47 min.
Temperatura de destilación 90%	°C	360 máx.
Gravedad especifica	Kg/l a 60°F	0,88
Numero de acidez	Mg KOH/gr	0,80 máx.
Glicerina libre	% masa	0,020
Glicerina total	% masa	0,240
Contenido de fósforo	% masa	0,001 máx.

## **II.7 MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

A continuación se detallan las principales materias primas para la elaboración de biodiesel [Vicente 1998, 2001]:

### ***Aceltes vegetales convencionales***

- Aceite de girasol
- Aceite de colza
- Aceite de soja
- Aceite de coco
- Aceite de palma

### ***Aceites vegetales alternativos***

- Aceite de canola
- Aceite de cynara cardunculus
- Aceite de camelina sativa
- Aceite de crambe abyssinica
- Aceite de pogianus
- Aceite de jatropha curcas

### ***Aceites de semillas modificadas genéticamente***

- Aceite de girasol de alto contenido oléico

### ***Grasas animales***

- Sebo de vaca
- Sebo de pollo

### ***Aceites de fritura usados***

### ***Aceites de otras fuentes***

- Aceites de producciones microbianas
- Aceites de microalgas

### **II.7.1. Aceites vegetales convencionales**

Las materias primas utilizadas convencionalmente en la producción de biodiesel han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol y la colza (Europa), la soja (Estados Unidos) y el coco (Filipinas); y los aceites de frutos oleaginosos como la palma (Sudamérica, Malasia e Indonesia). Por razones climatológicas, la colza (*brassica napus*) se produce principalmente en el norte de Europa y el girasol (*helianthus annuus*) en los países mediterráneos del sur, como España o Italia. La utilización de estos aceites para producir biodiesel en Europa ha estado asociada a las regulaciones de retirada obligatoria de tierras de la Política Agraria Común (PAC) que permite el cultivo de semillas oleaginosas a precios razonables. Sin embargo, la dedicación de sólo las tierras de retirada para la producción de materias primas energéticas supone un riesgo por cuanto estas superficies varían en el tiempo, ya que el régimen de retirada de tierras depende de la oferta y la demanda de cereales alimentarios, lo que implica que este índice está sujeto a alteraciones. En nuestro país, el uso de cultivos tradicionales como energéticos está condicionado además por la producción del aceite, ya que la producción media por hectárea de aceite de palma resulta poco atractivo, desde el punto de vista del agricultor, para elegir este cultivo como fuente de obtención de biocarburantes frente a otros cultivos más rentables además del cultivo de la hoja de coca.

### **II.7.2. Aceites vegetales alternativos**

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

materias primas de la producción de biodiesel, los aceites de *canola*, *crambe abyssinica* y *jatropha curcas*. Existen otros cultivos que se adaptan mejor a las condiciones de nuestro país y que presentan rendimientos de producción mayores. En concreto, se trata de los cultivos de *brassica carinata* y *cynara cardunculus*. La *brassica carinata* es una alternativa real al secano y regadío extensivo. La *cynara cardunculus* es un cultivo plurianual y permanente, de unos diez años de ocupación del terreno, y orientado fundamentalmente a la producción de biomasa, aunque también pueden aprovecharse sus semillas para la obtención de aceite. Se obtienen de 2 000 a 3 000 kilogramos de semillas, cuyo aceite sirve de materia prima para la fabricación de biodiesel.

### **II.7.3 Aceites vegetales modificados genéticamente**

Los aceites y las grasas se diferencian principalmente en su contenido en ácidos grasos. Los aceites con proporciones altas de ácidos grasos insaturados, como el aceite de girasol o de *camelina sativa*, mejoran la operatividad del biodiesel a bajas temperaturas, pero disminuyen su estabilidad a la oxidación, que se traduce en un índice de yodo elevado. Por este motivo, se pueden tener en consideración, como materias primas para producir biodiesel, los aceites con elevado contenido en insaturaciones, que han sido modificados genéticamente para reducir esta proporción, como el aceite de girasol de alto contenido oleico.

### **II.7.4 Aceites de fritura usados**

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización

se evitan los costos de tratamiento como residuo. Por su parte, los aceites usados presentan un bajo nivel de reutilización, por lo que no sufren grandes alteraciones y muestran una buena aptitud para su aprovechamiento como biocombustible. La producción de los aceites usados en nuestro país no cuenta con estadísticas referenciales que nos puedan dar un aproximado de la disponibilidad de este recurso. Además, como valor añadido, la utilización de aceites usados significa la buena gestión y uso del residuo. Esta alternativa es la que más ventajas tiene porque además de producir combustible elimina un residuo contaminante como es el aceite usado. Este aceite da problemas al depurar el agua; sin embargo, su recogida es problemática. La comisión europea propone que los estados creen un sistema de recojo de aceite frito, oleinas y grasas en tres etapas: industrial, hostelería y doméstica. La utilización de aceites usados presenta dificultades logísticas, no sólo por su recogida, como se ha mencionado, sino también por su control y trazabilidad debido a su carácter de residuo.

Durante el proceso de fritura ocurren reacciones termolíticas y oxidativas en el aceite debido a la alta temperatura, en especial cuando en el medio hay sustancias o residuos que actúan como catalizadores de esta alteración. Cuando los aceites y grasas son calentados a temperaturas mayores a 100 °C, tres importantes reacciones químicas ocurren simultáneamente: la hidrólisis, la polimerización y la oxidación las cuales son responsables de su rancidez.

#### **II.7.4.1. La hidrólisis**

Esta reacción rompe el enlace entre los ácidos grasos y el glicerol, formando ácidos grasos libre (AGL) así como monoglicéridos (MG) y diglicéridos (DG).

Esta resulta acelerada por las altas temperaturas y la presencia de agua, como en el caso de la preparación de alimentos fritos con alto contenido de humedad, donde el aceite o grasa puede alcanzar una temperatura de 176.6°C.

GRÁFICO 2.1: Reacción de hidrólisis



#### II.7.4.2. La oxidación

Esta reacción tiene lugar en los dobles enlaces o puntos de insaturación del ácido formando peróxido. Los aceites que contienen una proporción elevada de ácidos grasos insaturados, son más propensos a la oxidación que los que contienen cantidades bajas. Durante este proceso van apareciendo cambios organolépticos (alteración del sabor, palatabilidad, oscurecimiento), físicos (aumento de la viscosidad) y químicos (formación de polímeros y compuestos volátiles), lo que caracteriza a un aceite vegetal usado.

GRÁFICO 2.2: Reacción de oxidación



### **II.7.4.3 La polimerización**

Esta reacción se produce cuando los peróxidos formados en la oxidación de los ácidos grasos, se fusionan para formar compuestos volátiles, compuestos cíclicos, hidróxidos, epóxidos y carbonilos. Estas reacciones tienen lugar en los puntos de insaturación de las cadenas de ácidos grasos y se llevan a cabo durante la fritura a temperaturas entre 200°C y 300°C y durante tiempos prolongados de exposición (10 horas), ocasionando el aumento de la viscosidad y la formación de espuma en los aceites de fritura.

### **II.7.5. Grasas animales**

Además de los aceites vegetales y los aceites de fritura usados, las grasas animales, y más concretamente el sebo de vaca y pollo pueden utilizarse como materia prima de la transesterificación para obtener biodiesel. El sebo tiene diferentes grados de calidad respecto a su utilización en la alimentación, empleándose los de peor calidad en la formulación de los alimentos de animales. La aplicación de grasas animales surgió a los mismos como subproducto.

### **II.7.6. Aceites de otras fuentes**

Por otra parte, es interesante señalar la producción de lípidos de composiciones similares a los aceites vegetales, mediante procesos microbianos, a partir de algas, bacterias y hongos, así como a partir de microalgas.

### **II.7.7 Otras fuentes**

Por último, cabe destacar que está en estudio la utilización de bioetanol y biometanol en el proceso de esterificación de dichos aceites para la producción de Biodiesel, al igual que el desarrollo de cultivos específicos para fines energéticos, no alimentarios.

Por tanto, los biocarburantes presentan la particularidad de utilizar productos vegetales como materia prima y, por tanto hay que tener en cuenta las características de los mercados agrícolas, junto a la complejidad que ya de por sí presentan los mercados energéticos. En este sentido, tal como se comentó anteriormente, hay que destacar que el desarrollo de la industria de los biocarburantes no depende principalmente de la disponibilidad local de materia prima, sino de la existencia de una demanda suficiente, que puede servir para potenciar otras políticas como la agrícola.

La Unión Europea prepara un plan de acción en biomasa con medidas y acciones para impulsar la generación de electricidad y calor, incluyendo también los biocombustibles para el transporte, que permita alcanzar los objetivos fijados. Por otro lado, las últimas reformas desarrolladas en el marco de la Política Agraria Común (PAC) incluyen la introducción de una ayuda específica para cultivos destinados bajo contrato a la producción de biocombustibles o energía térmica eléctrica a partir de biomasa.

## **II.8. CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES PARA SU EMPLEO EN MOTORES**

El gran número y variedad de compuestos y mezclas de lípidos que forman las grasas (sólidos) y los aceites (líquidos), hace muy difícil su caracterización, por lo que, a tal fin, desde el punto de vista de su estructura química, es frecuente la definición de algunas constantes, entre las más importantes tenemos:

### **II.8.1. Índice de acidez**

Cualquier ácido graso no unido a glicerol o a alguna otra molécula en un aceite o grasa, se denomina Ácido Graso Libre (AGL). El índice de acidez representa el contenido de AGL y es una medida del grado de hidrólisis que ha sufrido el triglicérido; se expresa como porcentaje de ácido oleico, palmítico o láurico según el ácido graso que predomine en la grasa en cuestión (Mele, 1994).

Los aceites y grasa refinados, que están listos para el uso en alimentos deben tener un nivel de ácidos grasos libres inferior al 0,2 % en peso como ácido oleico, según la NTP 209.001.1983. Sin embargo, después de haber sometido este aceite a un proceso de fritura se puede llegar a alcanzar el 2% en peso o más. En estos casos, aún es factible trabajar estos aceites para la elaboración de biodiesel, pero deben pasar por un proceso previo para lograr la eliminación de la acidez.

### **II.8.2. Índice de yodo**

Este parámetro indica el grado de saturación del aceite. Está dado por los gramos de  $I_2$  que son fijados por 100 g de aceite. Un aceite saturado (con enlaces simples) poseerá un  $I_y=0$ ; mientras que a mayor cantidad de insaturaciones (dobles enlaces) se fijará en ellos una cantidad proporcional de yodo, incrementándose por lo tanto el índice.

Un aceite con ácidos grasos insaturados posee un punto de solidificación menor que un aceite con ácidos grasos saturados. Los aceites vegetales están compuestos por diversos ácidos grasos (saturados e insaturados) con distintos puntos de fusión, por lo cual existe una gama de temperaturas sobre las cuales la solidificación puede ocurrir. Estos rangos tanto para los puntos de fusión como de solidificación pueden ocasionar problemas durante su uso como combustible, entre ellos la obstrucción total o parcial de los sistemas de inyección en el vehículo debido a la solidificación del ácido graso cuando la temperatura ambiental disminuye. Es por esto que es importante conocer el punto de cristalización y el punto de obstrucción del filtro para el biodiesel que se va a emplear.

Los aceites insaturados tienden a oxidarse fácilmente debido a la escasez de átomos de hidrógeno en su composición, por lo que las insaturaciones se rompen formando peróxidos y polímeros. Se debe considerar en este sentido que las altas temperaturas y presiones elevadas que se dan en los motores favorecen la oxidación del combustible. Por ello, es preferible utilizar las grasas saturadas porque son más resistentes a la oxidación, sin embargo su punto de fusión es más alto lo que imposibilita su uso en climas fríos. Los aceites con mayor índice de yodo

necesitan una temperatura sumadamente baja para poder solidificarse, mientras que aceites con un bajo índice de yodo se solidifican prácticamente a temperatura ambiente.

### **II.8.3. Índice de peróxidos**

El índice de peróxido es una medida del grado de oxidación de una grasa o aceite. Los peróxidos comprenden los productos de descomposición primaria de la oxidación de las grasas. La reacción secundaria y los productos de descomposición que resultan de la oxidación, incluyen compuestos tales como aldehídos, cetonas, alcoholes, etc.

Un índice de peróxido alto indica normalmente un alto grado de absorción de oxígeno; este valor junto con altos valores de ácidos grasos libres indica un ranciamiento acelerado. Mientras que un aceite apto para su consumo debe tener un índice de peróxido inferior a 5 meq O<sub>2</sub>/kg (NTP 209.001.1983), un aceite rancio tiene niveles superiores a 100 meq O<sub>2</sub>/kg.

La medida del índice de peróxido tiene un valor muy limitado en la determinación del estado final de una grasa de fritura pues a temperaturas de fritura extrema (mayor a 176 °C), estos peróxidos son totalmente volátiles y se eliminan por destilación (Lawson, 1994).

## **II.9. REACCIONES EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

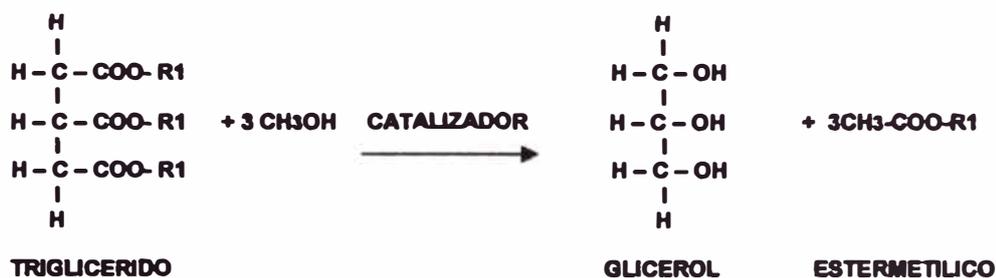
### **II.9.1. Reacciones de transesterificación de triglicéridos**

Aunque la esterificación es un proceso posible, sin embargo, el método utilizado comercialmente para la obtención de biodiesel es la transesterificación (también llamada alcoholólisis).

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

La reacción de transesterificación, que se presenta en la figura 2.3, se desarrolla en una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3 a 1, reaccionando en la metanolólisis, 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). El triglicérido es el principal componente del aceite vegetal o la grasa animal. 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%.

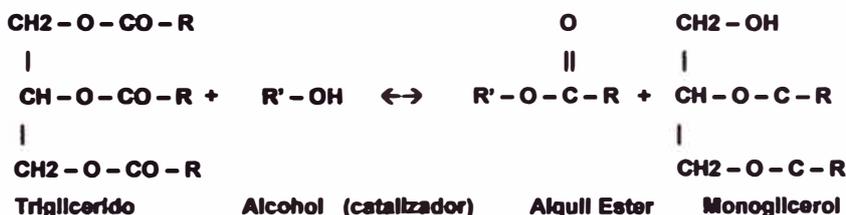
**GRÁFICO 2.3:** Reacción de transesterificación



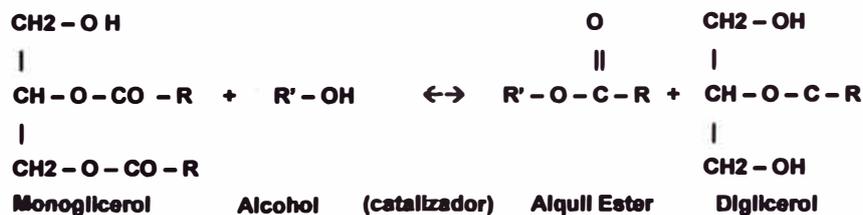
En la figura 2.4 se presentan las diferentes reacciones que tienen lugar en la transesterificación, la cual consiste químicamente en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado.

**GRÁFICO 2.4:** Reacciones implicadas en la transesterificación

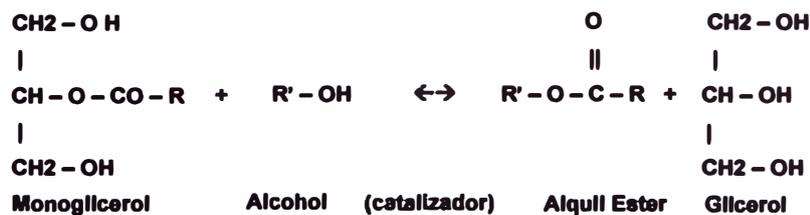
1ª Etapa



2ª Etapa



3ª Etapa



En la reacción de transesterificación se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final, aunque sin él no sería posible esta reacción. Los catalizadores pueden ser ácidos homogéneos ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{RSO}_3$ ), ácidos heterogéneos (zeolitas, resinas sulfónicas,  $\text{SO}_4/\text{ZRO}_2$ ,  $\text{WO}_3/\text{ZRO}_2$ ), básicos heterogéneos ( $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}/\text{NaOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ), básicos homogéneos ( $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ) o enzimáticos (lipasas: candida, penicillium, pseudomonas); de todos ellos, los catalizadores que se suelen utilizar a escala comercial son los catalizadores homogéneos básicos ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas. En el caso de la reacción de transesterificación, cuando se utiliza un catalizador ácido se requieren condiciones de temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos, por ello es frecuente la utilización de derivados de ácidos más activos.

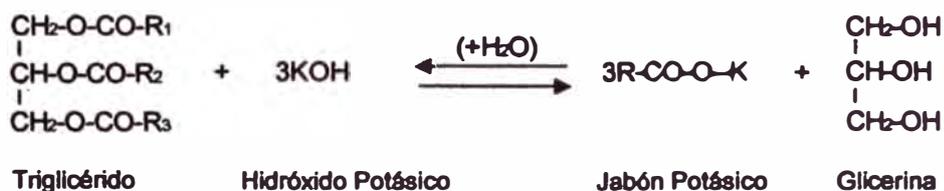
Sin embargo, la utilización de álcalis, que como se ha comentado es la opción más utilizada a escala industrial, implica que los glicéridos y el alcohol deben ser anhidros (<0,06 % v/v) para evitar que se produzca la saponificación. Además, los triglicéridos deben tener una baja proporción de ácidos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

De esta manera las reacciones secundarias que se pueden dar son las siguientes:

- Reacción de Saponificación
- Reacción de Neutralización de Ácidos Grasos Libres

El triglicérido reacciona con el catalizador básico, consumiendo éste, en presencia de agua dando lugar a la formación de jabones (reacción de saponificación), tal y como se puede ver en la gráfico 2.5.

**GRÁFICO 2.5:** Reacción de saponificación

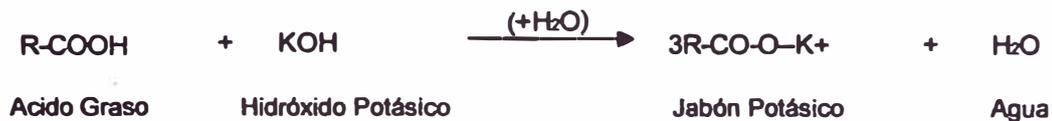


La saponificación está favorecida cuando se utiliza el hidróxido potásico o sódico, ya que sus moléculas contienen los grupos OH responsables de esta reacción. Así, cuando se utilizan estos catalizadores, se debe tener especial precaución con las condiciones de reacción, especialmente la temperatura y la cantidad de catalizador básico, para reducir al máximo la saponificación. Sin embargo, los metóxidos sólo 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, ya que el agua favorece la formación de jabones por saponificación. 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.

Por otra parte, hay dos maneras de eliminar los ácidos grasos libres presentes en el aceite. Así, se puede proceder a su neutralización, ya que los ácidos grasos presentes en el aceite vegetal pueden reaccionar con el catalizador básico (fundamentalmente NaOH) en presencia de agua, ocurriendo asimismo una reacción indeseable, produciendo como en el caso anterior, jabón tal y como se

puede ver en la gráfico 2.6. Otra manera de eliminar los ácidos grasos libres es mediante una reacción de esterificación con un catalizador ácido con lo que se formaría el éster metílico.

**GRÁFICO 2.6:** Reacción de neutralización de ácidos grasos libres



### **II.9.2. Reacciones de esterificación de ácidos grasos**

El proceso que se utiliza para la producción de biodiesel es la transesterificación; sin embargo, la esterificación se viene aplicando combinándolo con la transesterificación de cara a aprovechar el subproducto de ácidos grasos y producir asimismo biodiesel.

Dada la importancia de los ésteres se han desarrollado numerosos procesos para obtenerlos. El más común es el calentamiento de una mezcla del alcohol y del ácido correspondiente con ácido sulfúrico, utilizando el reactivo más económico en exceso para aumentar el rendimiento y desplazar el equilibrio hacia la derecha (esterificación de Fischer). El ácido sulfúrico sirve en este caso tanto de catalizador como de sustancia higroscópica que absorbe el agua formada en la reacción. A veces es sustituido por ácido fosfórico concentrado.

En la práctica, este procedimiento tiene varios inconvenientes. El alcohol puede sufrir reacciones de eliminación formando olefinas, esterificación con el propio ácido sulfúrico o de formación del éter, y el ácido orgánico puede sufrir decarboxilación.

La reacción de esterificación aparece desarrollada en la gráfico 2.7.

**GRAFICO 2.7:** Reacción de esterificación



Los catalizadores que se utilizan en este tipo de reacción, al contrario que en el proceso de transesterificación que habitualmente son hidróxidos, son ácidos o enzimáticos. En el caso de la esterificación, al contrario que en la reacción de transesterificación, al utilizar catalizadores ácidos no es necesario recurrir a trabajar con temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos.

### **II.9.3. Catalizadores**

Tal y como se comentó anteriormente es necesario contar con catalizadores para que ocurra la reacción y sea posible desde un punto de vista cinético. Estos catalizadores, en el caso de la transesterificación, pueden ser ácidos homogéneos, ácidos heterogéneos, básicos homogéneos o enzimáticos, siendo los catalizadores básicos los que se utilizan a nivel industrial en la transesterificación ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas. El único problema de estos catalizadores es que deben ser anhidros para evitar que se produzcan reacciones secundarias, como la de saponificación, que reducirían el rendimiento del proceso. Por otra parte, los triglicéridos deben tener una baja

proporción de ácidos grasos libres para evitar que se neutralice con el catalizador y se formen también jabones.

Se ha observado que la reacción es más rápida cuando se cataliza con un alquilo [Freedman, 1986]. En el primer paso de la reacción, un ion óxido alquilo ataca al grupo carbonilo de la molécula del triglicérido. La reacción de este producto intermedio con un alcohol produce un ion del grupo alcóxido en el segundo paso. En la última etapa la redistribución del compuesto tetraédrico intermedio da lugar a un éster y a diglicerina.

Asimismo, se pueden utilizar catalizadores ácidos de Bronsted, preferiblemente sulfúricos y sulfónicos. Estos catalizadores producen rendimientos muy altos en ésteres alquílicos pero las reacciones son lentas, necesitando temperaturas superiores a los 100 °C y más de 3 horas para completar la conversión. La acidificación del grupo carbonilo del éster conduce a la carbonatación, y posteriormente, el ataque nucleófilo del alcohol produce el compuesto tetraédrico intermedio. Esto elimina el glicerol para formar un nuevo éster y regenerar el catalizador.

Se ha probado la metanólisis del aceite de soja en presencia del 1% de  $H_2SO_4$  con una relación molar alcohol/aceite de 30:1 [Freedman, 1986]. A una temperatura de reacción de 65 °C se completó la conversión en 20 horas, mientras la butanólisis a 177 °C y la etanólisis a 78 °C usando las mismas cantidades de alcohol, necesitaron 3 y 18 horas, respectivamente.

En la tabla 2.9 se resumen las ventajas y desventajas de utilización de los distintos catalizadores para el proceso de transesterificación:

TABLA 2.9: Ventajas e inconvenientes de los catalizadores utilizados en la transesterificación

<b>Catálisis Básica (Homogénea)</b>	<b>Catálisis Ácida (Homogénea)</b>
<p><b>Ventajas:</b> Esterifica ácidos grasos No se forman jabones Purificación más simple</p> <p><b>Desventajas:</b> Velocidad de reacción baja Exceso de alcohol elevado Condiciones enérgicas: P,T Neutralización del catalizador</p>	<p><b>Ventajas:</b> Esterifica ácidos grasos No se forman jabones Purificación más simple</p> <p><b>Desventajas:</b> Velocidad de reacción baja Exceso de alcohol elevado Condiciones enérgicas: P,T Neutralización del catalizador</p>
<b>Catálisis Enzimática</b>	<b>Catálisis Heterogénea</b>
<p><b>Ventajas:</b> Esterifica ácidos grasos</p> <p>No se forman jabones Purificación más simple</p> <p><b>Desventajas:</b> Velocidad de reacción baja Exceso de alcohol elevado Condiciones enérgicas: P,T Neutralización del catalizador</p>	<p><b>Ventajas:</b> Reutilización del catalizador Facilidad de procesos continuos No se forman jabones Purificación más sencilla</p> <p><b>Desventajas:</b> Transferencia de materia</p>

#### II.9.4. Proceso de lavado

Fangrui (1999) afirma que después de realizada la transesterificación de triglicéridos, los productos son una mezcla de ésteres, glicerol, alcohol, catalizador remanente, etc. Alover (2003) confirma lo mencionado por Frangrui, sin embargo

identifica también jabones solubles en el biodiesel, por lo que recomienda lavarlo con agua para remover estas impurezas y adicionalmente detener la reacción que pueda producirse si se guardara el biodiesel sin lavar.

El metanol sin reaccionar y el hidróxido remanentes en el biodiesel pueden ocasionar la corrosión de los componentes del motor; así mismo, el jabón residual en el combustible puede reducir su lubricidad y generar residuos en la bomba de inyección. Para Ryan (2004), el lavado es únicamente significativo cuando se tiene grandes cantidades de biodiesel y cuando se tiene éste se mezcla en altas proporciones con el Diesel.

Karaosmanoglu (Zhang, 2003), estudió diferentes técnicas para la purificación del biodiesel. En términos de pureza y rendimiento del producto concluyeron que el lavado con agua caliente a 50 °C es la mejor manera de obtener una alta pureza (99%) y un rendimiento del 86% de Biodiesel producido.

## **II.10. VARIABLES QUE AFECTAN A LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN**

Entre las variables más importantes que afectan a la reacción de transesterificación se cuentan las siguientes:

### **II.10.1. Acidez y humedad**

Los contenidos de ácidos grasos y de humedad son los parámetros determinantes de la viabilidad del proceso de transesterificación del aceite vegetal. Para que se

realice la reacción completa se necesita un valor de ácidos grasos libres, del inglés Free Fatty Acid (FFA), menor al 3%. Cuanta más alta es la acidez del aceite, menor es la conversión. Además, tanto el exceso como la deficiencia de catalizador pueden producir la formación de jabón. [Dorado, 2002], la presencia de humedad disminuye el rendimiento de la reacción, pues el agua reacciona con los catalizadores formando jabones.

Se ha consultado bibliografía sobre la transesterificación del sebo de animales catalizado con NaOH en presencia de FFA y agua. Sin añadir ninguno de los dos componentes, FFA y agua, el rendimiento de los ésteres metílicos era alto. Cuando se añadía un 0,6% de FFA el rendimiento de la reacción disminuía a valores inferiores al 5%, para cualquier nivel de agua añadida. Cuando se incrementaba un 0,9% de agua, sin añadir FFA, el rendimiento se situaba en el 17%. Si las grasas animales o los aceites vegetales, con valores altos de FFA, se quieren utilizar para producir biodiesel, es necesario refinarlos con una neutralización, utilizando una solución de NaOH para eliminar los ácidos grasos libres. Igualmente, el proceso de catálisis ácida también se puede usar para la esterificación de estos ácidos grasos [Ma, 1998].

Las materias primas usadas como base para el proceso de alcoholisis deben cumplir ciertas especificaciones. Los triglicéridos deben tener un valor ácido bajo y los materiales deben contener baja humedad. La adición de catalizadores de hidróxido de sodio compensa la alta acidez, pero el jabón resultante provoca un aumento de viscosidad o de formación de geles que interfieren en la reacción y en la separación del glicerol. Cuando no se dan estas condiciones los rendimientos de la reacción se reducen sustancialmente. El hidróxido y metóxido de sodio o de

potasio deben mantener un grado de humedad bajo. Su contacto con el aire disminuye la efectividad del catalizador por su interacción con el dióxido de carbono y la humedad.

Actualmente, la mayor parte del biodiesel producido, procede de aceites vegetales al que se le añade metanol y un catalizador alcalino. Sin embargo, hay muchos aceites de bajo costo y grasas animales que pueden ser utilizados. Su problema radica en que suelen contener gran cantidad de ácidos grasos que no se pueden convertir en biodiesel usando catalizadores alcalinos. En estos casos, es necesario hacer la esterificación en dos etapas: inicialmente debe realizarse un pretratamiento para convertir los FFA en ésteres metílicos con un catalizador ácido, y en un segundo paso se realiza la transesterificación con un catalizador alcalino, para completar la reacción.

### **II.10.2 Tipo de catalizador y concentración**

Los catalizadores empleados para la transesterificación de los triglicéridos se pueden clasificar en alcalinos, ácidos, enzimáticos o catalizadores heterogéneos, siendo los básicos y en particular los hidróxidos los más utilizados. Si el aceite usado tiene un alto grado de ácidos grasos y elevada humedad los catalizadores ácidos son los más adecuados. Estos ácidos pueden ser sulfúrico, fosfórico o ácido sulfónico orgánico. La metanólisis del sebo de animal se ha estudiado con NaOH y NaOMe. Comparando los dos catalizadores, el NaOH ha producido mejores resultados que el NaOMe [Ma, 1998]. El metóxido de sodio provoca la formación de muchos subproductos, principalmente sales de sodio, que deben eliminarse posteriormente.

En los procesos de metanólisis alcalina los principales catalizadores usados han sido el hidróxido potásico y el hidróxido sódico, ambos en concentraciones de 0,4 a 2% v/v de aceite. Aceites, tanto refinados como crudos, con un 1% de catalizador (tanto hidróxido sódico o potásico) han tenido muy buenos resultados. La metanólisis del aceite de soja ha producido sus mejores resultados de rendimiento y viscosidad con una concentración de 1% de hidróxido potásico [Tomasevic, 2003].

Se han probado catalizadores de metales alcalino-térreos en la transesterificación de aceites de colza. El proceso se lleva a cabo si aparecen iones de metóxido en la reacción intermedia. Los hidróxidos alcalino-térreos, alcóxidos y óxidos catalizan la reacción más lentamente [Gryglewicz, 1999].

Aunque el proceso de transesterificación, con catalizadores alcalinos, para transformar los triglicéridos en sus correspondientes ésteres metílicos tiene una conversión muy alta en un periodo más corto de tiempo, tiene algunos inconvenientes: el catalizador debe ser separado del producto final, la recuperación del glicerol puede resultar difícil, el agua alcalina resultante del proceso debe ser tratada y los ácidos grasos y el agua afectan a la reacción.

Los catalizadores enzimáticos pueden obtener resultados relevantes en sistemas tanto acuosos como no acuosos, lo que resuelve alguno de los problemas anteriores [Fukuda, 2001]. En particular el glicerol se puede separar fácilmente y, también, los ácidos grasos contenidos en el aceite reutilizado se pueden convertir completamente en ésteres alquílicos. En cambio, el uso de estos catalizadores enzimáticos tiene un coste superior que el de los alcalinos.

### **II.10.3 Relación molar de alcohol / aceite y tipo de alcohol**

Una de las variables más importantes que afectan al rendimiento del proceso es la relación molar del alcohol y los triglicéridos. La relación estequiométrica requiere tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para producir tres moles de ésteres y un mol de glicerol. La transesterificación es una reacción de equilibrio que necesita un exceso de alcohol para conducir la reacción al lado derecho. Para una conversión máxima se debe utilizar una relación molar de 6:1. En cambio, un valor alto de relación molar de alcohol afecta a la separación de glicerina debido al incremento de solubilidad. Cuando la glicerina se mantiene en la solución hace que la reacción revierta hacia la izquierda, disminuyendo el rendimiento de los ésteres.

La formación de éster etílico comparativamente es más difícil que la de éster metílico, especialmente la formación de una emulsión estable durante la etanolólisis es un problema. El etanol y el metanol no se disuelven con los triglicéridos a temperatura ambiente y la mezcla debe ser agitada mecánicamente para que haya transferencia de masa. Durante la reacción generalmente se forma una emulsión, en la metanolólisis esta emulsión desciende rápidamente formándose una capa rica en glicerol quedándose en la parte superior otra zona rica en éster metílico. En cambio en la etanolólisis esta emulsión no es estable y complica mucho la separación y purificación de los ésteres etílicos. La emulsión está causada en parte por la formación de monoglicéricos y diglicéricos intermedios, que contienen tanto grupos hidroxilos polares como cadenas de hidrocarburos no polares.

#### **II.10.4 Efecto del tiempo de reacción y temperatura**

La conversión aumenta con el tiempo de reacción. Así, Feedman y otros investigadores [Freedman, 1984] transesterificaron aceite de cacahuete, semilla de algodón, girasol y soja con una relación molar de 6:1 de metanol, con un catalizador de metóxido sódico al 0,5% a 60°C según el autor. Después de 1 minuto se observó un rendimiento de aproximadamente el 80% para la soja y el girasol, después de una hora la conversión era la misma para los cuatro, con un valor aproximado del 93%.

La transesterificación se puede producir a diferentes temperaturas, dependiendo del tipo de aceite. En el capítulo 3, se determinará las condiciones óptimas de tiempo de reacción y temperatura.

#### **II.11. APLICACIONES**

Los carburantes obtenidos a partir de cultivos y de otras materias orgánicas, los llamados biocarburantes, presentan una serie de ventajas para el sector del transporte. En primer lugar, los biocarburantes pueden contribuir a reducir el crecimiento en las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) haciendo posible que se cumpla los compromisos adquiridos en virtud del protocolo de KYOTO.

Por otra parte, reduciendo la dependencia que el sector del transporte tiene del petróleo (actualmente del 98 %), también pueden contribuir a diversificar y mejorar la seguridad en el suministro de carburante. Asimismo, estos carburantes pueden ser fuentes alternativas de ingresos para las áreas rurales de la unión europea.

El biodiesel es una mezcla de ésteres metílicos derivados de los ácidos grasos presentes en los aceites vegetales obtenidos de manera mayoritaria por reacción de transesterificación de los mismos con metanol. Se trata, por tanto, de un combustible renovable con un balance de emisión de CO<sub>2</sub> bajo, que ayudaría a cumplir los compromisos firmados en el protocolo de KYOTO. La reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> al usar biocarburantes no es del 100% puesto que hay que tener en cuenta la energía consumida en el proceso de producción de los mismos, debido a lo cual el balance no es nulo y se emite CO<sub>2</sub>.

Los ésteres metílicos derivados de los aceites vegetales poseen unas características físicas y fisicoquímicas parecidas al diesel, lo que permite mezclarlos en cualquier proporción y usarlos en los vehículos diesel convencionales, sin realizar importantes modificaciones en el diseño básico del motor. Sin embargo, en proporciones superiores al 5% es necesario reemplazar el material empleado en el circuito de alimentación de combustible por otro más resistente, ya que se puede deteriorar por el mayor poder disolvente del biodiesel. Es importante mencionar que los vehículos con 10 años o más emiten de 20 a 100 veces más contaminantes que los motores del año. Asimismo, estudios diversos señalan que aquellas unidades con una antigüedad de ocho años a más generan entre el 10% y 15% más de monóxido de carbono y entre el 15% y 20% de dióxido de nitrógeno.

Para evitar introducir las modificaciones en los motores que se requieren para la utilización de aceites vegetales sin modificar, y mejorar sustancialmente sus características como carburantes, se recurre a transformarlos en sus derivados ésteres metílicos o etílicos.

Los aceites procedentes de plantas generalmente contienen ácidos grasos, fosfolípidos y otras impurezas, lo que dificulta la utilización de los aceites como combustible directamente. Para superar este problema el aceite necesita modificarse químicamente, principalmente por transesterificación, pirólisis o emulsificación. De todos ellos, como ya se ha mencionado, la **transesterificación** es el proceso que produce combustibles de forma más limpia y respetuosa con el medio ambiente.

Las formas de utilización de los aceites vegetales o de los ésteres metílicos en los motores Diesel (motores de compresión MEC) pueden variar dependiendo de distintos factores. Así, las diferentes maneras de utilización para conseguir un óptimo rendimiento en el motor, pueden ser:

#### **Adaptación del motor diesel para uso de aceites**

- Motores específicos para uso de aceites (motor Elsbett)
- Mezclas de diesel con aceite
- Mezclas de diesel con ésteres metílicos
- Mezclas de diesel con alcohol

Tanto la adaptación de motores diesel como la mezcla del biodiesel con aceite vegetal, así como la utilización de motores Elsbett no tienen el grado de implantación y desarrollo que las mezclas de Diesel con ésteres (sobre todo metílicos) y con alcohol, que se presentan como las opciones más viables comercialmente.

Por otra parte, el biodiesel disuelve los hidrocarburos por lo que también se ha utilizado para limpiar vertidos de hidrocarburos (por ejemplo en el accidente del Erika en la costa francesa). Los ésteres metílicos son también intermedios en la síntesis de muchos productos utilizados en la química fina.

Previamente a describir las aplicaciones, hay que tener en consideración las obligaciones normativas. En ese sentido, de acuerdo con lo expresado por los productores de estos combustibles [APPA], algunas normas no son apropiadas para los biocarburantes y frenan su desarrollo. Dos de ellas son, a su juicio, especialmente nocivas: ***la obligación de mantener existencias mínimas de seguridad y las especificaciones técnicas.***

La obligación de mantener unas reservas estratégicas no tiene en cuenta la naturaleza y el volumen del producto gestionado, y, así, no está definido si los stocks de materia prima, como el aceite usado, contabilizan dentro de ellas o afectan a los suministros a largo plazo. Puesto que la obligación recae sobre el operador que introduce el carburante en el mercado de consumo –que normalmente es el último mayorista de la cadena o el importador–, la situación dificulta la expansión de las redes de distribución.

Respecto a las especificaciones técnicas, la aplicación de los requisitos del carburante fósil al biocarburante conlleva la imposibilidad de comercializar mezclas con más de un determinado porcentaje. En el caso del biodiesel, pasado del 5% es necesario comercializarlo puro o en 20% en mezcla. La solución, en este caso, puede pasar por elaborar especificaciones concretas para determinados

porcentajes de mezcla de carburante o por aplicar las especificaciones que le son propias a cada uno de los componentes de la mezcla por separado.

La aprobación de unas especificaciones técnicas adaptadas a los biocarburantes – al igual que la finalización de los estudios en curso sobre emisiones y rendimientos – es un punto importantísimo para potenciar su utilización por parte de los fabricantes de vehículos y para adaptar la logística del suministro.

#### **II.11.1. Utilización de biodiesel como combustible**

Para la utilización de biocarburantes en motores diesel puede utilizarse bien aceites vegetales (cuya implantación es prácticamente testimonial a nivel industrial), o bien producir ésteres metílicos de aceites vegetales para su utilización como combustible (biodiesel). El biodiesel se puede emplear a su vez puro (como se hace en Brasil y en EE.UU.) o en mezclas de biodiesel/diesel, que es la manera de utilización más extendida.

##### **II.11.1.1. Utilización directa de aceites vegetales**

La naturaleza de los aceites vegetales plantea una serie de inconvenientes para su utilización directa en motores, puesto que estos precisan de una preparación consistente en un desgomado y filtración previos. Las semillas son prensadas separándose el aceite de la torta, sometiendo normalmente a las semillas a un calentamiento previo y a la acción de un disolvente de cara a conseguir rendimientos de extracción de aceite cercanos al 100%. La torta que se obtiene como subproducto, tiene un alto contenido en proteína por lo

cual es posible su comercialización para alimentación animal, con lo que se consigue abaratar los costos del proceso de extracción.

La naturaleza de los aceites vegetales plantea una serie de inconvenientes para su utilización directa en motores. Así, la utilización de aceites sin transformar requiere, bien realizar una serie de transformaciones en los motores, o bien utilizar motores Elsbett. Ello es fundamentalmente debido a los problemas de viscosidad del biodiesel. Los ácidos grasos de los aceites vegetales varían en su longitud y en el número de dobles enlaces contenidos en la cadena (reflejado por el índice de yodo). La presencia de dobles enlaces les confiere que sean aptos para el consumo siendo su funcionamiento mejor a bajas temperaturas, si bien los hace fácilmente susceptibles de oxidación. Por otra parte, largas moléculas con dobles enlaces confiere a los aceites un carácter viscoso que implica una mayor dificultad de bombeo y atomización del combustible en los inyectores, traducido en un menor rendimiento. Los ácidos grasos poliinsaturados tienen una elevada reactividad que los hace susceptibles a la polimerización y formación de gomas, que se forman por oxidación durante el almacenamiento o por una deficiente polimerización térmica y oxidativa.

Por otra parte, cuanto mayor es el grado de insaturación de un aceite, mejor es su funcionamiento como combustible en condiciones de baja temperatura, lo cual es fundamental para un combustible diesel.

Cuando se pretende utilizar aceites vegetales en motores de inyección directa hay que recurrir a mezclas del aceite vegetal con diesel, lo que permite,

modificando la proporción de los componentes, mantener las características del combustible. En cualquier caso, estas mezclas de aceite vegetal y diesel siguen presentando parte de los problemas asociados a los aceites vegetales, que son:

- Los ácidos grasos polinsaturados tienen una elevada reactividad que los hace muy susceptibles a la polimerización y formación de gomas.
- No se queman completamente dando por resultado depósitos carbonosos.
- Espesamiento del aceite lubricante.
- Elevada viscosidad. dificultad para el bombeo y la formación de gotas.
- Bajo número de cetano. Combustión deficiente en motores rápidos.
- Comportamiento deficiente en frío. Problemas de bombeo y filtrabilidad.
- Ensuciamiento de inyectores. Déterioro de las prestaciones del motor.

Una solución a estos problemas sería a través de la modificación del motor Diesel:

- Precalentamiento del combustible.
- Inyección en precámara. Inyectores autolimpiantes.
- Motores más adiabáticos: cámara de combustión labrada, menor refrigeración.
- Sistema de arranque con diesel.

Si bien se ha demostrado que se pueden utilizar en motores diesel sin modificar mezclas de hasta 1:2 (biodiesel:diesel), en el caso del aceite de soja [Ma, 1998].

Otra alternativa, es emplear mezclas de aceites vegetales brutos con gasolinas (14%) y alcohol (5%), que se puede utilizar como carburante de los motores diesel de manera directa, *motores Elsbett*. Como se mencionó anteriormente, la utilización de aceites sin transformar requiere, bien realizar una serie de transformaciones en los motores, o bien utilizar motores Elsbett diseñados por la empresa alemana Elsbett Konstruktion aplicables tanto en motores monocilíndricos como en motores de hasta doce cilindros.

Se trata de un motor adiabático, es decir, que intercambia muy poco calor con el medio y evita entre el 25 y el 50 % de las pérdidas de energía a través del sistema de refrigeración. No dispone del convencional sistema de enfriamiento y esto le permite trabajar a una temperatura más alta y, por tanto, con un rendimiento termodinámico más grande. Por otra parte, tiene la característica de quemar la totalidad del combustible y por esto se puede considerar un motor prácticamente limpio. Además, el hecho de quemar aceite vegetal no libera dióxido de azufre. Es un motor preparado para la combustión de aceite vegetal crudo, sin refinar y sin esterificar, que no carboniza ni deja sustancias residuales, que tiene una eficiencia térmica superior al 40 % (recordemos que un motor de gasolina convencional o diesel no supera el 30 %). Esto quiere decir que este rendimiento más grande le permite proporcionar más energía mecánica útil.

Los elementos mecánicos que le distinguen de un motor diesel convencional son:

- Un pistón articulado con la parte superior aislada térmica y acústicamente situado dentro de una cámara de combustión de forma esferoidal.
- Uno o dos inyectores por cilindro, de un solo agujero y autolimpiables, que inyectan el aceite vegetal a la cámara de combustión tangencialmente y esto permite una perfecta nebulización, es decir, que la mezcla aire combustible es muy fina y esto evita que se hagan depósitos carbonosos.
- La tapa de los cilindros dispone de una pequeña cámara anular por la cual circula el aceite lubricante que se emplea como refrigerante. Ya que el sistema de refrigeración no es con agua, la tapa del cilindro no lleva junta. un pequeño radiador de aceite permite cerrar el circuito del aceite lubricante refrigerante.

El hecho de que no necesite agua para la refrigeración ahorra piezas, peso y volumen al motor. Otro aspecto importante a destacar es la cámara de combustión esferoidal, la cual permite que haya un exceso de aire en la combustión del aceite vegetal y que se estratifique la temperatura del motor. Así, mientras el núcleo de la combustión puede llegar a los 1 300 °C, en cambio, la zona del contacto del pistón no supera los 650 °C normales de cualquier motor. La temperatura final de los gases de escape solamente es un poco superior a la de los motores diesel convencionales. Asimismo, la combustión se hace con menos cantidad de aire y, por tanto, se reduce la emisión de óxidos de nitrógeno. Las modificaciones del motor Elsbett permiten a los vehículos diesel funcionar tanto con diesel como con aceite vegetal con un buen rendimiento termodinámico y sin que se den problemas que afecten al buen funcionamiento del motor.

El motor Elsbett no es el único de los motores conocidos como policarburantes y semiadiabáticos. Sin embargo, sí es el único sistema que se puede aplicar en cualquier motor diesel con una mínima intervención y por un coste razonable de unos 2.500 a 3.200 euros. La intervención consiste, básicamente, en anular la cámara de agua del bloque, cambiar la tapa de los cilindros y los pistones y añadir un pequeño radiador para el aceite refrigerante. La única condición es que el motor no disponga de elementos cerámicos.

#### **II.11.1.2. Utilización de biodiesel**

Para evitar introducir las modificaciones en motores que se requieren para la utilización de aceites vegetales sin modificar y mejorar sus características como carburantes, se recurre a transformarlos en sus derivados ésteres metílicos o etílicos. De esta manera se consigue que las largas cadenas ramificadas iniciales, de elevada viscosidad y alta proporción de carbono se transformen en otras de cadena lineal, de menor viscosidad y porcentaje de carbono y de características físico-químicas y energéticas más similares al diesel automotor. Este biodiesel se puede utilizar bien puro, bien mezclado en distintas proporciones junto con el Diesel automotor, que es la forma más habitual de utilización.

En cuanto a sus propiedades como combustible automotor, las características de los ésteres son más parecidas a las del diesel que las del aceite vegetal sin modificar. Así, la viscosidad del éster es ligeramente mayor que la del diesel, frente a las 10-20 veces superior de la del aceite vegetal crudo.

El uso de biodiesel como combustible automotor está totalmente extendido en Europa desde los últimos 10-12 años. En países como Alemania y Austria hay más de 1 800 grifos que incorporan un surtidor de biodiesel (ya sea 100% o mediante una mezcla del 2% al 30% de biodiesel y el resto de diesel).

La razón de realizar una mezcla con diesel convencional (EN 590), radica en que los aceites vegetales tienen, entre otras cosas, la particularidad de disolver la goma y el caucho. Debido a que estos aceites vegetales son la materia prima para la fabricación del biodiesel, dicho producto también disuelve la goma y el caucho, materiales empleados en la fabricación de los conductos y las juntas del sistema de alimentación de los vehículos (latiguillos o manguitos) por lo que con el uso prolongado de biodiesel 100%, se podrían llegar a degradar dichos conductos, produciendo algún poro o pérdida de combustible (el biodiesel es biodegradable en un 98,3% en 21 días).

Desde mediados de los años 90, casi todos los fabricantes de vehículos (principalmente marcas alemanas), ya han substituido dichos conductos por conductos fabricados con materiales plásticos o derivados, con lo que el biodiesel no los disuelve.

En España, ante la imposibilidad de controlar si los vehículos que repostan en las estaciones de servicio están o no preparados para la utilización de biodiesel 100%, se emplea la mezcla BDP-10 (10% biodiesel + 90% diesel), y así cualquier vehículo lo puede utilizar sin ningún tipo de problema.

Otros productores de la unión europea, y debido a su política comercial, venden toda su producción a una empresa petrolera, la cual opta por la mezcla del biodiesel en un 5% máximo en todos sus diesels. De esta forma, se considera al biocombustible como un aditivo porque no altera las características técnicas del diesel mineral según la norma EN 590.

Si se incorpora más de un 5%, la mezcla final no cumple la norma EN 590, por lo que tendrían que informar y “etiquetar” dicho producto con un nombre diferente al de Diesel (fuente EBB -European Biodiesel Board).

En los motores de los automóviles, los problemas asociados por utilizar biodiesel como combustible de motores de inyección directa, son los que a continuación se presentan:

- La potencia del motor disminuye, porque el poder calorífico inferior (P.C.I.) del biodiesel es menor.
- El consumo de combustible aumenta, ya que el biodiesel contiene menos poder calorífico que el Diesel.
- Las emisiones de óxidos de nitrógeno generalmente aumentan, consecuencia de las mayores presiones y temperaturas que se alcanzan en la cámara de combustión, que a su vez se deben a un tiempo de retraso de la misma.
- Cuando se utiliza 100% de biodiesel, el aceite lubricante se contamina, debido a la menor viscosidad del éster en comparación a éste.
- Algunos materiales se deterioran con el biodiesel: pinturas, plásticos, gomas, etc. cuando se utiliza 100% de biodiesel.

### **II.11.2. Pros y contras**

El uso de BDP 10 –mezcla de biodiesel utilizada en España- ofrece las siguientes ventajas e inconvenientes en comparación con el diesel convencional. Ventajas medioambientales frente al diesel, al reducirse las emisiones de:

- Monóxido de carbono
- Partículas
- Hidrocarburos
- Dióxido de carbono
- Óxidos de azufre
- Es biodegradable (98,3% en 21 días)
- No es tóxico

Ventajas técnicas frente al diesel:

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

#### **Inconvenientes técnicos:**

- El biodiesel tiene un punto de congelación (equivalente al CFPP Cold Filter Plus Point del Diesel) entre 0° y -5°.
- Con la mezcla BDP10, la temperatura de congelación baja y se ajusta a la normativa española del CFPP (Cold Filter Plus Point) para el período de invierno.
- La primera vez que se empieza a consumir biodiesel BDP 10, y debido a su poder disolvente, puede que se deba realizar el primer cambio de filtros antes de lo normal, dependiendo del nivel de “suciedad” que haya en el motor y en el depósito de combustible del usuario.

El biodiesel más experimentado en motores ha sido el éster metílico obtenido a partir de aceite de colza (EMC) habiéndose realizado estudios en bancos de pruebas y en operaciones de demostración de vehículos con la finalidad de valorar el comportamiento energético y medioambiental del mismo.

En España, CIDAUT (Fundación para la Investigación y Desarrollo en Transporte y Energía) ha realizado importantes trabajos de caracterización del éster metílico de girasol, que incluyen las determinaciones de las propiedades como combustible, la caracterización en banco motor (potencias, consumos, emisiones), ensayos de ensuciamiento de inyectores, emisiones en ciclo Europa y ensayo de duración. Analizando el comportamiento del biodiesel en vehículos, se desprende lo siguiente:

- **Prestaciones:** leve incremento del consumo y ligera disminución de potencia con mezclas de hasta el 30%. Variaciones mayores con éster al 100% (-7% en potencia y +16% en consumo).
- **Emisiones:** disminución importante de CO y hidrocarburos con 100% de éster. En el resto de los casos, similares al diesel. eliminación de SO<sub>x</sub> e importante disminución de CO<sub>2</sub> (gracias al proceso de fotosíntesis).
- **Comportamiento en frío:** problemas con porcentajes de mezcla superiores al 30%.
- **Ensuciamiento de inyectores:** mejor comportamiento que el diesel. A mayor proporción de éster, mejores resultados.

De este modo, como conclusiones a las pruebas realizadas por CIDAUT se puede decir que:

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

### **II.11.3. Aplicaciones de la glicerina y su problemática**

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

La glicerina representa un subproducto muy valioso que de ser refinada a grado farmacológico puede llegar a cubrir los costos operativos de una planta productora.

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

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

Así, como coproducto de la producción de bioiesel se obtiene por tanto glicerina, de calidades farmacéutica e industrial. Estas glicerinas tienen un valor económico positivo y su comercialización forma parte de la rentabilidad del biodiesel. Sin embargo, una creciente oferta de glicerina puede provocar una disminución de sus precios de venta con la consiguiente problemática de merma de rentabilidad que ello supone para el sector del biodiesel. Al nivel actual de producción, las glicerinas tienen suficientes salidas comerciales, pero conseguir una producción de biodiesel de la magnitud del objetivo fijado para el 2009 podría tener problemas en la saturación del mercado de glicerina, por lo que es especialmente relevante asegurar los canales de comercialización de este producto.

El aumento de la producción de biodiesel no hará más que agravar esta tendencia.

A nivel mundial la situación es similar, tratándose de un mercado relativamente

pequeño, con una producción mundial en torno a 0,8 millones de TM según datos del *Institut Français du Pétrole* (IFP), de las cuales unas 100 000 TM provienen de la producción de biodiesel.

Como conclusión, la glicerina se enfrenta a un reto de investigación y desarrollo de cara a tener una salida para la misma en caso que, como es previsible, su producción (como subproducto de la reacción de transesterificación) aumente significativamente en los próximos años. Por ello, se deben buscar nuevas salidas y aplicaciones al producto final o bien encontrar nuevas aplicaciones en las que ésta actúe como materia prima química.

### **III. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DEL BIODIESEL**

#### **III.1. LUGAR DE ENSAYO**

Las corridas para la determinación de las condiciones de elaboración de biodiesel se realizaron durante la semana del 23 al 27 de Octubre del 2006, en el Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Petroquímica y Gas Natural de la Universidad Nacional de Ingeniería.

#### **III.2. REACTIVOS, EQUIPOS Y MATERIALES**

##### **III.2.1. Reactivos**

- Aceite vegetal nuevo
- Aceite vegetal usado (Comedor UNI)
- Agua destilada
- Agua potable
- Alcohol metílico al 99 % v/v
- Fenoltaleina
- Hidróxido de potasio en escamas al 99 % p/p
- Hidróxido de sodio en escamas al 99 % p/p

##### **III.2.2 Equipos y materiales de laboratorio**

- Baguetas de vidrio

- Balanza analítica, sensibilidad de 0.0001 g
- Botellas de vidrio, 1 L
- Bureta graduada, 250 ml
- Cocinillas
- Cronómetros
- Espátulas de metal
- Embudo de pirex
- Fibra de vidrio
- Pipeta graduadas, 10ml x 20 ml
- Pinzas de Nuez
- Pera de decantación
- Probetas graduadas; 10ml, 50ml, 100ml y 250 ml
- Mechero Bunsen
- Soportes Universales
- Termómetros graduados, 100°C
- Vasos de Precipitado; 100 ml, 250 ml, 500 ml y 1L

### **III.3. ENSAYOS FISICOQUÍMICOS**

Los ensayos fisicoquímicos realizados a las diferentes muestras de biodiesel han tenido el objetivo de caracterizar las propiedades y poder obtener conclusiones sobre las condiciones óptimas de elaboración del mismo.

Los análisis fisicoquímicos realizados a cada una de las muestras de biodiesel fueron encargadas a CERTIPETRO, el cual realizó las siguientes pruebas:

- Destilación a 760 mmHg, °C (ASTM D86-05)
- Punto de Inflamación P.M., °C (ASTM D93-02a)
- Gravedad API a 60 °F (ASTM D287-00)
- Índice de Cetano (ASTM D4737-04)
- Punto de Fluidez, °C (ASTM D97-96a)
- Viscosidad Cinemática, 40 °C, cSt (ASTM D445-01)
- pH (No Normalizado)

#### **III.4. TIPOS DE CORRIDAS REALIZADAS**

Las corridas fueron realizadas a diferentes temperaturas y tiempos de reacción, las cuales se detallan a continuación:

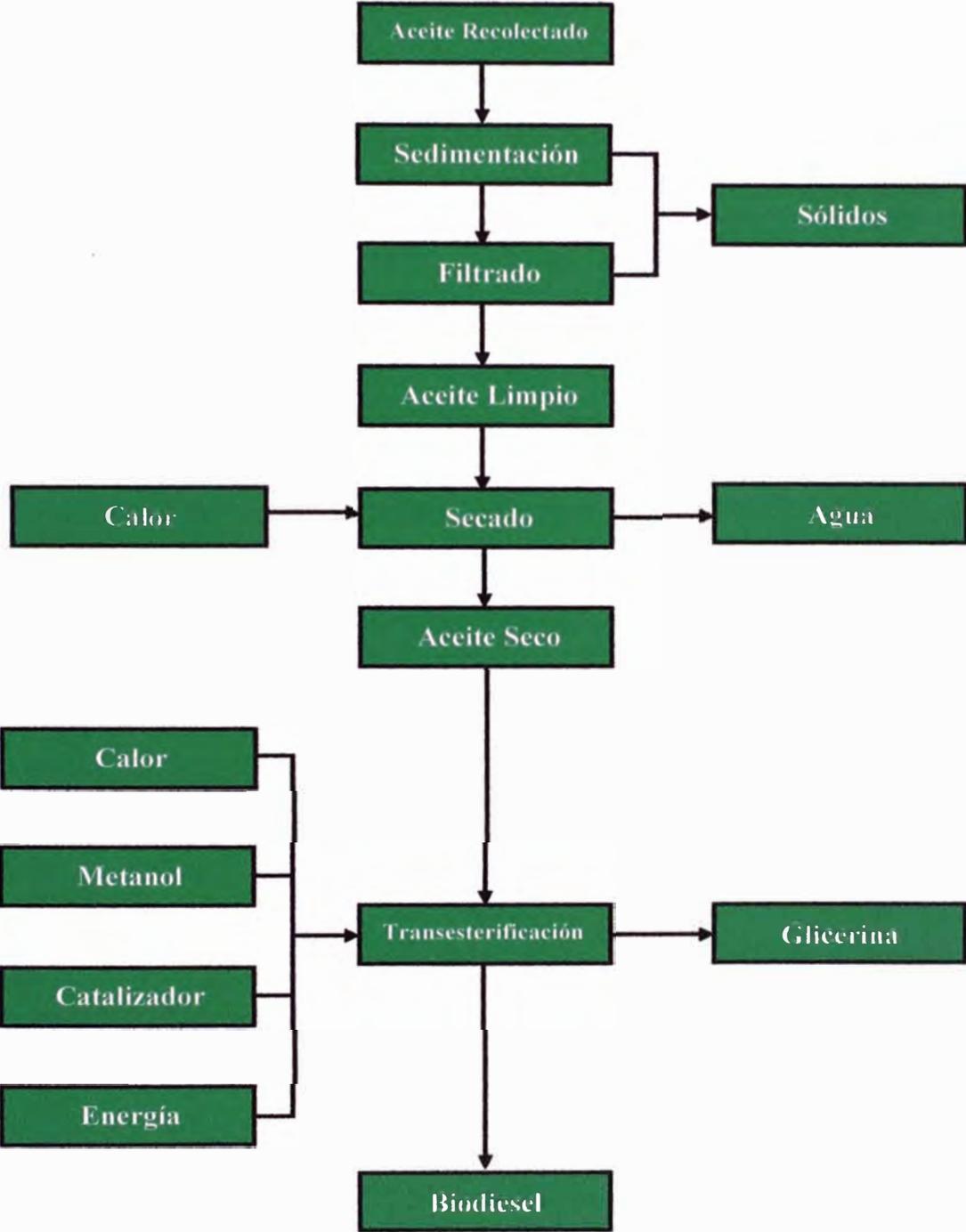
- Elaboración de biodiesel con aceite nuevo utilizando NaOH como catalizador.
- Elaboración de biodiesel con aceite nuevo utilizando KOH como catalizador.
- Elaboración de biodiesel con aceite usado utilizando NaOH como catalizador.
- Elaboración de biodiesel con aceite usado utilizando KOH como catalizador.

Las diferentes corridas realizadas tuvieron como objetivo:

- Determinación de la temperatura óptima de elaboración de biodiesel.
- Determinación del tiempo óptimo de reacción para la elaboración de biodiesel.
- Determinación del catalizador adecuado para la elaboración de biodiesel.

El análisis realizado para la evaluación de cada una de las propiedades ha seguido la metodología de "Diseño de experimentos y análisis de la varianza mediante un diseño bifactorial completo sin réplicas". Dicha metodología resultó la más adecuada debido a la flexibilidad de poder combinar la influencia de las diferentes variables (catalizadores, aceites, temperaturas); además nos permite interactuar los resultados de cada tipo de corrida en forma matricial lo cual origina una mejor interpretación de los resultados y no está encasillada a solamente la evaluación de máximos y mínimos, el detalle de esta metodología se detalla en el anexo III.

**III.5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO UTILIZADO**



### **III.5.1. Aceite recolectado**

La recolección del aceite usado se realizó durante los primeros quince días del mes Octubre del 2006, en el periodo de clases regulares (Lunes a Viernes). Dicho aceite fue el resultado de la preparación de las raciones de comida del comedor de la Universidad Nacional de Ingeniería, el cual se elimina después de realizada cada fritura (un solo uso). El volumen total de dicho aceite fue de 50 litros.

El aceite nuevo fue comprado durante el periodo de la recolección del aceite usado, cabe resaltar que el aceite nuevo fue de la misma marca que el aceite usado (ALISOL).

### **III.5.2. Sedimentación**

El total del aceite usado recolectado se dejó decantar aproximadamente por una semana en un recipiente de plástico oscuro, esto con el objetivo de evitar problemas de oxidación por exposición a la luz del sol y lograr una homogenización completa de todo el aceite recolectado. Logrando la decantación de las partículas mayores al fondo del recipiente. El aceite nuevo no pasó por este proceso.

### **III.5.3. Filtración**

El aceite usado recolectado ya decantado, pasó por un filtrado con fibra de vidrio, el cual retuvo las partículas menores, quedando un aceite libre de sólidos suspendidos.

### **III.5.4. Secado del aceite**

El aceite usado recolectado libre de sólidos suspendidos se calentó a 110°C con la finalidad de eliminar el agua presente producto del uso al que fue sometido.

### **III.5.5. Proceso**

Antes de realizar el proceso de transesterificación se realizó la preparación del metóxido correspondiente a cada tipo de catalizador utilizado, para ello se procedió a la valoración del aceite. El objetivo de la valoración fue determinar cuantos miligramos de catalizador (NaOH y KOH) son necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres de un gramo de aceite usado.

Dependiendo del tipo de catalizador a utilizar en cada corrida, se adicionó la cantidad correspondiente al consumo del titulante, llegando a las siguientes ecuaciones:

$$Y_1 = (X_1 + 3,5) V$$

$$Y_2 = (X_2 + 9,0) V$$

Donde:

$Y_1$ : Cantidad total de NaOH a utilizar en gramos.

$Y_2$ : Cantidad total de KOH a utilizar en gramos.

$X_1$ : Cantidad de consumo de titulante NaOH en gramos.

$X_2$ : Cantidad de consumo de titulante KOH en gramos.

V: Volumen total de aceite destinado a la producción de biodiesel

Una vez determinada la cantidad de catalizador necesario, se procedió a su mezcla con el metanol (20% en volumen del volumen total del aceite a transesterificar) y agitación hasta que el catalizador esté completamente disuelto. La mezcla metóxido-aceite se llevó a cabo a diferentes temperaturas y tiempos siguiendo los procedimientos de preparación del biodiesel mostrados en el diagrama III.5

### **III.5.6 Productos obtenidos**

El procedimiento realizado no contempla el proceso de lavado y neutralizado, debido a la cantidad de variables (catalizador, materia prima, temperatura y tiempo) y muestras requeridas para determinar las condiciones óptimas de elaboración de biodiesel, además se quería ver el comportamiento del biodiesel sin haber pasado por estas etapas con el fin de evaluar su comportamiento.

Los productos obtenidos fueron biodiesel (sin lavado ni neutralizado) y glicerina. Los resultados obtenidos para cada muestra y utilizados para este análisis se encuentran **certificados**, verificando su autenticidad (Ver anexo IV).

### III.6. DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA DE OPERACIÓN

Las corridas que se detallan a continuación se desarrollaron individualmente a diferentes temperaturas ( $T_{amb}$ , 30°C, 40°C, 50°C, 60°C) y con distintos catalizadores (NaOH y KOH), teniendo un *tiempo de reacción promedio de 180 min*. A cada muestra se le retiró una sub muestra (100 ml), a la cual se le dio un día de reposo para poder observar el rendimiento en volumen de la reacción. Las cantidades utilizadas para cada muestra tanto de reactivos, materia prima y rendimientos se detallan a continuación:

1. Elaboración de biodiesel con aceite nuevo utilizando NaOH como catalizador.

TABLA 3.1:

Temperatura de reacción	Vol. Aceite (ml)	NaOH (gr)	Metanol (ml)	Biodiesel (ml)	Glicerina (ml)
$T_{amb}$	1100	3.8540	220	93.0	3.0
$T_{30^{\circ}C}$	1100	3.8500	220	92.5	4.0
$T_{40^{\circ}C}$	1100	3.8570	220	91.0	6.0
$T_{50^{\circ}C}$	1100	3.8520	220	89.0	8.0
$T_{60^{\circ}C}$	1100	3.8570	220	87.0	9.0

2. Elaboración de biodiesel con aceite nuevo utilizando KOH como catalizador.

**TABLA 3.2:**

<b>Temperatura de reacción</b>	<b>Vol. Aceite (ml)</b>	<b>KOH (gr)</b>	<b>Metanol (ml)</b>	<b>Biodiesel (ml)</b>	<b>Glicerina (ml)</b>
$T_{amb}$	1100	9.9306	220	91.0	4.0
$T_{30^{\circ}C}$	1100	9.9098	220	90.5	6.0
$T_{40^{\circ}C}$	1100	9.9089	220	90.0	7.5
$T_{50^{\circ}C}$	1100	9.9712	220	87.0	9.5
$T_{60^{\circ}C}$	1100	9.9580	220	85.0	11.0

3. Elaboración de biodiesel con aceite usado utilizando NaOH como catalizador.

**TABLA 3.3:**

<b>Temperatura de reacción</b>	<b>Vol. Aceite (ml)</b>	<b>NaOH (gr)</b>	<b>Metanol (ml)</b>	<b>Biodiesel (ml)</b>	<b>Glicerina (ml)</b>
$T_{amb}$	1100	4.4122	220	88.0	3.5
$T_{30^{\circ}C}$	1100	4.3961	220	87.2	5.0
$T_{40^{\circ}C}$	1100	4.4005	220	86.0	6.9
$T_{50^{\circ}C}$	1100	4.4043	220	84.0	9.0
$T_{60^{\circ}C}$	1100	4.4068	220	82.0	10.0

4. Elaboración de biodiesel con aceite usado utilizando KOH como catalizador.

**TABLA 3.4:**

<b>Temperatura de reacción</b>	<b>Vol. Aceite (ml)</b>	<b>KOH (gr)</b>	<b>Metanol (ml)</b>	<b>Biodiesel (ml)</b>	<b>Glicerina (ml)</b>
$T_{amb}$	1100	10.4650	220	86.0	5.5
$T_{30^{\circ}C}$	1100	10.4604	220	84.0	7.0
$T_{40^{\circ}C}$	1100	10.4586	220	83.5	9.3
$T_{50^{\circ}C}$	1100	10.4589	220	81.0	11.7
$T_{60^{\circ}C}$	1100	10.4574	220	80.0	16.8

### III.6.1. Rendimiento de biodiesel

**TABLA 3.5:** Rendimiento de biodiesel en función de la temperatura

Temperatura de reacción	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>amb</sub>	93.0	88.0	91.0	86.0
T <sub>30°C</sub>	92.5	87.2	90.5	84.0
T <sub>40°C</sub>	91.0	86.0	90.0	83.5
T <sub>50°C</sub>	89.0	84.0	87.0	81.0
T <sub>60°C</sub>	87.0	82.0	85.0	80.0

Resultados expresados en ml / 100 ml

Fuente: Propia

Media Global: 86.885

Factores de fila

a<sub>1</sub>: 2.615  
a<sub>2</sub>: 1.665  
a<sub>3</sub>: 0.74  
a<sub>4</sub>: -1.635  
a<sub>5</sub>: -3.385

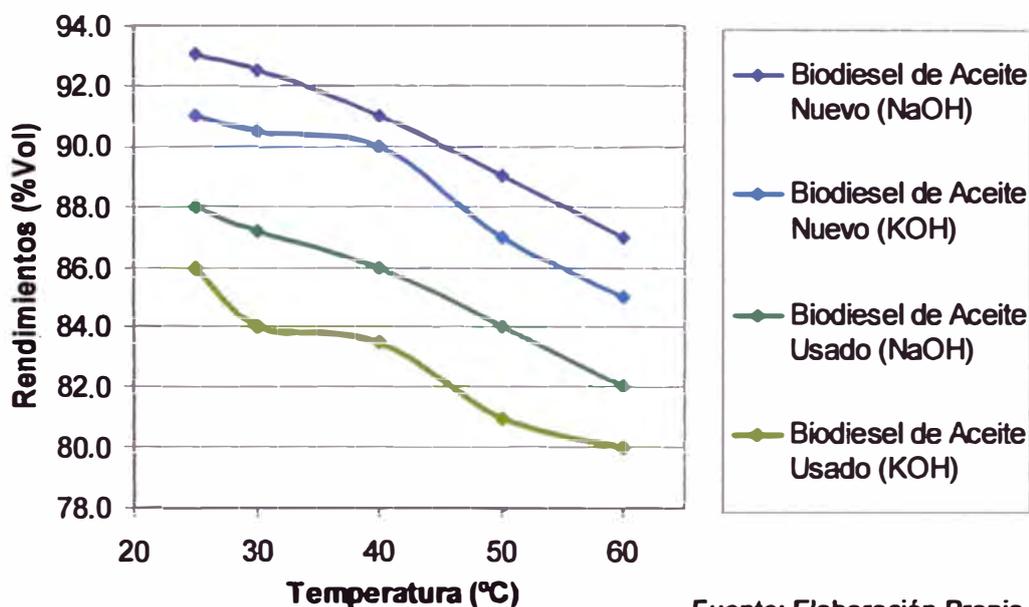
Factores de columna

b<sub>1</sub>: 3.615  
b<sub>2</sub>: -1.445  
b<sub>3</sub>: 1.815  
b<sub>4</sub>: -3.985

Se observa que los factores de fila correspondientes a las temperaturas ambiente (25°C), 30°C y 40°C son positivos (a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> y a<sub>3</sub>), dentro de los cuales se alcanza el pico positivo en la corrida evaluada a temperatura ambiente. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a 50°C y 60°C, siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 60°C.

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas aceite usado con NaOH y aceite usado con KOH muestran resultados negativos, quedando como factores positivos los correspondientes a las corridas realizadas con aceite nuevo con NaOH y aceite nuevo con KOH.

**GRÁFICO 3.1:** Rendimiento de biodiesel en función de la temperatura



Se observa del gráfico 3.1 que para cada tipo de corrida realizada se encontraron mayores rendimientos a menores temperaturas. El menor rendimiento de biodiesel respecto a las temperaturas de 50°C y 60°C es debido a que a dichas temperaturas se ha obtenido una mejor transesterificación (conversión de la mayoría de los triglicéridos, TAG-triacylglycerols-, en glicerol); situación que no se da a temperaturas menores, obteniéndose como producto final a dichas temperaturas una combinación de metilesteres con monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos.

### III.6.2. Rendimiento de glicerina

**TABLA 3.6:** Rendimiento de glicerina en función de la temperatura

Temperatura de reacción	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>amb</sub>	3.0	3.5	4.0	5.5
T <sub>30°C</sub>	4.0	5.0	6.0	7.0
T <sub>40°C</sub>	6.0	6.9	7.5	9.3
T <sub>50°C</sub>	8.0	9.0	9.5	11.7
T <sub>60°C</sub>	9.0	10.0	11.0	16.8

Resultados expresados en ml / 100 ml

Fuente: Propia

Media Global: 7.64

Factores de fila

a1: -3.635

a2: -2.135

a3: -0.21

a4: 1.915

a5: 4.065

Factores de columna

b1: -1.635

b2: -0.755

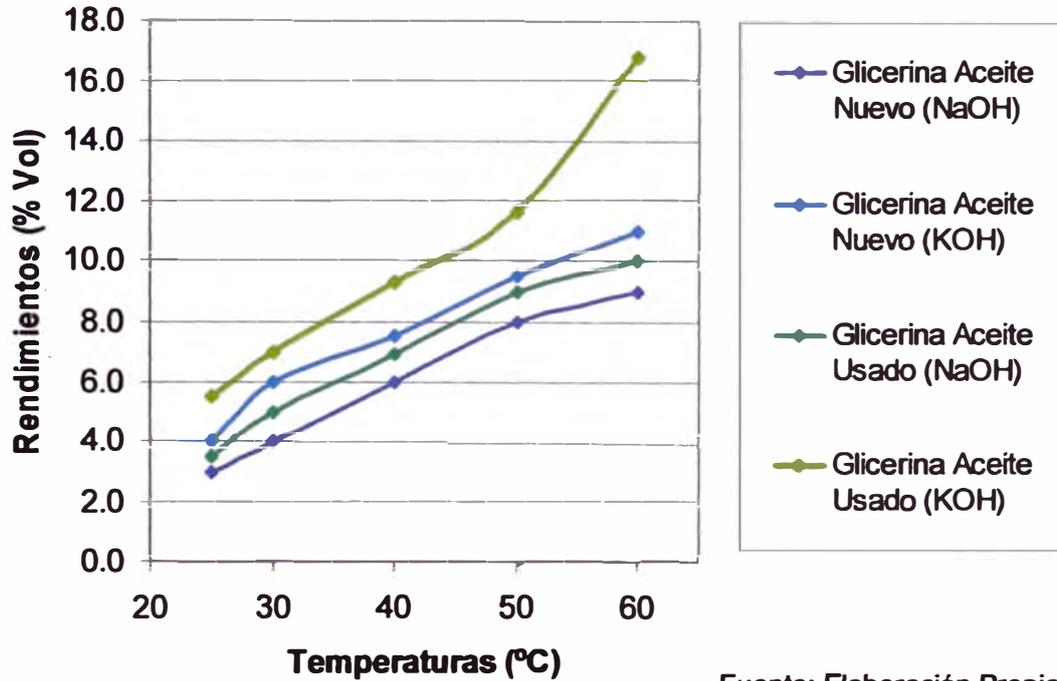
b3: -0.035

b4: 2.425

Se observa que los factores de fila correspondientes a las temperaturas ambiente (25°C), 30°C y 40°C son negativos ( $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$ ), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo en la corrida evaluada a temperatura ambiente (25°C). Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a 50°C y 60°C, siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 60°C.

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas aceite nuevo con NaOH, aceite usado con NaOH y aceite nuevo con KOH muestran resultados negativos, quedando como único factor positivo el correspondiente a la corrida realizada con aceite usado con KOH.

**GRÁFICO 3.2:** Rendimiento de glicerina en función de la temperatura



Fuente: Elaboración Propia

Se observa del gráfico 3.2 que para cada tipo de corrida realizada se encontraron mayores rendimientos a mayores temperaturas. Notándose un rendimiento mayor de glicerina para las reacciones catalizadas con KOH a temperaturas de reacción elevadas (50°C y 60°C). La producción de glicerina es un factor muy importante debido a que permite evaluar si el proceso de transesterificación se ha realizado de manera óptima, mediante la separación total de los ácidos grasos del triglicérido para convertirse en metilésteres.

### III.6.3 Punto de inflamación

**TABLA 3.7:** Punto de inflamación en función de la temperatura

Temperatura de reacción	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>amb</sub>	26.0	37.0	40.0	62.0
T <sub>30°C</sub>	43.0	47.5	50.0	60.5
T <sub>40°C</sub>	36.0	48.5	54.0	76.0
T <sub>50°C</sub>	47.0	56.4	55.0	93.0
T <sub>60°C</sub>	98.0	72.5	66.0	93.0

Resultados expresados en °C

Fuente: Propia

Media Global: 58.07

Factores de fila

a<sub>1</sub>: -16.82

a<sub>2</sub>: -7.82

a<sub>3</sub>: -4.44

a<sub>4</sub>: 4.78

a<sub>5</sub>: 24.3

Factores de columna

b<sub>1</sub>: -8.07

b<sub>2</sub>: -5.69

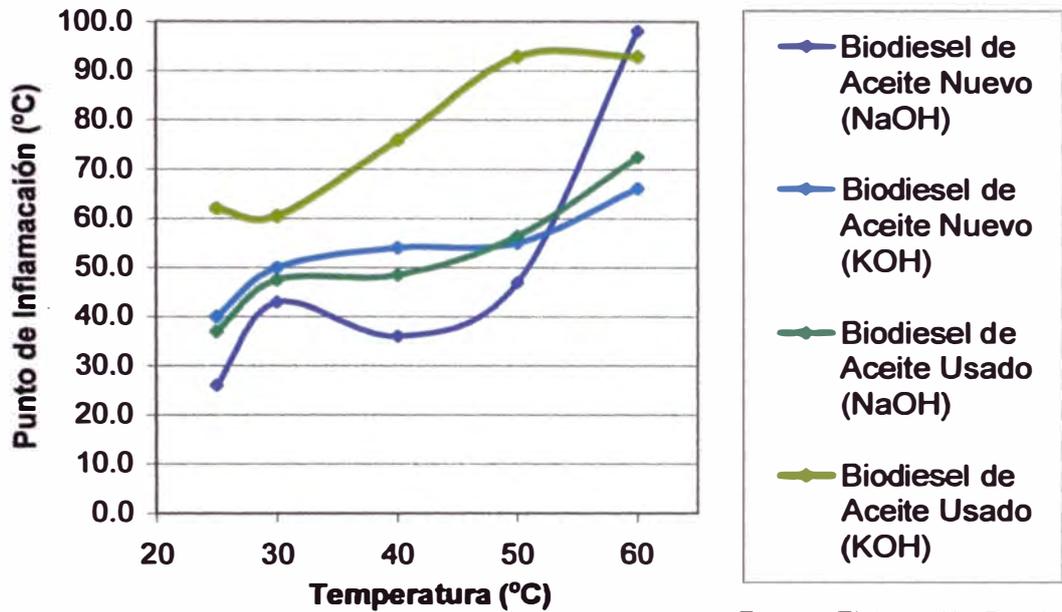
b<sub>3</sub>: -5.07

b<sub>4</sub>: 18.83

Se observa que los factores de fila correspondientes a las temperaturas ambiente (25°C), 30°C y 40°C son negativos (a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo en la corrida evaluada a temperatura ambiente. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a 50°C, siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 60°C.

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas aceite nuevo con NaOH, aceite usado con NaOH y aceite nuevo con KOH muestran resultados negativos, quedando como único factor positivo el correspondiente a la corrida realizada con aceite usado con KOH.

**GRÁFICO 3.3:** Evaluación del punto de inflamación en función de la temperatura



Fuente: Elaboración Propia

Se observa del gráfico 3.3 que la mejor temperatura de operación, materia prima y catalizador que corresponde a la evaluación del punto de inflamación (flash point) fue el usar aceite usado utilizando como catalizador KOH y trabajando a una temperatura de 60°C. Además se observa que el valor obtenido de dicha corrida resulta ser el más elevado dentro de todas las evaluaciones realizadas.

### III.6.4. Viscosidad

TABLA 3.8: Viscosidad en función de la temperatura

Temperatura de reacción	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>amb</sub>	5.457	4.976	4.345	4.524
T <sub>30°C</sub>	5.450	5.430	4.388	4.766
T <sub>40°C</sub>	5.533	5.096	4.474	4.397
T <sub>50°C</sub>	5.256	5.295	4.498	4.511
T <sub>60°C</sub>	5.279	5.409	4.643	4.525

Resultados expresados en cSt, evaluados a 40°C

Fuente: Propia

Media Global: 4.91

Factores de fila

a<sub>1</sub>: -0.0871

a<sub>2</sub>: 0.0959

a<sub>3</sub>: -0.0376

a<sub>4</sub>: -0.0226

a<sub>5</sub>: 0.0514

Factores de columna

b<sub>1</sub>: 0.4824

b<sub>2</sub>: 0.3286

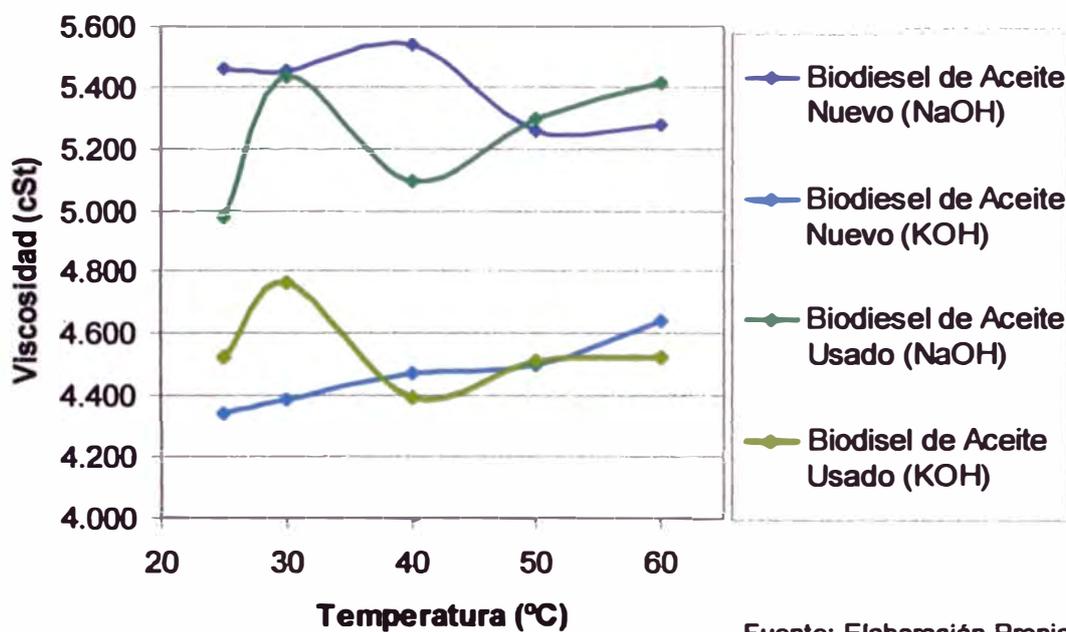
b<sub>3</sub>: -0.443

b<sub>4</sub>: -0.368

Se observa que los factores de fila correspondientes a las temperaturas ambiente (25°C), 40°C y 50°C son negativos (a<sub>1</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo en la corrida evaluada a 40°C. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a 30°C y 60°C siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 30°C.

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas aceite nuevo con NaOH y aceite usado con NaOH muestran resultados positivos, quedando con factores negativos los correspondientes a las corridas realizadas con aceite nuevo con KOH y aceite usado con KOH.

**Gráfico 3.4: Evaluación de la viscosidad en función de la temperatura**



Se observa del gráfico 3.4 que la mejor temperatura de operación, materia prima y catalizador que corresponde a la evaluación de la viscosidad fue el de usar aceite nuevo utilizando como catalizador KOH y trabajando a una temperatura de 40°C; cabe resaltar que el utilizar aceite usado con KOH se obtiene un valor más bajo, aun cuando su factor de columna es mayor (-0.368), pudiéndose inferir que aun en otras corridas similares la variación no resulte significativa.

### III.6.5 Índice de cetano

**TABLA 3.9:** Índice de cetano en función de la temperatura

Temperatura de reacción	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>amb</sub>	52.4	54.6	55.4	55.2
T <sub>30°C</sub>	52.7	53.8	55.8	54.8
T <sub>40°C</sub>	53.4	54.1	55.6	54.1
T <sub>50°C</sub>	53.7	53.5	56.0	56.0
T <sub>60°C</sub>	52.9	54.2	56.1	53.7

Fuente: Propia

Media Global: 54.40

Factores de fila

a<sub>1</sub>: 0.000  
a<sub>2</sub>: -0.125  
a<sub>3</sub>: -0.100  
a<sub>4</sub>: 0.400  
a<sub>5</sub>: -0.175

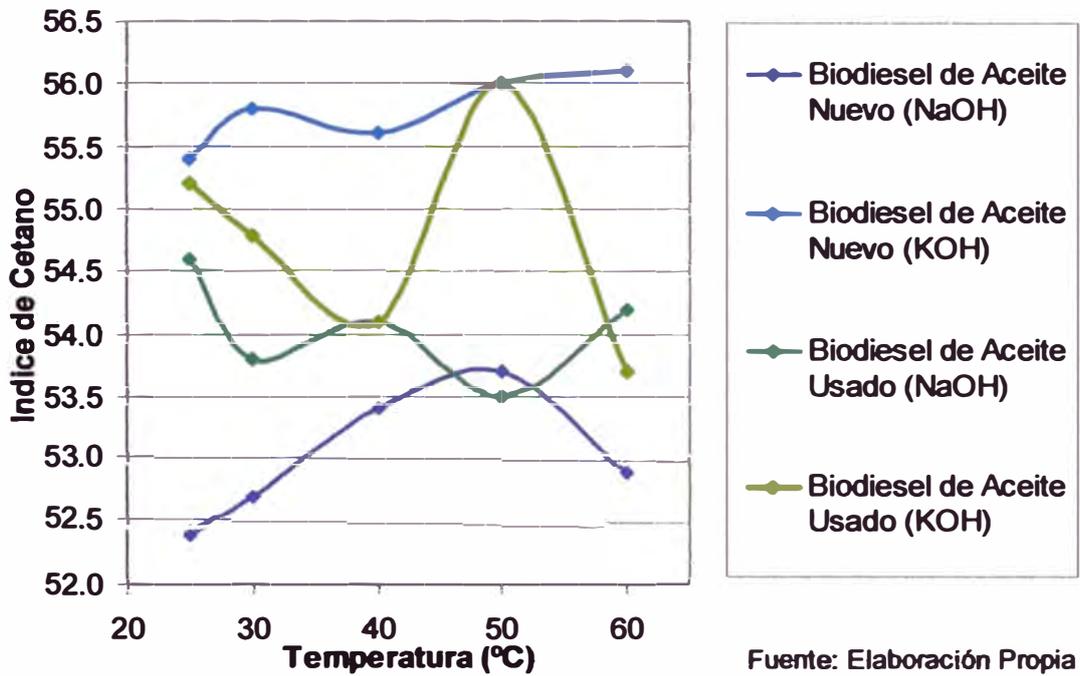
Factores de columna

b<sub>1</sub>: -1.38  
b<sub>2</sub>: -0.36  
b<sub>3</sub>: 1.38  
b<sub>4</sub>: 0.36

Se observa que los factores de fila correspondientes a las temperaturas 30°C, 40°C y 60°C son negativos (a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>5</sub>), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo en la corrida evaluada a la temperatura de 60°C. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a temperatura ambiente (25°C) y 50°C las cuales muestran un valor aceptable, siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 50°C.

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas aceite nuevo con NaOH y aceite usado con NaOH muestran resultados negativos, quedando con factores positivos los correspondientes a las corridas realizadas con aceite nuevo con KOH y aceite usado con KOH.

**GRÁFICO 3.5:** Evaluación del índice de cetano en función de la temperatura



Se observa del gráfico 3.5 que la mejor temperatura de operación, materia prima y catalizador que corresponde a la evaluación del índice de cetano fue el de usar aceite nuevo utilizando como catalizador KOH y trabajando a una temperatura de 50°C; cabe resaltar que el utilizar aceite usado con KOH no afecta de manera considerable el valor del índice de cetano, aun cuando su factor de columna es menor (0.36), ya que ambas corridas muestran valores iguales (56.0), pudiéndose inferir que aun en otras corridas similares la variación no resulte significativa.

### III.6.6 Destilación (90% de recuperado)

TABLA 3.10: Destilación (90% de recuperado) en función de la temperatura

Temperatura de reacción	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>amb</sub>	354	353	352	356
T <sub>30°C</sub>	356	356	355	356
T <sub>40°C</sub>	357	354	354	342
T <sub>50°C</sub>	358	348	358	359
T <sub>60°C</sub>	360	358	360	346

Resultados expresados en °C

Fuente: Propia

Media Global: 354.60

Factores de fila

a<sub>1</sub>: -0.85

a<sub>2</sub>: 1.15

a<sub>3</sub>: -2.85

a<sub>4</sub>: 1.15

a<sub>5</sub>: 1.40

Factores de columna

b<sub>1</sub>: 2.4

b<sub>2</sub>: -0.8

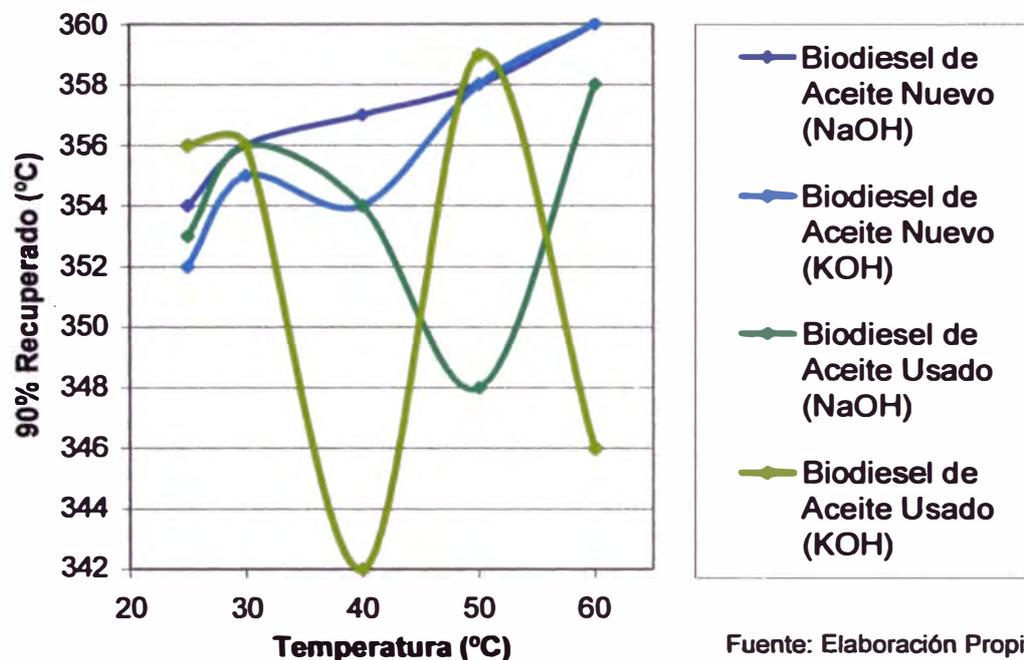
b<sub>3</sub>: 1.2

b<sub>4</sub>: -2.8

Se observa que los factores de fila correspondientes a las temperaturas ambiente (25°C) y 40°C son negativos (a<sub>1</sub> y a<sub>3</sub>), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo en la corrida evaluada a la temperatura de 40°C. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a 30°C, 50°C y 60°C, siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 60°C.

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas aceite usado con NaOH y aceite usado con KOH muestran resultados negativos, quedando con factores positivos los correspondientes a las corridas realizadas con aceite nuevo con NaOH y aceite nuevo con KOH.

**GRÁFICO 3.6:** Evaluación de la destilación en función de la temperatura



Se observa del gráfico 3.6 que la mejor temperatura de operación, materia prima y catalizador que corresponde a la evaluación de la destilación (90% recuperado) fue el de usar aceite nuevo utilizando como catalizador NaOH y trabajando a una temperatura de 60°C; cabe resaltar que el utilizar aceite usado con NaOH no afecta de manera considerable el valor de la destilación, aun cuando su factor de columna es negativo (-0.8), ya que ambas corridas muestran valores similares (360 y 358 correspondientemente), pudiéndose inferir que aun en otras corridas similares la variación no resulte significativa.

### III.6.7. Punto de fluidez

TABLA 3.11: Punto de fluidez en función de la temperatura

Temperatura de reacción	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>amb</sub>	-5.0	-3.0	-3.0	-3.0
T <sub>30°C</sub>	-1.0	0.0	-3.0	0.0
T <sub>40°C</sub>	-3.0	0.0	-3.0	-12.0
T <sub>50°C</sub>	-4.8	-3.0	-3.0	-12.0
T <sub>60°C</sub>	0.0	-3.0	-3.0	-12.0

Resultados expresados en °C

Fuente: Propia

Media Global: -3.84

Factores de fila

a1: 0.340

a2: 2.840

a3: -0.660

a4: -1.860

a5: -0.660

Factores de columna

b1: 1.08

b2: 2.04

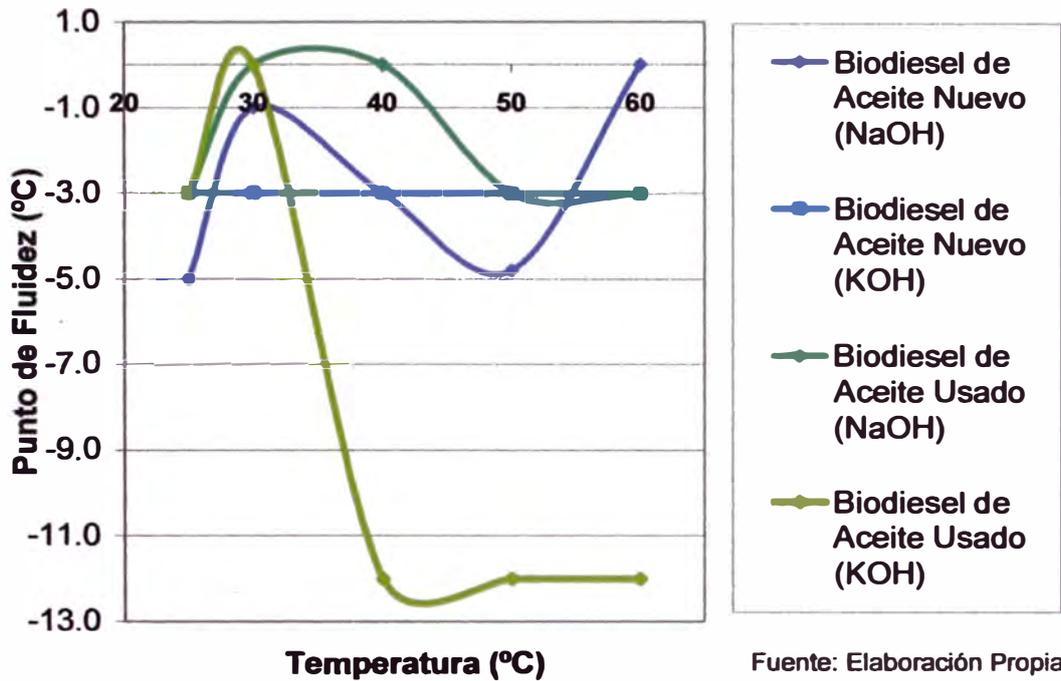
b3: 0.84

b4: -3.96

Se observa que los factores de fila correspondientes a las temperaturas 40°C, 50°C y 60°C son negativos (a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub> y a<sub>5</sub>), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo en la corrida evaluada a la temperatura de 50°C. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a temperaturas ambiente (25°C) y 30°C, siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 30°C.

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas aceite nuevo con NaOH, aceite usado con NaOH, aceite nuevo con KOH muestran resultados positivos, quedando con factor negativo el correspondiente a la corrida realizada con aceite usado con KOH.

**GRÁFICO 3.7:** Evaluación del punto de fluidez en función de la temperatura



Se observa del gráfico 3.7 que la mejor temperatura de operación, materia prima y catalizador que corresponde a la evaluación del punto de fluidez fue el usar aceite usado utilizando como catalizador KOH y trabajando a una temperatura de 60°C.

### III.6.8 Gravedad específica (API)

TABLA 3.12: Gravedad específica (API) en función de la temperatura

Temperatura de reacción	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>amb</sub>	27.0	27.7	28.0	27.7
T <sub>30°C</sub>	27.0	27.2	28.0	27.8
T <sub>40°C</sub>	26.9	27.4	27.9	27.9
T <sub>50°C</sub>	27.3	27.4	28.0	28.0
T <sub>60°C</sub>	26.9	27.4	28.0	27.7

Fuente: Propia

Media Global: 27.56

Factores de fila

A1: 0.040

A2: -0.060

A3: -0.035

A4: 0.115

A5: -0.060

Factores de columna

b1: -0.54

b2: -0.14

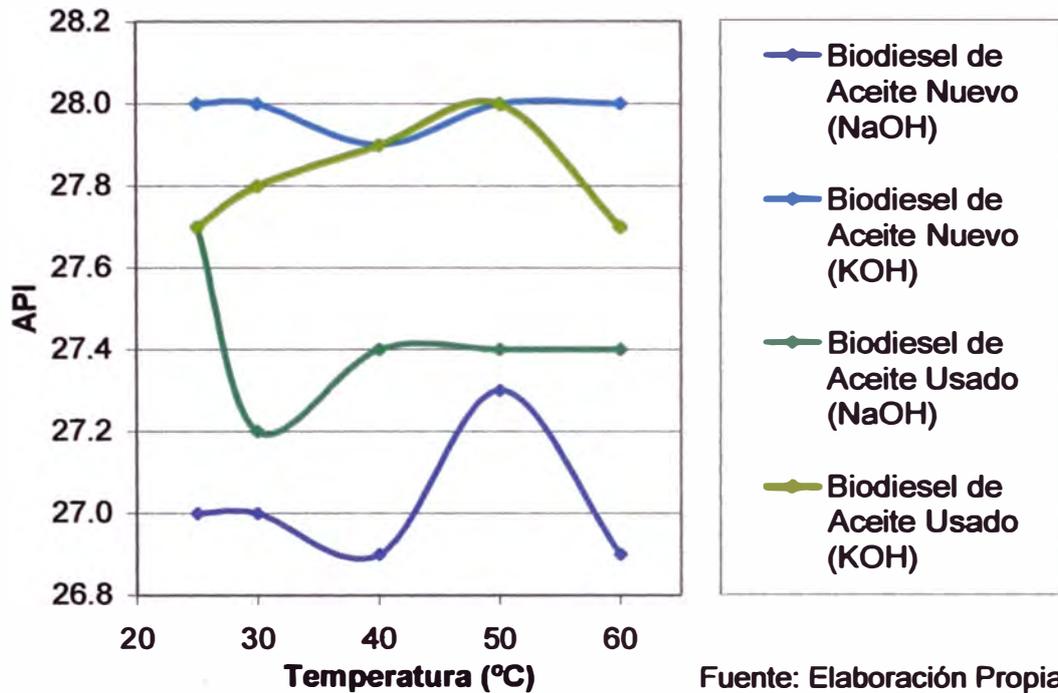
b3: 0.42

b4: 0.26

Se observa que los factores de fila correspondientes a las temperaturas 30°C, 40°C y 60°C son negativos ( $a_2$ ,  $a_3$  y  $a_5$ ), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo en la corrida evaluada a la temperatura de 60°C. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a temperaturas ambiente (25°C) y 50°C, siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 50°C.

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas aceite nuevo con NaOH y aceite usado con NaOH muestran resultados negativos, quedando con factores positivos los correspondientes a las corridas realizadas con aceite nuevo con KOH y aceite usado con KOH, alcanzado el pico positivo con la corrida con aceite usado con KOH.

**GRÁFICO 3.8:** Evaluación de la gravedad específica en función de la temperatura



Se observa del gráfico 3.8 que la mejor temperatura de operación, materia prima y catalizador que corresponde a la evaluación de la gravedad específica (API) fue el de usar aceite nuevo utilizando como catalizador KOH y trabajando a una temperatura de 50°C; cabe resaltar que el utilizar aceite usado con KOH no afecta de manera considerable el valor de la gravedad específica, aun cuando su factor de columna es menor (0.26), ya que ambas corridas muestran valores iguales (28.0), pudiéndose inferir que aun en otras corridas similares la variación no resulte significativa.

### III.7. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE REACCIÓN

Las corridas que se detallan a continuación se desarrollaron individualmente a diferentes tiempos de reacción (20 min, 40 min, 60 min, 80 min, 100 min, 120 min, 140 min) y con distintos catalizadores (NaOH y KOH), teniendo una **temperatura constante de reacción de 60°C**. A cada muestra se le retiró una sub muestra (100 ml), a la cual se le dio un día de reposo para poder observar el rendimiento en volumen de la reacción. Las cantidades utilizadas para cada muestra tanto de reactivos, materia prima y rendimientos se detallan a continuación:

1. Elaboración de biodiesel con aceite nuevo utilizando NaOH como catalizador.

TABLA 3.13:

Tiempo de reacción (min)	Vol. Aceite (ml)	NaOH (gr)	Metanol (ml)	Biodiesel (ml)	Glicerina (ml)
t <sub>20</sub>	9900	31.5333	1980	88.0	9.0
t <sub>40</sub>				88.5	9.0
t <sub>60</sub>				88.5	9.5
t <sub>80</sub>				88.5	8.5
t <sub>100</sub>				90.5	8.5
t <sub>120</sub>				90.0	6.5
t <sub>140</sub>				91.0	7.5

2. Elaboración de biodiesel con aceite nuevo utilizando KOH como catalizador.

**TABLA 3.14:**

Tiempo de reacción (min)	Vol. Aceite (ml)	KOH (gr)	Metanol (ml)	Biodiesel (ml)	Glicerina (ml)
t <sub>20</sub>	9900	79.2776	1980	90.0	10.0
t <sub>40</sub>				89.0	11.0
t <sub>60</sub>				88.5	11.5
t <sub>80</sub>				88.0	11.0
t <sub>100</sub>				88.0	12.0
t <sub>120</sub>				90.0	10.0
t <sub>140</sub>				89.0	11.0

3. Elaboración de biodiesel con aceite usado utilizando NaOH como catalizador.

**TABLA 3.15:**

Tiempo de reacción (min)	Vol. Aceite (ml)	NaOH (gr)	Metanol (ml)	Biodiesel (ml)	Glicerina (ml)
t <sub>20</sub>	8800	35.6400	1760	86.5	10.0
t <sub>40</sub>				87.5	9.5
t <sub>60</sub>				89.0	9.0
t <sub>80</sub>				89.0	8.0
t <sub>100</sub>				90.0	8.0
t <sub>120</sub>				89.5	8.5
t <sub>140</sub>				88.0	10.0

4. Elaboración de biodiesel con aceite usado utilizando KOH como catalizador.

**TABLA 3.16:**

Tiempo de reacción (min)	Vol. Aceite (ml)	KOH (gr)	Metanol (ml)	Biodiesel (ml)	Glicerina (ml)
t <sub>20</sub>	8800	83.8800	1760	89.0	9.9
t <sub>40</sub>				88.5	10.1
t <sub>60</sub>				88.7	11.4
t <sub>80</sub>				87.0	12.2
t <sub>100</sub>				86.0	13.0
t <sub>120</sub>				85.0	13.2
t <sub>140</sub>				84.0	14.0

### III.7.1. Rendimiento de biodiesel

**TABLA 3.17:** Rendimiento de biodiesel en función del tiempo

Tiempo de reacción (min)	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
t <sub>20</sub>	94.0	91.0	93.0	89.0
t <sub>40</sub>	93.0	89.0	92.0	88.0
t <sub>60</sub>	91.5	87.0	91.0	87.0
t <sub>80</sub>	91.0	86.5	90.5	85.0
t <sub>100</sub>	89.0	86.0	89.5	84.0
t <sub>120</sub>	87.0	85.5	87.0	82.0
t <sub>140</sub>	86.0	85.0	84.0	81.0

Resultados expresados en ml  
Fuente: Propia

Media Global: 88.01

Factores de fila

a1: 3.7321  
a2: 2.4821  
a3: 1.1071  
a4: 0.2321  
a5: -0.8929  
a6: -2.6429  
a7: -4.0179

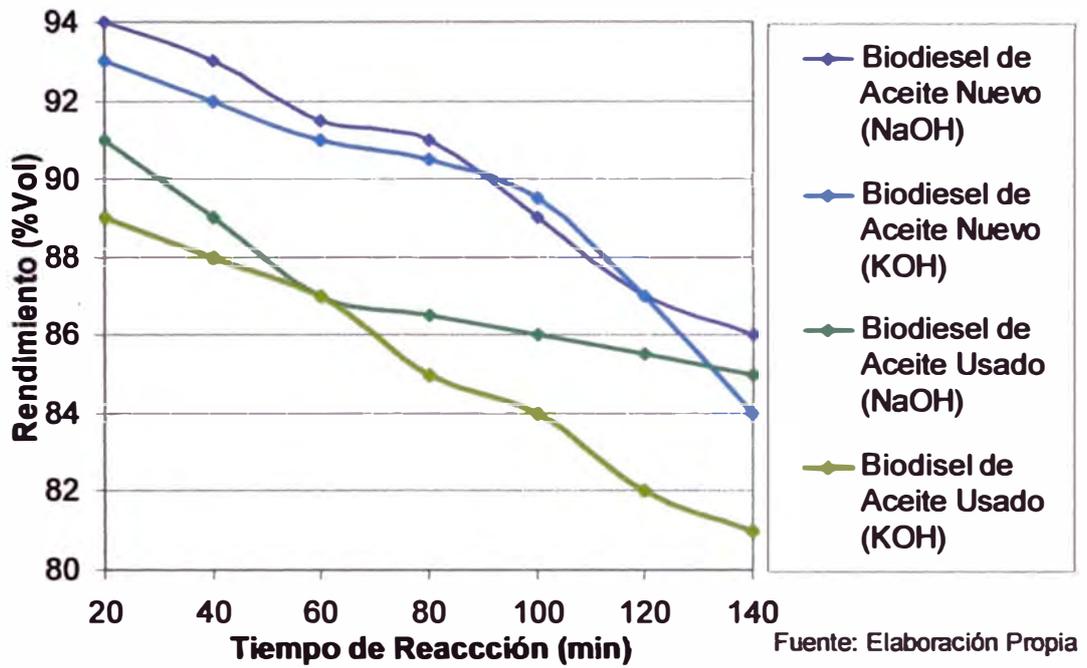
Factores de columna

b1: 2.1964  
b2: -0.875  
b3: 1.5536  
b4: -2.875

Se observa que los factores de fila correspondientes a los tiempos de reacción de 20, 40, 60 y 80 minutos son positivos ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  y  $a_4$ ), dentro de los cuales se alcanza el pico positivo en la corrida evaluada a un tiempo de 20 minutos. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a 100, 120 y 140 minutos siendo el pico negativo en la corrida evaluada a 140 minutos.

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas de aceite nuevo con NaOH y aceite nuevo con KOH muestran resultados positivos, quedando como factores negativos los correspondientes a las corridas realizadas con aceite usado con NaOH y KOH.

**GRÁFICO 3.9:** Evaluación del rendimiento de biodiesel en función del tiempo



Se observa del gráfico 3.9 que el comportamiento de la transesterificación es independiente del tipo de catalizador utilizado tiene un comportamiento similar, es decir, tiene una tendencia a completar la reacción de transesterificación (conversión de la mayoría de los triglicéridos, TAG-triacylglycerols-, en glicerol) conforme pasa el tiempo. Esto provoca una disminución en el rendimiento de biodiesel y un aumento del rendimiento de glicerina; pero el biodiesel obtenido es más estable que el producido con tiempos de reacción más cortos.

### III.7.2. Rendimiento de glicerina

TABLA 3.18: Rendimiento de glicerina en función del tiempo

Tiempo de reacción (min)	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
t <sub>20</sub>	3.0	6.0	3.0	10.0
t <sub>40</sub>	4.0	7.0	5.0	11.0
t <sub>60</sub>	6.0	8.0	5.5	12.0
t <sub>80</sub>	6.5	9.0	7.0	14.0
t <sub>100</sub>	8.5	10.0	8.0	15.0
t <sub>120</sub>	9.0	11.0	9.5	17.0
t <sub>140</sub>	10.0	13.0	11.0	18.0

Resultados expresados en ml  
Fuente: Propia

Media Global: 9.18

Factores de fila

a1: -3.6786  
a2: -2.4286  
a3: -1.3036  
a4: -0.0536  
a5: 1.1964  
a6: 2.4464  
a7: 3.8214

Factores de columna

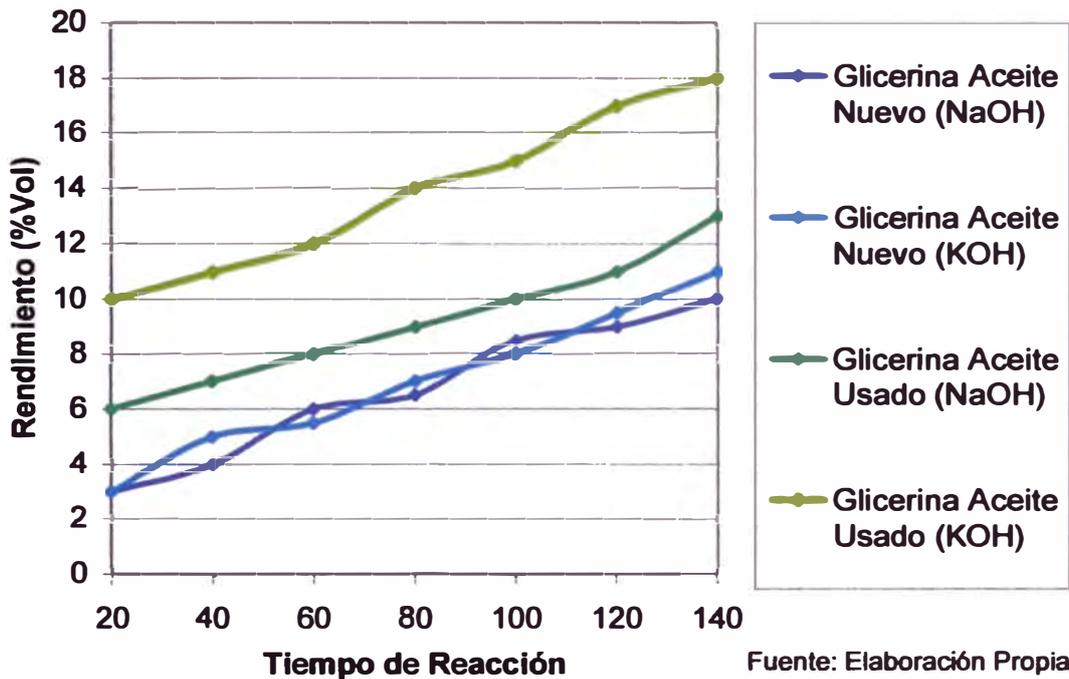
b1: -2.4614  
b2: -0.0357  
b3: -2.1786  
b4: 4.6786

Se observa que los factores de fila correspondientes a los tiempos de reacción de 20, 40, 60 y 80 minutos son negativos ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  y  $a_4$ ), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo con la corrida evaluada con 20 minutos de reacción. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas con 100, 120 y 140 minutos, siendo el pico positivo en la corrida evaluada con 140 minutos.

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas con aceite nuevo con NaOH, aceite usado con NaOH y aceite nuevo con KOH

muestran resultados negativos, quedando como único factor positivo el correspondiente a la corrida realizada con aceite usado con KOH.

**GRÁFICO 3.10:** Evaluación del rendimiento de la glicerina en función del tiempo



Se observa del gráfico 3.10 una tendencia similar para cada tipo de corrida realizada, las cuales indican una mayor formación de glicerina para las reacciones catalizadas con KOH, indicando una mejor transesterificación con el uso de este catalizador y a mayores tiempos de reacción (140 minutos).

### III.7.3. Punto de inflamación

TABLA 3.19: Punto de inflamación en función del tiempo

Tiempo de reacción (min)	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>20</sub>	18	23	39	41
T <sub>40</sub>	20	28	42	43
T <sub>60</sub>	26	42	45	43
T <sub>80</sub>	28	44	46	47
T <sub>100</sub>	33	43	54	47
T <sub>120</sub>	49	41	63	61
T <sub>140</sub>	54	58	67	69

Resultados expresados en °C  
Fuente: Propia

Media Global: 43.35

**Factores de fila**

a1: -13.1071  
a2: -10.1071  
a3: -4.3571  
a4: -2.1071  
a5: 0.8929  
a6: 10.1429  
a7: 18.6429

**Factores de columna**

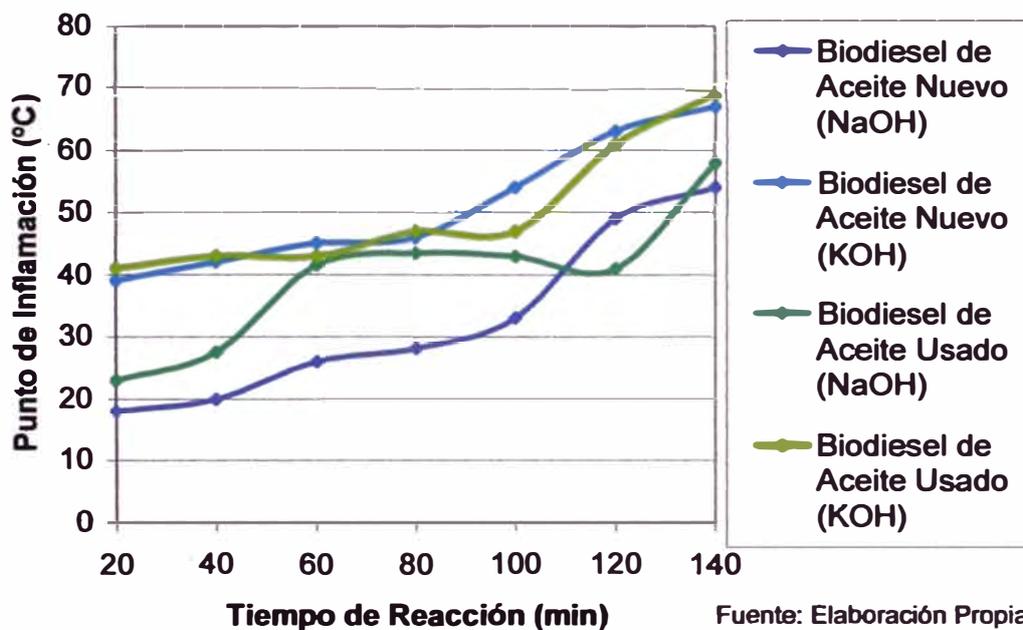
b1: -10.7857  
b2: -3.5  
b3: 7.5  
b4: 6.7857

Se observa que los factores de fila correspondientes a los tiempos de reacción de 20, 40, 60 y 80 minutos son negativos ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  y  $a_4$ ), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo en la corrida evaluada a 20 minutos. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a partir de 100, 120 y 140 minutos, siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 140 minutos.

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas aceite nuevo con NaOH y aceite usado con NaOH muestran resultados negativos,

quedando como factores positivos los correspondientes a las corridas realizadas con aceite nuevo con KOH y aceite usado con KOH.

**GRÁFICO 3.11:** Evaluación del punto de inflamación en función del tiempo



Se observa del gráfico 3.11 que el mejor tiempo de reacción, materia prima y catalizador que corresponde a la evaluación del punto de inflamación (flash point) fue al usar aceite usado utilizando como catalizador KOH y teniendo un tiempo de reacción de 140 minutos. Además se observa que el valor obtenido de dicha corrida resulta ser el más elevado dentro de todas las evaluaciones realizadas.

### III.7.4. Viscosidad

TABLA 3.20: Viscosidad en función del tiempo

Tiempo de reacción (min)	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>20</sub>	4.473	5.060	4.278	4.395
T <sub>40</sub>	4.405	4.916	4.354	4.254
T <sub>60</sub>	4.448	5.069	4.412	4.243
T <sub>80</sub>	4.460	5.155	4.430	4.299
T <sub>100</sub>	4.487	5.009	4.475	4.285
T <sub>120</sub>	4.738	5.024	4.482	4.311
T <sub>140</sub>	4.357	5.080	4.215	4.414

Resultados expresados en cSt, evaluados a 40°C  
Fuente: Propia

Media Global: 4.5556

Factores de fila

a1: -0.0031  
a2: -0.0723  
a3: -0.0116  
a4: 0.0314  
a5: 0.0094  
a6: 0.0842  
a7: -0.0381

Factores de columna

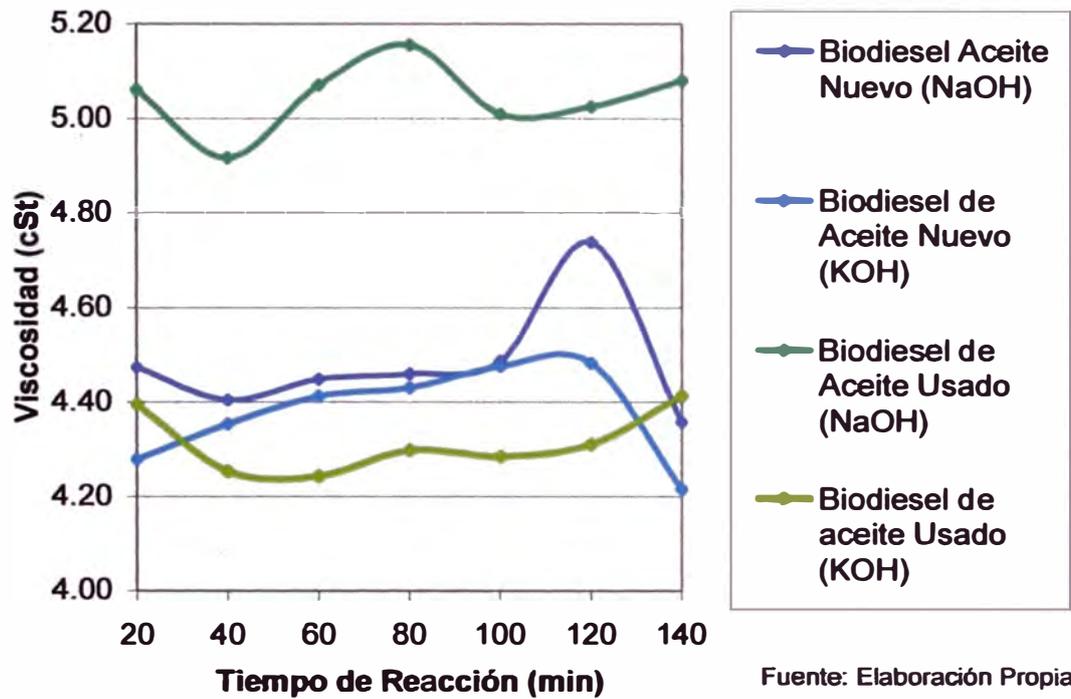
b1: -0.0734  
b2: 0.4901  
b3: -0.1766  
b4: -0.2401

Se observa que los factores de fila correspondientes a los tiempos de reacción de 20, 40, 60 y 140 minutos son negativos ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  y  $a_7$ ), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo en la corrida evaluada a 40 minutos. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a 80, 100 y 120 minutos siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 120 minutos.

Se observa que el factor de columna correspondiente a la corrida aceite usado con NaOH muestra un resultado positivo, quedando con factores negativos los

correspondientes a las corridas realizadas con aceite nuevo con NaOH, aceite nuevo con KOH y aceite usado con KOH.

**GRÁFICO 3.12:** Evaluación de la viscosidad en función del tiempo



Se observa del gráfico 3.12 que el mejor tiempo de reacción, materia prima y catalizador que corresponde a la evaluación de la viscosidad fue usando aceite usado con KOH como catalizador y teniendo un tiempo de reacción de 140 minutos.

### III.7.5. Índice de cetano

TABLA 3.21: Índice de cetano en función del tiempo

Tiempo de reacción (min)	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>20</sub>	56.4	55.6	53.4	55.7
T <sub>40</sub>	56.2	51.4	53.9	53.2
T <sub>60</sub>	55.9	53.8	54.5	54.9
T <sub>80</sub>	56.5	53.8	55.1	55.2
T <sub>100</sub>	55.0	55.1	55.6	55.9
T <sub>120</sub>	56.2	55.9	54.7	54.8
T <sub>140</sub>	55.4	54.7	54.7	54.5

Fuente: Propia

Media Global: 54.93

Factores de fila

a1: 0.3464  
a2: -1.2536  
a3: -0.1536  
a4: 0.2214  
a5: 0.4714  
a6: 0.4714  
a7: -0.1036

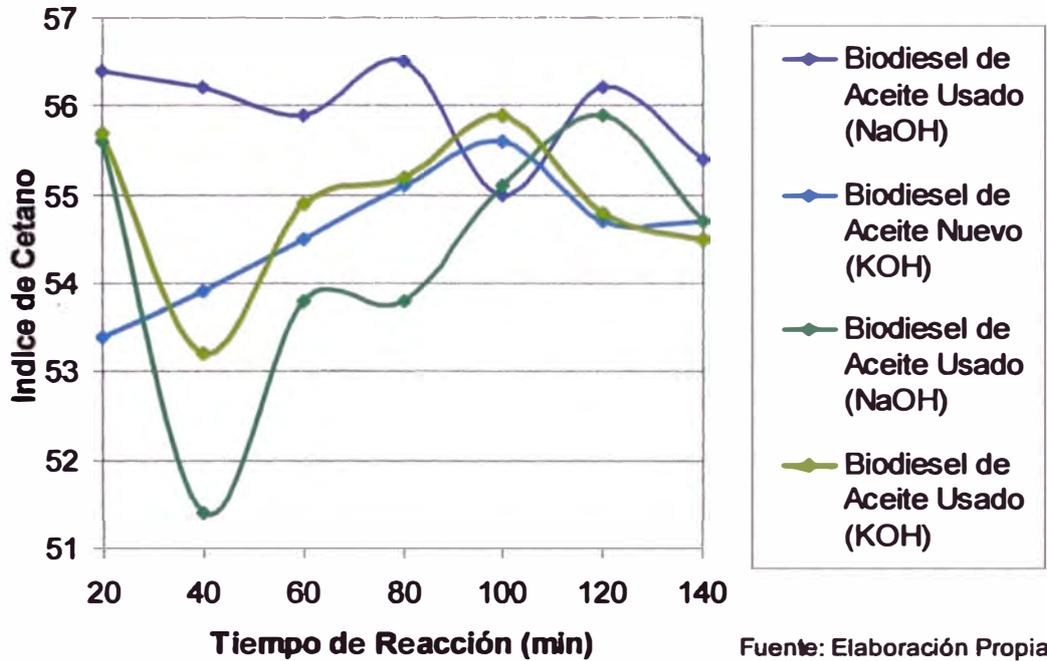
Factores de columna

b1: 1.0143  
b2: -0.6  
b3: -0.3714  
b4: -0.0429

Se observa que los factores de fila correspondientes a los tiempo de reacción de 40, 60 y 140 son negativos ( $a_2$ ,  $a_3$  y  $a_7$ ), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo en la corrida evaluada a 40 minutos. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a 20, 80, 100 y 120 minutos, siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 120 minutos.

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas aceite usado con NaOH, aceite nuevo con KOH y aceite usado con KOH muestran resultados negativos, quedando como único factor positivo el correspondiente a la corrida realizada con aceite nuevo con NaOH.

**GRÁFICO 3.13:** Evaluación del índice de cetano en función del tiempo



Se observa del gráfico 3.13 que el mejor tiempo de reacción, materia prima y catalizador que corresponde a la evaluación del índice de cetano fue el de usar aceite nuevo con NaOH como catalizador y teniendo un tiempo de reacción de 20 minutos; cabe resaltar que utilizar un tiempo de reacción mayor no afecta de manera considerable el valor del índice de cetano, aun cuando su factor de columna es negativo (-0.0429), pudiéndose inferir que aun en otras corridas similares la variación no resultará significativa.

### III.7.6. Destilación (90% de recuperado)

TABLA 3.22: Destilación (90% de recuperado) en función del tiempo

Tiempo de reacción (min)	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>20</sub>	361	359	351	352
T <sub>40</sub>	360	339	356	342
T <sub>60</sub>	355	359	360	361
T <sub>80</sub>	355	355	363	364
T <sub>100</sub>	348	362	363	366
T <sub>120</sub>	357	358	365	354
T <sub>140</sub>	352	355	368	365

Resultados expresados en °C  
Fuente: Propia

Media Global: 357.32

Factores de fila

a1: -1.5714  
a2: -8.0714  
a3: 1.4286  
a4: 1.9286  
a5: 2.4286  
a6: 1.1786  
a7: 2.6786

Factores de columna

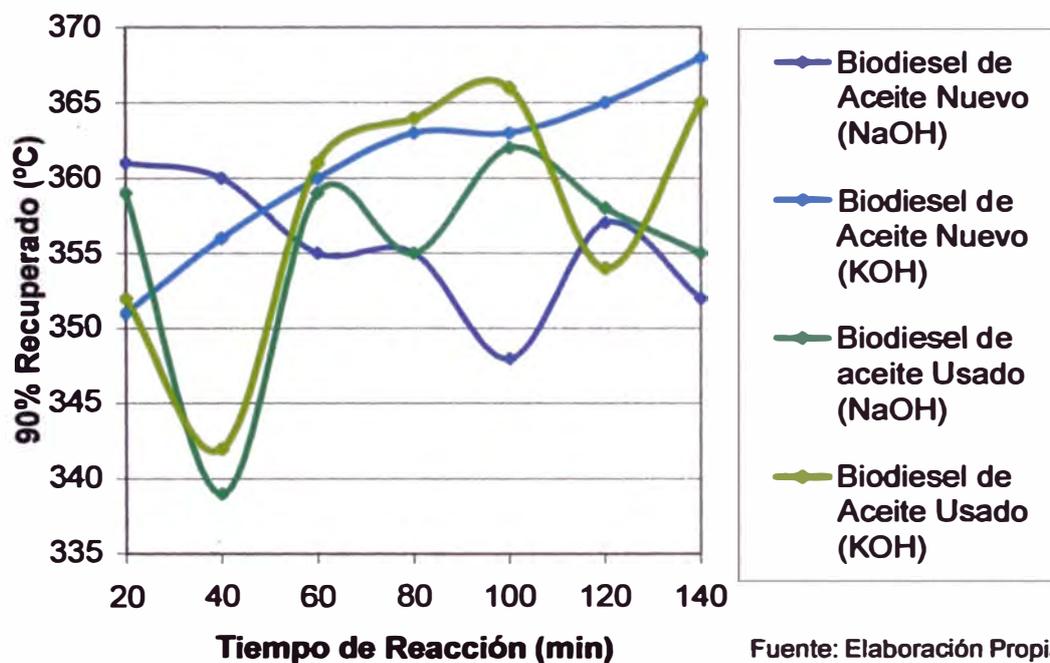
b1: -1.8929  
b2: -2.0357  
b3: 3.5357  
b4: 0.3929

Se observa que los factores de fila correspondientes a los tiempos de reacción de 20 y 40 minutos son negativos ( $a_1$  y  $a_2$ ), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo en la corrida evaluada a 40 minutos. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a 60, 80, 100, 120 y 140 minutos, siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 140 minutos

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas aceite nuevo con NaOH y aceite usado con NaOH muestran resultados negativos,

quedando con factores positivos los correspondientes a las corridas realizadas con aceite nuevo con KOH y aceite usado con KOH.

**GRÁFICO 3.14:** Evaluación de la destilación en función del tiempo



Se observa del gráfico 3.14 que el mejor tiempo de reacción, materia prima y catalizador que corresponde a la evaluación de la destilación (90% recuperado) fue usando aceite nuevo utilizando con NaOH como catalizador y teniendo un tiempo de reacción de 140 minutos.

### III.7.7. Punto de fluidez

**TABLA 3.23:** Punto de fluidez en función del tiempo

Tiempo de reacción (min)	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>20</sub>	0.0	-3.0	-1.0	1.0
T <sub>40</sub>	0.0	0.0	-1.0	-1.0
T <sub>60</sub>	-3.0	0.0	0.0	0.0
T <sub>80</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0
T <sub>100</sub>	-6.0	-3.0	-1.0	0.0
T <sub>120</sub>	-3.0	-6.0	0.0	0.0
T <sub>140</sub>	-3.0	-6.0	0.0	0.0

Resultados expresados en °C  
Fuente: Propia

Media Global: -1.29

**Factores de fila**

a1: 0.5357  
a2: 0.7857  
a3: 0.5357  
a4: 1.2857  
a5: 1.2143  
a6: -0.9643  
a7: -0.9643

**Factores de columna**

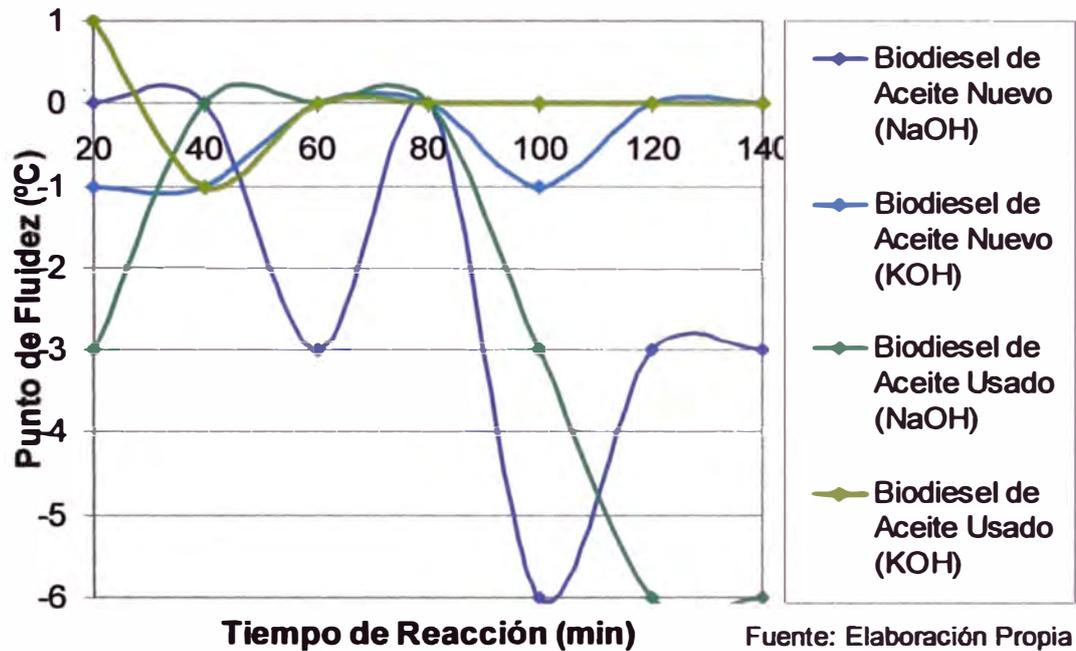
b1: -0.8571  
b2: -1.2857  
b3: 0.8571  
b4: 1.2857

Se observa que los factores de fila correspondientes a los tiempos de reacción de 120 y 140 minutos son negativos ( $a_6$  y  $a_7$ ), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo en la corrida evaluada a 140 minutos. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a 20, 40, 60, 80 y 100 minutos, siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 80 minutos.

Se observa que los factores de columna correspondientes a las corridas aceite nuevo con NaOH y aceite usado con NaOH muestran resultados negativos,

quedando con factores positivos los correspondientes a las corridas realizadas con aceite nuevo con KOH y aceite usado con KOH.

**GRÁFICO 3.15:** Evaluación del punto de fluidez en función del tiempo



Se observa del gráfico 3.15 que el mejor tiempo de reacción, materia prima y catalizador que corresponde a la evaluación del punto de fluidez fue el usar aceite usado con NaOH como catalizador y teniendo un tiempo de reacción de 140 minutos.

### III.7.8. Gravedad específica (API)

**TABLA 3.24:** Gravedad específica (API) en función del tiempo

Tiempo de reacción (min)	Aceite Nuevo NaOH	Aceite Usado NaOH	Aceite Nuevo KOH	Aceite Usado KOH
T <sub>20</sub>	28.0	28.1	27.9	28.1
T <sub>40</sub>	28.1	27.7	28.1	27.6
T <sub>60</sub>	28.1	27.5	28.2	28.1
T <sub>80</sub>	28.1	27.5	28.2	28.1
T <sub>100</sub>	28.1	27.7	28.3	28.6
T <sub>120</sub>	27.9	27.7	28.2	28.1
T <sub>140</sub>	28.0	27.7	28.2	28.1

Fuente: Propia

Media Global: 28.00

Factores de fila

a1: 0.025  
a2: -0.125  
a3: -0.025  
a4: -0.025  
a5: 0.175  
a6: 0.025  
a7: 0

Factores de columna

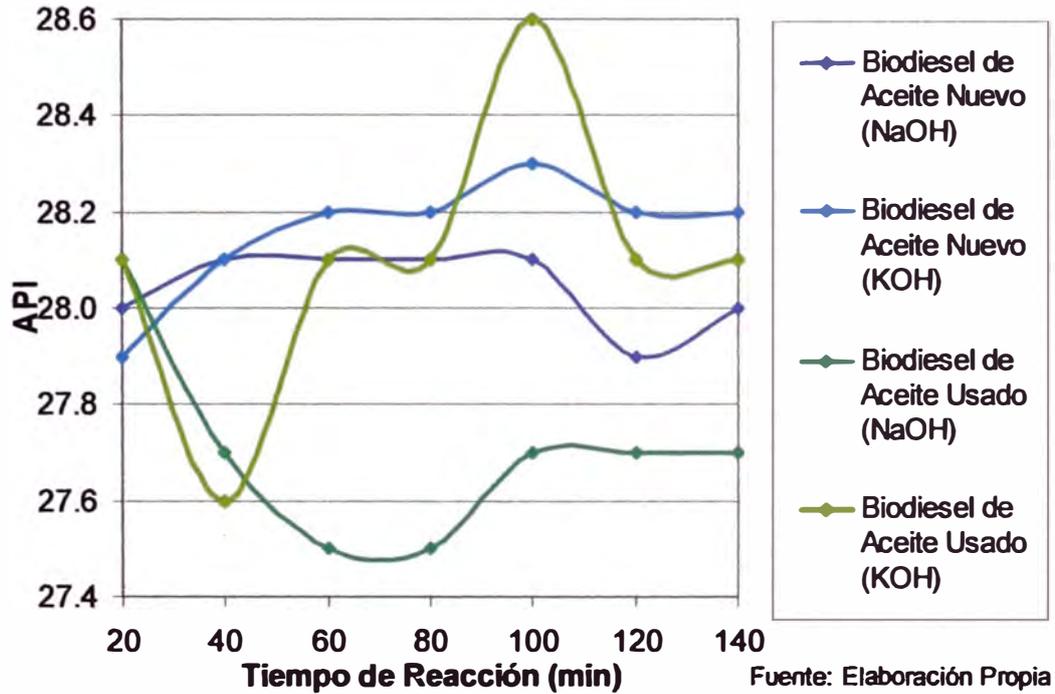
b1: 0.0429  
b2: -0.3  
b3: 0.1571  
b4: 0.1

Se observa que los factores de fila correspondientes a los tiempos de reacción de 40, 60 y 80 minutos son negativos ( $a_2$ ,  $a_3$  y  $a_4$ ), dentro de los cuales se alcanza el pico negativo en la corrida evaluada a 40 minutos. Lo contrario ocurre con las corridas evaluadas a 20, 100, 120 y 140 minutos, siendo el pico positivo en la corrida evaluada a 100 minutos.

Se observa que los factores de columna correspondientes a la corrida aceite usado con NaOH muestra resultado negativo, quedando con factores positivos los correspondientes a las corridas realizadas con aceite nuevo con NaOH,

aceite nuevo con KOH y aceite usado con KOH, alcanzado el pico positivo con la corrida con aceite nuevo con KOH.

**GRÁFICO 3.16:** Evaluación de la gravedad específica en función del tiempo



Se observa del gráfico 3.16 que el mejor tiempo de reacción, materia prima y catalizador que corresponde a la evaluación de la gravedad específica (API) fue usando aceite nuevo con KOH como catalizador y teniendo un tiempo de reacción de 100 minutos; cabe resaltar que el utilizar aceite usado con KOH no afecta de manera considerable el valor de la gravedad específica, aun cuando su factor de columna es menor (0.1), ya que ambas corridas muestran valores similares, pudiéndose inferir que aun en otras corridas similares la variación no resultará significativa.

### III.8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### III.8.1. Temperatura, tiempo y catalizador óptimo de reacción

Peterson (1995) encontró que el producto final obtenido después de una transesterificación contenía 1.49% de monoglicéridos, 4.23% de diglicéridos y 0.99% de triglicéridos, así como alcohol en un 0.012%. Nouredini (1997) evaluó la transesterificación del aceite de soya a temperaturas entre 30°C y 70°C, obteniendo mejores resultados a mayores temperaturas. Damoko y Cheryan (2000), estudiaron la formación de metilésteres de ácidos grasos con aceite de palma analizando cromatográficamente los productos intermedios, concluyendo que las temperaturas óptimas de disminución de productos intermedios y formación de glicerina eran a 60°C y 65°C. En las corridas realizadas se obtuvieron resultados similares, obteniéndose como **mejor temperatura de reacción a 60°C**, mostrando un menor rendimiento de biodiesel y un mayor rendimiento de glicerina, producto de una transesterificación completa.

Freedman (1994) afirma que la tasa de conversión de triglicérido a glicerol incrementa con el tiempo de reacción. Nouredini (1997) y Damoko (2000) encontraron curvas decrecientes para la producción de metilésteres y de glicerol; también establecieron curvas decrecientes de triglicéridos, diglicéridos y monoglicéridos en el tiempo, producto del análisis cromatográfico realizado. En las corridas realizadas se observó esta misma tendencia, logrando **mejores resultados a 140 minutos** de reacción, producto de un adecuado tiempo de contacto entre reactantes y productos, logrando una correcta transesterificación.

Darnoko (2000) indicó que el uso de hidróxido de sodio (NaOH) origina la formación de diferentes productos, principalmente sales de sodio, las cuales deben ser tratadas como residuo; indica además que se necesita un aceite de alta calidad para trabajar con este catalizador y recomienda utilizar hidróxido de potasio para obtener mejores resultados de transesterificación. Los resultados obtenidos de las corridas realizadas muestran resultados similares, los cuales indican una mejor transesterificación con el uso de *hidróxido de potasio (KOH)*; la diferencia en eficiencias no sólo se ve reflejada en la mayor cantidad de glicerina obtenida, la cual indica una óptima conversión de los triglicéridos, TAG-triacylglycerols-, a glicerol, sino en mayor rendimiento durante el tiempo en comparación con el hidróxido de sodio independientemente de la materia prima.

### **III.8.2. Punto de inflamación**

Mittebatch (1996) afirma que el punto de inflamación del biodiesel depende estrictamente del contenido de metanol remanente. Leung (2001) encontró que el biodiesel producido con aceites vegetales usados posee un punto de inflamación promedio de 110°C. Por lo tanto, se considera como un producto no inflamable y no peligroso; sin embargo, trazas de 1% de alcohol en el biodiesel puede bajar el punto de inflamación hasta 30°C. Las corridas realizadas muestran un mayor valor de este parámetro a las condiciones de 60°C y 140 minutos teniendo como promedio 81°C, si bien dicho valor es menor al mínimo de especificación del biodiesel (130°C, ASTM D-6751) resulta superior al punto de inflamación del diesel (52°C), lo cual da un margen de seguridad para la mezcla biodiesel y diesel-2, esperando que se obtenga un valor intermedio de este parámetro para la mezcla, dependiendo del porcentaje al cual se realice.

### **III.8.3. Viscosidad**

Mittelbach (2005) indica que la viscosidad del biodiesel está relacionada con el contenido de triglicéridos sin reaccionar. Frangui (1999) asegura que la presencia de jabones también incrementa esta propiedad. Las corridas realizadas muestran un promedio de 4,73 cSt a 40°C; dicho valor está dentro del rango permisible como especificación del biodiesel (1,9 a 6,0 cSt a 40°C, ASTM D-6751), también dicho valor es superior al correspondiente del diesel (1,7 a 4,1 cSt a 40°C), esperando que se obtenga un valor intermedio de este parámetro para la mezcla, dependiendo del porcentaje al cual se realice.

### **III.8.4. Índice de cetano**

La mayoría de los experimentos usando biodiesel muestran que este combustible tiene un índice de cetano más alto que el del diesel fósil alcanzando un rango de 48 - 52, múltiples pruebas dan como resultado que un biodiesel de aceites saturados posee un índice de cetano superior que los de aceites no saturados. Las corridas realizadas muestran un promedio de 54,66; dicho valor es mayor el mínimo de especificación del biodiesel (47 ASTM D-6751), también es superior al mínimo valor del diesel (40), lo cual aumenta la disposición del combustible (biodiesel y diesel-2) a ser autoignitado a las condiciones del cilindro cuando este es inyectado, esperando que se obtenga un valor intermedio del índice de cetano para la mezcla dependiendo del porcentaje al cual se realice.

### **III.8.5. Destilación (90% de recuperado)**

Por medio de este parámetro se evalúa la volatilidad, la cual es la propiedad más crítica para saber si una mezcla puede producir vapores potencialmente explosivos. También la presencia de componentes de alto punto de ebullición puede afectar al grado de depósitos de combustión sólidos. En las corridas realizadas se obtuvo como promedio 355.96°C, se observa que todos los valores obtenidos en las diferentes corridas (independientemente de las variables como catalizador, materia prima, temperatura y tiempo) se encuentran dentro de la especificación del biodiesel (máximo 360°C al 90% de recuperado según ASTM D-6751), también se nota que todos los valores son cercanos al máximo valor del diesel (360°C).

### **III.8.6. Punto de fluidez**

Diversas experiencias han observado que el punto de inicio de cristalización son muy altos, es decir, que se congelan a temperaturas no muy frías, por lo que no es recomendable su uso en climas muy fríos, sin agregarle aditivos anticongelantes o sin mezclarlos, dichas experiencias indican que una mezcla de 1 – 2 % de Biodiesel en Diesel no presentan complicaciones en el funcionamiento y el biodiesel entrega una propiedad lubricante, en mezclas de 20% de Biodiesel en Diesel se recomienda que las temperaturas de funcionamiento sean más altas que las del diesel fósil. Las corridas realizadas muestran un promedio de -2.56°C; dicho valor se encuentra dentro de la especificación del biodiesel (0 a -15°C según norma UNE 10635, no se tomó la norma ASTM debido a que esta no la especifica) y es más bajo que el valor de

especificación del diesel (+4°C), esperando que se obtenga un valor intermedio de este parámetro para la mezcla (biodiesel y diesel-2), dependiendo del porcentaje al cual se realice.

### **III.8.7. Gravedad específica (API)**

Mittelbach (1996) también afirma que la densidad del biodiesel depende principalmente del tipo de aceite vegetal de procedencia y no del proceso de producción. Las corridas realizadas muestran un promedio de 27.78, dichos resultados no reflejan una tendencia clara que permita inferir sobre un comportamiento de este parámetro, ya que los datos obtenidos son muy cercanos, de lo que se puede inferir es que este parámetro es casi igual al valor de la materia prima.

## **III.9. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE MEZCLA BIODIESEL-DIESEL**

### **III.9.1. Lugar de ensayo**

Las corridas para la determinación del porcentaje óptimo de mezcla de biodiesel/diesel se realizaron durante el mes de septiembre y octubre del 2007, en el Laboratorio de Refinería de Operaciones Conchán.

### **III.9.2. Ensayos fisicoquímicos**

Los ensayos fisicoquímicos realizados a las diferentes muestras han tenido el objetivo de caracterizar sus propiedades y poder concluir el porcentaje óptimo de inclusión de biodiesel en diesel.

Los análisis fisicoquímicos realizados a cada una de las muestras fueron encargadas a la Unidad Laboratorio de Operaciones Conchán, en la cual se realizaron las siguientes pruebas:

- Destilación a 760 mmHg, °C (ASTM D86-05)
- Punto de Inflamación P.M., °C (ASTM D93-02a)
- Gravedad API a 60 °F (ASTM D287-00)
- Índice de Cetano (ASTM D4737-04)
- Punto de Fluidez, °C (ASTM D97-96a)
- Viscosidad Cinemática, 40 °C, cSt (ASTM D445-01)
- Contenido de Azufre (ASTM D4264)
- BSW (% Vol) (ASTM D1796)
- Corrosión en Lámina de Cu (ASTM D130)

### **III.9.3. Tipos de corridas realizadas**

Las corridas fueron realizadas a diferentes porcentajes de adición de biodiesel en diesel, las cuales se detallan en la tabla 3.25:

**TABLA 3.25: Porcentajes de adición de biodiesel**

<b>Biodiesel (%)</b>	0	2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
<b>Diesel 2 (%)</b>	100	98	95	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

La elección de los diferentes porcentajes de adición fueron determinados en función del DS 021-2007-EM (20 de abril del 2007), el cual establece el porcentaje de mezcla de biodiesel será de 2%, 5% y 20%, denominando a cada tipo de biodiesel, como diesel B2, diesel B5 y diesel B20, respectivamente.

Los resultados obtenidos de la evaluación de dichas corridas, las especificaciones del biodiesel y diesel puro, se muestran en la tabla 3.26:

**Nota:** Para retirar las trazas de alcohol presentes en el biodiesel se le sometió al mismo a un recalentamiento de 65 – 80 °C por una hora, el objetivo de esto fue sustituir el lavado con agua dulce que convencionalmente se realiza. Sin embargo esta limpieza con agua genera la reacción inversa disminuyendo la eficiencia y generando un subproducto contaminante, jabón en medio acuoso, el cual se elimina al medio ambiente incentivando el fenómeno de eutricación y consecuentemente contaminación ambiental.

**TABLA 3.26: Resultados de la evaluación de mezcla de biodiesel / diesel en Operaciones Conchán**

<b>Biodiesel</b>	<b>%</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>Espec.</b>	<b>Espec.</b>
<b>Diesel 2</b>	<b>%</b>	<b>100</b>	<b>98</b>	<b>95</b>	<b>90</b>	<b>80</b>	<b>70</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>Diesel 2</b>	<b>Biodiesel</b>
															<b>ASTM D975</b>	<b>ASTM D6751</b>
<b>°API</b>		33.9	33.8	33.7	33.4	32.8	32.2	31.6	30.9	30.2	29.6	28.8	28.4	27.6		
<b>Grav. Específica,</b>		0.8555	0.856	0.8565	0.8581	0.8612	0.8644	0.8676	0.8713	0.8751	0.8783	0.8827	0.8849	0.8894		
<b>Flash point, °C</b>		55	55	55	55	55	56	59	60	66	73	80	95	105	<b>Mín 52</b>	<b>Mín 130</b>
<b>Viscosidad, cSt</b>		2.91	2.91	2.94	3.1	3.29	3.31	3.47	3.61	3.85	4.06	4.26	4.48	4.7	<b>1,9 - 4,1</b>	<b>1,9 - 6,0</b>
<b>Indice de Cetano</b>		45.7	45.7	45.9	46.0	46.1	46.3	46.5	46.9	47.9	48.7	49.6	51.9	53.5	<b>Mín 40</b>	<b>Mín 47</b>
<b>Destilación</b>																
<b>P.I.E</b>		159	162	165	169	172	174	185	201	221	233	252	270	290		
<b>5%Rec.</b>		194	196	199	205	209	214	216	222	232	251	280	303	320		
<b>10%Rec.</b>		209	207	208	209	215	219	225	240	261	281	302	318	328		
<b>20%Rec.</b>		231	231	234	237	240	249	260	273	291	305	318	328	331		
<b>50%Rec.</b>		276	278	280	285	295	304	312	320	325	328	330	333	335		
<b>90%Rec.</b>		330	331	333	334	335	336	338	340	342	344	346	348	349	<b>Máx 360</b>	<b>Máx 360</b>
<b>P.F.E</b>		358	357	358	359	362	*	*	*	*	*	*	*	*		
<b>Pour Point, °C</b>		-9	-9	-9	-6	-6	-6	-3	-3	-3	0	0	0	0		
<b>Azufre, ppm</b>		2540	2520	2420	2290	2010	1750	1500	1270	990	730	410	100	58	<b>Máx 5000</b>	<b>Máx 500</b>
<b>BSW, %v</b>		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>Máx 0,05</b>	<b>Máx 0,05</b>
<b>Corrosión Lam.</b>		1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	<b>Máx 3</b>	<b>Máx 3</b>

\* Se produce craqueo en el balón de destilación durante el ensayo ASTM D86

### **III.10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

De los resultados obtenidos en las corridas realizadas; se observa que las propiedades de la mezcla en los porcentajes de 2% y 5% son superiores a las especificaciones del diesel (requisito para su comercialización en mezcla).

#### **III.10.1. Punto de inflamación**

Las corridas realizadas muestran un rango de valores desde 55°C hasta 105°C, los cuales son superiores al punto de inflamación del diesel (52°C).

#### **III.10.2. Viscosidad**

Las corridas realizadas muestran un rango de valores desde 2.91 cSt hasta 4.7 cSt; los cuales se encuentran dentro de la especificación del diesel (1.7 a 4.1 cSt a 40°C) para porcentajes de inclusión menores a 70%.

#### **III.10.3. Índice de cetano**

Las corridas realizadas muestran un rango de valores desde 45.7 hasta 53.5; los cuales son superiores a la especificación del diesel (40).

#### **III.10.4. Destilación (90% de recuperado)**

Las corridas realizadas muestran valores inferiores a la especificación de diesel (360°C máx). Además se observó craqueo en el balón de destilación durante el ensayo ASTM D86, a partir de 20% de adición de biodiesel.

#### **III.10.5. Contenido de azufre**

Las corridas realizadas muestran un rango de valores desde 58 ppm hasta 2540 ppm, los cuales se encuentran dentro de la especificación del diesel (5000 ppm máx). Los porcentajes de adición (mezcla) permitidos por el DS 021-2007-EM son de 2%, 5% y 20%; los cuales muestran valores de 2520 ppm, 2420 ppm, y 2010 ppm, respectivamente.

## **IV. ESTUDIO DE MERCADO**

### **IV.1. PRODUCTO**

El Biodiesel es un biocombustible líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la palma, colza, girasol y la soja las materias primas más utilizadas para este fin. Las propiedades del Biodiesel son prácticamente las mismas que las del Diesel automotor en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el Biodiesel puede mezclarse con el Diesel para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente.

#### **IV.1.1. Definición del producto**

El término Biodiesel no tiene una definición estricta, sino que se trata de aceites vegetales, grasas animales y sus ésteres metílicos para ser utilizados como combustibles. Sin embargo, a menudo se refiere cada vez más a los ésteres alquílicos de aceites vegetales o grasas animales y no a los aceites o grasas solas, utilizados como combustible en los motores Diesel.

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

#### **IV.1.2. Codificación del producto**

El éster monoalquílico es denominado internacionalmente como Biodiesel y la comercialización permitida en nuestro país se realizará de la siguiente manera:

- **Biodiesel B100:** Biodiesel puro, sin mezcla alguna, que cumple las especificaciones establecidas en las Normas Técnicas Peruanas o, mientras éstas no sean aprobadas, la norma ASTM D 6751 en su versión actualizada.
- **Diesel Ecológico BXX:** Es la mezcla que contiene Diesel N° 2 y Biodiesel, donde XX representa el porcentaje en base volumétrica de Biodiesel contenido en la mezcla.

#### **IV.1.3. Clasificación del producto**

- |                                      |   |                         |
|--------------------------------------|---|-------------------------|
| • Según su naturaleza física         | : | Bien tangible           |
| • Según su frecuencia de adquisición | : | De consumo              |
| • Según su uso                       | : | Bien intermedio/final   |
| • Según su periodo de vida           | : | Duradero                |
| • Según su destino                   | : | Consumo vehicular final |
| • Según su conveniencia              | : | Por impulso             |

#### **IV.1.4. Componentes del producto**

##### **IV.1.4.1 Características físico – químicas de producto**

Entre los principales estándares a tomar en cuenta para la calidad del Biodiesel se tienen:

###### **1. Viscosidad**

La viscosidad influye en la inyección atomizada del combustible en el cilindro.

- Límites de viscosidad son impuestos para prevenir que el combustible cause recubrimientos en la bomba de inyección.
- Está relacionada con el contenido de triglicéridos sin reaccionar.

###### **2. Residuo de carbón Conradson**

Tiene alta correlación (al 95% de confianza en todos los casos) con la presencia de las siguientes impurezas:

- Ácidos grasos libres
- Glicéridos
- Jabones
- Impurezas inorgánicas (catalizador remanente) y otros.

### **3. Número de cetano**

Indica la facilidad de inflamación del combustible en un motor.

- Controla o regula la ignición del combustible cuando se está comprimiendo.
- A mayor número de cetano, más eficiente es el combustible.
- El Biodiesel tiene un número de cetano más alto que el Diesel debido a su contenido de oxígeno.
- Asegura: mejor arranque, una correcta combustión, disminución del ruido, andar del vehículo uniforme y menor nivel de toxicidad de los gases de emisión.

### **4. Contenido de agua**

Puede afectar la durabilidad del Biodiesel durante el almacenamiento.

- El agua es muy soluble en determinados ésteres, pudiendo alcanzar concentraciones superiores a las 1500 ppm.

### **5. Punto de inflamación**

La menor temperatura a la cual la llama hace que los vapores del fluido se inflamen.

- Relacionado directamente con el contenido de metanol, ya que su presencia hace que este disminuya.

- El Biodiesel tiene mayor punto de inflamación que el Diesel, lo que lo hace más seguro de manipular.

## **6. Cenizas sulfatadas**

Indica la presencia de materia inorgánica, como restos de catalizador remanente y de jabones.

- Cuando se hace Biodiesel con aceites sin refinar, la ceniza también es un indicador de la presencia de fósforo en el combustible.
- Un alto contenido de fósforo puede llevar a altas emisiones particuladas en el vehículo.

## **7. Azufre**

El contenido de azufre es la primera propiedad a ser controlada desde la óptica de limitación de los gases de emisión.

- El Biodiesel no tiene azufre en su composición.

## **8. Glicerina total (incluye glicéridos y glicerina libre)**

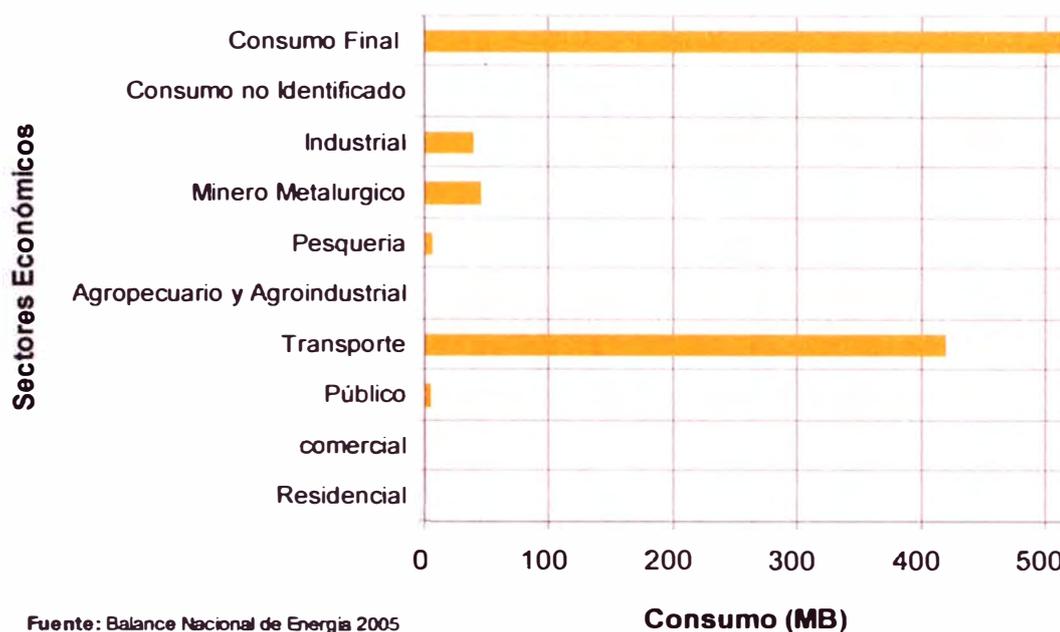
- La glicerina libre puede ser removida fácilmente mediante el lavado
- Los mono, di y triglicéridos sólo se eliminan con un proceso completo de transesterificación (dado por la cantidad de catalizador y de alcohol y las condiciones de la reacción)
- Un contenido alto de glicerina libre puede causar problemas durante el almacenamiento o en el sistema de combustibles del vehículo, o puede llevar a ensuciamiento de los inyectores o la formación de emisiones altas en aldehídos.
- Un alto contenido de glicéridos, especialmente triglicéridos, puede causar formación de depósitos en los inyectores, el pistón y las válvulas.

## **IV.2. ESTRUCTURA DE LA DEMANDA**

### **IV.2.1. Identificación del mercado objetivo**

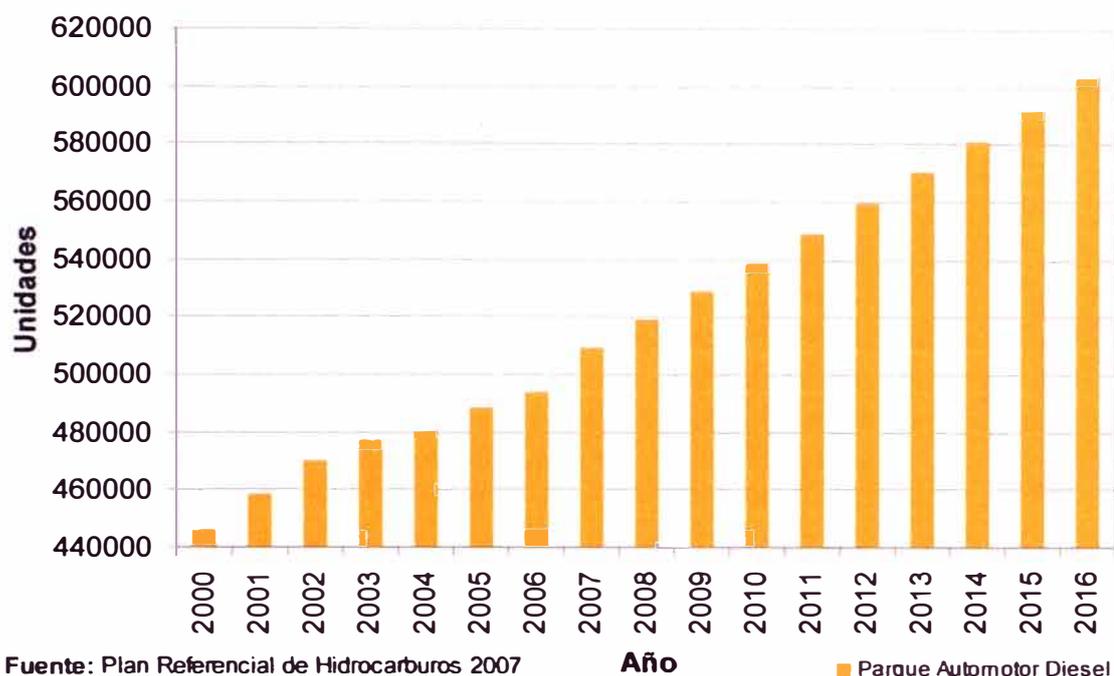
Para la identificación del sector de mayor consumo de Diesel 2 se consultó al Balance Nacional de Energía del 2005, observándose que el mayor demandante de diesel es el sector transporte. Esto es debido a que la gran mayoría de las unidades de este sector están dedicadas al transporte público e interprovincial, los cuales realizan recorridos largos que incrementan su consumo.

**GRÁFICO 4.1:** Demanda de diesel por sector económico



Se observa en el gráfico 4.2, que el parque automotor de diesel presenta un crecimiento sostenido durante el periodo 2000-2006, y proyecta un crecimiento similar en el horizonte 2007-2016; el cual significa un incremento anual de 25% en promedio, obteniéndose una participación del 56% de parque automotor actual, en donde aproximadamente el 62% de dicho parque se ubica en Lima.

**GRÁFICO 4.2:** Proyección del parque automotor nacional diesel



#### **IV.2.2. Demanda nacional de diesel**

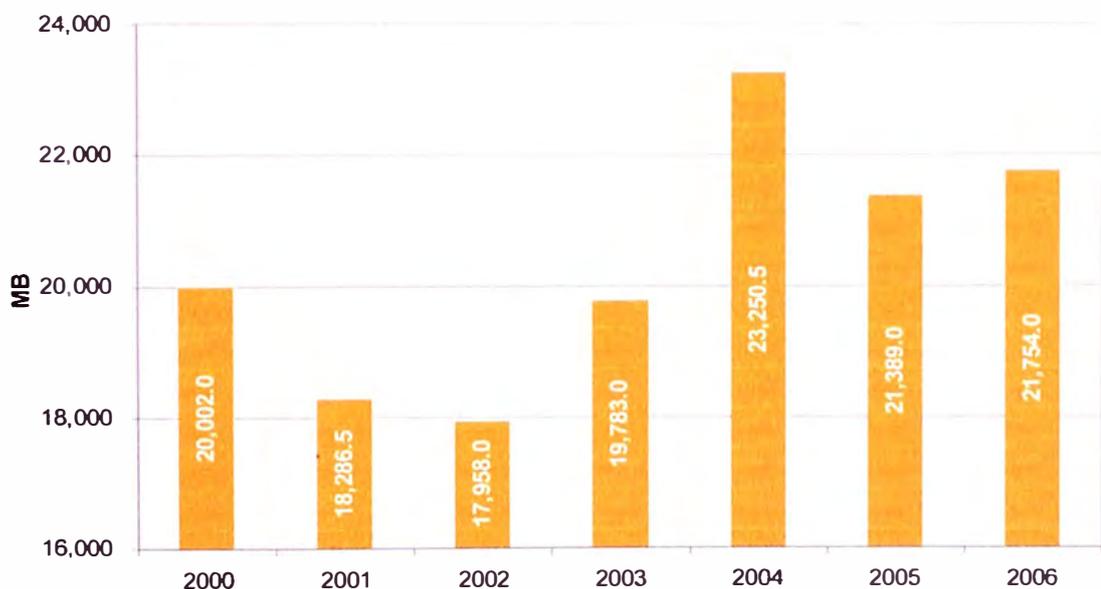
El diesel 2 es el combustible que más se consume en el país y es utilizado principalmente en el transporte, la industria y la generación eléctrica. Su consumo se incrementó en el período 1994-1999, registrándose los mayores consumos en los años 1994 y 1995 debido al crecimiento de la generación termoeléctrica a base de este combustible y al aumento de la flota automotriz a diesel como consecuencia de haberse aplicado menores impuestos que a las Gasolinas.

En el período 2000 – 2002, la demanda de diesel 2 disminuyó en un promedio de 5.4 % debido a que el comercio informal comenzó a adulterarlo con kerosene. Entre los años 2003 y 2004 su demanda se recuperó en un promedio de 13.8%, pasando de 49,2 MBPD de consumo en el año 2002 a 54,2 MBPD en el año 2003 y 63,7 MBPD en el año 2004 debido a que se corrigió el desnivel de impuestos entre el

diesel y el kerosene además del incremento de la generación eléctrica con diesel, situación que cambió radicalmente a partir del inicio de la operación comercial de Camisea en Agosto del 2004. En el año 2005, la demanda de diesel fue del orden de 58.6 MBPD, lo que representó una disminución de 8% respecto a la demanda del año 2004.

En el año 2006, la demanda de diesel fue del orden de 59.6 MBPD, lo que representa un ligero incremento de 1,7 % respecto a la demanda promedio del año anterior. El crecimiento de la economía nacional y especialmente de la producción manufacturera y los servicios explican este crecimiento en las ventas de diesel a pesar de su creciente desplazamiento por el gas natural de Camisea. La demanda de diesel se muestra en el gráfico 4.3.

**GRÁFICO 4.3:** Demanda nacional de diesel



Fuente: Plan Referencial de Hidrocarburos 2007

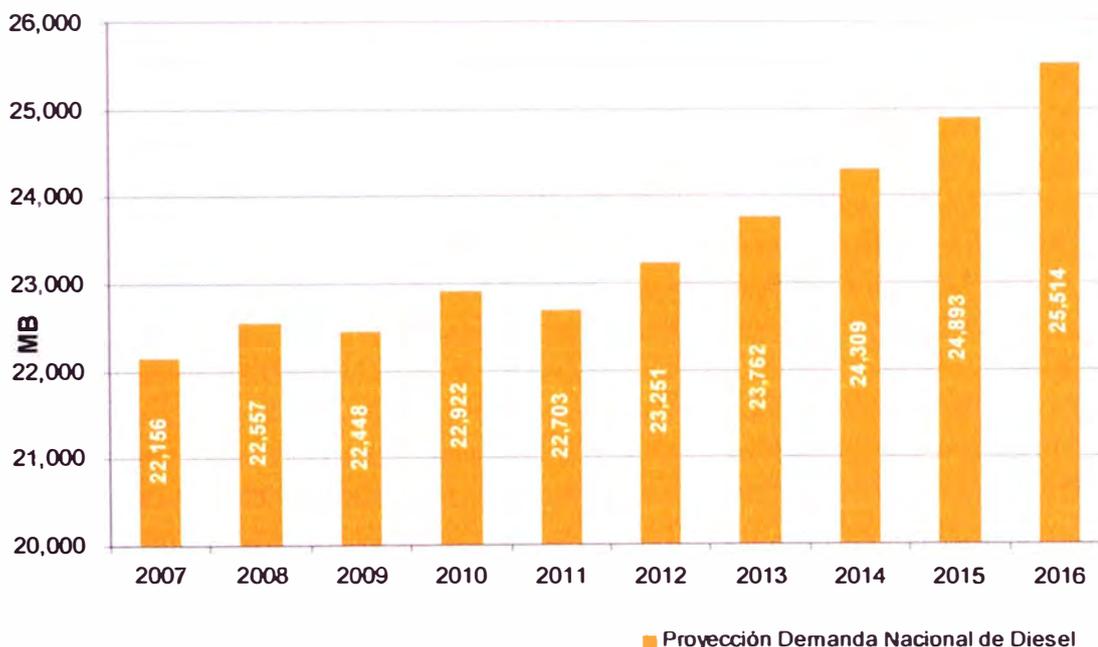
Año

■ Demanda Nacional de Diesel

### IV.2.3. Proyección de la demanda nacional de diesel

La proyección del consumo aparente de diesel en el mercado nacional del 2007 al 2016 se muestra en el gráfico 4.4. El diesel continuará siendo el combustible de mayor demanda en el periodo de estudio, se estima que su consumo será 73,6 MBPD en el año 2016; este incremento se deberá principalmente al crecimiento económico del país y su alto consumo en el transporte y maquinaria pesada. Asimismo, la demanda estimada incluye el volumen de biodiesel en un 2% a partir del año 2009 y en un 5% a partir del año 2011 de acuerdo a lo dispuesto en el D.S 021.2007 “Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles”.

**GRÁFICO 4.4:** Proyección de la demanda nacional de diesel

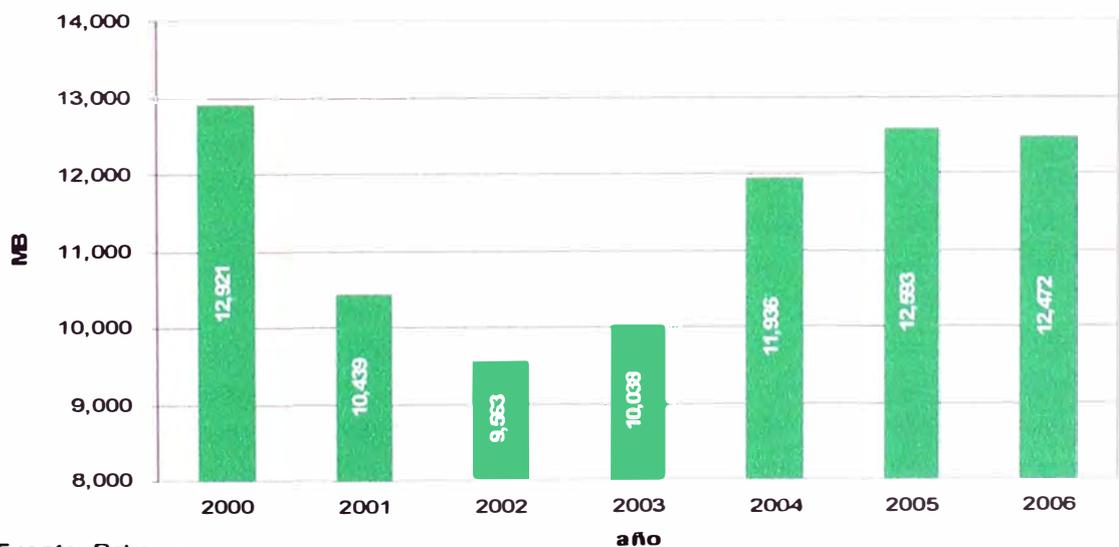


#### **IV.2.4. Demanda de diesel de PETROPERÚ**

La participación de PETROPERÚ en la demanda de diesel durante el periodo 2000-2006 se ha mantenido en un promedio de 55.98% de la demanda nacional. Durante el periodo 2001-2003 teniendo como pico el año 2002, la demanda disminuyó alrededor de 2500 MB debido al comportamiento de la competencia (Repsol), mayoristas (Shell, Mobil, etc), precio de combustibles (impacto de diesel de importación), política de comercialización, capacidad de refinación limitada y el valor del precio del petróleo crudo.

En el periodo 2004-2006 la demanda se recuperó creciendo en 5.5% con respecto a los años anteriores, esto se debió a la corrección tributaria entre el kerosene y el diesel, al incremento de carga de las refinerías y al procesamiento de crudos con mayor contenido de destilados medios. La demanda de diesel por parte de PETROPERÚ se muestra en el gráfico 4.5.

**GRÁFICO 4.5:** Demanda de Diesel de PETROPERÚ



Fuente: Petroperu

#### IV.2.5. Proyección de la demanda de diesel de PETROPERÚ

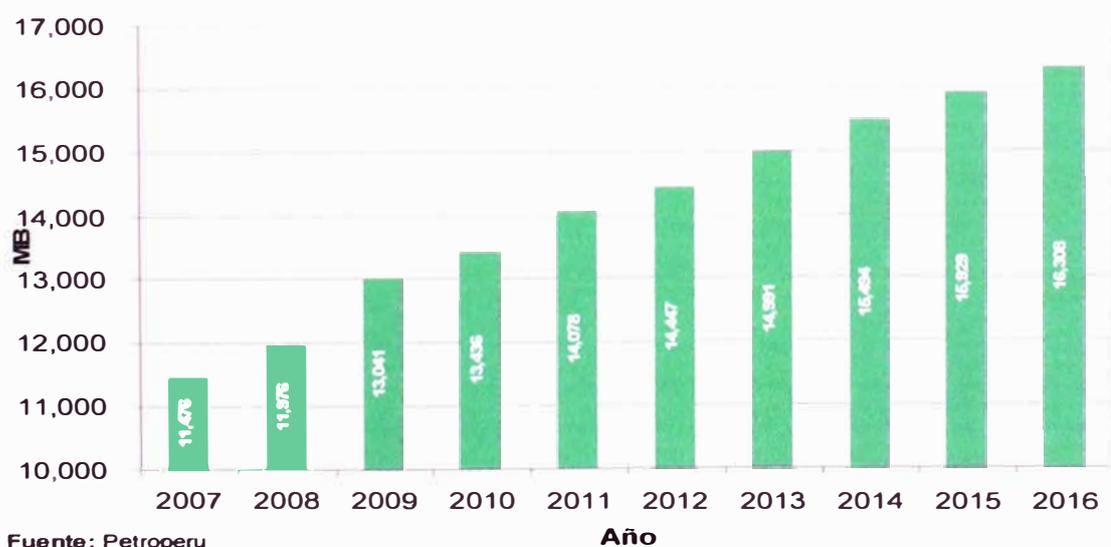
##### Metodología

PETROPERÚ, para determinar la proyección de la demanda de diesel, ha tomado como base la información de los volúmenes de venta nacional por tipo de combustible.

##### Proyección

La proyección de la demanda aparente de diesel en el mercado nacional del 2007 al 2016 se muestra en el gráfico 4.6. El diesel continuará siendo el combustible de mayor demanda en el periodo de estudio, se estima que su consumo anual se incrementará en alrededor de 700 MB, lo cual hace estimar una participación en el mercado nacional del 52% al 2016.

GRÁFICO 4.6: Proyección de la demanda nacional de diesel de PETROPERÚ

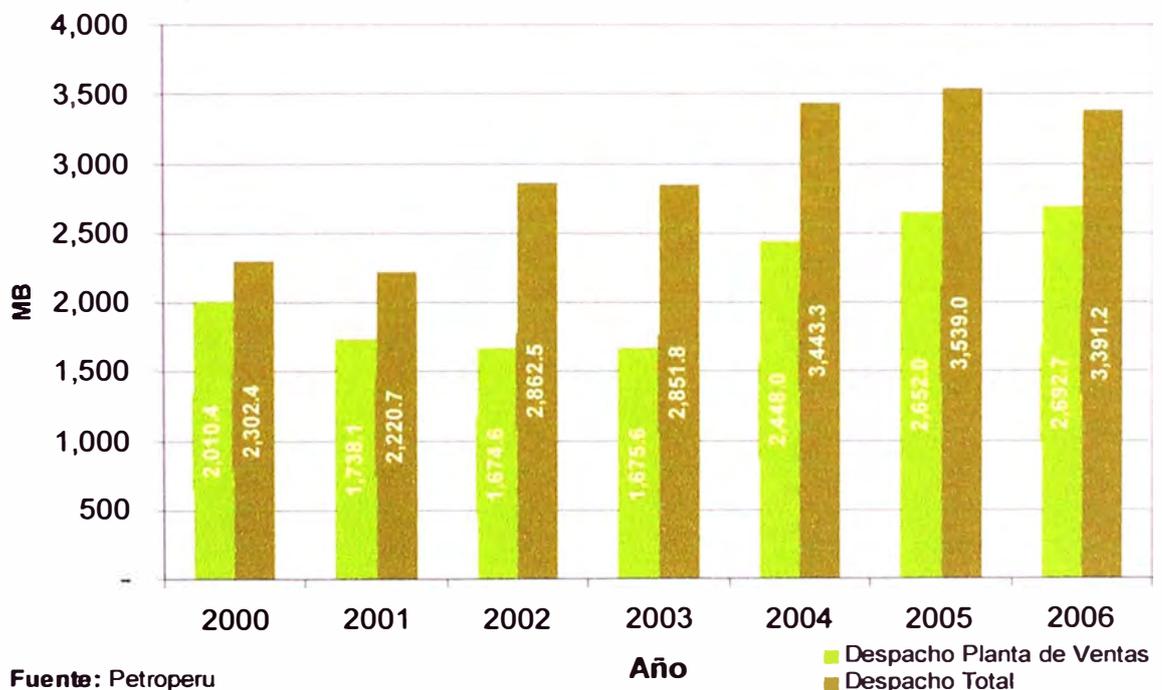


#### IV.2.6. Despacho de diesel de Operaciones Conchán

Operaciones Conchán ha ido incrementando su participación en el volumen demandado total de PETROPERÚ, de un 17,8% a 27,12% en el año 2000 y 2006, respectivamente, debido al incremento de la demanda nacional y su localización estratégica dentro del mercado de mayor demanda nacional (situado en la zona sur de Lima).

La demanda cubierta por su planta de ventas es de aproximadamente, el 72,6% del despacho total de esta refinería; el diferencial porcentual es el volumen despachado en cabotajes a otras operaciones y/o ventas particulares. El comportamiento de la demanda se muestra en el gráfico 4.7.

**GRÁFICO 4.7:** Despachos de diesel de Operaciones Conchán

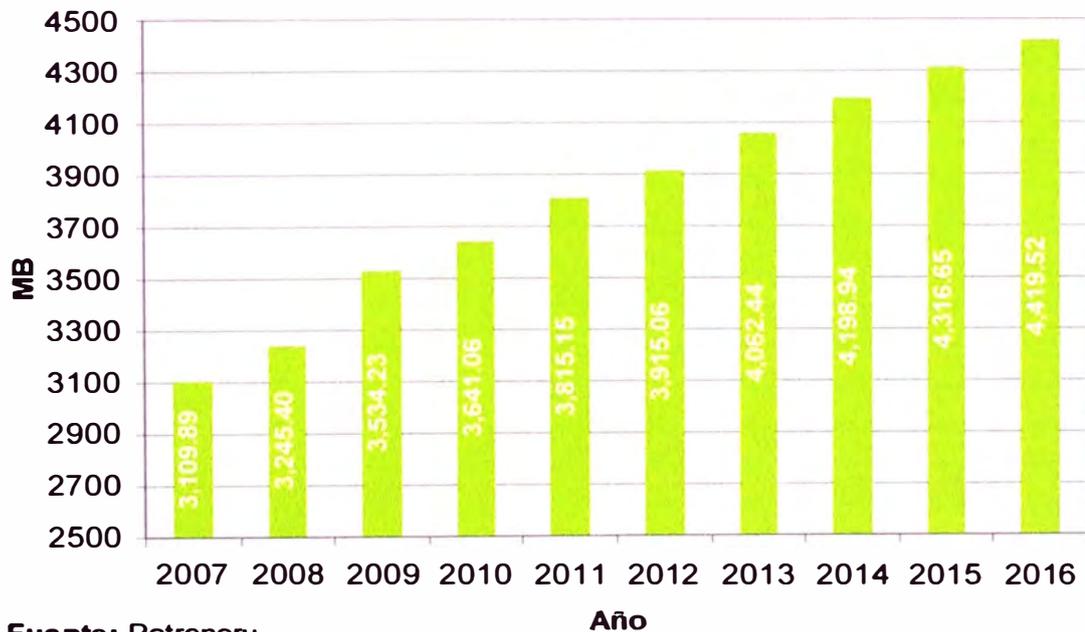


#### IV.2.7 Proyección de la demanda de diesel de Operaciones Conchán

La proyección de la demanda de Operaciones Conchán estará en función al incremento de la demanda del mercado en los próximos años y la participación de PETROPERÚ dentro del mismo.

Para el cálculo de la proyección de la demanda de Operaciones Conchán se ha tomado como constante el nivel porcentual de participación en ventas (27,12%) dentro de PETROPERÚ alcanzado en el 2006, obteniendo un incremento al año 2016 de 1.1 MMB de la demanda actual. Esta se muestra en el gráfico 4.8.

GRÁFICO 4.8: Proyección de la demanda de diesel de Operaciones Conchán

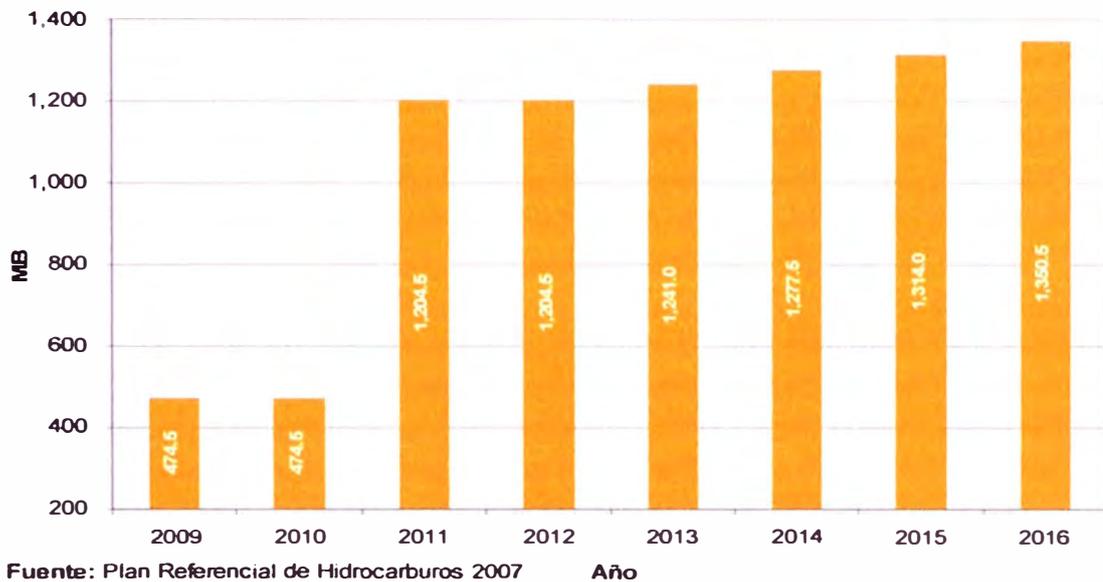


#### **IV.2.8. Proyección de la demanda de biodiesel**

Mediante el Decreto Supremo 021-2007-EM (20 de abril del 2007) se aprobó el Reglamento para la Comercialización de los Biocombustibles. Dicho documento establece, para el caso del biodiesel, porcentajes de mezcla con diesel en 2%,5% y 20% denominando a cada tipo diesel B2, diesel B5 y diesel B20, respectivamente. Además, permite la comercialización en todo el país del diesel B2 a partir del 21 de abril del 2007, y desde el 1 de enero del 2009 será de consumo obligatorio el diesel B2; y, a partir del 1 de enero del 2011 será de uso obligatorio el diesel B5 en reemplazo del diesel B2.

La proyección del consumo aparente de biodiesel en el mercado nacional del 2009 al 2016 se muestra en el gráfico 3.9. Para el periodo 2009-2010 se prevé una demanda de alrededor de 475.5 MB; para el periodo 2011-2016, se prevé una demanda de alrededor de 1265.3 MB. Estas variaciones se presentan debido al porcentaje en mezcla permitido del 2% y 5%, respectivamente. Esta demanda se puede incrementar si en un futuro, los porcentajes de adición en la mezcla biodiesel-diesel aumenten, esta posibilidad no resulta utópica debido a la marcada tendencia de los países hacia el incremento del consumo de biocombustibles.

**GRÁFICO 4.9:** Proyección de la demanda nacional de biodiesel



#### **IV.2.9 Proyección de la demanda de biodiesel de PETROPERÚ**

##### **Metodología**

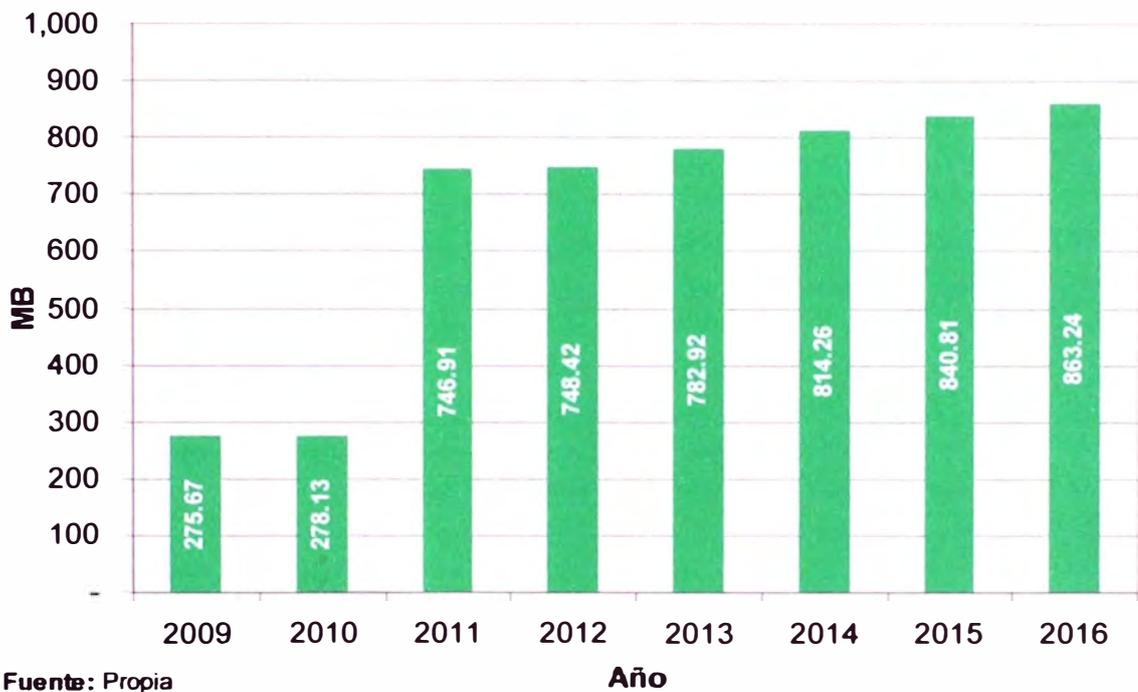
Para determinar la proyección de la demanda de biodiesel, se empleó el método de la tasa de crecimiento porcentual, con respecto al nivel de participación de PETROPERÚ dentro del mercado nacional.

##### **Proyección**

La proyección de la demanda aparente de biodiesel de acuerdo a la participación proyectada de PETROPERÚ (52%) en el mercado nacional durante el periodo 2007 al 2016 se muestra en el gráfico 4.10. El biodiesel tendrá una demanda promedio de 277 MB durante los años 2009 y 2010 debido a la participación del biodiesel en

2% en el volumen demandado; durante el periodo 2011-2016, se estima una demanda 800 MB dado el incremento de la adición en mezcla (5%).

**GRÁFICO 4.10:** Proyección de la demanda nacional de biodiesel de PETROPERÚ



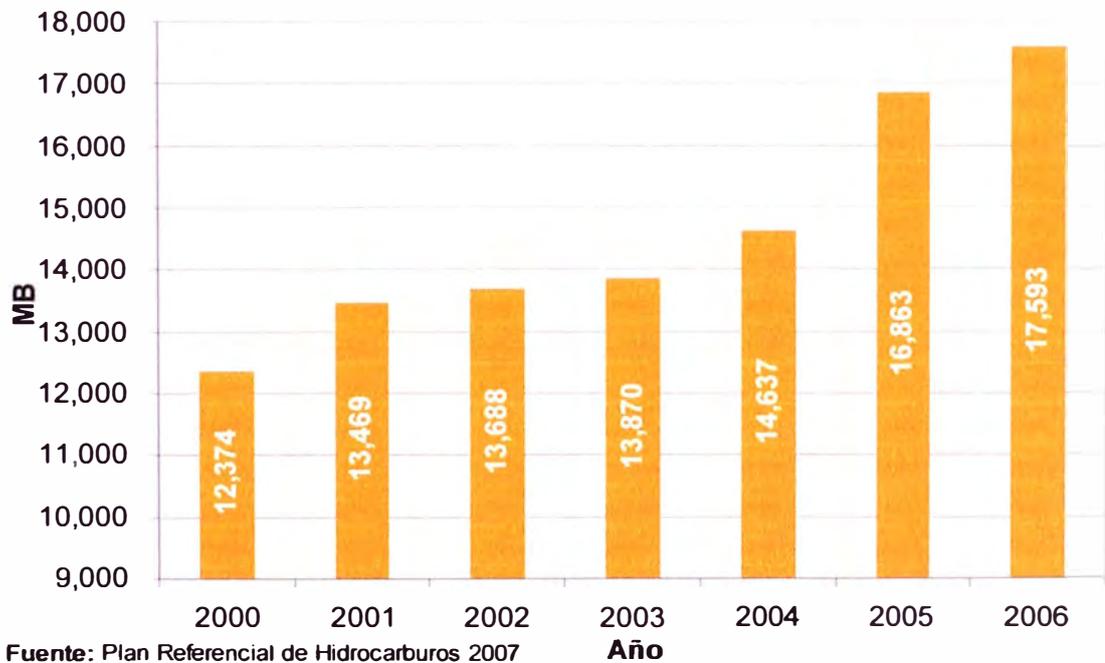
La demanda de biodiesel que PETROPERÚ maneje dentro del mercado nacional estará destinada en un 62% (486 MB) al mercado limeño, debido a que este concentra el mayor consumo de diesel en los sectores industria y transporte, principalmente.

### IV.3. ESTRUCTURA DE LA OFERTA

#### IV.3.1. Producción Nacional

Se observa del gráfico 4.11, que la producción de diesel durante el intervalo 2000-2006 se ha incrementado en un 42,17%. En este periodo, aproximadamente, el 94% de la producción de diesel es proveniente de las diferentes refinерías distribuidas en nuestro país; esta tendencia tenderá a disminuir hasta, aproximadamente, un 87% a partir del 2008, debido al incremento de producción de las plantas de líquidos de gas natural y la importación; pero aun con esta disminución, la participación de las refinерías mantendrán un 85% cautivo de la demanda nacional de diesel.

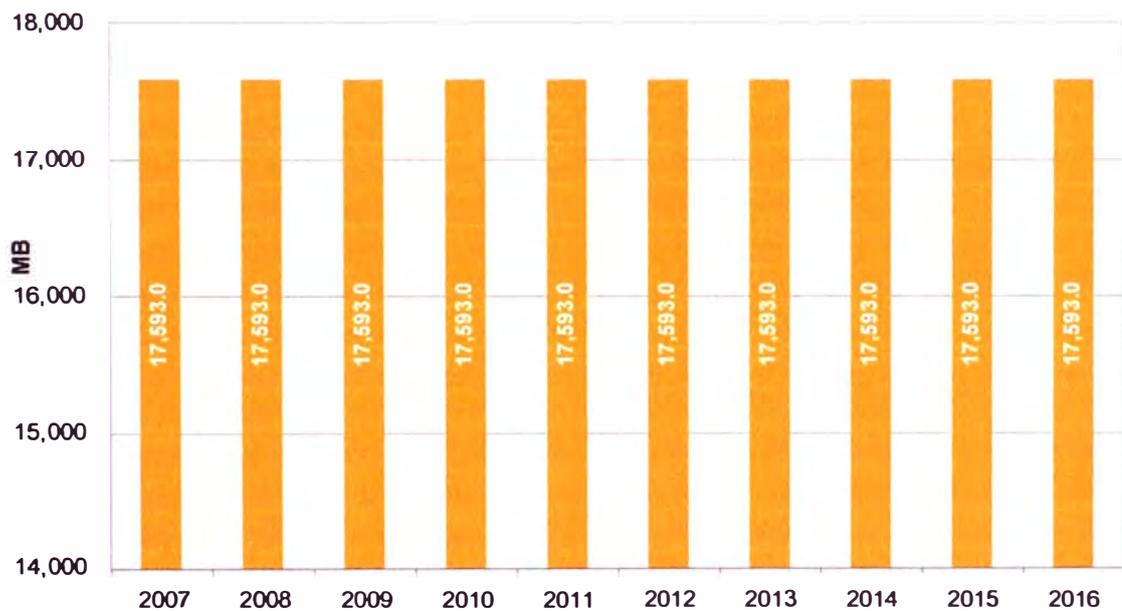
GRÁFICO 4.11: Producción Nacional de Diesel



### IV.3.2. Proyección de la producción nacional de diesel

La proyección de la producción de diesel en el mercado nacional del 2007 al 2016 se muestra en el gráfico 4.12. El diesel continuará siendo el combustible que se producirá en mayores volúmenes durante el periodo de estudio, se estima que la producción en el 2007 será de 50.9 MBPD y para el año 2016 será de 54.6 MBPD; este incremento se debe principalmente al crecimiento industrial y al elevado consumo en el transporte y maquinaria pesada.

GRÁFICO 4.12: Proyección de la Producción Nacional de Diesel



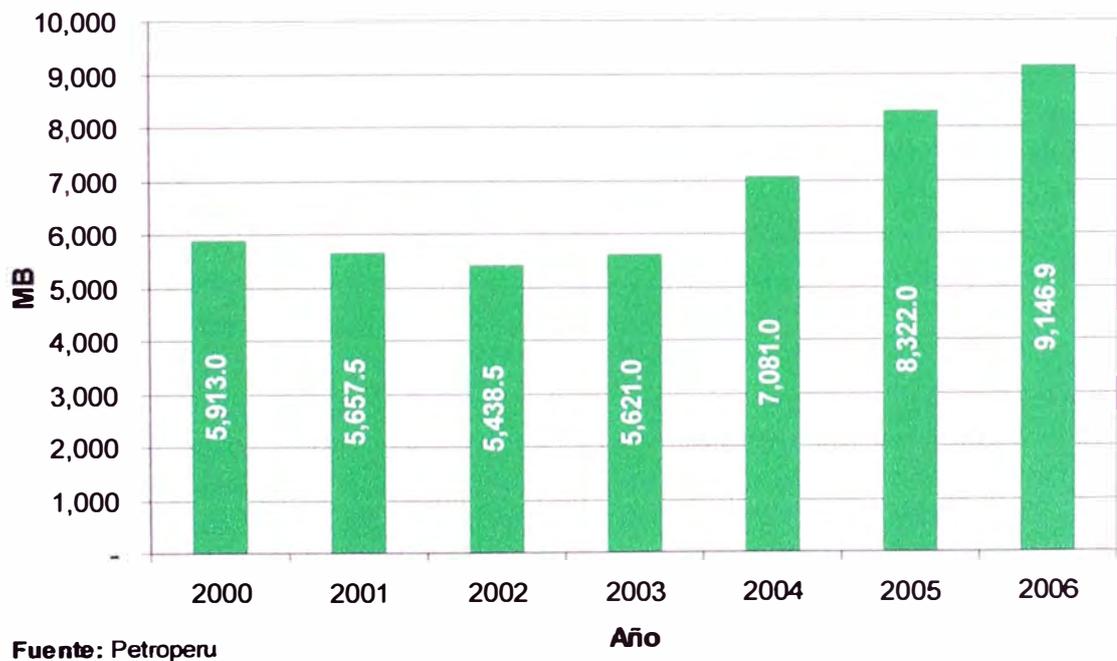
Fuente: Plan Referencial de Hidrocarburos 2007

Año

### **IV.3.3. Producción de diesel de PETROPERÚ**

La producción de diesel de PETROPERÚ, está compuesto principalmente por el producido en Operaciones Talara, el cual representa el 77.61%, frente a un 12.61% de Operaciones Conchán, 8.46% de Operaciones Selva y 1.32% de la Refinería El Milagro. Además, se observa del gráfico 4.13, que la producción se ha incrementado en el periodo 2000-2006 en un 54,6%; esto ha sido posible por la inclusión de un mayor volumen de otros destilados medios tales como el kerosene; el cual ha tenido una tendencia a disminuir en su demanda; dentro del pool de diesel

**GRÁFICO 4.13: Producción de Diesel de PETROPERÚ**



#### **IV.3.4. Proyección de la producción de PETROPERÚ**

PETROPERÚ con el proyecto de la ampliación de Operaciones Talara ha convocado un concurso público para la elaboración de un estudio de mercado y precios, que sea sustentable y reconocido por entidades que evalúen el mismo y su estudio de factibilidad, con fines de decidir si cubre adecuadamente los riesgos de volúmenes de demanda y precios asumidos del proyecto, y puedan proceder a su financiamiento.

Dichos estudios involucran consideraciones referidas a:

- Especificaciones de calidad de los combustibles en el mercado nacional y regional
- Análisis y pronóstico de la demanda de combustibles y otros productos (coque, asfaltos, solventes, azufre y ácido sulfúrico) en el mercado nacional y regional.
- Cálculo del balance demanda-oferta de combustibles en el mercado nacional: 2007-2030
- Pronóstico de la participación de las Ventas de PETROPERÚ
- PROYECTO Operaciones Talara.

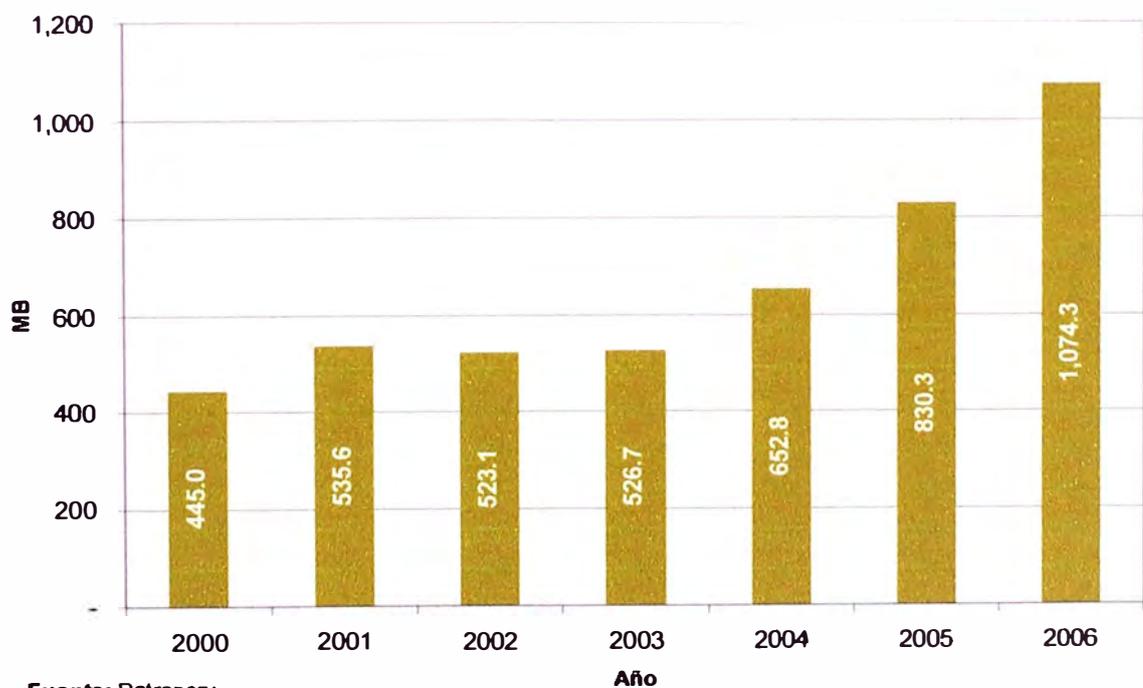
Además, el identificar y recomendar la implementación de las nuevas unidades de refinación, desulfurización y tratamiento; involucra una nueva disposición del esquema de refinación actual de Operaciones Talara. Por tanto la disposición

adoptada al final de dichos estudios será la que determine la proyección de la producción de diesel de dicha refinería; y repercutiendo en la producción global de PETROPERÚ. Para efectos de este estudio se utilizará como base la proyección de la demanda de PETROPERÚ.

#### **IV.3.5. Producción de diesel en Operaciones Conchán**

La producción promedio actual es de 3.0 MBDC, la cual es enviada de las unidades de procesos como pool de diesel a un tanque pulmón. Este pool de diesel es mezclado con diesel de Operaciones Talara y/o diesel importado para obtener una mezcla con un contenido de azufre menor de 5000 ppm. La producción evolutiva de Operaciones Conchán se muestra en el gráfico 4.14.

**GRÁFICO 4.14:** Producción de Diesel de Operaciones Conchán



#### **IV.3.6. Proyección de la producción de diesel en Operaciones Conchán**

La proyección de la producción de Operaciones Conchán se ha supuesto como constante a la obtenida durante el año 2006 (1074 MB); al no tener esta refinería un proyecto de ampliación cercano.

#### **IV.3.7 Producción mundial de biodiesel**

Los mercados internacionales, principalmente Europa y Estados Unidos, vienen experimentando un crecimiento significativo de la demanda de biocombustibles para el consumo en sus respectivos parques automotores. En la tabla 4.1 se muestra la producción evolutiva de los principales productores de Biodiesel, observándose que el mayor productor es Alemania, país que representa el 44.3% de la producción mundial considerada. Además, se observa que Alemania ha incrementado su producción en 62% durante el periodo 2003-2006 con una marcada tendencia a seguir creciendo, teniendo como objetivo para el año 2010 el duplicar su producción actual.

**TABLA 4.1: Producción evolutiva de biodiesel**

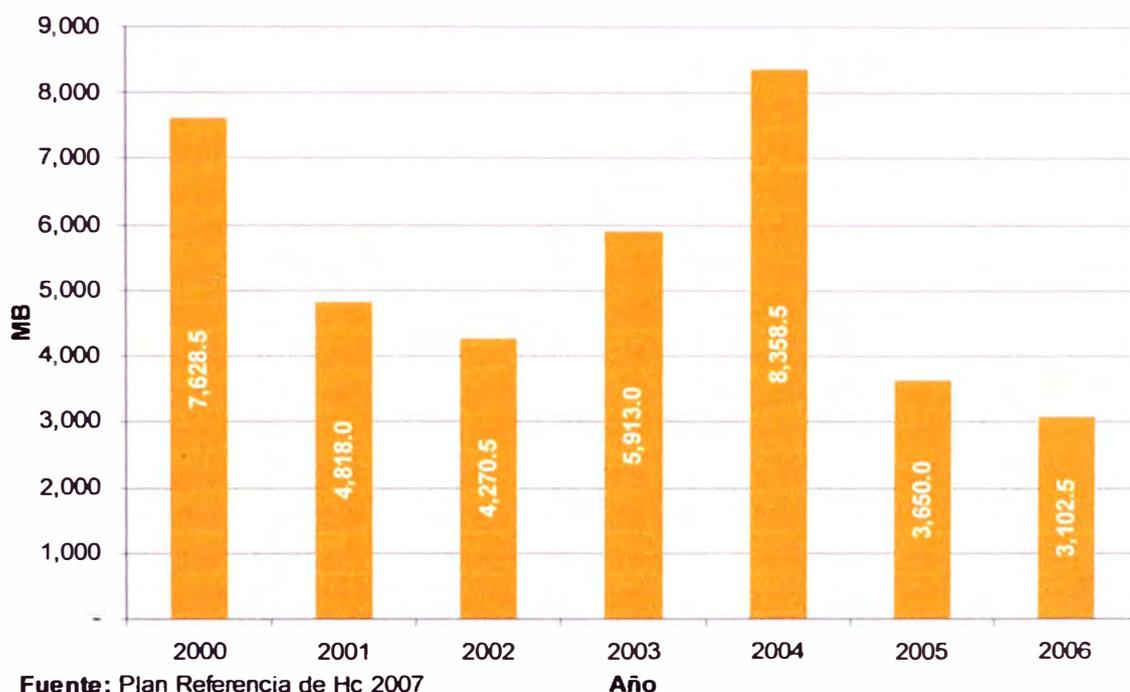
<b>Pais</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
Alemania	19,848	21,068	32,319	51,916	84,448
Francia	9,682	9,721	9,527	15,007	15,104
Italia	8,133	8,114	7,668	16,595	26,452
Austria	968	1,936	1,646	2,595	6,313
España	-	1,356	1,414	4,338	9,837
Dinamarca	794	852	1,375	1,569	1,743
U.K	97	290	988	8,617	12,722
Suecia	155	155	19	1,007	4,105
Rep. Checa	-	-	2,575	3,931	3,931
Polonia	-	-	1,936	2,905	4,841
Eslovaquia	-	-	1,510	1,723	1,917
Eslovenia	-	-	155	329	329
Estonia	-	-	136	387	678
Lituania	-	-	136	194	813
Latvia	-	-	97	155	387
Grecia	-	-	58	1,452	8,520
Malta	-	-	39	58	155
Belgica	-	-	19	1,646	6,487
Cyprus	-	-	19	39	116
Portugal	-	-	19	2,827	4,764
Hungria	-	-	-	232	407
EE.UU	1,984	3,968	9,590	11,905	11,910
<b>Total (BPDC)</b>	<b>41,662</b>	<b>47,460</b>	<b>71,246</b>	<b>129,427</b>	<b>205,979</b>

Fuente: [www.biodieselspain.com](http://www.biodieselspain.com)

#### IV.4. BALANCE OFERTA- DEMANDA

La demanda del mercado nacional de diesel en el periodo 2000 - 2006 ha sido contrastada con la producción de diesel en dicho periodo, encontrándose una demanda anual insatisfecha, en promedio de 5,391.6 MB. Dicha demanda insatisfecha ha sido subsanada íntegramente con importaciones. Esto se observa en el gráfico 4.15.

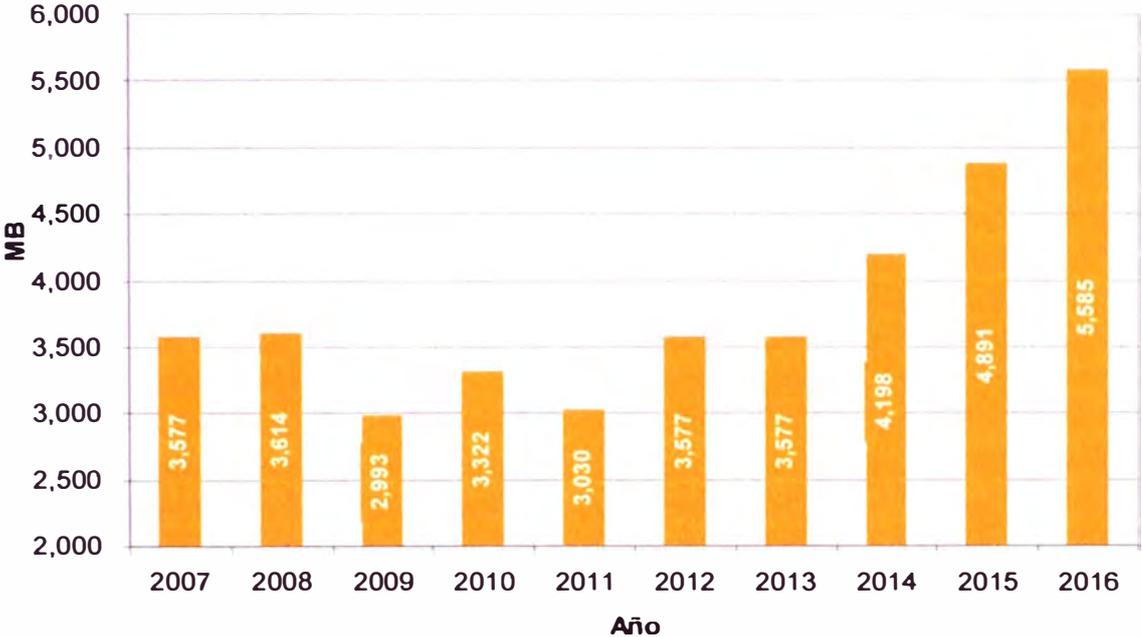
**GRÁFICO 4.15:** Demanda insatisfecha de diesel



La proyección de la demanda del mercado nacional de diesel en el periodo 2007-2016 ha sido contrastada con la proyección de la producción de diesel en dicho periodo, encontrándose una demanda anual insatisfecha en promedio de 3,836.5 MB. Dicha proyección se espera que disminuya debido a la entrada de biodiesel al

mercado nacional; pero este puede competir con cualquier diesel independientemente de su procedencia debido a las ventajas que posee. En el gráfico 4.16 no se ha considerado la ampliación de Operaciones Talara debido que aun esta pendiente el estudio de factibilidad.

**GRÁFICO 4.16:** Proyección de la demanda insatisfecha de diesel



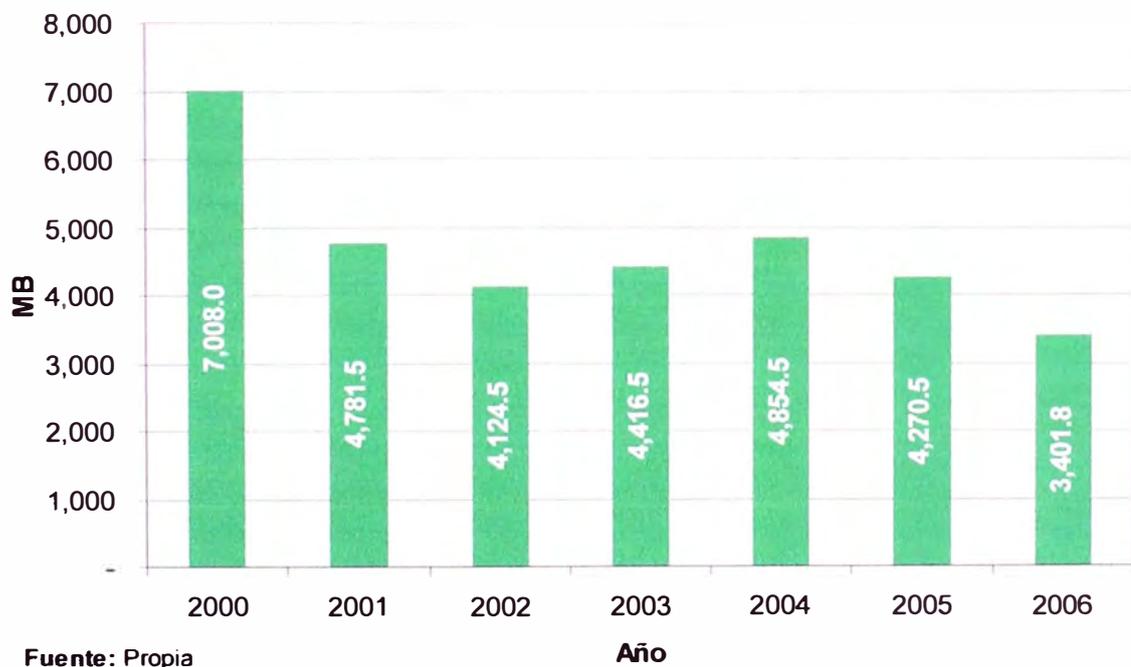
Fuente: Plan referencial de HC 2007

I

#### V.4.1 Demanda insatisfecha de diesel de PETROPERÚ

PETROPERÚ con el proyecto de la ampliación de Operaciones Talara pretende cubrir toda su demanda insatisfecha de diesel en el mercado nacional. Se observa que dicha demanda ha disminuido en un 59.3% en el año 2006 respecto del año 2000. Además, con la inclusión de biodiesel dentro del pool de diesel se pretende que la demanda insatisfecha futura disminuya como mínimo en el mismo porcentaje (2% y 5%) de inclusión según la nueva disposición del Ministerio de Energía y Minas. Esto se observa en el gráfico 4.17.

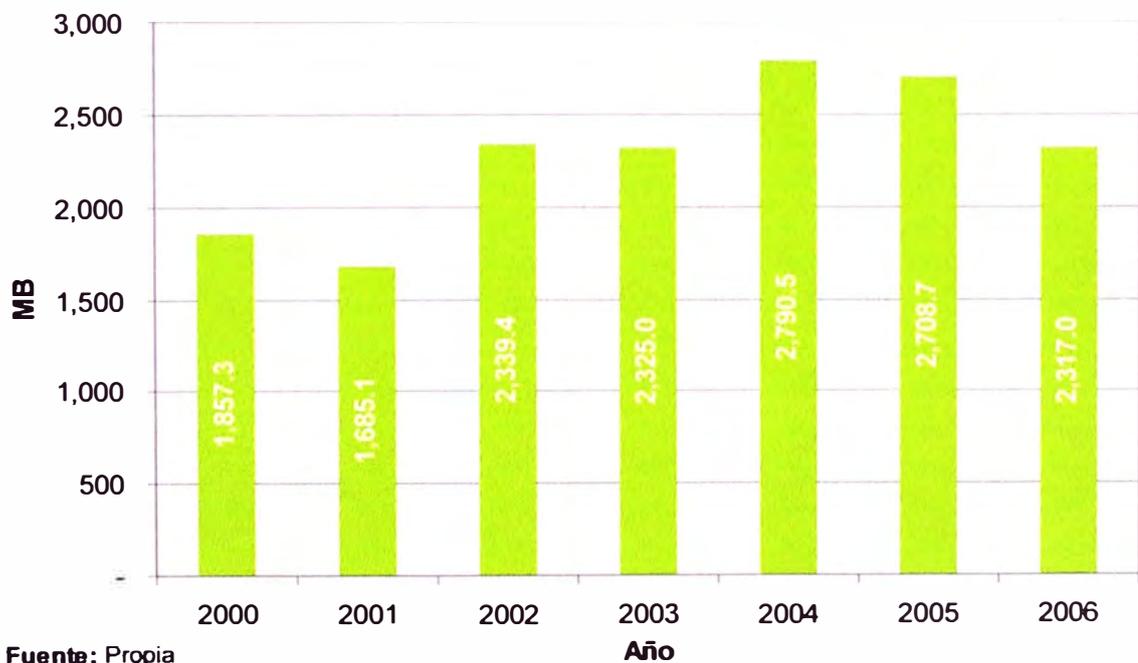
GRÁFICO 4.17: Demanda insatisfecha de diesel de PETROPERÚ



#### **IV.4.2. Demanda insatisfecha de diesel de Operaciones Conchán**

La demanda insatisfecha de Operaciones Conchán se ha incrementado en un 24.7% en el año 2006 respecto al año 2000, esto es debido al incremento de la demanda y el mantenimiento de la carga de procesamiento de la refinería. Al no tener un proyecto de incremento de capacidad de procesamiento, la tendencia será a aumentar su dependencia a importar diesel o requerir de transferencias desde Operaciones Talara para poder atender a su propio mercado. Esto se observa en el gráfico 4.18.

**GRÁFICO 4.18:** Proyección de la demanda insatisfecha de Operaciones Conchán

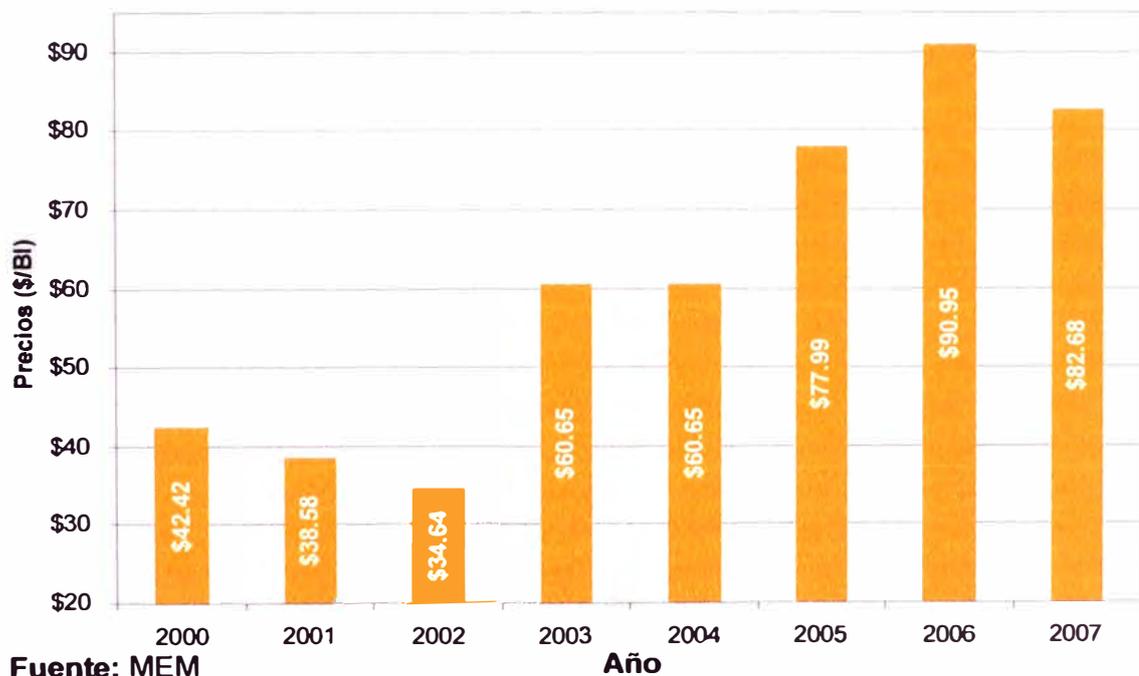


#### IV.5. ANÁLISIS DE PRECIOS

El nivel de precios del diesel está directamente ligado al precio del petróleo, variando según: la coyuntura política y militar global, especulaciones de países productores mayoristas y según el nivel de abastecimiento del mercado. También se rige por las propiedades fisicoquímicas y del contenido de azufre del producto; incrementando su valor de acuerdo a la disminución de esta última propiedad.

La evolución del precio de diesel se muestra en el gráfico 4.19, en donde se puede observar que el precio del barril de diesel se ha incrementado en un 94.9% durante el periodo 2000-2007, en el cual el precio del barril de petróleo ha tenido un comportamiento similar.

**GRÁFICO 4.19:** Evolución de Precio de Diesel



#### **IV.6. MATERIAS PRIMAS**

Los requerimientos de las diferentes materias primas, han sido calculados en función de la proyección de la demanda de PETROPERÚ en el periodo 2009-2016 y las dosificaciones requeridas para la elaboración de biodiesel en las diferentes etapas de producción considerando un grado de conversión del 90%. El resumen de los requerimientos de materias primas se muestran en la tabla 4.2.

**TABLA 4.2:** Proyección de los requerimientos de materias primas

<b>Año / Producto</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Biodiesel (MB)	275.67	278.13	746.91	748.42	782.92	814.26	840.81	863.24
Glicerina (Tn)	3,442.05	3,472.69	9,325.87	9,344.72	9,775.49	10,166.88	10,498.30	10,778.39
Fosfato sódico (Tn)	100.72	101.62	272.90	273.45	286.06	297.51	307.21	315.41
Aceite (Tn)	42,849.86	43,231.24	116,097.11	116,331.81	121,694.47	126,566.77	130,692.62	134,179.42
Metanol (Tn)	6,925.46	6,987.09	18,763.78	18,801.71	19,668.43	20,455.90	21,122.72	21,686.27
Soda (Tn)	151.62	152.97	410.80	411.63	430.60	447.84	462.44	474.78
Ácido Sulfúrico (Tn)	80.58	81.30	218.32	218.76	228.85	238.01	245.77	252.32
Ácido Fosfórico (Tn)	25.22	25.45	68.34	68.48	71.64	74.51	76.93	78.99

**Elaboración:** Propia

La siembra (Ha), cosecha (Ha), rendimiento (Tn/Ha) y producción (Tn) evolutiva de los cultivos más representativos para la elaboración de biodiesel durante el periodo 2000-2006 se muestran en la tabla 4.3. No se muestran otros cultivos impulsados por el gobierno tales como la canola, debido a que este cultivo no tiene fuentes estadísticas de información como las mostradas.

**TABLA 4.3: Siembra, Cosecha, Rendimiento y Producción de Cultivos**

<b>Año</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
<b>Siembras (Ha)</b>						
Olivo	1,352.50	241.00	459.00	502.70	374.50	739.00
Palma Aceitera	2,030.00	1,540.70	991.00	1,015.00	4,249.00	7,394.00
Soya	2,003.55	1,224.80	996.05	1,502.65	1,589.50	2,121.25
<b>Cosechas (Ha)</b>						
Olivo	7,094.00	7,230.50	7,749.50	8,029.50	8,649.00	9,663.70
Palma Aceitera	11,200.15	9,562.00	8,863.86	9,502.10	10,361.10	9,632.10
Soya	1,800.84	1,186.50	1,069.20	1,653.25	1,341.15	2,235.10
<b>Rendimiento (Tn/Ha)</b>						
Olivo	4.57	4.49	4.91	5.29	0.00	0.00
Palma Aceitera	17.26	18.13	20.36	21.95	19.30	21.46
Soya	1.50	1.62	1.80	1.63	1.54	1.54
<b>Producción (Tn)</b>						
Olivo	32,442.07	32,448.43	38,038.99	42,471.35	54,622.38	52,123.37
Palma Aceitera	193,305.10	173,324.93	180,445.80	108,538.46	199,940.78	206,664.50
Soya	2,697.56	1,923.43	1,928.60	2,696.68	2,059.18	3,446.78

**Fuente:** Ministerio de Agricultura

Se calculó la proyección de las cantidades de hectáreas necesarias a cultivar en función de la demanda de materia prima (aceite) para atender la nueva demanda de biodiesel por parte de PETROPERU a partir del año 2009; ya que toda la producción de la tabla 4.3, se entiende que atiende a la satisfacción de la demanda de los sectores industria y alimentos. Los resultados se muestran en la tabla 4.4.

**TABLA 4.4:** Proyección de Hectáreas a Cultivar en función de la demanda de Biodiesel

Año	Diesel (MB)		Canola MHA	Palma MHa
	B2	B5	6 BI/ha	30 BI/ha
2009	275.67		45.95	9.19
2010	278.13		46.35	9.27
2011		746.91	124.48	24.90
2012		748.42	124.74	24.95
2013		782.92	130.49	26.10
2014		814.26	135.71	27.14
2015		840.81	140.13	28.03
2016		863.24	143.87	28.77

Fuente: Petroperú

## **IV.7. ANÁLISIS DE COMERCIALIZACIÓN**

### **IV.7.1 Sistema de distribución**

El proyecto utilizará los canales de distribución empleados actualmente por el sector de hidrocarburos y de comercialización de diesel, dentro de los cuales, lo principal es la producción de diesel en las refinerías nacionales y la cobertura no satisfecha de la demanda mediante la importación de este combustible. Esta opción ha sido seleccionada debido a la normativa vigente, en la cual se especifica que las mezclas deberán realizarse sólo en plantas de abastecimiento con autorización de la Dirección General de Hidrocarburos.

**Dentro de las principales empresas productoras nacionales tenemos:**

- **PETROPERÚ, orienta su producción a la satisfacción de la demanda nacional; esta empresa realiza la mayor cantidad de importaciones de diesel, debido a que su producción no alcanza a cubrir su propia demanda, esta situación se busca revertir con el proyecto de ampliación de Operaciones Talara. Además busca crear un equilibrio entre los precios en el mercado.**
- **REPSOL YPF, orienta su producción hacia cubrir su propia demanda, con la ventaja que al poseer un mayor volumen de producción puede cubrir el incremento de la demanda que ha obtenido (debido a su mayor participación en el mercado nacional) y realizar exportaciones.**
- **PLUSPETROL, destina su producción a REPSOL YPF, la cual utiliza este diesel para el blending de su producción con el fin de disminuir el contenido de azufre y poder entrar en la especificación requerida.**

## **IV.8. ANÁLISIS FODA DEL PROYECTO**

### **IV.8.1 Fortalezas**

Entre sus principales fortalezas tenemos:

1. Su transporte es más seguro, al tener un punto de inflamación muy superior (130°C min) al diesel (52°C), además es biodegradable como el azúcar, 10 veces menos tóxico que la sal de mesa.
2. En caso de derrame accidental, no contamina los suelos, las aguas subterráneas y superficiales. Es biodegradable y en 28 días, aproximadamente, desaparece todo rastro de contaminación en caso de derrame.
3. Reduce las emisiones de monóxido de carbono (CO) y material particulado en comparación con el diesel.
4. No produce emisión de óxidos de azufre (SO<sub>2</sub> + SO<sub>3</sub>) debido a que el biodiesel no contiene azufre.
5. Reduce en un 90% la cantidad de hidrocarburos totales no quemados.
6. El biodiesel no contiene productos orgánicos aromáticos (benceno y derivados) que son sustancias cancerígenas.
7. El biodiesel recicla el CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través del proceso de fotosíntesis de la atmósfera, contribuyendo a mitigar el efecto invernadero que genera la combustión de combustibles fósiles.
8. El biodiesel es el único combustible alternativo en cumplir con los requisitos de la EPA (Environmental Protection Agency).

9. El biodiesel es el único combustible alternativo que funciona en cualquier motor diesel convencional, sin ser necesaria ninguna modificación. Puede almacenarse en cualquier envase donde el diesel de petróleo lo hace.
10. El biodiesel puede usarse puro o mezclarse en cualquier proporción con el combustible diesel de petróleo, sólo depende de la normativa vigente. La mezcla más común es de 20% de Biodiesel con 80% diesel de petróleo, denominado "B20".

#### **IV.8.2. Oportunidades**

Entre sus principales oportunidades tenemos:

1. Los proyectos agroindustriales orientados a la producción de Biodiesel pueden calificar para ser considerados dentro del alcance del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), lo que permitiría incrementar la rentabilidad de los proyectos.
2. Palanca de desarrollo del agro peruano.
3. Promoción por parte del Estado al uso de biocombustibles mediante la Ley 28054, cuyo objetivo fue de establecer el marco general para promover el desarrollo de los biocombustibles; además, tiene como objetivo el de diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, disminuir la contaminación ambiental y ofrecer un mercado alternativo en la lucha contra las drogas.
4. Mediante el Decreto Supremo 021-2007-EM se aprobó el Reglamento para la Comercialización de los Biocombustibles. Este reglamento establece el

porcentaje de mezcla de biodiesel-diesel será de 2%,5% y 20% denominando a cada tipo diesel B2, diesel B5 y diesel B20, respectivamente.

5. PETROPERÚ mediante la Resolución Ministerial 280-2007 MEM/DM aprobó los objetivos anuales y quinquenales para el periodo 2007-2011; en el objetivo específico 2.4, contempla la participación de la empresa en la comercialización de biocombustibles y la construcción de tanques especiales en los terminales de despacho.

#### **IV.8.3 Debilidades**

Entre sus principales debilidades tenemos:

1. Problemas con el arranque de los motores al usarse puro debajo de - 4°C, teniendo que adaptarle un calentador de aceite o agregarle un aditivo.
2. Reseca las conexiones o mangueras de caucho si se usa puro.
3. Incremento en óxidos de nitrógeno en motores que no hayan sido diseñados para el uso de biodiesel.
4. Menor poder calorífico que el diesel (9% menos de energía por similar unidad de volumen).

#### **IV.8.4 Amenazas**

Entre sus principales amenazas tenemos:

1. Disponibilidad de aguas de riego para la siembra y mantenimiento de tierras que proporcionen las materias primas para la elaboración de biodiesel.
2. Disponibilidad de tierras hábiles para la siembra; además la falta de proyectos de habilitación de nuevas áreas de cultivo para compensar el incremento de la demanda de productos oleaginosos.
3. Política fiscal no definida con respecto a la comercialización de biocombustibles.
4. Riesgo de aceptación y falta de conocimientos de los atributos del biodiesel por parte del consumidor.
5. Biodiesel podría convertirse en un nuevo medio de adulteración de diesel y de kerosene.
6. Poca producción de oleaginosas, hay dependencia de los aceites importados.

## **IV.9. TAMAÑO DEL PROYECTO**

### **IV.9.1. Alternativas de Tamaño**

La determinación de la dimensión del proyecto responde a un análisis de la relación entre el tamaño óptimo y variables tales como: mercado, ingeniería, y localización.

#### **IV.9.1.1. Relación Tamaño – Mercado**

De acuerdo a lo determinado en el estudio de mercado, la demanda de biodiesel en el horizonte 2009-2016 varía desde los 275 MB hasta los 863 MB de demanda mínima, ya que dicha aproximación no involucra los volúmenes demandantes del B20 y B100 (biodiesel 20% - diesel 80% y biodiesel puro). Por lo tanto, la demanda no significa un factor limitante para el tamaño del proyecto debido a que el volumen de producción del proyecto no tendrá un impacto significativo en las condiciones de oferta y demanda del mercado objetivo (sector Transporte).

El proyecto tendrá un volumen de ventas en el segundo año de producción de 278 MB, el cual ascenderá a partir del tercer año a 800 MB anuales en promedio, lo que significa una participación dentro de la oferta nacional, del 52%.

#### **IV.9.1.2. Relación Tamaño – Ingeniería**

La tecnología requerida por el proyecto (sistema esterificación-transesterificación) no es un factor limitante debido a que cuenta con equipos similares (en algunos casos) o iguales (en su mayoría) a los usados en refinerías, por tanto, su manejo es conocido por el personal y existe tecnología disponible en el mercado.

Por otro lado, los equipos y maquinarias necesarias requieren una escala mínima de producción debido a los costos de operación que implican, los mismos que disminuyen a medida que se incrementa el volumen de producción (economía de escala).

#### **IV.9.1.3. Relación Tamaño – Localización**

La localización de la planta (afueras de Operaciones Conchán) cuenta con las condiciones estratégicas para el desarrollo del proyecto. Al estar situada a las afueras de Lima (el mayor consumidor a nivel nacional) puede ser el foco de producción y distribución de biodiesel en PETROPERU, teniendo como posibles estrategias:

1. Siendo Operaciones Conchán nodriza de la producción de biodiesel, puede enviar, vía cabotaje, hacia las demás refinerías y que estas realicen el blending en sus instalaciones.

2. **Aumentar la capacidad de almacenamiento de diesel para ser esta refinería la que realice el blending de todas las refinerías y por tanto, ser la administradora del negocio de diesel de PETROPERU.**

**Los aspectos limitantes de la capacidad de producción para el caso de este proyecto son principalmente:**

- **Disponibilidad de materias primas.**
- **Capacidad de almacenamiento.**

#### **IV.9.2. Definición del tamaño del proyecto**

**El tamaño del proyecto se expresa en función a la cantidad de demanda del mercado y del volumen de producción de biodiesel por año. Debido a que la demanda de proyectada al 2016 es de 863 MB considerando solamente una inclusión del 5% dentro de la proyección de ventas de diesel, el tamaño de la planta se ha dimensionado hasta manejar una producción de 1000 MB debido a que podrán ser comercializadas las proporciones de inclusión de 20% y 100%; el costeo de equipos y cálculos se ha efectuado en base a esta producción, pero los cálculos efectuados de flujos y balances se han efectuados con la proyección realizada.**

## **V. INGENIERÍA DEL PROYECTO**

### **V.1. ESTUDIOS PREVIOS**

Los aceites vegetales han formado parte de diversos estudios a fin de demostrar que su uso como combustible es factible. Uno de los primeros estudios que demostró la calidad como combustible de este producto se remonta a 1895, cuando el Dr. Rudolf Diesel desarrolló el primer modelo de motor diesel utilizando aceite de maní como combustible. Años después, él mismo indicaría que el uso de los motores diesel con aceites vegetales promovería el desarrollo de la agricultura en países que destinen sus cultivos para este fin.

Cuarenta años antes que el Dr. Diesel creara su motor de combustión interna, alrededor del año 1853, los científicos E. Duffy y J. Patrick desarrollaron el proceso de transesterificación. Este proceso, químicamente conocido como alcoholisis de grasas, consiste en la alteración química de los ácidos grasos que conforman los triglicéridos (TAG) por la adición de un alcohol metílico, formando así un éster el cual recibe finalmente el nombre de metiléster de ácidos grasos (FAME) o comercialmente llamado biodiesel. El principal motivo por el cual no se pueden utilizar directamente los aceites vegetales en motores de combustión interna es su alta viscosidad, la finalidad del proceso de transesterificación es disminuir la viscosidad de estos aceites para que puedan ser utilizados en los motores.

Durante la década de los cuarentas, los franceses trabajaron el proceso de transesterificación con aceite de tempate o piñón (*Jatropha curcas*) sin tener resultados positivos. Posteriormente se realizaron algunos ensayos en la República

Federal de Alemania y Austria con aceite de colza (*Brassica napus*); en Cabo Verde y Mali (África Occidental) con aceite de tempate, obteniéndose excelentes resultados de estos aceites como sustitutos del diesel.

En 1981, el Instituto de Química Orgánica de la Universidad de Kart Franzens de Austria, realizó las primeras pruebas a escala de laboratorio para la producción de metilésteres de ácidos grasos provenientes de aceite de colza; estos experimentos fueron el inicio para la instalación de la primera planta de producción de biodiesel en el mundo en Silberberg, Styria en el año de 1985. Por otro lado, en 1983, a raíz de las investigaciones de la Universidad de Braunschweig, Alemania se convirtió en el líder en volúmenes de producción de biodiesel proveniente de aceite de colza.

Para la década de los noventas, la disponibilidad de grandes extensiones de tierras en descanso en Europa permitió el desarrollo de cultivos energéticos oleaginosos destinados únicamente para la producción de biodiesel. Así, se tiene a países de Europa Central que cultivan y utilizan aceite de colza para la fabricación de biodiesel; y, a países de la zona mediterránea, que aprovechan el aceite de girasol (*Helianthus agnus*) para el mismo fin.

Debido al alto precio del aceite de colza, en Austria se buscaron otras alternativas para producir biodiesel pero a menor costo, encontrando a los aceites vegetales usados como una opción potencial. Se desarrollaron diversas investigaciones antes que la primera planta de producción de biodiesel proveniente de estos aceites fuera creada en Mureck, Austria en 1993. La elaboración de biodiesel en Austria se incrementó a 15 000 ton para el año 2001.

En Estados Unidos utilizaron como insumo principal para la elaboración de biodiesel excedentes de producción de aceite de soya, convirtiendo a ese país en uno de los de mayor desarrollo tecnológico en esta materia. Sin embargo, para hacer frente a la contaminación que generaban los aceites residuales de establecimientos de comida rápida, la Universidad de Idaho desarrolló un proceso de transesterificación con aceite vegetal usado obteniendo un biodiesel de muy bajo costo.

En nuestro país, la universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), en consorcio con Intermediate Technology Development Group (ITDG), realiza investigaciones en este campo, las cuales se iniciaron con el proyecto: "Producción de biodiesel a pequeña escala a partir de recursos oleaginosos amazónicos". Este proyecto obtuvo el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC), y se llevó a cabo desde junio del 2003 hasta mayo del 2004. Uno de los objetivos fue la construcción de un modelo tecnológico para la elaboración de biodiesel.

## **V.2 PROCESOS EN LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE BIODIESEL**

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

En este capítulo se describirán los diferentes procesos para la producción de biodiesel entre los que se incluyen el proceso general de transesterificación y el proceso general de esterificación, aunque habitualmente este último el proceso se utiliza en combinación con el de transesterificación a partir de los ácidos grasos, subproductos de este proceso, para la producción de biodiesel. Además también se comentarán éstos, en procesos discontinuo y continuo, para finalizar con el proceso en condiciones supercríticas donde no es necesaria la adición de catalizadores.

### **V.2.1. Proceso general de transesterificación**

Aunque todas ellas tienen en común los aspectos mencionados en el punto anterior de producción de biodiesel mediante el proceso de transesterificación; sin embargo, existen múltiples opciones de operación viables para la fabricación de biodiesel. Muchas de estas tecnologías pueden ser combinadas de diferentes maneras variando las condiciones del proceso y la alimentación del mismo. La elección de la tecnología será función de la capacidad deseada de producción, alimentación, calidad y recuperación del alcohol y del catalizador.

En general, plantas de menor capacidad y diferente calidad en la alimentación suelen utilizar procesos batch o discontinuos. Los procesos continuos, sin embargo, son más idóneos para plantas de mayor capacidad que justifique el mayor número de personal y requieren una alimentación más uniforme.

### **V.2.1.1 Proceso discontinuo**

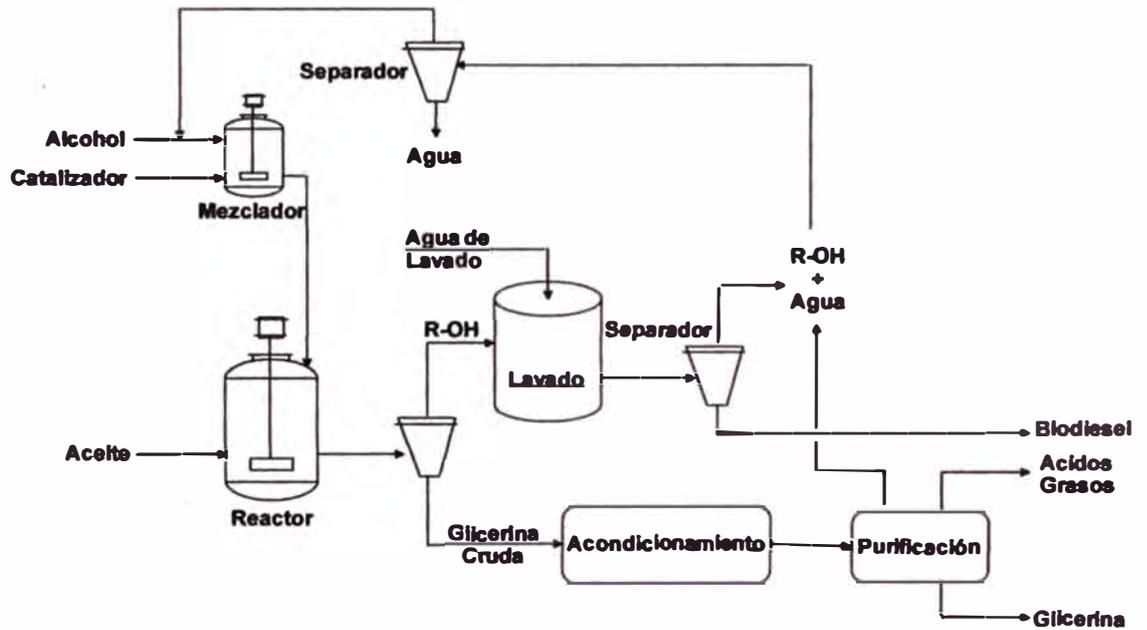
Es el método más simple para la producción de biodiesel donde se han reportado ratios 4:1 (alcohol:triglicérido). Se trata de reactores con agitación, donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. Las condiciones de operación más habituales son a temperaturas de 65°C, aunque rangos de temperaturas desde 25°C a 85°C también han sido publicadas.

El catalizador más común es el NaOH, aunque también se utiliza el KOH, en rangos del 0,3% al 1,5% (dependiendo que el catalizador utilizado sea KOH o NaOH). Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para permitir al glicerol separarse de la fase éster. Se ha publicado en la bibliografía, resultados de rendimiento entre el 85% y el 94%. En la transesterificación, tal y como se comentó anteriormente, cuando se utilizan catalizadores ácidos se requiere temperaturas elevadas y tiempos largos de reacción.

Algunas plantas en operación utilizan reacciones en dos etapas, con la eliminación del glicerol entre ellas, para aumentar el rendimiento final hasta porcentajes superiores al 95%. Temperaturas mayores y ratios superiores de alcohol:aceite pueden asimismo aumentar el rendimiento de la reacción. El tiempo de reacción suele ser entre 20 minutos y una hora.

En el gráfico 5.1 se reproduce un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación en discontinuo.

**GRÁFICO 5.1:** Proceso de transesterificación



### V.2.1.2. Proceso continuo

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

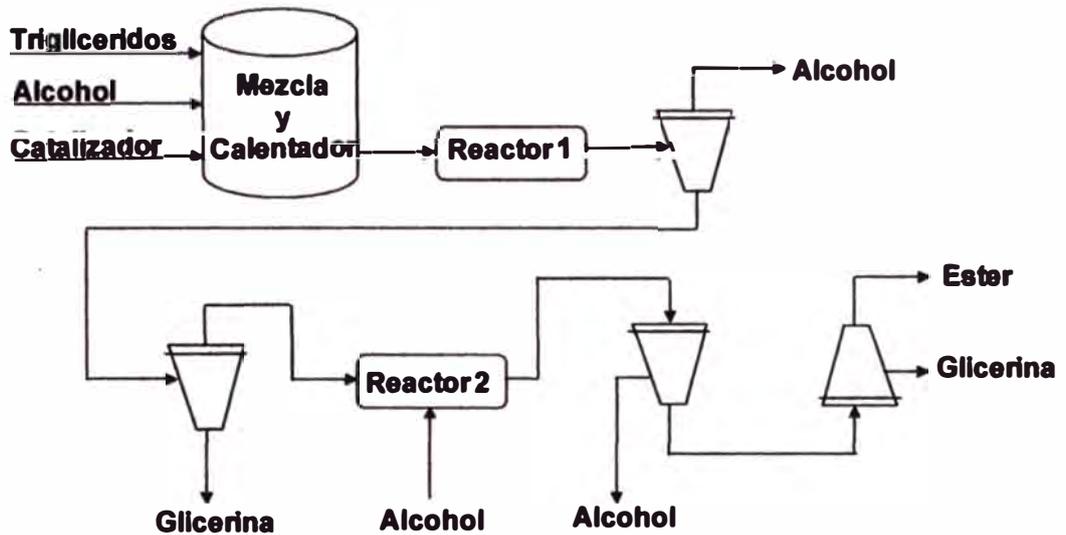
Un elemento esencial en el diseño de los reactores CSTR es asegurarse que la mezcla se realiza convenientemente para que la composición en el reactor sea prácticamente constante. Esto tiene el efecto de aumentar la dispersión del glicerol en la fase éster. El resultado es que el tiempo requerido para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

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

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

En el gráfico 5.2 se presenta un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación mediante reactores de flujo pistón. En este proceso, se introducen los triglicéridos con el alcohol y el catalizador y se somete a diferentes operaciones (se utilizan dos reactores) para dar lugar al éster y la glicerina.

**GRAFICO 5.2: Proceso de Producción de Biodiesel mediante Reactores de Flujo Pistón**



Dentro de la catálisis heterogénea los catalizadores básicos se desactivan fácilmente por la presencia de ácidos grasos libres (FFA) y de agua que favorece la formación de los mismos. Para tratar alimentaciones con cierto grado de acidez, se prefiere la esterificación de los ácidos grasos libres con superácidos [Granados, 2005] que a su vez presenten una elevada velocidad de reacción de transesterificación si bien se necesitan dos reactores con una fase intermedia de eliminación de agua. De este modo, alimentaciones con hasta un 30% en FFA se pueden esterificar con metanol, reduciendo la presencia de FFA por debajo del 1%. Esta etapa previa de esterificación se puede llevar a cabo con alcoholes superiores o glicerina que resulta atractiva en la producción de Biodiesel puesto que es un subproducto del proceso.

### **V.2.1.3. Proceso de esterificación**

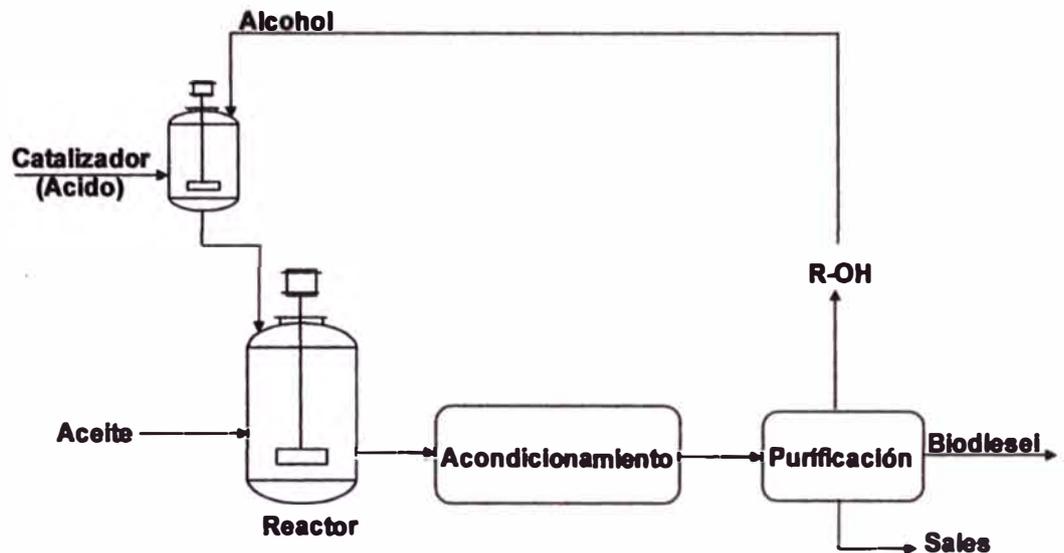
El más común consiste en el calentamiento de una mezcla del alcohol y del ácido correspondiente -en los procesos de esterificación se suelen utilizar catalizadores ácidos con ácido sulfúrico, utilizando el reactivo más económico en exceso para aumentar el rendimiento y desplazar el equilibrio hacia la derecha (Esterificación de Fischer).

El ácido sulfúrico sirve en este caso tanto de catalizador como de sustancia higroscópica que absorbe el agua formada en la reacción. A veces es sustituido por ácido fosfórico concentrado.

En la práctica este procedimiento tiene varios inconvenientes. El alcohol puede sufrir reacciones de eliminación formando olefinas, esterificación con el propio ácido sulfúrico o de formación del éter y el ácido orgánico puede sufrir descarboxilación.

En la gráfico 5.3 se observa el diagrama de una planta con proceso de esterificación.

**GRAFICO 5.3: Proceso de esterificación**



#### **V.2.1.4. Proceso combinado esterificación-transesterificación**

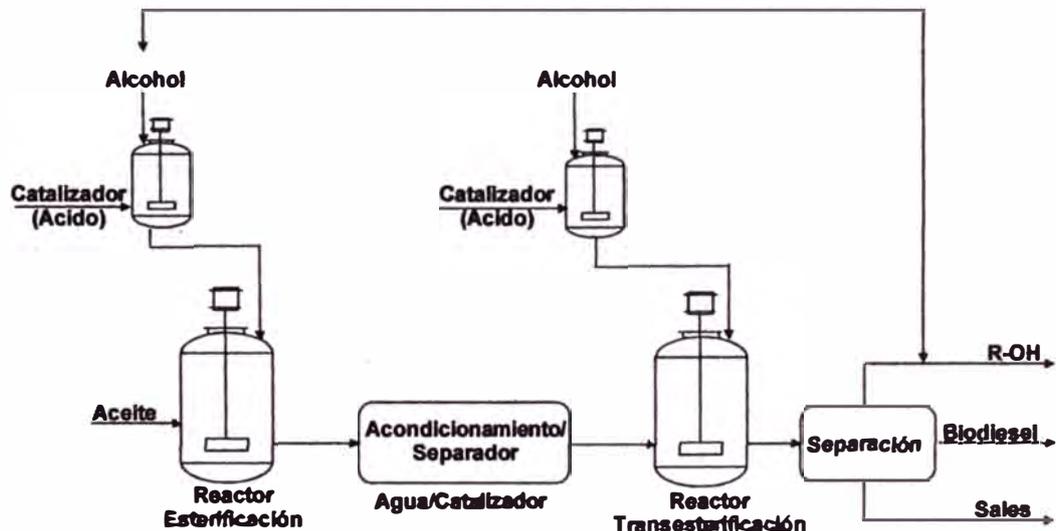
Este tipo de procesos refina los ácidos grasos aparte del sistema de alimentación o mediante un tratamiento diferenciado en la unidad de esterificación. Se añaden los catalizadores cáusticos y el producto de reacción se separa mediante centrifugación (proceso llamado Caustic Stripping).

Los aceites refinados son secados y enviados a la unidad de transesterificación para un proceso posterior. De esta manera, los ácidos grasos pueden ser transformados en ésteres metílicos mediante un proceso ácido de esterificación. Los procesos de catálisis ácida pueden ser usados para la esterificación directa de los ácidos libres (FFA). Una alternativa a esto sería utilizar un catalizador básico para formar deliberadamente jabón en el

FFA. El jabón es recuperado, el aceite secado y posteriormente utilizado en un sistema convencional mediante catalizadores básicos.

El diagrama de proceso de esterificación/transesterificación se reproduce en la gráfica 5.4

**GRAFICO 5.4:** Proceso de elaboración de biodiesel mediante esterificación/transesterificación. Proceso de catálisis ácida



En la reacción de transesterificación-esterificación, por su parte, se puede aprovechar los ácidos grasos subproductos de la reacción de la figura 2.8 para alimentar posteriormente un reactor de esterificación.

#### V.2.1.5 Proceso en Condiciones Supercríticas

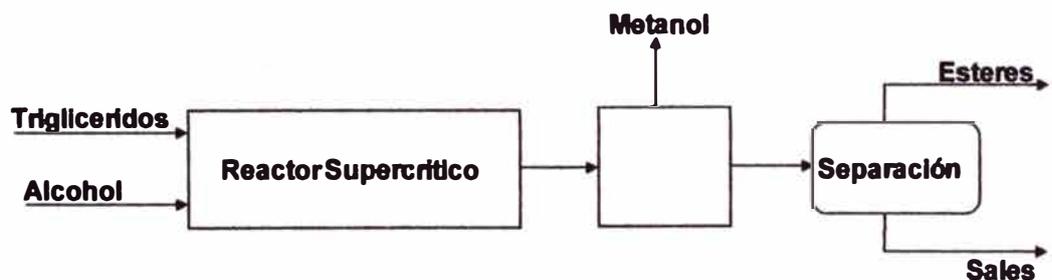
Cuando un fluido o gas es sometido a temperaturas y presiones que exceden su punto crítico, aparecen una serie de propiedades inusuales. Desaparece la

diferencia entre la fase líquida y vapor, existiendo sólo una fase de fluido presente. Además, los disolventes que contienen grupos OH, como el agua o alcoholes primarios, toman las propiedades de superácidos.

Un ejemplo de sistema sin catalizadores es el que utiliza un elevado ratio de alcohol:aceite (42:1). Bajo condiciones supercríticas (350 a 400°C y  $p > 80$  atm) la reacción se completa en 4 minutos. Los costes de instalación y los costos de operación son más altos y la energía consumida mayor, por lo que aunque los resultados mediante este proceso son muy interesantes, el escalado de estas instalaciones a nivel industrial se hace inviable económicamente.

En el gráfico 5.5 se representa el diagrama de bloques de un proceso en el que se utiliza un reactor supercrítico, sin necesidad de añadir catalizadores.

**GRAFICO 5.5:** Proceso de elaboración de biodiesel mediante proceso supercrítico



### **V.3. SELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO**

El proceso más utilizado para la producción de biodiesel es en base a la reacción de transesterificación, la cual se refiere a la reacción entre un aceite o grasa y un alcohol en un medio catalizado, para producir ésteres alquílicos de ácidos grasos (biodiesel) y glicerol o glicerina. Para efectos de este proyecto se efectuará primeramente un proceso ácido (esterificación) de la materia prima, con el objetivo de neutralizar los ácidos grasos libres y después dar lugar a la reacción de transesterificación antes mencionada.

El esquema de proceso seleccionado, es el uso de varios CSTR (Continuous Stirred Tank) en serie. El objetivo es ir obteniendo una conversión progresiva a través de los reactores en serie; otorgando las condiciones óptimas de reacción, adecuado sistema de mezcla y tiempo de residencia para la reacción.

### **V.4. PROCESO DE PRODUCCIÓN**

Para la producción de biodiesel se consideró como materia prima base al aceite crudo de palma, para dicho aceite se consideraron los tres triglicéridos de mayor porcentaje en el aceite crudo de palma: triplamitina, trioleína y trilinoleína. En la tabla 5.1 se muestra la composición promedio; dicha composición ha sido obtenida a partir de la composición reportada por Benjumea et al. para el aceite crudo de palma, despreciando los otros tipos de triglicéridos que se encuentran en menor cantidad en el aceite. También se ha considerado una acidez del 3,8% en peso, expresada como contenido de ácido palmítico.

**TABLA 5.1: Composición promedio de aceite crudo de palma**

<b>Compuesto</b>	<b>% en peso</b>
Tripalmitina	47.14
Trioleina	37.52
Trilinoleina	11.54
Ácido palmitito	3.8

El hidróxido de sodio, metanol y ácido sulfúrico se han considerado como materias primas puras debido a que el proceso requiere condiciones anhidras. El ácido fosfórico se ha especificado como una solución acuosa al 85% en peso.

Se eligió el proceso combinado de esterificación-transesterificación, debido a que dicho proceso presenta un menor consumo de materias primas y genera una mayor cantidad de biodiesel para una misma cantidad de aceite crudo de entrada, con una calidad superior a los otros procesos. La producción anual durante el periodo 2009-2011 será de 278 MB y la producción proyectada al 2016 en adelante será de 863 MB, de acuerdo a lo estimado en el capítulo III.

#### **V.4.1 Recepción de materias primas**

Esta zona abarca la recepción del aceite, soda cáustica, metanol, ácido sulfúrico y ácido fosforito; materias primas necesarias para la elaboración de biodiesel de acuerdo al proceso seleccionado. La recepción debe ser en tanques propios para cada tipo de producto, los cuales deben cumplir los diferentes requerimientos de operación y seguridad que se tengan que implementar.

Cada materia prima debe ser almacenada de acuerdo a sus propiedades inherentes:

**Aceite:**

No necesita algún tipo de almacenamiento especial, salvo el mantener una temperatura adecuada con el objetivo de mantener al producto en estado líquido y en condiciones óptimas para su ingreso al proceso de esterificación.

**Metanol:**

El metanol es considerado como un producto o material inflamable de primera categoría; ya que puede emitir vapores que mezclados en proporciones adecuadas con el aire, originan mezclas combustibles. El metanol es un combustible con un gran poder calorífico, que arde con llama incolora o transparente y cuyo punto de inflamación es de 12,2 °C. Las condiciones de almacenamiento y transporte deberán ser extremas. Está prohibido el transporte de alcohol metílico sin contar con los recipientes especialmente diseñados para ello.

Las áreas donde se produce manipulación y almacenamiento de metanol deberán estar correctamente ventiladas para evitar la acumulación de vapores. Además los pisos serán impermeables, con la pendiente adecuada y con canales de escurrimiento. Si la iluminación es artificial deberá ser antiexplosiva, prefiriéndose la iluminación natural. Así mismo, los materiales que componen las estanterías y artefactos similares deberán ser antichispa. Las distancias entre el almacén y la vía pública será de tres metros para 1000

litros de metanol, aumentando un metro por cada 1000 litros más de metanol.

La distancia entre dos almacenes similares deberá ser el doble de la anterior.

#### **Soda:**

Este producto se debe mantener en recipientes cerrados y debidamente etiquetados, en un área seca y bien ventilada, lejos de ácidos, agua, materiales oxidantes y metales (estaño, aluminio y zinc). Además se deben de proteger contra daños físicos y no ser expuesto al aire.

#### **Ácido Sulfúrico:**

En las áreas donde se almacene ácido sulfúrico deberán existir, convenientemente distribuidas regaderas de seguridad, fuentes de agua para lavado de ojos o red de tubería de agua potable para irrigación de los ojos o para lavar cualquier parte del cuerpo que haya sido salpicada. El agua que se emplea en la alimentación de estas regaderas y fuentes lava ojos, deberá ser de preferencia tibia y las regaderas deberán suministrar agua en abundancia a una presión moderada habiendo una válvula de acción rápida y que una vez operada queda abierta. La localización de estos dispositivos deberá ser estratégica para permitir un rápido y fácil acceso.

#### **Ácido Fosfórico:**

Este producto se debe almacenar en recintos fríos, secos, protegido del calor solar. Su ubicación siempre debe ser en lugares cubiertos, fríos, secos y

debe estar separada de productos incompatibles debido a que este reacciona con bases fuertes formando sales de fosfato y liberar gas hidrógeno cuando reacciona con cloruros y acero inoxidable. Además se debe mantener en embalaje original debidamente identificado y cerrado.

La capacidad de almacenamiento para las materias primas debe tener un dimensionamiento aproximado tal como se indica en la tabla 5.2

**TABLA 5.2:** Capacidad de almacenamiento de materias primas

<b>Producto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad (MB)</b>
Aceite	2	20
Metanol	2	7.5
Ácido Sulfúrico	1	0.1
Ácido Fosfórico	1	0.05

#### **V.4.2. Zona de esterificación**

La reacción de esterificación tiene como objetivo el de neutralizar los ácidos grasos presentes en la materia prima y mejorar el rendimiento de la reacción. El aceite crudo de palma se somete a una reacción de esterificación del ácido palmítico catalizada por ácido sulfúrico, para producir metil-palmitato y agua.

En la primera etapa se forma una mezcla (MIX-100) a partir de un ácido y de un alcohol. El alcohol es el metanol, el cual debe tener una pureza del 99%. El ácido es el ácido sulfúrico, el cual debe tener una pureza del 95%, no se necesita una pureza mayor principalmente debido al incremento sustancial del precio de dicho

producto. La dosificación de metanol es de 12,7 L y 158 ml de ácido sulfúrico (0,135 mol/l o 3,8% en peso) por cada barril a tratar de aceite.

En esta zona se tendrán dos corrientes, una de aceite crudo y otra de metanol-ácido sulfúrico, ambas corrientes son mezcladas al entrar a un mezclador centrífugo (MIX-101), a esta altura la mezcla se volverá turbia debido a que el metanol es una sustancia polar y el aceite es apolar formándose una emulsión. La temperatura de operación es de 35°C aproximadamente.

La mezcla es enviada al intercambiador de calor (E-100) con vapor el cual eleva la temperatura del fluido a 60°C, temperatura adecuada para la reacción de esterificación, según la bibliografía consultada. Una vez alcanzada dicha temperatura la mezcla entra al reactor tanque agitado (RX-100), en donde se efectuará la reacción de esterificación, la corriente sale del reactor a la misma temperatura de entrada debido a que esta reacción es isotérmica.

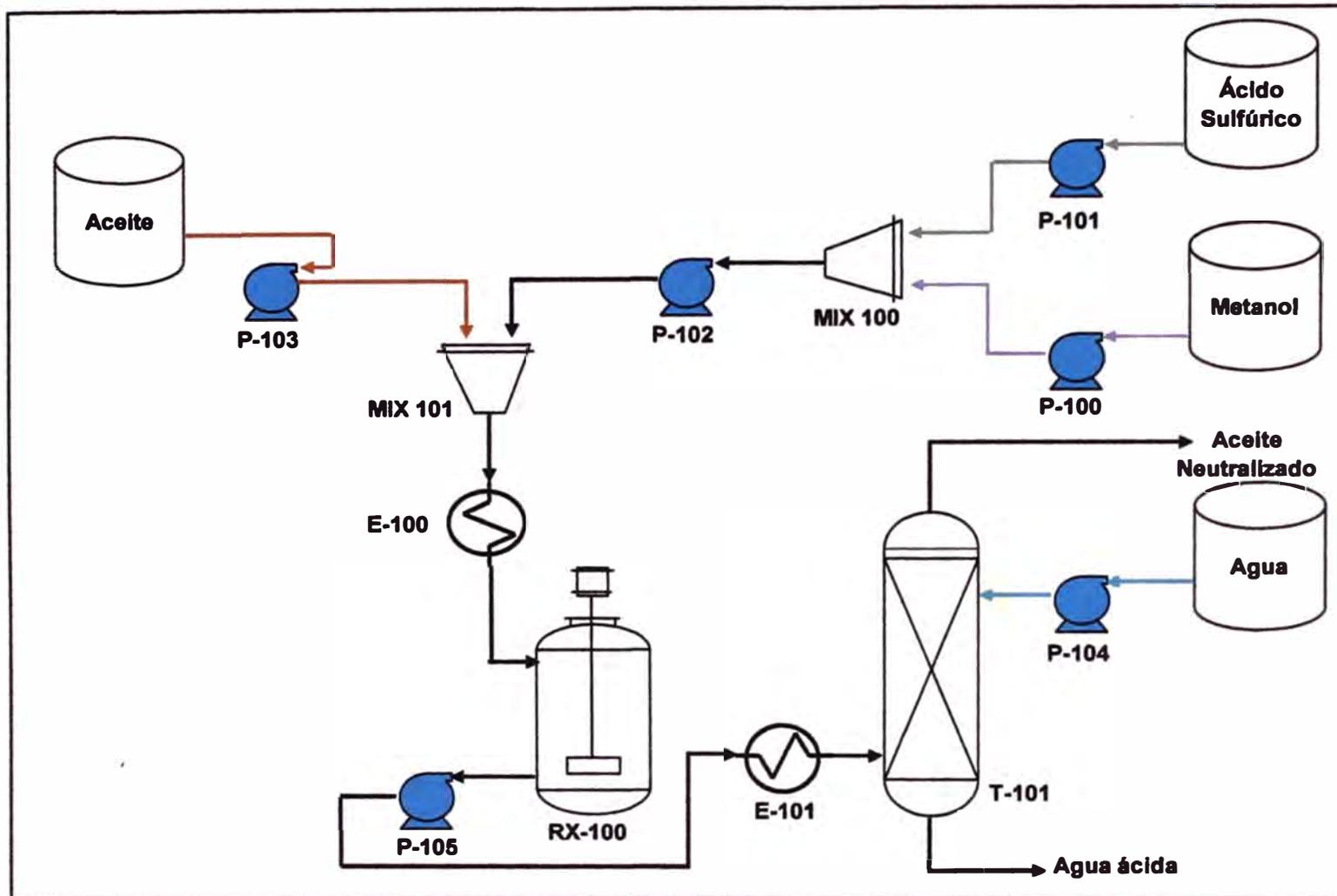
El efluente pasa a través de un intercambiador de calor (E-101) con agua el cual disminuye la temperatura del fluido a 35°C, con el objetivo de pasar a un proceso de extracción líquido-líquido con agua como solvente extractor en la torre (T-101), donde se le remueve el agua y el ácido sulfúrico. La torre opera a la temperatura de salida del intercambiador de calor (E-101). La corriente aceite neutralizado que sale de la parte superior de la torre pasa a la zona de transesterificación. Los equipos requeridos para esta zona de reacción se muestran en la tabla 5.3:

**TABLA 5.3: Equipos requeridos en la zona de esterificación**

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
P-100	Bomba de Metanol	Centrifuga de una etapa
P-101	Bomba de ácido sulfúrico	Centrifuga de una etapa
P-102	Bomba de NaOH / Ácido sulfúrico	Rotatoria
P-103	Bomba de alimentación de aceite	Centrifuga de una etapa
P-104	Bomba de agua de Torre L-L	Rotatoria
P-105	Bomba de reactor de esterificación	Rotatoria
MIX-100	Mezclador H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y CH <sub>4</sub> OH	Centrifugo
MIX-101	Mezclador H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /CH <sub>4</sub> OH y Aceite	Centrifugo
E-100	Intercambiador de calor	Doble tubo
E-101	Intercambiador de calor	Múltiples tubos
RX-100	Reactor de Esterificación	Tubular agitado
T-101	Torre de extracción L-L pre tratamiento	Torre de platos

El diagrama de proceso para esta etapa es el mostrado en la gráfico 5.6

**GRAFICO 5.6: Proceso de esterificación**



### **V.4.3. Zona de transesterificación**

En esta zona la soda y el metanol se mezclan (MIX-200) para formar metóxido de sodio ( $\text{Na}^+\text{CH}_3\text{O}$ ). Cuando se mezcla el metóxido con el aceite ya neutralizado (MIX-201), se rompen las uniones de la molécula de aceite, liberando glicerina y ácidos grasos. Estos últimos se unen al metanol formando biodiesel, y un poco de jabón a veces, si el aceite contiene agua.

La solución metanol-soda entra a un mezclador centrífugo (MIX-200), el cual disuelve totalmente la soda en el metanol, la temperatura y presión de operación de esta etapa es la ambiental. El metanol debe tener una pureza del 99%; la soda debe ser pura, en pellets o semejante; además, se debe tener cuidado para su almacenaje debido a que reacciona con el aire. La dosificación de metanol es de 19,1 L y 0,55 kg de soda por cada barril proveniente de la zona de esterificación.

De acuerdo al tipo de reacción global (individual e irreversible) se trata de ajustar una relación molar metóxido/aceite de 1:8,5 para garantizar una conversión total de los triglicéridos. Por otro lado, el aceite neutralizado proveniente de la zona de esterificación es bombeado hacia un mezclador centrífugo (MIX-201), el cual también recibe el metóxido y luego la mezcla aceite / metóxido es enviada hacia un intercambiador de calor (E-200) con vapor el cual eleva la temperatura del fluido hasta los 60°C; para después ser enviada a un tren de reactores (RX-200, RX201, RX-202, RX-203) en donde se llevará acabo la reacción de transesterificación. El tipo de reactor seleccionado fue de tipo CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) puesto que este tipo de reactor ofrece el grado de agitación necesario para que se dé la reacción de manera óptima. Se eligió trabajar a 60°C, según lo concluido en el

capítulo III, la reacción es en fase líquida y el efecto de la presión sobre la conversión es prácticamente despreciable.

La zona de reactores de transesterificación está compuesta por un tren de cuatro tanques agitados en serie (RX-200,201,202,203), con una bomba y un intercambiador de calor intercalados entre cada tanque (P-202,203,202,205 / E-201,202,203,204) con el fin de mantener un flujo constante y mantener la temperatura de reacción a 60°. La entrada a cada reactor se da por una línea de jet mixer, con el fin de aumentar el grado de mezcla y la salida se realiza mediante una toma baja. El intercambiador de calor ubicado después del último reactor (E-204) aumenta la temperatura a 70°C, con el fin de producir una separación del metanol que no ha reaccionado en la torre de destilación (T-300).

La composición del efluente de reacción de acuerdo a lo concluido en el capítulo III se espera que sea la siguiente: 87-82% biodiesel y 9-10% de glicerina.

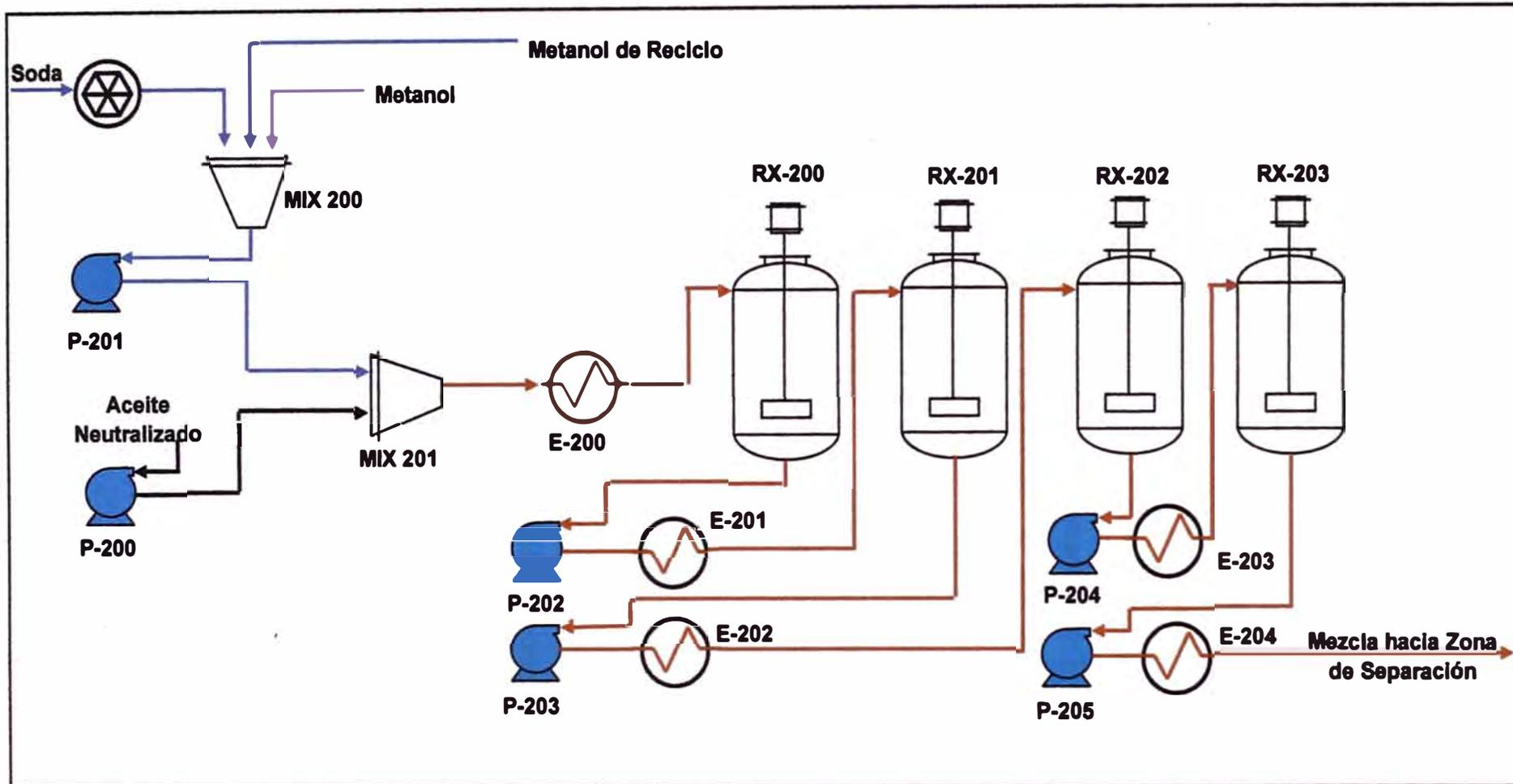
Los equipos requeridos para esta zona de reacción se muestran en la tabla 5.4:

**TABLA 5.4: Equipos requeridos en la zona de transesterificación**

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>		
P-200	Bomba de Aceite Neutralizado	Centrifuga etapa	de	una
P-201	Bomba de Metoxido	Centrifuga etapa	de	una
P-202	Bomba de reactor	Centrifuga etapa	de	una
P-203	Bomba de reactor	Centrifuga etapa	de	una
P-204	Bomba de reactor	Centrifuga etapa	de	una
P-205	Bomba de torre de destilación	Centrifuga etapa	de	una
MIX-200	Mezclador Metanol / Soda	Centrifugo		
MIX-201	Mezclador Metoxido / Aceite	Centrifugo		
E-200	Intercambiador Aceite/Metoxido	de Doble tubo		
E-201	Intercambiador de calor reactores	de Doble tubo		
E-202	Intercambiador de calor reactores	de Doble tubo		
E-203	Intercambiador de calor reactores	de Doble tubo		
E-204	Intercambiador de torre de destilación	de Doble tubo		
RX-200	Reactor de Transesterificación	Tanque agitado		
RX-201	Reactor de Transesterificación	Tanque agitado		
RX-202	Reactor de Transesterificación	Tanque agitado		
RX-203	Reactor de Transesterificación	Tanque agitado		
RX-204	Reactor de Transesterificación	Tanque agitado		

El diagrama de proceso para esta etapa es el mostrado en el gráfico 5.7:

GRAFICO 5.7: Proceso de transesterificación



#### **V.4.4. Zona de separación y purificación**

La zona de separación está compuesta por tres sub-zonas. En la primera, se separa el metanol del efluente de reacción para ser recirculado al reactor. En la segunda, se separan los metilésteres de la glicerina y en la última etapa se purifica la glicerina, subproducto de la reacción de transesterificación.

La mezcla proveniente de la zona de transesterificación ingresa a una torre de destilación atmosférica (T-300), se desea obtener una separación del orden de 99% del metanol que ingresa en la corriente de alimentación a la torre. El metanol sale por el tope de la columna para ser enfriado en un intercambiador (E-300) de calor y luego ser bombeado (P-300) como recirculación al mezclador metanol-soda (MIX-200) de la zona de transesterificación. Los fondos de dicha columna son bombeados (P-301) y pasan a través de un intercambiador de calor (E-301), luego son enviados a una torre de extracción líquido-líquido (T-301) que utiliza al agua como solvente extractor, para recuperar todo el flujo másico de metilésteres de la corriente.

La corriente de biodiesel obtenida pasa a través de un filtro de sal para retirar el agua remanente del proceso de extracción. El flujo de solvente (corriente Agua) se especificará en función al cumplimiento de la especificación de concentración de Na en el biodiesel (máximo 5 ppm).

Los fondos de la torre de extracción se mezcla con la corriente de ácido fosfórico que es una solución acuosa al 85 %peso de ácido, cuyo flujo másico se especificara de manera tal que neutralice todo el hidróxido de sodio presente en la corriente de fondos. El fluido entra a un mezclador (MIX-300) y luego es bombeado a un separador sólido/líquido (T-302) en el que se separe todo el fosfato sódico

generado en la reacción. Por último, la corriente pasa a un sistema de separación (E-302,303,304, P-304,305,306, T-303) por evaporación instantánea en el que se recupera la glicerina.

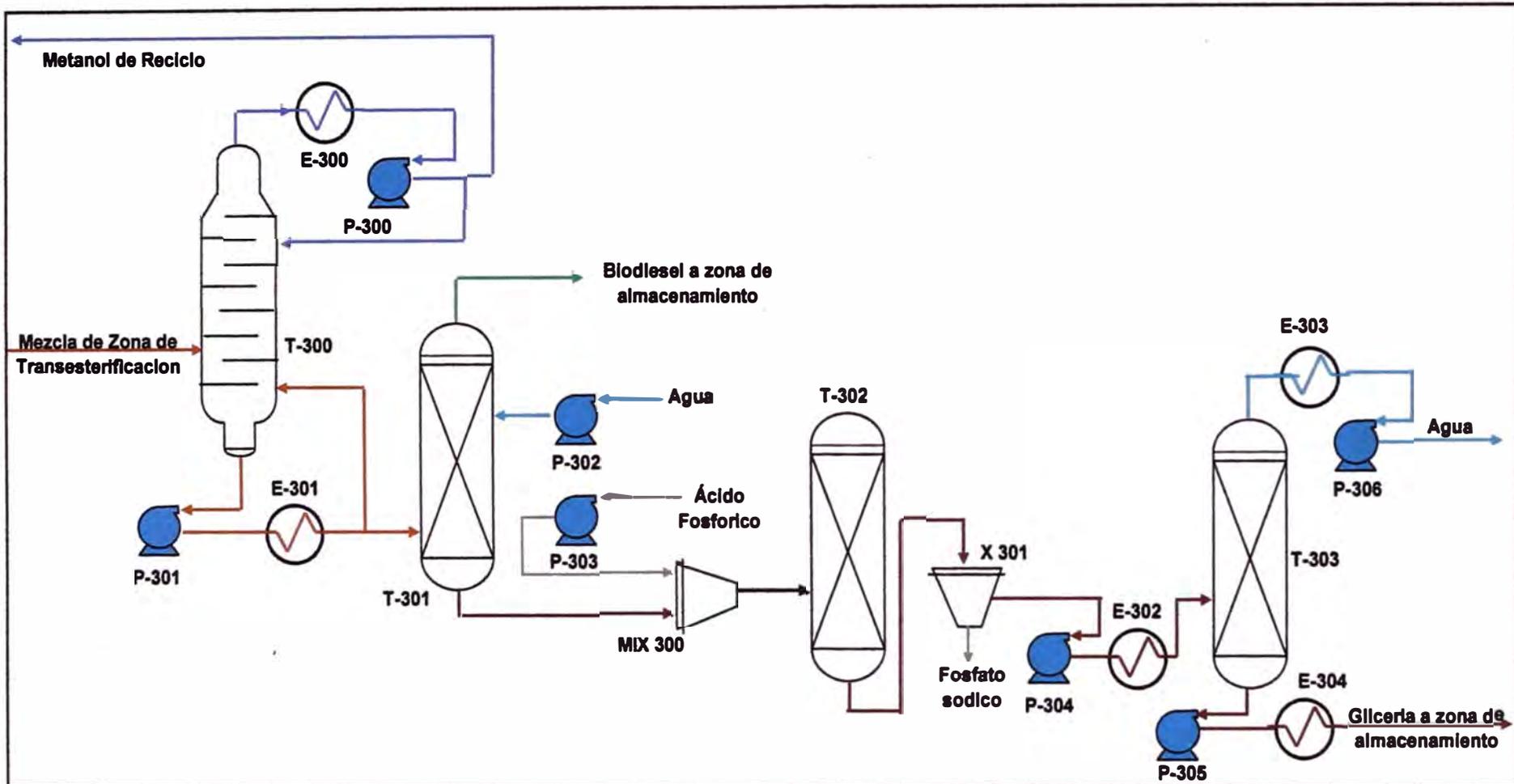
Los equipos requeridos para esta zona de reacción se muestran en la tabla 5.5:

**TABLA 5.5:** Equipos requeridos en la zona de purificación y separación

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
P-300	Bomba de metanol de recirculación	Centrifuga de una etapa
P-301	Bomba de fondos torre de destilación	Centrifuga de una etapa
P-302	Bomba de agua	Rotatoria
P-303	Bomba de ácido fosfórico	Centrifuga de una etapa
P-304	Bomba de MIX 301	Centrifuga de una etapa
P-305	Bomba fondos T-303	Centrifuga de una etapa
P-306	Bomba tope de T-303	Centrifuga de una etapa
MIX-300	Mezclador Acido/Fondos T-301	Centrifugo
X-301	Separador solido/liq Fosfato	Centrifugo
E-300	Intercambiador de metanol de reciclo	Múltiples tubos
E-301	Intercambiador de fondos de T-300	Múltiples tubos
E-302	Intercambiador de alimentación T-303	Múltiples tubos
E-303	Intercambiador de tope T-303	Múltiples tubos
E-304	Intercambiador de fondos T-303	Doble tubo
T-300	Torre de destilación	Torre de platos
T-301	Torre de extracción L-L	Torre de platos
T-302	Torre de extracción sódica	Tanque agitado
T-303	Separador liquido / vapor glicerina	Separador Centrifugo

El diagrama de proceso para esta etapa es el mostrado en la gráfica 5.8:

GRAFICO 5.8: Proceso de separación y purificación



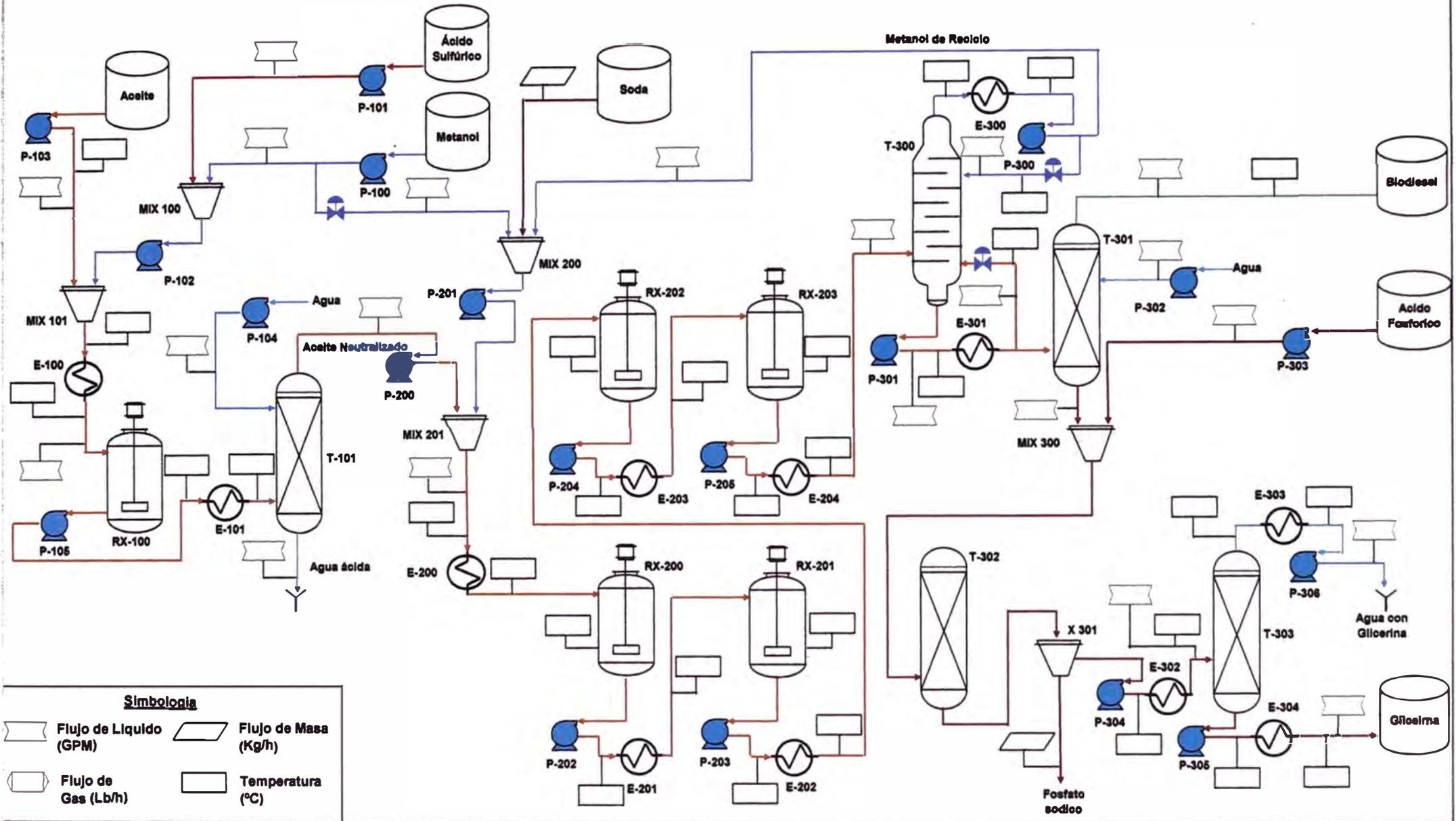
#### **V.4.5. Zona de almacenaje y mezcla**

La zona de almacenamiento está separada en base a los dos productos obtenidos, biodiesel y glicerina. Para el almacenamiento del biodiesel no se requieren tanques especiales o medidas de seguridad para su almacenamiento. El biodiesel, al tener un punto de inflamación más alto que el diesel, hace de su almacenamiento más seguro. Los productores alemanes (primeros productores mundiales) de biodiesel aconsejan almacenarlo por no más de 3 a 6 meses a menos que se utilicen aditivos para estabilizarlo. Esto es válido también para las mezclas. El número de ácido del biodiesel y de sus mezclas puede elevarse si el combustible envejece, o si no fue producido del modo correcto. El incremento de este parámetro está asociado a la formación de depósitos y reduce la vida de la bomba y los filtros. El biodiesel es ligeramente más pesado que el diesel (peso específico 0,88 comparado con 0,85 del diesel) siendo el procedimiento para hacer las mezclas aquél de agregar el biodiesel al diesel. Esto asegura un buen mezclado.

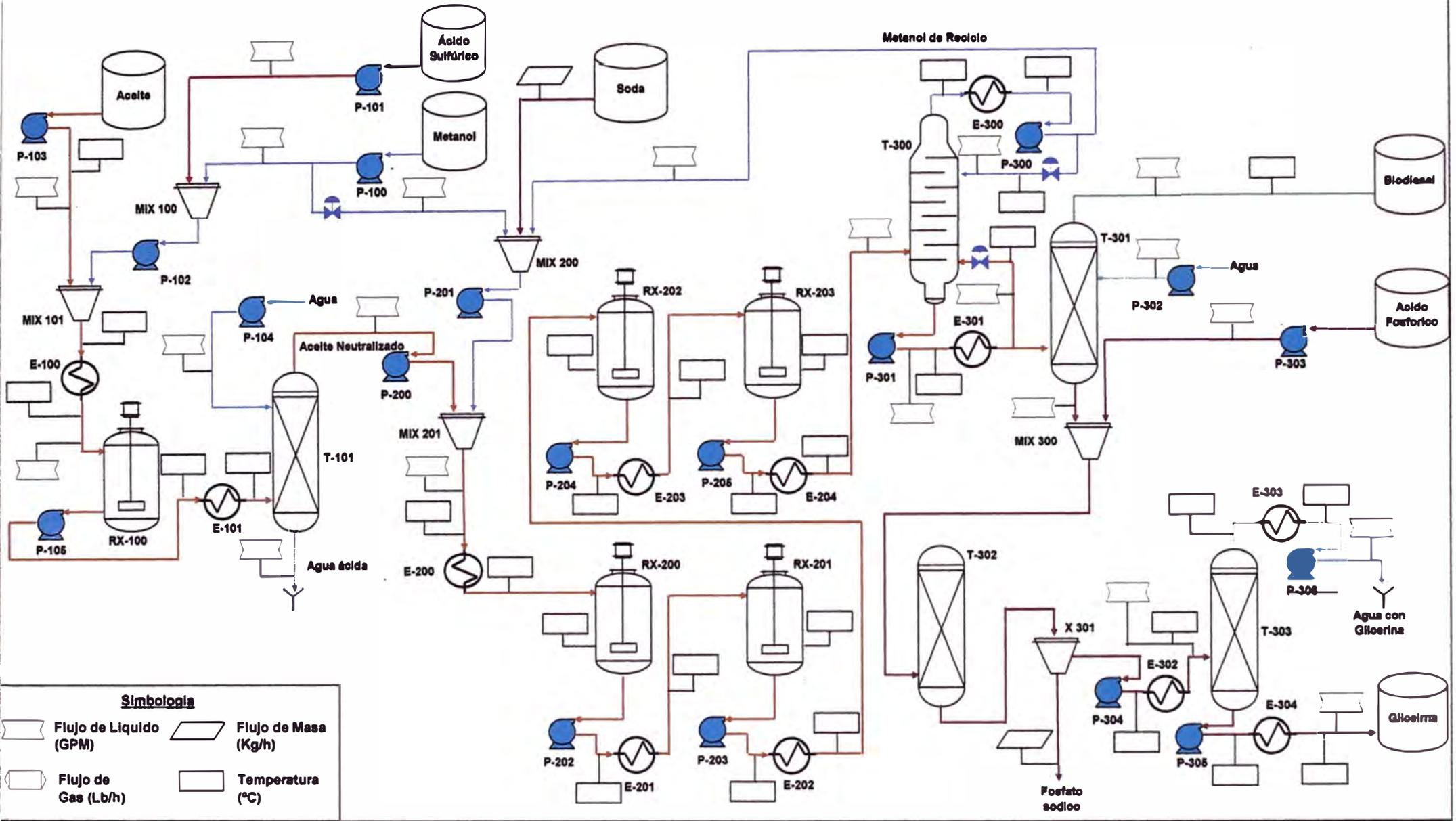
El almacenamiento de la glicerina debe ser en tanques con calefacción, para asegurar una temperatura del fluido en 50°C, para evitar así su solidificación; también se debe tener cuidado en la red de tuberías asociadas a este producto, debiendo estas tener venas de calentamiento u otro mecanismo de calefacción.

En el diagrama siguiente se muestra el proceso completo e integrado de producción de biodiesel.

### Diagrama de Proceso de Producción de Biodiesel



### Diagrama de Proceso de Producción de Biodiesel



**Simbología**

	Flujo de Líquido (GPM)		Flujo de Masa (Kg/h)
	Flujo de Gas (Lb/h)		Temperatura (°C)

## **V.5. UBICACIÓN DE PLANTA Y ADAPTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA**

La ubicación de la planta se efectuaría en las instalaciones de Operaciones Conchán, la cual se encuentra ubicada en el kilómetro 26,5 de la carretera Panamericana Sur, Distrito de Lurín, Departamento de Lima. Cuenta con un terreno de 50 hectáreas a orillas del mar. La zona de producción propiamente dicha está destinada a la Refinería, sus tanques de petróleo y sus tanques de combustibles en un área de 182,1 mil metros cuadrados; existiendo un área de 219,9 mil metros cuadrados disponible para el crecimiento futuro de sus operaciones. Dentro de dichas instalaciones se adecuaría la infraestructura en la Ex Planta de Químicos actualmente de desuso.

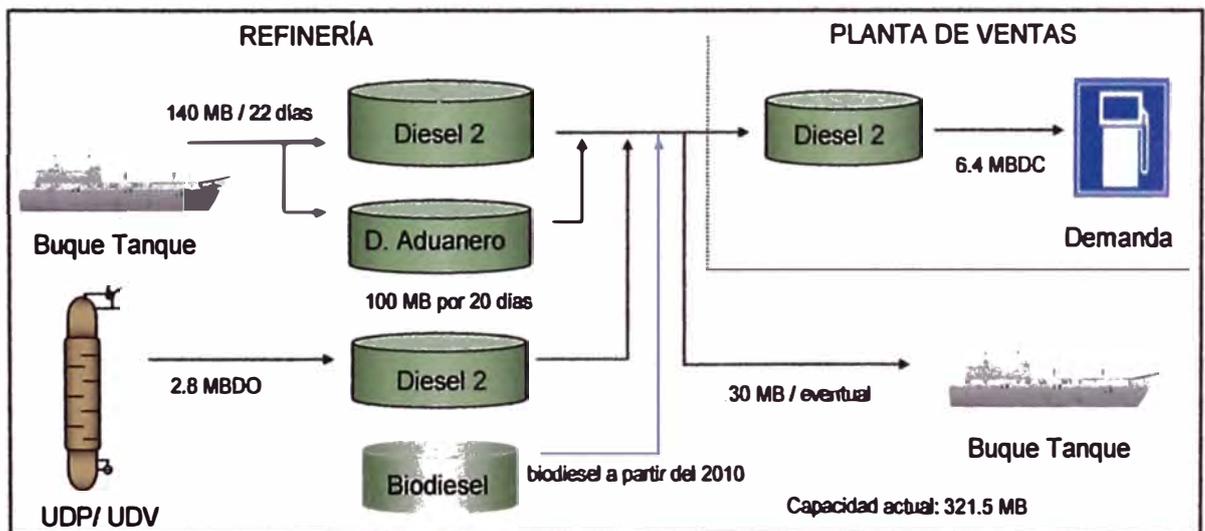
La Operaciones Conchán tiene como función principal el procesamiento de petróleo crudo para obtener combustibles a fin de atender a los mercados de su influencia. Cuenta con unidades de procesamiento (UDP 13,5 MBDC y UDV 9,0 MBDC), con un patio de almacenamiento compuesto por tanques de una capacidad total de 1 180 MB, con una infraestructura marítima (amarradero multiboyas) para atender buques tanque tipo "Panamax" (50 a 79) MTn y con una planta de ventas que ha tenido como máximo de despacho de 32,0 MBDC y que actualmente despacha en promedio 14,5 MBDC.

El diesel es actualmente el producto de mayor valor comercial, este producto se transfiere a Operaciones Conchán vía buque tanque, diesel importado y diesel nacional procedente de la Operaciones Talara a fin de que, en adición a la producción local, puedan satisfacer la demanda del mercado de influencia. Desde

Operaciones Conchán se abastecen a los puertos del litoral según requerimiento y disponibilidad de diesel TI (diesel importado).

El diesel tiene una capacidad de almacenamiento de 321,5 MB y un volumen no succionable de 29,9 MB, la frecuencia de reposición es de 140 MB cada 22 días y se pretende poder recibir cargamentos completos de 250 MB. Actualmente se tiene una demanda actual de 6,4 MBDC. Además según el Decreto Supremo D.S. N°030-98-EM se debe mantener un inventario mínimo de 32.0 MB (despacho de 5 días) y un inventario promedio de 96,0 MB (despacho de 15 días). El movimiento de diesel de Operaciones Conchán se muestra en la gráfico 5.9.

**GRAFICO 5.9: Movimiento de diesel de Operaciones Conchán**



La ex Planta de Químicos actualmente cuenta con 20 tanques, distribuidos de acuerdo a su capacidad de almacenamiento individual de la siguiente manera:

- 1Q-8Q : 1 MB
- 9Q-10Q : 1,6 MB
- 11Q-12Q : 0,3 MB
- 13Q-20Q : 0,2 MB

Los exteriores e interiores de dicha planta se muestran en los gráficos 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 y 5.13.

GRAFICO 5.10: Exteriores de ex Planta de Químicos



GRAFICO 5.11: Exteriores de ex Planta de Químicos



GRAFICO 5.12: Interiores ex Planta de Químicos



**GRAFICO 5.13: Interiores ex Planta de Químicos**



La ex Planta de Químicos actualmente no cuenta con una infraestructura para la adaptación de la zona de recepción y almacenamiento de materias primas, esterificación (sólo se tiene dos tanques para ser adaptados como reactores tubulares agitados de esterificación, 9Q y 10Q) y separación / purificación de los productos. Dichas etapas del proceso integral deben ser íntegramente implementadas en la zona contigua a la zona de tanques de dicha planta (ver figura 5.14 y 5.15), con los equipos mencionados en las tablas 5.2, 5.3 y 5.4.

**GRAFICO 5.14:** Zona contigua a ex Planta Químicos



**GRAFICO 5.15:** Zona contigua a ex Planta Químicos



La ex Planta de Químicos actualmente tiene un área para la adaptación de la zona de transesterificación, debido a que cuenta con el área de tanques antes mencionados propicia para permitir la realización de esta etapa. La adaptación de dicha planta involucra para la zona de tanques verticales de 1Q al 8Q:

- Instalación de los equipos de bombeo e intercambiadores de calor mencionados en la tabla 6.3.
- Instalación de serpentines de vapor en la base de los tanques, cuyo objetivo mantener a temperatura de operación (60°C) la mezcla que en el reside, a su vez, impedir la solidificación de la glicerina formada durante el proceso.
- Líneas de jet mixer, la cual tiene como objetivo ser utilizada para la inyección del metóxido al tanque con aceite previamente precalentado a temperatura de operación.
- Líneas de fondos, la cual tiene como objetivo succionar la mezcla para ser bombeada al siguiente tanque-reactor, además de dar una flexibilidad operativa al personal.
- Líneas de recirculación para cada tanque-reactor con el fin de incrementar el tiempo de residencia de la mezcla en la zona de transesterificación y aumentar el grado de mezcla.
- Los tanques-reactores deben de ser pintados interiormente para su protección contra las reacciones químicas que se llevarán acabo en su interior.
- Instalación de los intercambiadores de calor y bombas (tabla 6.3) necesarios para el proceso en esta zona.

Los ocho tanques horizontales (13Q a 20Q) cumplirán la función de almacenar la glicerina formada la cual será transportada mediante bombeo, desde la zona de

separación y purificación. El sistema de efluentes será alineado hacia las pozas de percolación ubicadas a espaldas de dicha planta (ver figura 5.16).

GRAFICO 5.16: Zona contigua a ex Planta Químicos



## **V.6. CAPACIDAD Y PROGRAMA DE PRODUCCIÓN**

En la tabla 5.2 se observa el programa de producción (obtenido del estudio de mercado) del horizonte del proyecto, notándose que durante el periodo 2009-2010 de operación no se cubrirá la totalidad de la capacidad debido a la menor demanda esperada, la cual es atribuida al poco porcentaje en mezcla a realizarse en dichos años (2%). La planta durante este periodo estará trabajando a un nivel de operación

del 27% considerando sólo la demanda cautiva para cubrir el 2% en la formulación del diesel comercial, pero al considerar los otros porcentajes de venta de biodiesel (20% y 100%) podría llegar a un 35%. Dichos escenarios no han sido contemplados al elaborar la tabla 5.6.

Durante el periodo 2011-2016 se trabajará a un 80% de la capacidad real de la producción, obteniendo en promedio 863 MB de producto final, lo cual representa una demanda anual de 130 MTon de aceite a procesar. El margen restante de capacidad productiva se empleará en la atención a la demanda de los requerimientos extras de ventas con los otros porcentajes de mezcla permitidos antes mencionados.

**TABLA 5.6: Programa de producción de la planta de biodiesel**

<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
<b>MB</b>	275.7	278.1	746.9	748.4	782.9	814.3	840.8	863.2

El presente proyecto puede ser considerado como relativamente flexible debido a que el sistema de producción puede procesar diferentes clases de materias primas (aceites) variando las condiciones de operación; también puede incrementar o disminuir la carga de producción de acuerdo a los requerimientos del mercado o disponibilidad de la materia prima e insumos.

## **VI. EVALUACIÓN ECONÓMICA**

La evaluación realizada para el costeo de equipos se basa en la experiencia de los costos modulares de Guthrie que se fundamenta en la relación que existe entre el costo de capital de una planta química y el costo de adquisición de sus equipos.

La evaluación del proyecto se ha realizado sobre la base de los flujos correspondientes a un horizonte del proyecto de 10 años, asumiendo el monto de inversión en el año 0 (2008) y el flujo referente a la evaluación de la empresa en el año 10 (2018). Para dicha evaluación se empleará el método basado en el flujo de caja, el mismo que consiste en asumir que el flujo de caja del último año se repite anualmente hasta el infinito.

### **VI.1. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE PROCESO**

Como paso previo y necesario para la evaluación financiera, se realizó el dimensionamiento de los equipos incluidos para el proceso de producción. Para el separador sólido/líquido no se ha efectuado 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.

Para los equipos de proceso, el material de construcción elegido en la mayoría de los casos fue el acero al carbono ya que puede usarse cuando la concentración de NaOH es inferior al 50 %peso, entre la temperatura ambiente y 95°C. Para las bombas, el material escogido fue el acero colado. Aunque la eficiencia adiabática (isentrópica) de las bombas puede variar con la capacidad (caudal), se decidió, por simplicidad, considerar una eficiencia estándar de 75% para todas las bombas. Igualmente, aunque la eficiencia del motor depende de su tamaño, se tomó, por la misma razón, una eficiencia del 90% para todos ellos. Como material de fabricación del separador centrífugo y mixers se ha considerado al acero inoxidable.

El dimensionamiento de los intercambiadores fue tomado de una aplicación del simulador HYSYS <sup>TM</sup> Ref.(11), con el cual se pudo hallar el área de los intercambiadores de calor, considerando si se presentaban o no cambios de fase en las corrientes de proceso. Para los procesos sin cambio de fase, se tomó el valor de UA brindado por el simulador y con el valor del coeficiente global de transferencia U tomado de Branan Ref.(4), se halló el área de intercambio. Para los procesos con cambio de fase, se calculó el área total a partir de las áreas de intercambio de cada región termodinámica. Dichas áreas se hallaron con el  $\Delta LMTD$  y el valor de los flujos de calor (Q) de cada región obtenidas del simulador. De acuerdo a las áreas obtenidas

se escogió el tipo de intercambiador. Tanto para los tubos como para la coraza se trabajó con el mismo material de construcción.

Los servicios industriales seleccionados fueron agua de enfriamiento (30°C a la entrada y 40°C a la salida), vapor de baja presión (100 psi vapor saturado).

## **VI.2. COSTOS DE CAPITAL**

De acuerdo con la clasificación de los tipos de estimación de costos de capital realizada por Turton et al., la estimación económica realizada en el presente trabajo puede ser considerada como una "estimación de estudio". Este tipo de estimación utiliza como información la lista de todos los equipos principales y a partir de un dimensionamiento aproximado, se determinan los costos.

El costo total de capital se calcula multiplicando el costo total de los equipos por ciertos factores para tener en cuenta otros costos como la mano de obra de instalación, los materiales asociados a la instalación, las contingencias, el terreno y las instalaciones auxiliares.

Este tipo de estimación tiene un rango de exactitud de +30% a -20%, que puede esperarse que el costo real de la planta esté entre un 30% por encima y un 20% por

debajo del costo predicho. En las Tablas 6.1, 6.2 y 6.3, se muestran los resultados de los cálculos de costos de capital para el proceso de producción. A menos que se especifique lo contrario, todos los valores monetarios en este trabajo están expresados en dólares americanos.

Las correlaciones utilizadas para el cálculo de los costos fueron tomadas de Turton et al. Como índice de precios, se trabajó con el Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI) de Febrero de 2005. Con éste se corrigieron los costos para tener en cuenta el efecto de la inflación, puesto que las correlaciones trabajan con un CEPCI de mediados de 1996 equivalente a 382. Para las centrífugas de discos, se utilizó un precio promedio de 100.000 dólares, de acuerdo a los valores de mercado consultados.

**TABLA 6.1: Costeo de bombas de proceso**

Bombas																			
Ídigo	F <sub>M</sub>	F <sub>P</sub> =C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> (log(P))+C <sub>3</sub> (log(P)) <sup>2</sup>					F <sub>CM</sub> =B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub> (F <sub>P</sub> )(F <sub>M</sub> ) ; F <sub>CM</sub> <sup>0</sup> =B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub>				C <sub>eq</sub> <sup>0</sup> =(IP <sub>act</sub> / IP <sub>ref</sub> ) <sup>10<sup>(K<sub>1</sub>+K<sub>2</sub>(log(A))+K<sub>3</sub>(log(A))<sup>2</sup>)</sup></sup>						C <sub>M</sub> =F <sub>CM</sub> <sup>0</sup> C <sub>eq</sub> <sup>0</sup>		
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	P (bar)	F <sub>P</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	FCM	FCM <sup>0</sup>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	A	IP <sub>ref</sub>	IP <sub>act</sub>	C <sub>eq</sub> <sup>0</sup>	C <sub>M</sub>	C <sup>0M</sup>
100	2.00	0.02	0.72	0.26	4.40	0.59	1.80	1.51	3.59	3.31	3.69	0.36	0.06	0.12	382	468.2	\$ 3,162.1	\$ 11,354.7	\$ 10,466
101	2.00	0.02	0.72	0.26	0.90	-0.01	1.80	1.51	1.77	3.31	3.69	0.36	0.06	0.12	382	468.2	\$ 3,162.1	\$ 5,604.2	\$ 10,466
102	2.00	0.02	0.72	0.26	3.00	0.42	1.80	1.51	3.08	3.31	3.69	0.36	0.06	0.02	382	468.2	\$ 2,159.3	\$ 6,657.7	\$ 7,147
103	2.40	0.17	0.35	0.48	3.00	0.44	1.80	1.51	3.41	3.31	3.58	0.32	0.03	1.48	382	468.2	\$ 5,285.8	\$ 18,025.4	\$ 17,496
104	1.40	0.02	0.72	0.26	0.90	-0.01	1.80	1.51	1.78	3.31	3.69	0.36	0.06	0.04	382	468.2	\$ 2,456.9	\$ 4,375.3	\$ 8,132
105	2.40	0.17	0.35	0.48	3.00	0.44	1.80	1.51	3.41	3.31	3.58	0.32	0.03	1.48	382	468.2	\$ 5,285.8	\$ 18,025.4	\$ 17,496
200	1.80	0.17	0.35	0.48	4.40	0.59	1.80	1.51	3.41	3.31	3.58	0.32	0.03	1.73	382	468.2	\$ 5,567.3	\$ 18,984.9	\$ 18,427
201	1.80	0.17	0.35	0.48	4.40	0.59	1.80	1.51	3.41	3.31	3.58	0.32	0.03	1.01	382	468.2	\$ 4,667.2	\$ 15,915.3	\$ 15,448
202	2.40	0.17	0.35	0.48	4.40	0.59	1.80	1.51	3.95	3.31	3.58	0.32	0.03	1.73	382	468.2	\$ 5,567.3	\$ 21,972.7	\$ 18,427
203	2.40	0.17	0.35	0.48	4.40	0.59	1.80	1.51	3.95	3.31	3.58	0.32	0.03	1.73	382	468.2	\$ 5,567.3	\$ 21,972.7	\$ 18,427
204	2.40	0.17	0.35	0.48	4.40	0.59	1.80	1.51	3.95	3.31	3.58	0.32	0.03	1.73	382	468.2	\$ 5,567.3	\$ 21,972.7	\$ 18,427
205	2.40	0.17	0.35	0.48	4.40	0.59	1.80	1.51	3.95	3.31	3.58	0.32	0.03	1.73	382	468.2	\$ 5,567.3	\$ 21,972.7	\$ 18,427
300	1.80	0.17	0.35	0.48	0.71	0.13	1.80	1.51	2.15	3.31	3.58	0.32	0.03	0.12	382	468.2	\$ 2,491.4	\$ 5,345.7	\$ 8,246
301	1.80	0.17	0.35	0.48	0.90	0.15	1.80	1.51	2.22	3.31	3.58	0.32	0.03	0.37	382	468.2	\$ 3,423.4	\$ 7,588.6	\$ 11,331
302	1.40	0.02	0.72	0.26	0.10	-0.43	1.80	1.51	0.89	3.31	3.69	0.36	0.06	0.01	382	468.2	\$ 1,942.4	\$ 1,727.4	\$ 6,429
303	2.00	0.02	0.72	0.26	0.90	-0.01	1.80	1.51	1.77	3.31	3.69	0.36	0.06	0.12	382	468.2	\$ 3,162.1	\$ 5,604.2	\$ 10,466
304	1.80	0.17	0.35	0.48	4.40	0.59	1.80	1.51	3.41	3.31	3.58	0.32	0.03	0.45	382	468.2	\$ 3,629.5	\$ 12,376.7	\$ 12,013
305	1.80	0.17	0.35	0.48	4.40	0.59	1.80	1.51	3.41	3.31	3.58	0.32	0.03	0.45	382	468.2	\$ 3,629.5	\$ 12,376.7	\$ 12,013
306	1.80	0.17	0.35	0.48	0.10	0.30	1.80	1.51	2.63	3.31	3.58	0.32	0.03	0.12	382	468.2	\$ 2,491.4	\$ 6,547.0	\$ 8,246

**TABLA 6.2: Costeo de intercambiadores de calor**

Intercambiadores de Calor																			
Índice	F <sub>M</sub>	FP=C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> (log(P))+C <sub>3</sub> (log(P)) <sup>2</sup>					F <sub>CM</sub> =B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub> (F <sub>P</sub> )(F <sub>M</sub> ) ; F <sub>CM</sub> <sup>0</sup> =B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub>				C <sub>eq</sub> <sup>*</sup> =(IP <sub>act</sub> / IP <sub>ref</sub> ) <sup>10<sup>(K<sub>1</sub>+K<sub>2</sub>(log(A))+K<sub>3</sub>(log(A))<sup>2</sup>)</sup></sup>							C <sub>M</sub> =F <sub>CM</sub> <sup>*</sup> C <sub>eq</sub> <sup>0</sup>	
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	P (bar)	F <sub>P</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>CM</sub>	F <sub>CM</sub> <sup>*</sup>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	A	IP <sub>ref</sub>	IP <sub>act</sub>	C <sub>eq</sub> <sup>*</sup>	C <sub>M</sub>	C <sub>M</sub> <sup>0</sup>
100	3.00	-	-	-	5.00	1.00	0.74	1.21	4.37	1.95	3.02	0.06	-	3.08	382	468.2	\$ 1,385.6	\$ 6,054.9	\$ 2,701.9
101	3.00	-	-	-	1.65	1.00	0.74	1.21	4.37	1.95	2.11	0.97	-	21.15	382	468.2	\$ 3,035.0	\$ 13,262.8	\$ 5,918.2
200	1.00	-	-	-	5.00	1.00	0.74	1.21	1.95	1.95	3.02	0.06	-	5.56	382	468.2	\$ 1,435.8	\$ 2,799.8	\$ 2,799.8
201	1.00	-	-	-	5.00	1.00	0.74	1.21	1.95	1.95	3.02	0.06	-	5.56	382	468.2	\$ 1,435.8	\$ 2,799.8	\$ 2,799.8
202	1.00	-	-	-	5.00	1.00	0.74	1.21	1.95	1.95	3.02	0.06	-	5.56	382	468.2	\$ 1,435.8	\$ 2,799.8	\$ 2,799.8
203	1.00	-	-	-	5.00	1.00	0.74	1.21	1.95	1.95	3.02	0.06	-	5.56	382	468.2	\$ 1,435.8	\$ 2,799.8	\$ 2,799.8
204	1.00	-	-	-	5.00	1.00	0.74	1.21	1.95	1.95	3.02	0.06	-	5.56	382	468.2	\$ 1,435.8	\$ 2,799.8	\$ 2,799.8
300	1.00	-	-	-	0.71	1.00	0.74	1.21	1.95	1.95	2.11	0.97	-	15.56	382	468.2	\$ 2,256.4	\$ 4,399.9	\$ 4,399.9
301	1.00	-	-	-	5.00	1.00	0.74	1.21	1.95	1.95	2.11	0.97	-	33.72	382	468.2	\$ 4,762.1	\$ 9,286.2	\$ 9,286.2
302	1.00	0.62	(0.93)	0.34	41.00	1.00	0.74	1.21	1.95	1.95	2.11	0.97	-	11.21	382	468.2	\$ 1,643.9	\$ 3,205.6	\$ 3,205.6
303	1.00	-	-	-	0.71	1.00	0.74	1.21	1.95	1.95	2.11	0.97	-	33.72	382	468.2	\$ 4,762.1	\$ 9,286.2	\$ 9,286.2
304	1.00	-	-	-	0.71	1.00	0.74	1.21	1.95	1.95	2.11	0.97	-	4.75	382	468.2	\$ 717.3	\$ 1,398.8	\$ 1,398.8

**TABLA 6.3: Costeo de recipientes a presión, platos de torres, separadores y tanques de almacenamiento**

<b>Recipientes a Presión</b>																			
Código	F <sub>M</sub>	F <sub>P</sub> =C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> (log(P))+C <sub>3</sub> (log(P)) <sup>2</sup>					F <sub>CM</sub> =B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub> °F <sub>P</sub> °F <sub>M</sub> ; F <sub>CM</sub> <sup>o</sup> =B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub>					C <sub>eq</sub> <sup>o</sup> =(IP <sub>act</sub> / IP <sub>ref</sub> )°10 <sup>[(K<sub>1</sub>+K<sub>2</sub> log(A)+K<sub>3</sub> log(A))°2]</sup>						C <sub>M</sub> =F <sub>CM</sub> °C <sub>eq</sub> <sup>o</sup>	
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	P (barg)	F <sub>P</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>CM</sub>	F <sub>CM</sub> <sup>o</sup>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	A	IP <sub>ref</sub>	IP <sub>act</sub>	C <sub>eq</sub> <sup>o</sup>	C <sub>M</sub>	C <sub>M</sub> <sup>o</sup>
-101	4	-	-	-	0.95	1.00	2.50	1.72	9.38	4.22	3.34	0.55	0.29	5.50	382	468.2	\$ 9,859.5	\$ 92,482.1	\$ 41,607.1
-300	1	-	-	-	0.3	1.00	2.50	1.72	4.22	4.22	3.72	0.61	0.13	15.85	382	468.2	\$ 54,172.1	\$ 228,606.1	\$ 228,606.1
-301	1	-	-	-	0.2	1.00	2.50	1.72	4.22	4.22	3.43	0.58	0.23	3.85	382	468.2	\$ 8,575.5	\$ 36,188.5	\$ 36,188.5
-302	1	-	-	-	2.3	1.00	2.50	1.72	4.22	4.22	3.53	0.57	0.21	1.84	382	468.2	\$ 6,007.0	\$ 25,349.5	\$ 25,349.5
-303	1	-	-	-	0.91	1.00	2.50	1.72	4.22	4.22	3.62	0.53	0.21	3.73	382	468.2	\$ 12,117.2	\$ 51,134.6	\$ 51,134.6
<b>Platos de Torres</b>																			
Código	F <sub>M</sub>	F <sub>P</sub> =C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> (log(P))+C <sub>3</sub> (log(P)) <sup>2</sup>					F <sub>CM</sub> =B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub> °F <sub>P</sub> °F <sub>M</sub> ; F <sub>CM</sub> <sup>o</sup> =B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub>					C <sub>eq</sub> <sup>o</sup> =(IP <sub>act</sub> / IP <sub>ref</sub> )°10 <sup>[(K<sub>1</sub>+K<sub>2</sub> log(A)+K<sub>3</sub> log(A))°2]</sup>						C <sub>M</sub> =F <sub>CM</sub> °C <sub>eq</sub> <sup>o</sup>	
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	P (barg)	F <sub>P</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>CM</sub>	F <sub>CM</sub> <sup>o</sup>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	A	IP <sub>ref</sub>	IP <sub>act</sub>	C <sub>eq</sub> <sup>o</sup>	C <sub>M</sub>	C <sub>M</sub> <sup>o</sup>
-101	-	-	-	-	0.95	1.00	-	-	2.00	2.00	235	20	75.07	0.30	382	468.2	\$ 300.6	\$ 8,415.6	\$ 601.1
-300	-	-	-	-	0.3	1.00	-	-	1.20	1.20	235	20	75.07	1.37	382	468.2	\$ 494.5	\$ 15,429.1	\$ 593.4
-301	-	-	-	-	0.2	1.00	-	-	1.20	1.20	235	20	75.07	0.43	382	468.2	\$ 315.5	\$ 3,785.7	\$ 378.6
<b>Separador solido / Ilquido</b>																			
Código	F <sub>M</sub>	F <sub>P</sub> =C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> (log(P))+C <sub>3</sub> (log(P)) <sup>2</sup>					F <sub>CM</sub> =B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub> °F <sub>P</sub> °F <sub>M</sub> ; F <sub>CM</sub> <sup>o</sup> =B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub>					C <sub>eq</sub> <sup>o</sup> =(IP <sub>act</sub> / IP <sub>ref</sub> )°10 <sup>[(K<sub>1</sub>+K<sub>2</sub> log(A)+K<sub>3</sub> log(A))°2]</sup>						C <sub>M</sub> =F <sub>CM</sub> °C <sub>eq</sub> <sup>o</sup>	
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	P (barg)	F <sub>P</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>CM</sub>	F <sub>CM</sub> <sup>o</sup>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	A	IP <sub>ref</sub>	IP <sub>act</sub>	C <sub>eq</sub> <sup>o</sup>	C <sub>M</sub>	C <sub>M</sub> <sup>o</sup>
-301	-	-	-	-	-	-	-	-	3.50	3.50	-	-	-	-	-	-	\$100,000.0	\$ 350,000.0	\$ 350,000.0

**Patío de Tanques para Materias Primas y Productos**

Código	F <sub>M</sub>	F <sub>P</sub> =C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> (log(P))+C <sub>3</sub> (log(P)) <sup>2</sup>					F <sub>CM</sub> =B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub> *F <sub>P</sub> *F <sub>M</sub> ; F <sub>CM</sub> <sup>o</sup> =B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub>				C <sub>eq</sub> <sup>o</sup> =(IP <sub>act</sub> /IP <sub>ref</sub> ) <sup>10<sup>(K<sub>1</sub>+K<sub>2</sub>(A)+K<sub>3</sub>(A)<sup>2</sup>)</sup></sup>							C <sub>M</sub> =F <sub>CM</sub> <sup>o</sup> *C <sub>eq</sub> <sup>o</sup>	
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	P (barg)	F <sub>P</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>CM</sub>	F <sub>CM</sub> <sup>o</sup>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	A	IP <sub>ref</sub>	IP <sub>act</sub>	C <sub>eq</sub> <sup>o</sup>	C <sub>M</sub>	C <sub>M</sub> <sup>o</sup>
21Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	\$ 700,000.0	\$ 770,000.0
22Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	\$ 700,000.0	\$ 770,000.0
23Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	\$ 700,000.0	\$ 770,000.0
24Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	\$ 300,000.0	\$ 330,000.0
25Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	\$ 300,000.0	\$ 330,000.0
26Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	\$ 80,000.0	\$ 88,000.0
27Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	\$ 30,000.0	\$ 33,000.0
<b>Total (\$)</b>																		<b>\$3,920,685.0</b>	<b>\$4,123,195.9</b>
<b>Costos Totales</b>																			
<b>I<sub>MT</sub> = 1.18(ΣC<sub>M(K)</sub>)</b>		<b>\$ 4,626,408.27</b>	<b>I<sub>CF</sub> = C<sub>MG</sub> = C<sub>MT</sub> + 0.35(ΣC<sub>M(K)</sub>)</b>		<b>\$ 6,069,526.85</b>	<b>L = 0.1(ΣC<sub>M(K)</sub>)</b>		<b>\$ 412,319.59</b>	<b>I<sub>CF</sub>L = C<sub>MT</sub> + 0.25(ΣC<sub>M(K)</sub>)</b>		<b>\$</b>	<b>5,657,207.3</b>							

Para el proceso de producción se requiere una inversión de capital fijo ( $I_{CF}$ ) de US\$ 6'069,526.85. El costo de los equipos de bombeo, intercambiadores de calor, recipientes a presión y patio de tanques para materias primas y productos representan el 4,74 %, 1,21 %, 8,62 % y 77,92% del costo modular total ( $C_{MT}$ ) respectivamente. La inversión que más aporta al  $C_{MT}$  es el patio de tanques para materias primas y productos, con un 77,92 %.

### **VI.3 COSTOS OPERATIVOS**

El cálculo de costos operativos se realizó siguiendo la metodología expuesta por Henao, la cual se fundamenta en la relación que existe entre estos costos: la inversión de capital fijo ( $I_{CF}$ ), el costo de materias primas ( $C_{MP}$ ), el costo de tratamiento de residuos ( $C_{TR}$ ), el costo de servicios industriales ( $C_{SI}$ ) y el costo de mano de obra operativa ( $C_{MDO}$ ).

Como precio del aceite de palma, metanol, soda anhidra sólida, ácido sulfúrico y ácido fosfórico se tomó la referencia el promedio de los precios FOB de importación reportados de SUNAT en el año 2006; con un valor de US\$ 486.81/ton, US\$ 389.751/ton, US\$ 328.55/ton, US\$ 70.75/ton y US\$ 558.09/ton respectivamente (Ver anexo V). Además se ha supuesto como constante los precios de las diferentes materias primas, debido que no se cuenta con una proyección de precios para el periodo de estudio.

Los precios de los servicios industriales así como el costo del tratamiento de residuos fueron tomados de Turton y actualizados con el índice de precios ya mencionado. Para la energía eléctrica se tomó un valor de US\$ 0.1kWh. En lo referente a la mano de obra operativa, se tomaron los valores de número de operarios por equipo por turno ( $L_{S(K)}$ ) reportados por Turton. Para el separador centrífugo se consideró un  $L_{S(K)}$  de 0,2. Se consideró un salario anual promedio por operario ( $S_{op}$ ) de US\$ 12,000 una operación de 360 días al año, lo que conduce a un valor de 1080 turnos de operación/año ( $\zeta_Y$ ). Así mismo se tomó un valor de cantidad de trabajo de un operario por año ( $L_{Y(op)}$ ) de 245 turnos. Para el funcionamiento de la planta se requieren 16 operarios trabajando tiempo completo y uno medio tiempo. El tratamiento de los residuos industriales ( $C_{TR}$ ) es de US\$ 1'234,762.52 al año 2009. El costo de mantenimiento se consideró el 2% de la inversión (US \$ 24,695.25). En la tabla 6.4 se muestran los costos operativos para el año 2009.

**TABLA 6.4: Costos operativos año 2009**

<b>Costo de Materias Primas</b>			
<b>Materia Prima</b>	<b>Consumo (Tn/año)</b>	<b>Precio Unit (\$/Tn)</b>	<b>CMP (\$/año)</b>
Aceite Crudo de Palma	42,849.86	\$ 486.81	\$20,859,742.59
Metanol	6,925.46	\$ 389.75	\$ 2,699,168.31
Soda anhidra sólida	151.62	\$ 328.55	\$ 49,814.39
Acido Fosforito	25.22	\$ 558.09	\$ 14,077.34
Acido sulfúrico	80.58	\$ 70.75	\$ 5,701.35
<b>Total CMP (\$/año)</b>			<b>\$23,628,503.98</b>
<b>Costo de Tratamiento de residuos Industriales (CTR)</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Consumo (Tn/año)</b>	<b>Precio Unit (\$/Tn)</b>	<b>CTR (\$/año)</b>
Efluente ácido pretratamiento	4,731.74	\$ 178.35	\$ 843,905.87
Aqua con glicerina	8,826.93	\$ 44.28	\$ 390,856.67
<b>Total CTR (\$/año)</b>			<b>\$ 1,234,762.54</b>
<b>Costo servicios Industriales (CSI)</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Consumo (Tn/año)</b>	<b>Precio Unit (\$/Tn)</b>	<b>CTR (\$/año)</b>
Vapor de baja presión	3,005.20	\$ 8.14	\$ 24,462.37
Agua de enfriamiento	2,423,767.45	\$ 0.01	\$ 19,874.89
Agua de proceso (solvente)	11,796.24	\$ 0.05	\$ 580.37
<b>Tipo</b>	<b>Consumo (KW h/año)</b>	<b>Precio Unit (\$/KW hora)</b>	<b>CTR (\$/año)</b>
Energía eléctrica	67,760.75	\$ 0.10	\$ 6,776.08
<b>Total CSI (\$/año)</b>			<b>\$ 51,693.71</b>
<b>Costo mano de obra operativa (CMDO)</b>			
<b>Materia Prima</b>	<b>NK</b>	<b>LS(K)</b>	<b>LS(K)*NK</b>
Bombas	19.00	-	-
Reactores	2.00	0.5	1.0
Intercambiadores	12.00	0.1	1.2
Torres	5.00	0.3	1.6
Separadores sólido/liquido	1.00	0.2	0.2
LS=∑LS(K)NK	4.00	Ty	1,080
Sop	\$ 12,000.00	Ly(op)	245
Nop	16.00	<b>Total CMDO</b>	<b>\$192,000.00</b>
<b>Costo por Depreciación</b>			
		CDEP	\$606,952.69
<b>Costo de Mantenimiento</b>			
		CMNT	\$ 24,695.25

El costo de producción de un barril de biodiesel se calculó en US\$ 91,16 con un precio de venta de un barril de biodiesel en US\$ 130,00 considerando una utilidad de 10%.

Ver tabla 6.5.

**Tabla 6.5:** Precio de venta del biodiesel

		<b>US\$</b>	<b>Us\$/Gal</b>	<b>US\$/BI</b>
<b>Costos Fijos</b>				
Costo mano de obra operativa (CMDO)		\$ 192,000.00		
Costo de Mantenimiento (CMNT)		\$ 24,695.25		
<b>Costos Variables</b>				
Costo de Materias Primas		\$23,628,503.98		
Costo de Tratamiento de residuos Industriales (CTR)		\$ 1,234,762.54		
Costo servicios Industriales (CSI)		\$ 51,693.71		
<b>Costo de Producción</b>				
		\$25,131,655.48	2.17	91.16
<b>Utilidad</b>	10%	\$ 2,435,257.42	0.21	8.83
<b>Valor de Venta</b>		\$27,566,912.90	2.38	100.00
<b>Impuestos</b>	30%	\$ 8,270,073.87	0.71	30.00
<b>Precio de Venta</b>		\$35,836,986.76	3.10	130.00

Se calculó en base a la tabla 6.5, los precios en S./Gal de las diferentes mezclas permitidas para la comercialización de biodiesel; se tomó como precio base del biodiesel en US\$ 130.00 por barril, el del diesel en US\$ 105.00 (Precio a Noviembre 2007) y el tipo de cambio se considero en 3.0 S./US\$. Ver tabla 6.6.

**TABLA 6.6: Precios de mezclas biodiesel-diesel**

	<b>Diesel</b>	<b>B2</b>	<b>B5</b>	<b>B20</b>	<b>B100</b>
<b>Precios Diesel</b>	S/. 7.50	S/. 7.35	S/. 7.13	S/. 6.00	
<b>Precios Biodiesel</b>		S/. 0.19	S/. 0.46	S/. 1.86	S/. 9.29
<b>Precio Mezcla</b>	<b>S/. 7.50</b>	<b>S/. 7.54</b>	<b>S/. 7.59</b>	<b>S/. 7.86</b>	<b>S/. 9.29</b>
<b>Impuestos</b>	<b>S/. 3.26</b>	<b>S/. 3.26</b>	<b>S/. 3.27</b>	<b>S/. 3.33</b>	<b>S/. 1.76</b>
Rodaje (8%)	S/. -				
ISC (Valor Fijo)	S/. 1.54	S/. 1.54	S/. 1.54	S/. 1.54	
IGV (19%)	S/. 1.72	S/. 1.72	S/. 1.73	S/. 1.79	S/. 1.76
<b>Precios ExPlanta</b>	<b>S/. 10.76</b>	<b>S/. 10.80</b>	<b>S/. 10.86</b>	<b>S/. 11.18</b>	<b>S/. 11.05</b>
<b>Comercialización</b>	<b>S/. 1.25</b>				
<b>Precio Venta (S/./Gal)</b>	<b>S/. 12.01</b>	<b>S/. 12.05</b>	<b>S/. 12.11</b>	<b>S/. 12.43</b>	<b>S/. 12.30</b>
<b>Variación (%)</b>		<b>0.35%</b>	<b>0.88%</b>	<b>3.54%</b>	<b>2.43%</b>

De la tabla anterior se nota una variación en el precio al consumidor mínima con respecto a la mezcla con 2 % de inclusión (S/. 0.04 por galón). Esta variación tiende a aumentar en las demás mezclas debido al mayor porcentaje de inclusión de biodiesel.

El ingreso por ventas en el año 2009 se muestra en la tabla 6.7. Para la glicerina al 95%, se tomó un valor de US\$ 1 200/ton y el precio del fosfato de sodio se fijó en US\$ 730/ton de acuerdo a lo consultado con algunos proveedores locales.

**TABLA 6.7:** Ingreso por ventas año 2009

<b>Producto</b>	<b>Producción (MB/año)</b>	<b>Precio Unit (\$/Bls)</b>	<b>Ventas (\$/año)</b>
Biodiesel	275.67	\$ 130.00	\$35,836,986.76
<b>Tipo</b>	<b>Producción (Tn/año)</b>	<b>Precio Unit (\$/Tn)</b>	<b>Ventas (\$/año)</b>
Glicerina	3,442.05	\$ 1,200.00	\$ 4,130,461.71
Fosfato de sodio	100.72	\$ 730.00	\$ 73,528.71
<b>Total V(\$/año)</b>			<b>\$40,040,977.18</b>

#### **VI.4. FLUJO DE CAJA**

Para el proyecto se ha fijado un horizonte de vida de 1 año de construcción y 10 años de operación, una tasa de impuestos del 30% y una tasa mínima de retorno (TMR) del 20%. Para el cálculo de las ventas, se ha considerado como constante el valor del barril de biodiesel (US\$ 130.00) en el periodo de estudio, debido a que no se cuenta con un indicador el cual pueda inferir en la proyección de precios del barril de biodiesel. En el cálculo de la depreciación se utilizó el método de la línea recta a 10 años. El flujo de caja y sus indicadores se muestran en la tabla 6.8.

##### **VI.4.1. Valor actual neto (VAN)**

La tabla 6.8 detalla el valor actual neto (VAN) del proyecto, el cual es de US\$ 143'469.771, considerando una inversión de US\$ 6'069,952.69.

#### **VI.4.2 Tasa interna de retorno (TIR)**

La tabla 6.8 muestra la tasa interna de retorno (TIR), la cual es de 199.28 %, valor que al ser contrastado con la tasa mínima de retorno (20%), demuestra la elevada rentabilidad económica del proyecto.

#### **VI.4.3. Periodo de recuperación de la inversión (PAYOUT)**

En la tabla 6.8 se muestra el periodo de recuperación de la inversión, el cual es de 0.6 años.

**TABLA 6.8: Flujo de caja**

Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Inversion</b>	\$ 6,069,526.85	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Ingresos</b>											
Ventas	\$ -	\$ 40,040,977.18	\$ 40,397,355.95	\$ 108,486,727.52	\$ 108,706,049.27	\$ 113,717,170.81	\$ 118,270,089.29	\$ 122,125,479.80	\$ 125,383,713.35	\$ 125,383,713.35	\$ 125,383,713.35
<b>Total</b>	\$ -	\$ 40,040,977.18	\$ 40,397,355.95	\$ 108,486,727.52	\$ 108,706,049.27	\$ 113,717,170.81	\$ 118,270,089.29	\$ 122,125,479.80	\$ 125,383,713.35	\$ 125,383,713.35	\$ 125,383,713.35
<b>Egresos</b>											
Costo MP	\$ -	\$ 23,628,503.98	\$ 23,838,805.97	\$ 64,018,893.98	\$ 64,148,317.51	\$ 67,105,420.80	\$ 69,792,134.77	\$ 72,067,231.64	\$ 73,989,941.77	\$ 73,989,941.77	\$ 73,989,941.77
Costo TR	\$ -	\$ 1,234,762.54	\$ 1,245,752.36	\$ 3,345,456.49	\$ 3,352,219.82	\$ 3,506,750.15	\$ 3,647,150.65	\$ 3,766,041.15	\$ 3,866,516.83	\$ 3,866,516.83	\$ 3,866,516.83
Costo SI	\$ -	\$ 51,693.71	\$ 52,153.80	\$ 140,058.56	\$ 140,341.71	\$ 146,811.16	\$ 152,889.07	\$ 157,866.46	\$ 161,872.91	\$ 161,872.91	\$ 161,872.91
Costo MDO	\$ -	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00
Depreciacion	\$ -	\$ 606,952.69	\$ 606,952.69	\$ 606,952.69	\$ 606,952.69	\$ 606,952.69	\$ 606,952.69	\$ 606,952.69	\$ 606,952.69	\$ 606,952.69	\$ 606,952.69
<b>Total</b>	\$ -	\$ 25,713,912.91	\$ 25,935,664.81	\$ 68,303,361.72	\$ 68,439,831.73	\$ 71,557,934.80	\$ 74,390,927.17	\$ 76,789,892.13	\$ 78,817,284.19	\$ 78,817,284.19	\$ 78,817,284.19
<b>Utilidad Bruta</b>	\$ -	\$ 14,327,064.27	\$ 14,461,691.13	\$ 40,183,365.80	\$ 40,266,217.54	\$ 42,159,236.01	\$ 43,879,162.12	\$ 45,335,587.67	\$ 46,566,429.16	\$ 46,566,429.16	\$ 46,566,429.16
Impuestos	\$ -	\$ 4,298,119.28	\$ 4,338,507.34	\$ 12,055,009.74	\$ 12,079,865.26	\$ 12,647,770.80	\$ 13,163,748.64	\$ 13,600,676.30	\$ 13,969,928.75	\$ 13,969,928.75	\$ 13,969,928.75
<b>Utilidad Neta</b>	\$ -	\$ 10,028,944.99	\$ 10,123,183.79	\$ 28,128,356.06	\$ 28,186,352.28	\$ 29,511,465.21	\$ 30,715,413.49	\$ 31,734,911.37	\$ 32,596,500.41	\$ 32,596,500.41	\$ 32,596,500.41
Valor Rescate	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1,131,441.45
<b>Total</b>	\$ (6,069,526.85)	\$ 10,028,944.99	\$ 10,123,183.79	\$ 28,128,356.06	\$ 28,186,352.28	\$ 29,511,465.21	\$ 30,715,413.49	\$ 31,734,911.37	\$ 32,596,500.41	\$ 32,596,500.41	\$ 33,727,941.86

<b>VAN AL 12%</b>	<b>143,469,771</b>	<b>US\$</b>
<b>TIR</b>	<b>199.28</b>	<b>%</b>
<b>PAYOUT</b>	<b>0.6</b>	<b>Año</b>

## **VI.5. PUNTO DE EQUILIBRIO**

El punto de equilibrio se define como el nivel de ventas con el cual se cubren todos los costos de operación fijos y variables, es decir, el nivel en el cual las utilidades antes de impuestos son iguales a cero.

El punto de equilibrio permite determinar el nivel de operaciones que debe mantener para cubrir todos sus costos de operación y para evaluar la rentabilidad a diferentes niveles de ventas. En la tabla 6.9 se muestra el punto de equilibrio en unidades producidas (MB) durante el periodo 2009-2018; observando un valor de 74,43 MB en el año 2009 y 221,47 MB al año 2018.

## **VI.6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**

El análisis de sensibilidad ha sido realizado tomando en cuenta los factores más influyentes en las perspectivas económicas del proyecto: valor del materia prima (aceite), volumen de ventas proyectado, costo de procesamiento e inversión necesaria dentro de un rango de variación de +/-30%. Dentro de estas variables, el precio del aceite es la principal variable que afecta el costo de producción y la rentabilidad del proyecto. A continuación se analiza el efecto de de dichas variables sobre la rentabilidad del proceso diseñado.

**TABLA 6.9: Punto de equilibrio**

<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Costo Fijo Total</b>	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00	\$ 192,000.00
<b>Precio de Venta Unitario</b>	\$ 130.00	\$ 130.00	\$ 130.00	\$ 130.00	\$ 130.00	\$ 130.00	\$ 130.00	\$ 130.00	\$ 130.00	\$ 130.00
<b>Costo Variable Unitario</b>	\$ 90.38	\$ 90.38	\$ 90.38	\$ 90.38	\$ 90.38	\$ 90.38	\$ 90.38	\$ 90.38	\$ 90.38	\$ 90.38
<b>Punto de Equilibrio (MB)</b>	74.43	75.05	192.35	192.73	201.37	209.21	215.85	221.47	221.47	221.4

#### **VI.6.1. Análisis de sensibilidad al valor de la materia prima (aceite)**

Para este caso se ha realizado una proyección del comportamiento de los indicadores de rentabilidad ante una variación gradual del volumen de la materia prima hasta de +-30% debido a la influencia de sucesos ambientales en las zonas de cultivo, transporte, plagas y recesión económica. Ver tabla 6.10.

Según los valores obtenidos de VAN (US\$ 8'542,772) y TIR (21,62%), el valor de la materia prima (aceite) puede aumentar hasta en un 57 % (precio de compra de US\$ 486,81 a US\$ 764,29 por tonelada) con un PAYOUT de 3.07 años y el proyecto sigue siendo rentable.

#### **VI.6.2. Análisis de sensibilidad al volumen de ventas**

Para este caso se ha realizado una proyección del comportamiento de los indicadores de rentabilidad ante una variación gradual del volumen de ventas hasta de +-30% debido a la influencia de recesión económica, ingreso de producto proveniente de países competidores (Brasil, Argentina). Ver tabla 6.11.

Según los valores obtenidos de VAN (US\$ 18'994,39) y TIR (28,90 %), el volumen de ventas puede disminuir hasta en un 34 % con un PAYOUT de 10,51 años y el proyecto sigue siendo rentable.

### **VI.6.3. Análisis de sensibilidad al costo de procesamiento**

Para este caso se ha realizado una proyección del comportamiento de los indicadores de rentabilidad ante una variación gradual de los costos de procesamiento hasta de +- 30% debido a la incremento del costos de los servicios, aumento de la demanda y escasez de los mismos. Ver tabla 6.12.

Según los valores obtenidos de VAN (US\$ 20'234,32) y TIR (31,34 %), el costo de procesamiento puede aumentar hasta en un 54 % con un PAYUOT de 9,7 años y el proyecto sigue siendo rentable.

### **VI.6.4. Análisis de sensibilidad a la inversión**

Para este caso se ha realizado una proyección del comportamiento de los indicadores de rentabilidad ante un incremento de la inversión necesaria hasta de 700% debido a la influencia de variación de costeo de equipos, escases de materiales y recesión económica. Ver tabla 6.13.

Según los valores obtenidos de VAN (US\$ 184'754,180) y TIR (44,01%), la inversión necesaria puede aumentar hasta en un 700 % con un PAYOUT de 4,9 años y el proyecto sigue siendo rentable.

**TABLA 6.10: Análisis de sensibilidad al valor de la materia prima (Aceite)**

<b>Materias Primas</b>	<b>70%</b>	<b>80%</b>	<b>90%</b>	<b>100%</b>	<b>110%</b>	<b>120%</b>	<b>130%</b>
VAN	\$ 239,704,414.51	\$ 215,526,570.85	\$ 190,626,429.79	\$ 165,003,991.32	\$ 138,659,255.45	\$ 111,592,222.18	\$ 83,802,891.50
TIR	305.11%	278.31%	251.51%	224.66%	197.68%	170.45%	142.71%
PAYOUT	0.36	0.41	0.46	0.52	0.61	0.74	0.93

**Tabla 6.11: Análisis de sensibilidad al volumen de ventas**

<b>Volumen Ventas</b>	<b>70%</b>	<b>80%</b>	<b>90%</b>	<b>100%</b>	<b>110%</b>	<b>120%</b>	<b>130%</b>
VAN	\$ 36,171,996.27	\$ 79,115,994.62	\$ 122,059,992.97	\$ 165,003,991.32	\$ 207,947,989.67	\$ 250,891,988.02	\$ 293,835,986.37
TIR	59.55%	119.14%	172.70%	224.66%	276.16%	327.60%	379.13%
PAYOUT	3.24	1.19	0.73	0.52	0.41	0.34	0.28

**TABLA 6.12:** Análisis de sensibilidad al costo del procesamiento

<b>Costos Operación</b>	<b>70%</b>	<b>80%</b>	<b>90%</b>	<b>100%</b>	<b>110%</b>	<b>120%</b>	<b>130%</b>
<b>VAN</b>	\$ 245,431,586.60	\$ 218,622,388.17	\$ 191,813,189.75	\$ 165,003,991.32	\$ 138,194,792.89	\$ 111,385,594.47	\$ 84,576,396.04
<b>TIR</b>	321.41%	289.17%	256.94%	224.66%	192.22%	159.43%	125.87%
<b>PAYOUT</b>	0.30	0.40	0.40	0.52	0.60	0.80	1.10

**TABLA 6.13:** Análisis de sensibilidad a la inversión

<b>Inversión</b>	<b>100%</b>	<b>200%</b>	<b>300%</b>	<b>400%</b>	<b>500%</b>	<b>600%</b>	<b>700%</b>
<b>VAN</b>	\$ 165,003,991.32	\$ 168,295,689.56	\$ 171,587,387.80	\$ 174,879,086.04	\$ 178,170,784.28	\$ 181,462,482.52	\$ 184,754,180.76
<b>TIR</b>	224.66%	126.22%	90.92%	71.84%	59.52%	50.72%	44.01%
<b>PAYOUT</b>	0.50	1.10	1.70	2.40	3.10	4.00	4.90

## **VII. EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL**

### **VII.1. INTRODUCCIÓN**

El crecimiento vertiginoso del nivel de contaminación hace particularmente importante las acciones de implementar el biodiesel como una manera de reducir la contaminación en los centros urbanos a fin de proteger la salud de la población.

El biodiesel es un combustible ecológico, renovable y de mucho menor nivel de contaminación que el diesel, que debe contribuir a mejorar la calidad del aire con una sustantiva reducción de emisiones ( $\text{SO}_x$ , material particulado) y contribuir a disminuir el egreso de divisas por importación del diesel.

La implementación de un programa de inclusión del biodiesel calificaría para ser considerado como un proyecto MDL. Sobre todo teniendo en cuenta los extremadamente altos contenidos de azufre en el diesel que se comercializa en el mercado nacional, la incorporación del biodiesel en mezclas con el diesel reducirá la contaminación que se presenta actualmente con la quema del diesel.

Se reducirán las emisiones de compuestos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) -dado que el biodiesel no contiene azufre-, las emisiones tóxicas de material particulado (10 pm y pm 2,5) se reducen hasta en un 65 % en relación al diesel; se reducirán hasta en un 50 % las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en comparación al diesel. Se reduce en un 90 % la cantidad de hidrocarburos totales no quemados.

El biodiesel no contiene productos orgánicos aromáticos (benceno, benzopirenos y derivados) que son sustancias cancerígenas. El biodiesel recicla el  $\text{CO}_2$  de la

atmósfera a través del proceso de fotosíntesis de las plantas, contribuyendo a detener el efecto invernadero que genera la combustión de combustibles fósiles.

El precio para valorizar la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente no emitido en razón a la sustitución de combustibles fósiles es de aproximadamente US\$ 5, el ingreso adicional por este concepto alcanzaría un monto de 0,087 US\$/galón de biodiesel producido. Asumiendo una producción anual de 860 MB a partir del 2016, los ingresos potenciales a través del MDL serían de 3.14 MMUS\$ anuales.

La elaboración de biodiesel es una actividad productiva relacionada con el medio ambiente, por lo cual se hace necesario realizar un estudio con miras a adoptar medidas de amortiguación y disminución de los posibles impactos negativos en el medio.

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto tiene como objetivo la identificación, cuantificación, predicción e interpretación de los impactos reales y potenciales, tanto de carácter perjudicial como benéfico, para prevenir, con medidas de control o seguimiento, dichos impactos en el medio natural y aspectos socioeconómicos de la localidad.

Los principales efectos negativos generados por la producción de biodiesel al medio ambiente son la contaminación mediante efluentes y la interferencia con otras actividades. Sin embargo, en términos generales el efecto del proyecto es de carácter benéfico para la localidad debido a la generación de puestos de trabajo, creación de una nueva actividad productiva en la zona.

## **VII.2. EVALUACIÓN DE IMPACTOS**

El análisis y evaluación de impactos está sustentado en la aplicación de una matriz simple basada en el esquema básico de Leopold, en el cual se considera la interacción de los componentes ambientales con las posibles actividades del proyecto. Este método consiste en indicar la magnitud del impacto, es decir, el grado de extensión o escala del impacto precedido del signo + o – según sea, un impacto positivo o negativo. La magnitud se puntúa del 1 al 10: 1 si la alteración es mínima y 10, si es máxima (el cero no es válido).

En la Tabla 7.1, se puede observar la evaluación de impactos ambientales del proyecto, los cuales dan un resultado de -13 puntos y + 8 puntos, pero la importancia de estos resultados, como se puede observar, se encuentran dentro de una alteración mínima del medio ambiente. En cuanto a los impactos asociados al medio socio económico y cultural, cuyos resultados se observan en la tabla 7.2, el proyecto tiene un impacto favorable, obteniéndose + 25 puntos. En conclusión, la actividad a realizar no es perjudicial para la zona.

**TABLA 7.1: Impactos asociados al medio ambiente**

<b>Situación</b>	<b>Impactos</b>	<b>Efectos</b>	<b>Jerarquización</b>
Producción de Biodiesel	Emanación de gases de combustión	Disminución de gases de combustión de efecto invernadero	Positivo (+8)
Uso de materias primas químicas (Metanol, ac. Sulfúrico, ac. Fosfórico, soda) en la planta.	Potencial peligro de contaminación por desechos sólidos y líquidos.	Contaminación y alteración del ambiente costero aledaño a la planta.	Negativo (-2)
	Potencial derrame de productos químicos en tierra.	Contaminación del suelo.	Negativo (-2)
	Potencial emanación de vapores tóxicos de productos químicos volátiles.	Contaminación del aire	Negativo (-2)
Generación de altas cantidades de efluentes que son introducidos a los desagües o al medio marino.	Potencial incremento de PH del agua.	Posible contaminación en cultivos de las zonas aledañas.	Negativo (-1).
		Posible contaminación del litoral de las zonas aledañas.	Negativo (-2).
Uso del área marina costera para el vertimiento de efluentes.	Disminución del área a la pesca artesanal, actividades portuarias, navegación, turismo y recreativas, etc.	Posibles conflictos con otros usuarios de la zona marina costera.	Negativo (-1)
		Protección de la fauna marina.	Negativo (-2)
Empleo de estructuras de planta (Columnas, Tanques, Tuberías, etc.)	Alteración escénica del medio ambiente natural.	Disminución de la calidad paisajística natural de la zona.	Negativo (-1)

**TABLA 7.2:** Impactos asociados al medio económico y social

<b>Situación</b>	<b>Impactos</b>	<b>Efectos</b>	<b>Jerarquización</b>
Disminución de la importación de diesel	Variación en la balanza comercial de diesel	Mejor balanza comercial	Positivo (+ 5)
Producción de biodiesel en Refinería Conchán	Cumplimiento de legislación Vigente	Cumplimiento de legislación Vigente	Positivo (+ 3)
	Incremento del precio de venta	Poca variación en el precio de venta de biodiesel-diesel	Positivo (+ 2)
	Uso de biocombustibles por el público consumidor	Concientización del público consumidor en el uso de biocombustibles.	Positivo (+ 5)
	Incremento de producción	Aceleración de la actividad productiva y económica de Refinería Conchán	Positivo (+ 5)
		Incentiva la creación de nuevas actividades colaterales.	Positivo (+ 5)

En la tabla 7.3, se observa la matriz simple de identificación, cuantificación y de evaluación de impactos potenciales del proyecto, en el cual se concluye que esta actividad no es perjudicial.

**TABLA 7.3:** Matriz simple de identificación, cuantificación y de evaluación de impactos

	Factores Ambientales		Identificación		Jerarquización	
	Componentes	Elementos	SI	NO	(+)	(-)
Medio Físico	Cuerpo receptor potencial	Cambios en la calidad de agua por efecto de la operación	X			-3
	Calidad de agua y drenaje	Contaminación microbiológica en la fuente de agua		X		
		Contaminación física de la fuente de agua (sedimentos).	X			-2
		Drenaje de efluentes controlados	X		1	
		Efluentes con incremento en la calidad orgánica (áreas de cultivo).		X		
Medio Biológico	Flora	Deforestación		X		
		Pérdida de especies		X		
		Cambios en la estructura de los bosques		X		
		Pérdida de cobertura vegetal		X		
	Fauna	Introducción de fauna exótica		X		
		Creación de nuevos hábitats		X		
		Pérdida de especies		X		
		Cambios en la diversidad biológica		X		
		Repercusión de la fauna local por ruido		X		
		Interacciones entre la población cultivada y las especies silvestres		X		
		Alteración del pool genético		X		
		Interacciones en la cadena alimenticia		X		
	Ecológico	Eutrofización de ríos y zonas someras.		X		
		Salinización y mineralización de los suelos.		X		
		Contaminación de cuerpo de agua receptor.		X		
		Disminución de la diversidad de flora y fauna.		X		
Pérdida de hábitats.			X			
Introducción de cuerpo de agua y/o vectores.			X			
Alteración espacial			X			

**TABLA 7.3 (Cont.): Matriz simple de identificación, cuantificación y de evaluación de impactos**

		<b>Factores Ambientales</b>		<b>Identificación</b>		<b>Jerarquización</b>	
		<b>Componentes</b>	<b>Elementos</b>	<b>SI</b>	<b>Componentes</b>	<b>Elementos</b>	<b>SI</b>
<b>Medio Socio – Económico</b>	<b>Cultura Patrimonio</b>		Cambios en el paisaje	X			-1
		-	Pérdida o transformación de los recursos Arqueológico		X		
					X		
	<b>Población Hombre</b>		Cambios en el estilo de vida		X		
		-	Empleo	X		2	
			Desempleo		X		
			Migración		X		
	<b>Actividad</b>		Diversificación de la actividad económica	X		5	
			Pérdida de mal tiempo		X		
			Disminución de la mano de obra calificada		X		
		Cultivo agrícola y revalorización de tierras.	X		5		
		<b>Total de impactos</b>				<b>13</b>	<b>-6</b>

### **VII.3. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL**

El objetivo del Plan de Manejo Ambiental (PMA) de la planta de producción de biodiesel es formular un conjunto de acciones para prevenir, mitigar, corregir y evitar los impactos ambientales negativos del centro al ambiente y viceversa.

### **VII.4. PROGRAMA DE MONITOREO AMBIENTAL (PMoA)**

El objetivo del programa de monitoreo ambiental es evaluar e identificar las condiciones ambientales y del agua para determinar las acciones de seguimiento y control correspondientes.

## **VII.5. PLAN DE CONTINGENCIA (PC)**

El Plan de Contingencia norma los procedimientos y acciones a tomar en caso que ocurra alguna emergencia natural (sismos, maremotos, inundaciones, etc) con la finalidad de proteger el área de influencia del proyecto.

Para el ámbito del proyecto las principales emergencias que podrían darse son maremotos, sismos, explosiones e incendios, derrames de productos químicos y de productos terminados, etc.

El Plan de Contingencia debe presentar en su contenido el procedimiento de notificación a seguir para reportar el incidente y establecer la comunicación entre el personal en el lugar de emergencia, la oficina local de Defensa Civil y otras entidades públicas y privadas de competencia.

Asimismo, el procedimiento de entrenamiento de personal en técnicas de emergencia y respuesta, la descripción general del área de operaciones con mapas indicando los puntos críticos y de seguridad y una lista de contratistas que forma parte de la estructura de respuesta como personal médico, bomberos, etc.

## **VII.6. PLAN DE ABANDONO (PAB)**

El Plan de Abandono (PAB) del área o instalación se denomina también Plan de Cierre y es el conjunto de acciones o medidas que se deben adoptar en el caso que la operatividad de la planta se discontinúe en forma temporal o permanente con la finalidad de evitar efectos adversos al ambiente, la salud y el bienestar humano,

producidos por los residuos sólidos, líquidos u otros que puedan ocurrir en el corto, mediano y largo plazo. Es decir, busca el reacondicionamiento o recuperación del área en desuso a sus condiciones originales.

#### **VII.6.1. Plan de Abandono Temporal**

El Plan de Abandono Temporal se aplica cuando las operaciones se suspenden por un tiempo determinado con posibilidades de reinicio de actividades. Comprende el asignamiento de personal encargado de la seguridad de las instalaciones, establecer un programa periódico de mantenimiento, sellado de áreas potencialmente peligrosas para el medio ambiente y programar inspecciones periódicas de seguridad.

#### **VII.6.2            Plan de Abandono Parcial**

Para el caso de Plan de Abandono Parcial se debe tomar como medidas particulares, la independización del área que continuará operando de aquella que se abandonará; la delimitación de la zona operativa y la zona que no se utilizará, debe ser restituida a las condiciones originales y la actualización de los planos con las modificaciones realizadas.

#### **VII.6.3 .            Plan de Abandono Total**

Una vez decidido el abandono de las instalaciones se debe tomar las siguientes consideraciones:

1. Establecer un programa de monitoreo de la zona de abandono para verificar los efectos comparativos y realizar las correcciones correspondientes.
2. Determinar los equipos que permanecerán en la zona del proyecto.
3. Evaluar la presencia de sustancias contaminantes o peligrosas en los equipos e instalaciones que se quedan y de ser así, proceder a su evacuación.
4. Evacuar los insumos o materiales contaminantes en stock que se encuentre en la zona a abandonar.
5. Recuperación de las zonas contaminadas
6. Brindar facilidades para la reasignación del personal que deseen emigrar debido al abandono del proyecto.
7. Indicar en un plano los focos críticos y realizar un video de la zona al momento del abandono para posteriores comparaciones.
8. Evacuar los insumos o materiales contaminantes en stock que se encuentren en la zona a abandonar.

En el caso de abandono del proyecto y no se considere continuar con la producción de otros productos se deberá seguir el siguiente proceso:

1. Retiro de todas las materias primas (aceite, ácido sulfúrico, ácido fosfórico, metanol, soda) del proceso de producción.
2. Desmontaje de equipos rotativos (bombas) para ser reutilizados en otros procesos.
3. Desmontaje de equipos estáticos (columnas, separadores, tanques agitadores, intercambiadores).

- 4. Reducción a escombros de las instalaciones civiles, de manera que puedan ser trasladadas a zonas de relleno.**
- 5. Reasignación de personal operativo hacia otras unidades de trabajo dentro de la refinería.**

## **VIII. CONCLUSIONES**

- VIII.1.** La demanda insatisfecha de diesel por parte de Operaciones Conchán se ha incrementado en un 24,7% durante el periodo 2000-2006.
- VIII.2.** El diesel continuará siendo el combustible de mayor demanda en el periodo de estudio, se estima que su consumo será de 73,6 MBPD en el año 2016; este incremento se debe, principalmente, al crecimiento económico del país y su alto consumo en el transporte y maquinaria pesada.
- VIII.3.** La balanza de comercial de diesel tenderá a disminuir con la inclusión del biodiesel desde el año 2009, debido a la menor importación de este producto. Pero la balanza comercial de productos oleaginosos tendera a aumentar si es que no se comienza a establecer un plan de cultivos, con miras a satisfacer esta nueva demanda.
- VIII.4.** La demanda de biodiesel de PETROPERU se incrementará desde 275,7 MB en el año 2009 a 863,2MB en el año 2016, en adelante. Esta estará concentrada en la ciudad de Lima (62% del parque automotor), al ser ésta el mayor consumidor de combustibles de país.

- VIII.5. PETROPERU no puede crear una dependencia de biodiesel, ya que estaría sujeto a las diferentes estrategias de los productores de este producto orientadas al aumento de sus propias utilidades.
- VIII.6. El rendimiento por hectárea de biodiesel de la palma aceitera (30 BI/ha) es muy superior a la canola (6 BI/Ha), por tanto la demanda de tierras nuevas de cultivo para satisfacer la demanda de biodiesel es menor en el caso de la palma con respecto a la canola.
- VIII.7. Se observa que el rendimiento tanto del biodiesel como glicerina se comporta de forma similar a diferentes tiempos de reacción y temperaturas, independientemente del catalizador utilizado. Esto se debe a la similitud de las materias primas utilizadas, pero cabe resaltar que se obtiene un menor rendimiento al utilizar una materia prima usada, debido al proceso de descomposición por parte de la fritura al cual ha sido sometido.
- VIII.8. Al evaluar los diferentes parámetros (punto de inflamación, viscosidad, índice de cetano, destilación, punto de fluidez y gravedad específica) se observa que al efectuar una comparación entre los resultados obtenidos entre la materia prima nueva y usada, se obtienen resultados muy similares notándose una variación ligera en algunos parámetros (destilación, índice de cetano, punto de fluidez y viscosidad) dependiendo del catalizador utilizado. También los valores

obtenidos se encuentran en su gran mayoría dentro de las especificaciones de biodiesel (exceptuando en punto de inflamación), esperando que los valores que se obtengan de la mezcla (biodiesel y diesel-2) sean mejores en cuanto a la disminución de las emisiones contaminantes (reducción del porcentaje de azufre y gases tóxicos), aumento de las propiedades carburantes (índice de cetano) y seguridad (almacenaje y transporte). Por tanto, es recomendable trabajar con una materia prima (aceite) nueva para obtener mejores resultados.

VIII.9. Los resultados obtenidos en las corridas evaluadas a escala laboratorio muestran que la temperatura óptima de reacción es de 60 °C, debido a que esta temperatura aporta un adecuado equilibrio en el rendimiento del biodiesel y glicerina, respecto a los reactantes.

VIII.10. Los resultados en las corridas evaluadas a escala laboratorio muestran que el tiempo óptimo de reacción a escala de laboratorio es de 140 minutos, debido a que se da mayor contacto entre los reactantes. Además las corridas realizadas utilizando como catalizador con KOH mostraron mejores resultados que las de NaOH; pero se ha escogido como catalizador al segundo debido a su precio en el mercado.

VIII.11. Los resultados obtenidos en la evaluación del porcentaje óptimo de inclusión de biodiesel en diesel, permitió observar que las propiedades de la mezcla en los

porcentajes de 2% y 5% cumplen con las especificaciones del diesel (requisito para su comercialización en mezcla).

VIII.12.Las corridas realizadas en Operaciones Conchán muestran un porcentaje de inclusión máximo de biodiesel en diesel de 20%.

VIII.13.El costo de producción de un barril de biodiesel es de US\$ 91.16 y un precio de venta de un barril de biodiesel de US\$ 130.00 considerando una utilidad de 10%.

VIII.14.Los precios de las diferentes mezclas permitidas para la comercialización de biodiesel muestran una variación mínima en el precio para consumidor (B2: 0,35%, B5: 0,88%, B20: 3,54% y B100: 2,43%). Debido a que en el año 2009 la comercialización de biodiesel al 2% en mezcla será obligatoria, la variación de precios no será un factor sensible que afecte al público consumidor.

VIII.15.La tasa interna de retorno (TIR) supera a la tasa mínima de retorno (TMR) y tiene un valor actual neto (VAN) positivo. Esta conclusión está sujeta a la suposición de que todos los subproductos (glicerina, fosfato sódicos) podrán ser comercializados y vendidos a los precios fijados. Dicha suposición se debe justificar con un estudio de mercado adecuado que escapa al alcance de este trabajo.

VIII.16.El punto de equilibrio del proyecto para el periodo de estudio representa aproximadamente entre el 27% al 35% de la producción anual.

VIII.17.De los diferentes análisis de sensibilidad realizados se observa que el valor de la materia prima es el que más repercute en la rentabilidad del proyecto.

VIII.18.La implementación de un programa de inclusión del biodiesel calificaría para ser considerado como un proyecto MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio). Debido a que la incorporación del biodiesel en mezclas con el diesel reduciría la contaminación que se presenta actualmente con la quema del diesel. El biodiesel recicla el CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través del proceso de fotosíntesis de las plantas, contribuyendo a detener el efecto invernadero que genera la combustión de combustibles fósiles.

VIII.19.El precio para valorizar la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente no emitido en razón a la sustitución de combustibles fósiles es de aproximadamente US\$ 5, el ingreso adicional por este concepto alcanzaría un monto de 0,087 US\$/galón de biodiesel producido. Asumiendo una producción anual de 860 MB a partir del 2016, los ingresos potenciales a través del MDL serían de 3.14 MMUS\$ anuales.

VIII.20.La evaluación de impactos ambientales del proyecto muestra una alteración mínima del medio ambiente. En cuanto a los impactos asociados al medio socio económico y cultural el proyecto tiene un impacto favorable. En conclusión, la

**actividad de producir biodiesel en la Refinería Conchán no es perjudicial para la zona.**

## **IX. RECOMENDACIONES**

- IX.1. Producir biodiesel en Operaciones Conchán, debido a su alta concentración de la demanda dentro de su área de influencia (Lima) y rentabilidad.
  
- IX.2. Manejar la producción de biodiesel desde Operaciones Conchán; realizando el mezclado con el diesel de transferencia de las demás refinerías de PETROPERU (ya que la demanda de diesel será cubierta con el proyecto de ampliación y modernización de Refinería Talara) o vía cabotajes, es decir enviando este producto hacia las otras diferentes plantas de venta para que estas realicen la mezcla.
  
- IX.3. PETROPERU en el caso que optara por la compra y la no producción de biodiesel, debe hacer convenios estratégicos para asegurar un abastecimiento constante de este producto a largo plazo.
  
- IX.4. Producir biodiesel utilizando como materia prima al aceite crudo de palma, ya que dicho aceite demanda una menor cantidad de nuevas áreas de cultivo. Si se tiene escasez de esa materia prima, realizar corridas de prueba con mezclas de diferentes tipos de aceites.
  
- IX.5. Se recomienda para la elaboración de biodiesel, trabajar a una temperatura operación de 60°C, un tiempo de reacción de 140` minutos y utilizar como catalizador NaOH. Además se observa como valor limitante, al realizar una caracterización de la mezcla biodiesel / diesel, el 90% de recuperado de

destilado; luego del cual el producto comienza a descomponerse, por lo tanto se deberá tomar como referencia para establecer la temperatura máxima permisible en el proceso.

- IX.6 Realizar un estudio de mercado para la glicerina y fosfato sódico, obtenidos como subproductos de la elaboración de biodiesel.
  
- IX.7. Realizar una evaluación a escala de laboratorio sobre la inclusión de la glicerina obtenida como subproducto en el pool de residuales. Para evitar la dependencia de la demanda externa de dicho producto y su consecuente inestabilidad de precios.
  
- IX.8 Realizar campañas de marketing, con el objetivo de ir inculcando en el público el consumo de biodiesel; resaltando sus propiedades medio ambientales y su mínima variación en el precio con respecto al diesel.
  
- IX.9 Recalcular el estudio de mercado realizado con los resultados obtenidos del estudio de factibilidad de Modernización de Refinería Talara con el objetivo de obtener pronósticos más detallados.
  
- IX.10 Rehabilitar la estación de servicio (grifo) contiguo a ex Planta de Químicos, para la venta de biocombustibles.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente estudio de pre factibilidad para la producción de biodiesel en refinerías nacionales, definió al sector transporte como mercado objetivo. La presentación del producto es una inclusión del 2%, 5%, 20% y 100% de biodiesel en diesel; denominándose B2, B5, B20 y B100 respectivamente; según lo permitido en el D.S 021.2007 (Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles).

Los objetivos del proyecto son reducir el contenido de azufre en el diesel comercial, disminuir las importaciones de diesel efectuados por Petroperú S.A. con un efecto económico favorable e incrementar la producción de diesel con la inclusión de biodiesel para su comercialización generando mayores oportunidades de trabajo.

La demanda de biodiesel será en promedio unos 277 MB durante los años 2009 y 2010 debido al uso obligatorio de biodiesel en 2% (B2); durante el periodo 2011-2016 se estima una demanda 800 MB dado el incremento de la inclusión en mezcla (5%).

La capacidad productiva durante el periodo 2009-2010 será a un nivel de operación del 27% considerando sólo la demanda del 2% en la formulación del diesel comercial, pero al considerar los otros porcentajes de venta de biodiesel (20% y 100%) podría llegar a un 35%. Durante el periodo 2011-2016 se trabajará a un 80% de la capacidad real de la producción, obteniendo en promedio 863 MB de producto final, lo cual representa una demanda anual de 130 Mton de aceite a procesar.

La ubicación de la planta se encuentra en las instalaciones de Operaciones Conchán; la cual se encuentra ubicada en el kilómetro 26,5 de la carretera Panamericana Sur, Distrito de Lurín, Departamento de Lima. Siendo los factores más favorables su ubicación estratégica dentro del mercado de mayor consumo, la flexibilidad de operación, sistema de distribución y recepción de productos.

Para el presente proyecto se consideró como materia prima base al aceite crudo de palma; además se escogió el proceso combinado de esterificación-transesterificación, debido a que dicho proceso presenta un menor consumo de materias primas y genera una mayor cantidad de biodiesel para una misma cantidad de aceite crudo de entrada con una calidad superior a los otros procesos. El esquema de proceso seleccionado, es el uso de varios CSTR (Continuous Stirred Tank) en serie. El objetivo era ir obteniendo una conversión progresiva a través de los reactores en serie; otorgando las condiciones óptimas de reacción, adecuando el sistema de mezcla y el tiempo de residencia para la reacción.

La inversión de capital fijo asciende a US\$ 6 069 526,85. El costo de los equipos de bombeo, intercambiadores de calor, recipientes a presión, patio de tanques para materias primas y productos representan el 4,74 %, 1,21 %, 8,62 % y 77,92% del costo modular total respectivamente.

El costo de producción de un barril de biodiesel se calculó en US\$ 91,16 con un precio de venta de US\$ 130,00 considerando una utilidad de 10%. Además se hallaron los precios de las diferentes mezclas permitidas para la comercialización de biodiesel B2, B5, B20 y B100 en S/./Gal 12,05, S/./Gal 12,11, S/./Gal 123, y

S./Gal 12,30 respectivamente, tomando como referencia el valor de diesel en S./Gal 12,01.

El proyecto resultó rentable económicamente, siendo el VAN de US\$ 143 1469 711 y la TIR de 199,28%, asimismo presenta un PAYOUT de 0.6 años.

El análisis de sensibilidad se realizó tomando en cuenta los factores más influyentes en las perspectivas económicas del proyecto: valor del materia prima (aceite), volumen de ventas proyectado, costo de procesamiento e inversión necesaria dentro de un rango de variación de +-30%. Dentro de estas variables, el precio del aceite es la principal variable que afecta el costo de producción y la rentabilidad del proyecto. Según los valores obtenidos de VAN (US\$ 8 542 772) y TIR (21,62%), el valor de la materia prima (aceite) puede aumentar hasta en un 57 % (precio de compra de US\$ 486,81 a US\$ 764,29 por tonelada) con un PAYOUT de 3.07 años y el proyecto sigue siendo rentable.

# **ANEXO I**

## **LEY N° 28054**

**EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA**

**POR CUANTO:**

**LA COMISIÓN PERMANENTE DEL CONGRESO DE LA REPÚBLICA;**

**Ha dado la Ley Siguiente:**

### **LEY DE PROMOCIÓN DEL MERCADO DE BIOCOMBUSTIBLES**

#### **Artículo 1°.- Objeto de la Ley**

La presente Ley establece el marco general para promover el desarrollo del mercado de los biocombustibles sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica, con el objetivo de diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, generar empleo, disminuir la contaminación ambiental y ofrecer un mercado alternativo en la Lucha contra las Drogas.

#### **Artículo 2°.- Definición de biocombustibles**

Se entiende por biocombustibles a los productos químicos que se obtengan de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o de otra forma de biomasa y que cumplan con las normas de calidad establecidas por las autoridades competentes.

#### **Artículo 3°.- Políticas Generales**

El poder Ejecutivo implementará las políticas generales para la promoción del mercado de biocombustibles, así como designará a las entidades estatales que deben ejecutarlas.

Son políticas generales:

1. Desarrollar y fortalecer la estructura científico-tecnológica destinada a generar la investigación necesaria para el aprovechamiento de los biocombustibles;
2. Promover la formación de recursos humanos de alta especialización en materia de biocombustibles comprendiendo la realización de programas de desarrollo y promoción de emprendimientos de innovación tecnológica;
3. Incentivar la participación de tecnologías, el desarrollo de proyectos experimentales y la transferencia de tecnología adquirida, que permitan la obtención de biocombustibles mediante la utilización de todos los productos agrícolas o agroindustriales o los residuos de éstos;
4. Incentivar la participación privada para la producción de biocombustibles;
5. Incentivar la comercialización de los biocombustibles para utilizarlos en todos los ámbitos de la economía en su condición de puro o mezclado con otro combustible;

6. Promover la producción de biocombustibles en la Selva, dentro de un Programa de Desarrollo Alternativo Sostenible;
7. Otros que determine el Poder Ejecutivo para el logro de lo establecido en el artículo 1º de la presente Ley.

**Artículo 4º.- Uso de biocombustibles**

El poder Ejecutivo dispondrá la oportunidad y las condiciones para el establecimiento del uso del etanol y el biodiesel.

**Artículo 5º.- Programa de Cultivos Alternativos**

DEVIDA como Ente Rector en la Lucha Contra las Drogas en el Perú, conjuntamente con los Gobiernos Regionales y PROINVERSIÓN elaborarán Proyectos dentro del Programa de Desarrollo Alternativo, que promoverán la inversión privada, así como fondos de Cooperación Internacional en la zona de ceja de selva orientados a la obtención de biocombustibles. Las entidades estatales dentro del portafolio de combustibles, dispondrán la compra de biocombustibles producidos dentro de los programas vinculados a la Lucha contra las Drogas.

**DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS  
Y TRANSITORIAS**

**Primera.-** Créase el Programa de Promoción del uso de Biocombustibles – PROBIOCOM, el cual estará a cargo de PROINVERSIÓN, que tendrá por objeto promover las inversiones para la producción y comercialización de biocombustibles y difundir las ventajas económicas, sociales y ambientales de su uso.

**Segunda.-** Constituyese una Comisión Técnica encargada de proponer y recomendar las normas y disposiciones complementarias para el cumplimiento de la presente Ley, observando los siguientes lineamientos básicos:

- a. Elaborar el cronograma y porcentajes de aplicación y uso del etanol anhidro, como componente para la oxigenación de las gasolinas, así como el uso de biodiesel en el combustible diesel.
- b. Proponer un programa de sensibilización a los usuarios y a las instituciones públicas hacia el uso de etanol anhidro y biodiesel.

**Tercera.-** La Comisión Técnica señalada en la disposición precedente está presidida por un representante del Consejo Nacional del Ambiente – CONAM- e integrada por los representantes de:

- a. Ministerio de Energía y Minas.
- b. Ministerio de Economía y Finanzas.
- c. Ministerio de Agricultura.
- d. Agencia de Promoción de la Inversión PROINVERSIÓN.
- e. Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas – DEVIDA.
- f. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía.
- g. Asociación Peruana de Productores de Azúcar y Biocombustibles.

**Cuarta.-** La Comisión Técnica, referida en la disposición segunda, tendrá un plazo de ciento ochenta días desde la entrada en vigencia de la presente Ley, para remitir al Poder Ejecutivo sus propuestas y recomendaciones.

**Quinta.-** El Poder Ejecutivo reglamentará la presente Ley en un plazo no mayor a noventa días de recibida la propuesta de la Comisión Técnica.

Comuníquese al señor Presidente de la República para su promulgación.

En Lima, a los quince días del mes de julio de dos mil tres.

**CARLOS FERRERO**  
Presidente del Congreso de la República

**HILDEBRANDO TAPIA SAMANIEGO**  
Tercer Vicepresidente del Congreso de la República

**AL SEÑOR PRESIDENTE CONSTITUCIONAL DE LA REPÚBLICA**

**POR TANTO:**

Mando se publique y cumpla.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los siete días del mes de agosto del año dos mil tres.

**ALEJANDRO TOLEDO**  
Presidente Constitucional de la República

**BEATRIZ MERINO LUCERO**  
Presidenta del Consejo de Ministros.

# **ANEXO II**

"intereses en conflicto": la situación en la que los intereses personales de los servidores públicos que prestan servicios en los órganos de gestión y administración del Ministerio de Educación, colisionan con el interés público y el ejercicio de sus funciones, entendiéndose que cualquier actuación que realicen debe estar dirigida a asegurar el interés público y no a favorecer intereses personales o de terceros.

8.8 Ser postores y/o contratistas en los procesos de selección que se convoquen en las Unidades Ejecutoras del Sector Educación, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 9° del TUO de la Ley de Contrataciones y Adquisiciones del Estado, aprobado por Decreto Supremo N° 083-2004-PCM.

8.9 En los casos en que se formulen consultas profesionales especializadas o se recurra a servicios de investigación u otros similares, se exigirá contractualmente a los terceros la confidencialidad en la información.

#### IX. LINEAMIENTOS DE CONDUCTA RELATIVOS A ACTIVIDADES EXTERNAS

La actividad externa es aquella permitida en tanto posibilita la realización de aspiraciones personales o profesionales de los empleados públicos que presten servicios en los órganos de gestión y administración del Ministerio de Educación, siempre que ello no genere un conflicto de intereses con su actuación pública. En ese sentido, deberán:

9.1 Informar a la Unidad de Personal dependiente de la Oficina General de Administración del Ministerio de Educación o a quien haga sus veces, mediante declaración jurada, si realizan o no actividades externas, debiendo indicar, en el caso que sí lo hagan, la naturaleza de las mismas, la modalidad contractual y el nombre y/o razón social del empleador, comitente o mandante.

9.2 Informar a la Alta Dirección o a su superior en la institución, cuando en las siguientes actividades externas se maneje información vinculada a los objetivos, fines y actividades del Ministerio de Educación:

- Participación como ponente u organizador de eventos, tales como seminarios, conferencias, clases, foros, talleres o similares.
- Elaboración de artículos periodísticos, ensayos, publicaciones, libros o actividades afines.

9.3 Solicitar autorización expresa de la Alta Dirección o del superior en la institución, cuando la realización de las referidas actividades externas demande la mención de cargo, función o de la Entidad.

#### X. COMPROMISOS

Los empleados públicos que presten servicios en los órganos de gestión y administración del Ministerio de Educación, están comprometidos en mantener el prestigio de la Entidad, con conocimiento y valoración de la misión institucional. En tal sentido, deberán:

10.1 Actuar con responsabilidad y diligencia en el cumplimiento de la actuación pública.

10.2 Generar y transmitir información útil, oportuna, pertinente, comprensible, veraz, fehaciente, fiable y verificable, permitiendo y preservando el acceso a la misma, siempre que se trate de información de carácter público.

10.3 Guardar estricta reserva respecto de las actividades y acciones encomendadas, así como de la información privilegiada que conociere en el ejercicio de su actividad funcional; no revelando en forma oral o escrita, hechos, datos, procedimientos y documentación no autorizada o confidencial de acuerdo a ley.

10.4 Abstenerse de utilizar en provecho propio, directa o indirectamente o de terceros, aquella información a la que hubieran accedido como consecuencia del ejercicio de la actuación pública, respetar el secreto profesional y garantizar la reserva de la documentación que las normas hayan calificado como tal.

10.5 No solicitar y/o aceptar retribuciones monetarias, obsequios, donaciones, dádivas, atenciones, en cumplimiento de la actuación pública.

10.6 Presentar declaración jurada de ingresos, bienes y rentas en forma oportuna y completa, de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

10.7 Denunciar ante la autoridad administrativa competente, hechos irregulares o actos de corrupción

en la administración de los órganos de gestión y administración del Ministerio de Educación, teniendo presente que las personas que presenten denuncias que resulten desestimadas por indebidas, en razón de carecer de sustento legal o por haber sido formuladas con el único propósito de afectar la dignidad y el honor de las personas denunciadas, serán responsables de los daños y perjuicios que éstos generen

10.8 Cuidar de los bienes del Ministerio de Educación, no pudiendo utilizarlos directa o indirectamente, total o parcialmente, para actividades distintas de las del servicio público que le es propio, tal el caso de campañas electorales y actividades proselitistas de cualquier índole.

#### XI. DISPOSICIONES FINALES

11.1 Cláusula contractual: en los contratos que bajo cualquier forma o modalidad, celebre el Ministerio de Educación con personas naturales o jurídicas, se incluirá, bajo responsabilidad, una cláusula contractual de cumplimiento y observancia de lo establecido en la presente Directiva. En los contratos vigentes y en sus adendas, se incluirá, bajo responsabilidad, la referida cláusula contractual.

11.2 Responsabilidad: el incumplimiento de lo dispuesto en la presente Directiva genera responsabilidad de orden administrativo, civil y penal, según corresponda, conforme a la normativa vigente, lo que determina, según el caso, el inicio del proceso disciplinario a que hubiere lugar y/o el de las acciones legales pertinentes.

11.3 Conflicto de intereses: los casos que en aplicación de la presente Directiva, impliquen conflictos de intereses, se sujetarán a sus disposiciones y a lo establecido en la Ley N° 27588 y su Reglamento.

11.4 Aplicación supletoria: en lo no previsto por la presente Directiva, es de aplicación las disposiciones contenidas en la legislación que regula la materia.

#### XII. DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS Y TRANSITORIAS

12.1 La Unidad de Personal dependiente de la Oficina General de Administración del Ministerio de Educación o quien haga sus veces, a partir de la vigencia de la presente Directiva, pondrá a disposición de los empleados públicos, los formatos y modelos de declaraciones juradas señalados en los numerales precedentes.

12.2 El Jefe de la Oficina General de Administración o quien haga sus veces en las Unidades Ejecutoras del Ministerio de Educación, quedará encargado de difundir la presente Directiva, así como de su publicación en la respectiva página web institucional.

17.04.2007

51533-1

## ENERGIA Y MINAS

### Aprueban Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles

DECRETO SUPREMO  
N° 021-2007-EM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, la Ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, establece el marco general para promover el mercado de los Biocombustibles sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica, con el objetivo de diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, generar empleo y disminuir la contaminación ambiental;

Que, mediante Decreto Supremo N° 013-2005-EM, se aprobó el Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, que contiene normas para la comercialización y promoción de los Biocombustibles;

Que, a efectos de cumplir con el objeto de la Ley N° 28054, se ha visto por conveniente aprobar un reglamento específico para la comercialización de

Biocombustibles, con la finalidad de establecer los requisitos para su comercialización y distribución, así como hacer referencia a las normas técnicas de calidad de los mencionados productos.

De conformidad con la Ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, y en uso de las atribuciones previstas en los numerales 6 y 24 del artículo 118° de la Constitución Política del Perú;

DECRETA

**Artículo 1°.- Aprobación del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles**

Aprobar el Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles que contiene dos (2) Títulos, catorce (14) artículos, una (1) Disposición Transitoria y una (1) Disposición Complementaria, que como anexo forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

**Artículo 2°.- Disposiciones derogatorias**

Quedan derogados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo los artículos 3°, 4° y 5°, el Capítulo I del Título II y las Disposiciones Transitorias del Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, aprobado mediante Decreto Supremo N° 013-2005-EM.

Derogar las demás normas que se opongán a lo dispuesto en el presente Decreto Supremo.

**Artículo 3°.- Vigencia**

El presente Decreto Supremo entrará en vigencia a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano

**Artículo 4°.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Presidente del Consejo de Ministros, el Ministro de Energía y Minas, el Ministro de Economía y Finanzas, el Ministro de la Producción y el Ministro de Agricultura

Dado en la ciudad de Chiclayo, a los dieciocho días del mes de abril del año dos mil siete.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

JORGE DEL CASTILLO GÁLVEZ  
Presidente del Consejo de Ministros

JUAN VALDIVIA ROMERO  
Ministro de Energía y Minas

LUIS CARRANZA UGARTE  
Ministro de Economía y Finanzas

RAFAEL REY REY  
Ministro de la Producción

JUAN JOSÉ SALAZAR GARCÍA  
Ministro de Agricultura

**Reglamento para la comercialización de Biocombustibles**

**TÍTULO I  
DISPOSICIONES GENERALES**

**Artículo 1°.- Objeto**

El presente Reglamento establece los requisitos para la comercialización y distribución de los Biocombustibles, así como lo referente a las normas técnicas de calidad de los mencionados productos.

**Artículo 2°.- Contenido**

Este Reglamento contiene:

a) Las normas correspondientes a la comercialización y distribución de Biocombustibles puros y sus mezclas con combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos tales como las gasolinas y Diesel N° 2, por intermedio de los Distribuidores Mayoristas debidamente autorizados.

b) Las Normas Técnicas de calidad que se deben cumplir.

c) Las normas correspondientes para el registro de las mezclas de Biocombustibles con combustibles líquidos

derivados de los hidrocarburos ante la Dirección General de Hidrocarburos

**Artículo 3°.- Referencias**

Cuando en el presente Reglamento se haga referencia a la Ley, se entenderá que se está haciendo referencia a la Ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles. Asimismo, cuando se mencione un artículo sin hacer referencia a norma alguna, estará refrendo al presente Reglamento.

**Artículo 4°.- Definiciones**

En el presente Reglamento se utilizarán los siguientes términos cuya definición se detalla a continuación

**Alcohol Carburante:** Es el Etanol Anhidro Desnaturalizado, obtenido de la mezcla del Etanol Anhidro con la Sustancia Desnaturalizante en una proporción volumétrica no inferior a 2% (dos por ciento) ni superior a 3% (tres por ciento) en el caso de ser gasolina motor sin contenido de plomo.

**Bases de Mezcla:** Son las gasolinas de 97, 95, 90, 84 octanos y otras que se encuentren autorizadas para su comercialización en el país así como el Diesel N° 2, cuyas calidades se establecen en las Normas Técnicas Peruanas correspondientes. Queda prohibido utilizar el Diesel N° 1 para mezclarlo con el Biodiesel B100

**Biocombustibles:** Productos químicos que se obtienen a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o de otra forma de biomasa y que cumplen con las normas de calidad establecidas por las autoridades competentes para su uso como combustible. Éstos pueden ser sólidos (biomasa), gaseosos (biogás, gas de gasificador u otros tipos de gas manufacturados a partir de residuos, carbón, etc) o líquidos

Para fines del presente Reglamento entiéndase como Biocombustibles al Alcohol Carburante y al Biodiesel.

**Biodiesel:** Combustible compuesto de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadenas largas derivados de recursos renovables tales como aceites vegetales o grasas animales, para ser usados en motores de ciclo Diesel.

Para fines del presente Reglamento se entiende como una sustancia oleaginosas obtenida a partir del aceite de palma, higuera, piñón, soya, colza, girasol y otros vegetales oleaginosos, así como grasas animales y aceites comestibles usados.

**Diesel BX:** Es la mezcla que contiene Diesel N° 2 y Biodiesel B100, donde X representa el porcentaje en base volumétrica de Biodiesel B100 contenido en la mezcla; siendo el diferencial volumétrico el porcentaje de Diesel N° 2.

**Biodiesel B100:** Biodiesel puro, sin mezcla alguna, que cumple las especificaciones establecidas en las Normas Técnicas Peruanas o, mientras éstas no sean aprobadas, la norma ASTM D 6751-06 en su versión actualizada o las correspondientes normas internacionales.

**Etanol:** Es el alcohol etílico cuya fórmula química es CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-OH y se caracteriza por ser un compuesto líquido, incoloro, volátil, inflamable y soluble en agua.

Para los efectos de este Reglamento se entiende como el alcohol obtenido a partir de caña de azúcar, sorgo, maíz, yuca, papa, arroz y otros cultivos agrícolas.

**Etanol Anhidro:** Tipo de alcohol etílico que se caracteriza por tener como máximo 0,5% (cero coma cinco por ciento) de humedad y por ser compatible con las gasolinas con las cuales se puede mezclar para producir un combustible oxigenado para uso motor.

**Gasohol:** Es la mezcla que contiene gasolina (de 97, 95, 90, 84 octanos y otras según sea el caso) y Alcohol Carburante.

**Sustancia Desnaturalizante:** Gasolina natural, componentes de gasolina, gasolina sin plomo u otras sustancias añadidas al Etanol Anhidro, en una concentración volumétrica no inferior a 2% (dos por ciento) ni superior a 3% (tres por ciento) para convertirlo en no polable y evitar que sea destinado a usos diferentes al de componente oxigenante de combustibles, para uso motor.

**Artículo 5°.- Normas Técnicas**

Las características técnicas del Alcohol Carburante (Etanol Anhidro Desnaturalizado) y del Biodiesel B100 se establecen en las correspondientes Normas Técnicas Peruanas aprobadas por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI, en tanto éstas no sean aprobadas

se aplicarán las normas técnicas internacionales correspondientes, para el Etanol Anhidro Desnaturalizado la ASTM D 4806-06 y para el Biodiesel B100 la ASTM D 6751-06 en sus versiones actualizadas.

**Artículo 6°.- Ámbito de aplicación, alcances y órganos competentes**

El presente Reglamento se aplica a nivel nacional y establece las normas que deben cumplir los productores y comercializadores de Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100) y los comercializadores y distribuidores de Gasohol y Diesel BX.

Los organismos competentes para efectos del presente Reglamento son:

a) El Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección General de Hidrocarburos, es competente para otorgar los registros y autorizaciones correspondientes a la comercialización de Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100) y de sus mezclas con gasolinas y Diesel N° 2, a través del agente denominado Distribuidor Mayorista, utilizando la cadena de comercialización de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos.

b) El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), es el organismo público encargado de la supervisión y fiscalización del cumplimiento del presente Reglamento, en lo que respecta a la comercialización, transporte y a la calidad de los Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100) y de sus mezclas con gasolinas y Diesel N° 2, así como de la emisión del Informe Técnico Favorable (ITF) correspondiente a las modificaciones y/o ampliaciones de las instalaciones que sean necesarias efectuar para la comercialización de estos productos.

c) El Ministerio de la Producción, es competente para otorgar autorizaciones para la instalación y funcionamiento de las plantas productoras de Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100). Dado el caso de proyectos que involucren cultivos, el Ministerio de la Producción coordinará con el Ministerio de Agricultura para establecer el procedimiento de la autorización correspondiente.

d) El Ministerio de Agricultura es competente para identificar y promover el desarrollo de las áreas disponibles con aptitud agrícola para la producción de Biocombustibles en el país.

**TÍTULO II  
DE LA COMERCIALIZACIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS BIOCOMBUSTIBLES Y DE SUS MEZCLAS CON LOS COMBUSTIBLES LÍQUIDOS DERIVADOS DE LOS HIDROCARBUROS**

**Artículo 7°.- Porcentaje de la mezcla de Alcohol Carburante con gasolinas**

El porcentaje en volumen de Alcohol Carburante en la mezcla gasolina - Alcohol Carburante que podrá comercializarse en el país será de 7,8% (siete coma ocho por ciento) y se le denominará Gasohol, según el grado de octanaje: Gasohol 97 Plus, Gasohol 95 Plus, Gasohol 90 Plus y Gasohol 84 Plus.

**Artículo 8°.- Comercialización y cronograma de aplicación del Gasohol**

- A partir de la vigencia de la presente norma el Gasohol podrá ser comercializado en todo el país, en las condiciones establecidas en la presente norma.

- A partir del 1 de enero de 2010 el Gasohol será de uso obligatorio en todo el país y reemplazará a todas las gasolinas motor.

**Artículo 9°.- Porcentaje de la mezcla de Biodiesel B100 con Diesel N° 2**

El porcentaje de Biodiesel B100 en la mezcla de Biodiesel B100 - Diesel N° 2 que se comercialice en el país, será desde 2% (dos por ciento) hasta 20% (veinte por ciento). No está permitida la comercialización de mezclas en proporciones diferentes a las establecidas en la tabla siguiente:

% Vol. Biodiesel B100	% Vol. Diesel N° 2	Denominación
2	98	Diesel B2
5	95	Diesel B5
20	80	Diesel B20

**Artículo 10°.- Cronograma para la comercialización de Biodiesel B100 y de Diesel BX:**

La comercialización del Biodiesel B100 y del Diesel BX será de acuerdo al siguiente cronograma:

- A partir de la vigencia del presente Reglamento el Biodiesel B100 y el Diesel B20 podrán ser comercializados por los Distribuidores Mayoristas solamente a los Consumidores Directos autorizados por la Dirección General de Hidrocarburos para adquirir estos productos.

- A partir de la vigencia del presente Reglamento se podrá comercializar en todo el país el Diesel B2.

- A partir del 1 de enero de 2009 la comercialización de Diesel B2 será obligatoria en todo el país, en reemplazo del Diesel N° 2.

- A partir del 1 de enero de 2011 la comercialización de Diesel B5 será obligatoria en todo el país, en reemplazo del Diesel B2.

**Artículo 11°.- Calidad del Alcohol Carburante, Biodiesel B100, Gasohol y Diesel BX.**

Las características técnicas o especificaciones de calidad del Alcohol Carburante y del Biodiesel B100 se establecen en el artículo 5° del presente Reglamento. La calidad de estos productos debe ser garantizada por el productor mediante un certificado de calidad.

Las características técnicas o especificaciones de calidad que deben cumplir el Gasohol y el Diesel BX serán establecidas por el Ministerio de Energía y Minas mediante Resolución Ministerial.

**Artículo 12°.- Comercialización Mayorista**

Los Distribuidores Mayoristas con inscripción vigente en la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas son los únicos autorizados para comprar Alcohol Carburante y Biodiesel B100 de los productores para su comercialización y para su mezcla con gasolinas y Diesel N° 2 respectivamente.

Las empresas productoras de Biodiesel B100 y de Alcohol Carburante que deseen comercializar estos productos, sólo podrán venderlos a los Consumidores Directos y a los Distribuidores Mayoristas. Para venderlos a Consumidores Directos deberán registrarse como Distribuidores Mayoristas y no tendrán la obligación de tener un volumen mínimo de ventas ni mantener una existencia media mensual mínima de los productos que comercialicen.

**Artículo 13°.- Lugares de Mezcla y Expendio**

Las mezclas de Alcohol Carburante con gasolinas y de Biodiesel B100 con Diesel N° 2 se realizarán únicamente en las Plantas de Abastecimiento, que cuenten con inscripción vigente en el Registro de la Dirección General de Hidrocarburos, para lo cual éstas deberán realizar las adecuaciones correspondientes para las operaciones de mezcla en línea, que estarán a cargo del operador de la Planta de Abastecimiento.

Los Grifos y/o Estaciones de Servicios debidamente inscritos en el Registro de Hidrocarburos podrán vender solamente Diesel B2 o Diesel B5 y Gasohol.

Los surtidores de expendio deberán tener en forma perfectamente visible el tipo de producto que éstos despachan. En el caso de comercializar Gasohol, los surtidores deberán tener la leyenda "Gasohol 97Plus, Gasohol 95Plus, Gasohol 90Plus y Gasohol 84Plus". En el caso de comercializarse Diesel B2 o Diesel B5 deberá indicarse en la leyenda de los surtidores "Diesel B2" o "Diesel B5" según corresponda.

**Artículo 14°.- Obligación de informar al usuario**

En la comercialización de los Biocombustibles y de sus mezclas con combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos, el vendedor previamente deberá informar al usuario, de manera clara y adecuada, sobre las características, la forma de uso, y toda la información relacionada con el producto. La información que proporcione el vendedor deberá ser por escrito.

**DISPOSICIÓN TRANSITORIAS**

**Única.- Actualización del Registro de la DGH**

Las ampliaciones o modificaciones que deban realizar los agentes de la cadena de comercialización de Combustibles Líquidos, para almacenar y/o comercializar Gasohol, Diesel BX, Biodiesel B100 y Alcohol Carburante deberán ser puestas en conocimiento de la Dirección General de Hidrocarburos, a fin de actualizar el Registro correspondiente.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA**

**Única.- Excepción en la aplicación del Reglamento**

Los Consumidores Directos cuyos motores y equipos no sean compatibles con el Biodiesel podrán seguir

consumiendo Diesel N° 2 (NTP 321.003.2005), Diesel Marino (NTP 321.139.2003) y Diesel N° 2 de Uso Militar (NTP 321.135.2002); para lo cual deberán ponerlo en conocimiento de la Dirección General de Hidrocarburos.

51562-6

**Aprueban lista de bienes y servicios cuya adquisición otorgará devolución del IGV e IPM a favor de Compañía Minera Coimolache S.A. durante la fase de exploración**

**RESOLUCIÓN MINISTERIAL  
N° 166-2007-MEM/DM**

Lima, 13 de abril de 2007

**CONSIDERANDO:**

Que, mediante Decreto Supremo N° 082-2002-EF se aprobó el Reglamento de la Ley N° 27623, modificada por la Ley N° 27662, que dispone la devolución del Impuesto General a las Ventas e Impuesto de Promoción Municipal a los titulares de la actividad minera durante la fase de exploración;

Que, el inciso c) del artículo 6° del citado Reglamento estipula que el detalle de la lista de bienes y servicios se aprobará mediante Resolución Ministerial del Ministerio de Energía y Minas, previa opinión favorable del Ministerio de Economía y Finanzas;

Que, por Decreto Supremo N° 150-2002-EF se aprobó la lista general de los bienes y servicios cuya adquisición otorgará el derecho a la devolución definitiva del Impuesto General a las Ventas e Impuesto de Promoción Municipal;

Que, la Compañía Minera Coimolache S.A. solicitó al Ministerio de Energía y Minas la suscripción de un Contrato de Inversión en Exploración, adjuntado la lista de bienes y servicios cuya adquisición le otorgará el derecho a la devolución del Impuesto General a las Ventas e Impuesto de Promoción Municipal, durante la fase de exploración;

Que, el Ministerio de Economía y Finanzas mediante Oficio N° 099-2007-EF/15.01 de fecha 2 de abril de 2007, emitió opinión favorable a la lista de bienes y servicios presentada por Compañía Minera Coimolache S.A.;

Con la opinión favorable de la Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas;

De conformidad con lo dispuesto en el inciso c) del artículo 6° del Reglamento de la Ley N° 27623, aprobado por Decreto Supremo N° 082-2002-EF y el artículo 10° del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Energía y Minas, aprobado por Decreto Supremo N° 025-2003-EM;

**SE RESUELVE:**

**Artículo Único.-** Aprobar la lista de bienes y servicios cuya adquisición otorgará el derecho a la devolución del Impuesto General a las Ventas e Impuesto de Promoción Municipal a favor de Compañía Minera Coimolache S.A. durante la fase de exploración, de acuerdo con el Anexo que forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

JUAN VALDIVIA ROMERO  
Ministro de Energía y Minas

**ANEXO**

**LISTA DE BIENES Y SERVICIOS QUE TIENEN DERECHO A LA DEVOLUCIÓN DEL IMPUESTO GENERAL A LAS VENTAS E IMPUESTO DE PROMOCIÓN MUNICIPAL COMPAÑÍA MINERA COIMOLACHE S.A.**

**I. BIENES**

N°	SUBPARTIDA NACIONAL	Descripción
1	2508.10.00.00	Bentonita
2	3824.90.60.00	Preparaciones para fluidos de perforación de pozos (todas)
3	3926.90.60.00	Protectores antiruidos de materia plástica

N°	SUBPARTIDA NACIONAL	Descripción
4	6401.10.00.00	Calzado con puntera metálica de protección
5	6606.10.00.00	Cascos de seguridad
6	7228.80.00.00	Barras huecas para perforación, de anillos aleados o sin alea
7	7304.21.00.00	Tubos de perforación de los tipos utilizados para la extracción de petróleo o gas
8	8207.13.10.00	Trepantes y coronas con parte operante de cermet
9	8207.19.10.00	Trepantes y coronas, excepto de cermet
10	8207.19.21.00	Brocas diamantadas, excepto de cermet
11	8207.19.29.00	Las demás brocas, excepto de cermet y diamantadas
12	8207.19.30.00	Barreras integrales
13	8207.19.80.00	Los demás útiles intercambiables de perforación y sondaje
14	8207.19.90.00	Partes de útiles intercambiables
15	8207.90.00.00	Los demás útiles intercambiables
16	8430.41.00.00	Las demás máquinas de sondaje o perforación autopropulsadas
17	8430.49.00.00	Las demás máquinas de sondaje y perforación, excepto autopropulsadas
18	8431.43.00.00	Partes de las máquinas de sondaje o perforación de la subpartida 8430.41 ó 8430.49
19	8624.39.00.00	Los demás discos para sistemas de lectura por rayos láser
20	8865.10.10.00	Aparatos emisores de radiofrecuencia o radiofrecuencia
21	8865.20.19.00	Los demás aparatos emisores con aparato receptor incorporado de radiofrecuencia
22	8704.21.00.10	Camionetas pick-up ensambladas con peso total con carga máxima inferior o igual a 51, desde
23	8705.20.00.00	Camiones automotores para sondaje o perforación
24	9006.30.00.00	Cámaras especiales para fotografía submarina o aérea, examen médico de órganos internos o para laboratorios de medicina legal o identificación judicial
25	9011.10.00.00	Microscopios estereoscópicos
26	9011.20.00.00	Los demás microscopios para fotomicrografía, onelomicrografía o microproyección
27	9012.10.00.00	Microscopios, excepto los ópticos, difracción
28	9014.20.00.00	Instrumentos y aparatos para navegación aérea o espacial (excepto las brújulas)
29	9014.80.00.00	Los demás instrumentos y aparatos de navegación
30	9015.10.00.00	Teodolitos
31	9015.20.10.00	Topómetros
32	9015.20.20.00	Tagulímetros
33	9015.30.00.00	Niveles
34	9015.80.10.00	Instrumentos y aparatos de fotogrametría, eléctricos o electrónicos
35	9015.80.90.00	Los demás instrumentos y aparatos de fotogrametría, excepto eléctricos o electrónicos
36	9015.80.10.00	Los demás instrumentos y aparatos eléctricos o electrónicos, excepto de fotogrametría
37	9015.80.90.00	Los demás instrumentos y aparatos, excepto eléctricos o electrónicos
38	9015.90.00.00	Partes y accesorios
39	9020.00.00.00	Los demás aparatos respiratorios y máscaras antigás, excepto las máscaras de protección sin mecanismo ni elemento filtrante amovible
40	9027.30.00.00	Espectrómetros, espectrómetros y espectrógrafos que utilicen radiaciones ópticas (UV, visibles, IR)
41	9030.39.00.00	Los demás instrumentos y aparatos para medida o control de tensión, intensidad, resistencia o potencia, sin dispositivo registrador

**II. SERVICIOS**

<b>a) Servicios de Operaciones de Exploración Minera:</b>
- Topográficos y geodésicos.
- Geológicos y geotécnicos (incluye petrográficos, minerográficos, hidroclógicos, restitución fotogramétrica, fotografías aéreas, mecánica de rocas).
- Servicios geofísicos y geoquímicos (incluye ensayos).
- Servicios de perforación diamantina y de circulación reversa (rota percusiva).
- Servicios aerotopográficos.
- Servicios de interpretación multispectral de imágenes ya sean satelitales o equipos aerotransportados.
- Ensayos de laboratorio (análisis de minerales, suelos, agua, etc.).
<b>b) Otros Servicios Vinculados a las Actividades de Exploración Minera:</b>
- Servicio de alojamiento y alimentación del personal operativo del Titular del Proyecto.
- Servicio de asesoría, consultoría, estudios técnicos especiales y auditorías destinados a las actividades de exploración minera.
- Servicios de diseño, construcción, montaje industrial, eléctrico y mecánico, armado y desarmado de maquinarias y equipo necesario para las actividades de la exploración minera.
- Servicios de inspección, mantenimiento y reparación de maquinaria y equipo utilizado en las actividades de exploración minera.
- Alquiler o arrendamiento financiero de maquinaria, vehículos y equipos necesarios para las actividades de exploración.
- Transporte de personal, maquinaria, equipo, materiales y suministros necesarios para las actividades de exploración y la construcción de campamentos.
- Servicios médicos y hospitalarios.
- Servicios relacionados con la protección ambiental.
- Servicios de sistemas e informática.
- Servicios de comunicaciones, incluye comunicación radial, telefonía satelital.
- Servicios de seguridad industrial y corraimientos.
- Servicios de seguridad y vigilancia de instalaciones y personal operativo.
- Servicios de seguros.
- Servicios de rescate, auxilio.

51163-1

# **ANEXO III**

### **ANEXO III**

## **DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y ANÁLISIS DE LA VARIANZA**

Las técnicas estadísticas del diseño experimental tienen su razón de ser en la investigación empírica que trata de indagar cómo ciertas variables, conocidas como factores, actúan sobre una variable respuesta registrada tras la realización del experimento.

Es importante hacer destacar que los factores que influyen sobre el valor de la variable respuesta sólo pueden tomar un número finito de estados o niveles.

Los tests básicos en estos modelos se centran en contrastar si los factores realmente alteran los resultados de los experimentos al fijarlos en sus diferentes niveles. La técnica, que consiste en descomponer la variabilidad total en las variabilidades aportadas por los diferentes factores y sus interacciones mutuas, recibe el nombre de análisis de la varianza.

Cuando los experimentos se realizan combinando todos los niveles posibles de los factores, hablamos de diseños completos:

- **Diseño unifactorial**
- **Diseño bifactorial completo sin réplicas**
- **Diseño bifactorial completo con réplicas**

Si el número de factores y de niveles por factor va aumentando, pronto nos encontraremos en la situación en la que el número de combinaciones se hace muy grande y el experimento impracticable. Surge entonces la necesidad de tomar en consideración tan sólo una parte de todas las posibles combinaciones de niveles y hablamos entonces de diseños incompletos o fraccionales:

### Diseño unifactorial

El *diseño unifactorial* se utiliza cuando ciertas observaciones sufren la influencia de cierto factor  $a$ , el cual se puede presentar en  $T$  niveles diferentes, de forma que para cada uno de ellos se realizan muestras independientes de tamaño  $n_i$ , con  $i = 1, 2, \dots, T$ , siendo

$$n = \sum_{i=1}^T n_i$$

el tamaño muestral total.

Los datos se presentan en la forma

$$\left( \begin{array}{l} (y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1n_1}), \\ (y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2n_2}), \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ (y_{T1}, y_{T2}, \dots, y_{Tn_T}) \end{array} \right)$$

siendo  $y_{ij}$  la  $j$ -ésima observación realizada bajo el  $i$ -ésimo nivel del factor.

El modelo que se ajusta es

$$y_{ij} = a_i + u_{ij},$$

siendo  $a_i$  los coeficientes asociados a sus respectivos niveles y  $u_{ij}$  los errores aleatorios independientes, distribuidos normalmente, con media nula y varianza común  $\sigma^2$ .

El modelo propuesto incorpora ciertos parámetros que es necesario estimar:

- Los coeficientes  $a_i$ , medias asociadas a los diferentes niveles, cuyos estimadores son de la forma

$$\hat{a}_i = \bar{y}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}, \text{ para } i=1, 2, \dots, T$$

- La varianza común  $\sigma^2$ , cuyo estimador insesgado es la *varianza residual*:

$$s_R^2 = \frac{1}{n-T} \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \hat{a}_i)^2,$$

A la vista de los datos, es importante estudiar si los  $T$  niveles son todos ellos equivalentes o, al contrario, existen diferencias entre ellos. Formalmente, esto se reduce a contrastar la hipótesis nula:

$H_0$ : "el factor no actúa sobre la variable respuesta:  $a_i = 0$ , para todo  $i$ "

frente a la alternativa:

$H_1$ : "el factor actúa sobre la respuesta: algunos  $a_i$  no se anulan".

Definiendo

$$m = \bar{y}_{..} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}$$

el estadístico para este contraste es :

$$A = \frac{1}{s_R^2(T-1)} \sum_{i=1}^T n_i (\hat{\mu}_i - m)^2$$

que se distribuye según una  $F_{T-1, n-T}$  de Snedecor. El contraste se realiza con un nivel de significación del 5%.

### Caso

En un tratamiento contra la hipertensión se seleccionaron 40 enfermos de características similares. A cada enfermo se le administró uno de los fármacos P, A, B, AB, al azar, formando 4 grupos de 10. El grupo P tomó placebo (fármaco inocuo), el grupo A tomó un fármaco "A", el grupo B un fármaco "B" y el grupo AB una asociación entre "A" y "B". Para valorar la eficacia de los tratamientos, se registró el descenso de la presión diastólica desde el estado basal (inicio del tratamiento) hasta el estado al cabo de una semana de tratamiento. Los resultados, después de registrarse algunos abandonos, fueron los siguientes:

P:	10,	0,	15,	-20,	0,	15,	-5			
A:	20,	25,	33,	25,	30,	18,	27,	0,	35,	20
B:	15,	10,	25,	30,	15,	35,	25,	22,	11,	25
AB:	10,	5,	-5,	15,	20,	20,	0,	10		

Interesa saber si existen diferencias significativas entre los cuatro tratamientos. Sin más que observar las medias de los tratamientos, (2.1, 23.3, 21.3 y 9.4), ya se aprecia la no equivalencia entre ellos; esta impresión se ratifica objetivamente al observar que el valor del estadístico de contraste  $A$  alcanza un

valor de 8.526169, cantidad suficientemente grande como para rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias con un nivel de significación del 5%.

### Diseño bifactorial completo sin réplicas

Ciertas observaciones se suponen influenciadas por dos factores diferentes,  $a$  y  $b$ , admitiendo el primero  $k$  niveles diferentes y  $n$  el segundo. Para cada una de las  $k n$  combinaciones posibles de ambos factores se realiza una única observación, obteniéndose una matriz de resultados de la forma

$$\begin{pmatrix} (y_{11}, & y_{12}, & \dots, & y_{1n} & ), \\ (y_{21}, & y_{22}, & \dots, & y_{2n} & ), \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \\ (y_{k1}, & y_{k2}, & \dots, & y_{kn} & ) \end{pmatrix}$$

donde  $y_{ij}$  es el valor observado en la variable respuesta al aplicar el  $i$ -ésimo nivel de  $a$ , factor fila, y el  $j$ -ésimo de  $b$ , factor columna.

El modelo que se ajusta es

$$y_{ij} = m + a_i + b_j + u_{ij},$$

siendo  $m$  la media global,  $a_i$  y  $b_j$  los coeficientes asociados a sus respectivos niveles y  $u_{ij}$  los errores aleatorios independientes, distribuidos normalmente, con media nula y varianza común  $\sigma^2$ .

Hipótesis adicionales son:

$$\sum_{i=1}^k a_i = \sum_{j=1}^n b_j = 0$$

y que ambos factores actúan independientemente, sin interacción alguna que afecte el comportamiento de la variable respuesta  $y_{ij}$ . En caso de sospechar interacción, acudir al diseño bifactorial con réplicas.

El modelo propuesto incorpora ciertos parámetros que es necesario estimar:

- La media global  $m$ , cuyo estimador es

$$\hat{m} = \bar{y}_{..} = \frac{1}{kn} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}$$

- Los coeficientes  $a_i$  asociados al factor fila:

$$\hat{a}_i = \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij} - \hat{m}$$

- Los coeficientes  $b_j$  asociados al factor columna:

$$\hat{b}_j = \bar{y}_{.j} - \bar{y}_{..} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_{ij} - \hat{m}$$

- La varianza común  $\sigma^2$ , cuyo estimador insesgado es la *varianza residual*:

$$s_R^2 = \frac{1}{(k-1)(n-1)} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \hat{m} - \hat{a}_i - \hat{b}_j)^2$$

Los contrastes de interés se reducen a chequear si realmente las respuestas se ven influenciadas por los factores fila y columna,  $a$  y  $b$ .

En el primer caso, la hipótesis nula es

$H_{0a}$ : "el efecto fila es nulo:  $a_i = 0$ , para todo  $i$ "

frente a la alternativa:

$H_{1a}$ : "alguno de los niveles del efecto fila no es nulo".

El estadístico de contraste es

$$A = \frac{n}{s_R^2(k-1)} \sum_{i=1}^k \hat{a}_i^2$$

que se distribuye como una  $F_{k-1, (k-1)(n-1)}$  de Snedecor.

Por otro lado, para contrastar si existe efecto columna, se plantea la hipótesis nula

$H_{0b}$ : "el efecto columna es nulo:  $b_j = 0$ , para todo  $j$ "

frente a la alternativa:

$H_{1b}$ : "alguno de los niveles del efecto columna no es nulo".

El estadístico de contraste en este caso es

$$B = \frac{k}{s_R^2(n-1)} \sum_{j=1}^n \hat{b}_j^2$$

que se distribuye como una  $F_{n-1, (k-1)(n-1)}$  de Snedecor.

### **Caso**

Clasificados los pacientes en tres grupos ( $G_1$ ,  $G_2$  y  $G_3$ ), se han seleccionado al azar dentro de cada grupo cuatro individuos y se les ha suministrado cuatro medicamentos diferentes ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  y  $M_4$ ), midiéndose para cada combinación paciente/medicamento cierta variable indicadora de la mejora experimentada por el paciente:

	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$
$G_1$	15	18	20	20
$G_2$	10	8	12	15
$G_3$	17	15	20	22

Se quiere saber si los pacientes de cada grupo responden de igual manera a los tratamientos y si existen diferencias entre las efectividades de los medicamentos.

Los coeficientes asociados a los grupos de pacientes son 2.25, -4.75 y 2.5, dando a entender que el grupo  $G_2$  parece responder peor durante la experiencia. En cuanto a los medicamentos, los dos primeros son menos efectivos al tener coeficientes negativos (-2.00 y -2.33). Esto sugiere que efectivamente tanto la pertenencia a los grupos de enfermos como el medicamento suministrado actúan sobre la mejora de los pacientes; tal conclusión se ve ratificada por los dos contrastes de nulidad de los factores, ya que ambos rechazan las hipótesis nulas con niveles de significación del 5%.

### **Diseño bifactorial completo con réplicas**

Ciertas observaciones se suponen influenciadas por dos factores diferentes,  $a$  y  $b$ , admitiendo el primero  $k$  niveles y  $n$  el segundo. Para cada una de las  $k n$  combinaciones posibles de ambos factores se realizan  $p$  observaciones, obteniéndose una matriz de resultados de la forma

$$\begin{aligned}
 & ( y_{111}, y_{112}, \dots, y_{11p} ), \\
 & ( y_{121}, y_{122}, \dots, y_{12p} ), \\
 & \dots \\
 & ( y_{k,n-1,1}, y_{k,n-1,2}, \dots, y_{k,n-1,p} ), \\
 & ( y_{kn1}, y_{kn2}, \dots, y_{knp} )
 \end{aligned}$$

donde  $y_{ijr}$  es el valor observado en la  $r$ -ésima réplica realizada al aplicar el  $i$ -ésimo nivel de  $a$ , factor fila, y el  $j$ -ésimo de  $b$ , factor columna.

El modelo que se ajusta es

$$y_{ijr} = m + a_i + b_j + (ab)_{ij} + u_{ijr},$$

siendo  $m$  la media global,  $a_i$  y  $b_j$  los coeficientes asociados a sus respectivos niveles,  $(ab)_{ij}$  las interacciones y  $u_{ijr}$  los errores aleatorios independientes, distribuidos normalmente, con media nula y varianza común  $\sigma^2$ .

Hipótesis adicionales son:

$$\sum_{i=1}^k a_i = \sum_{j=1}^n b_j = \sum_{i=1}^k (ab)_{ij} = \sum_{j=1}^n (ab)_{ij} = 0$$

El modelo propuesto incorpora ciertos parámetros que es necesario estimar:

- La media global  $m$ , cuyo estimador es

$$\hat{m} = \bar{y}_{...} = \frac{1}{knp} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^p y_{ijr}$$

- Los coeficientes  $a_i$  asociados al factor alfa:

$$\hat{a}_i = \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...} = \frac{1}{n p} \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^p y_{i j r} - \hat{m}$$

- Los coeficientes  $b_j$  asociados al factor beta:

$$\hat{b}_j = \bar{y}_{. j.} - \bar{y}_{...} = \frac{1}{k p} \sum_{i=1}^k \sum_{r=1}^p y_{i j r} - \hat{m}$$

- Los coeficientes  $(ab)_{ij}$  asociados a las interacciones entre los factores:

$$(\hat{a} \hat{b})_{ij} = \bar{y}_{i j.} - \hat{a}_i - \hat{b}_j - \hat{m}$$

- La varianza común  $\sigma^2$ , cuyo estimador insesgado es la *varianza residual*:

$$s_R^2 = \frac{1}{k n (p-1)} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^p (y_{i j r} - \hat{m} - \hat{a}_i - \hat{b}_j - (\hat{a} \hat{b})_{ij})^2$$

Los contrastes de interés se reducen a chequear si realmente las respuestas se ven influenciadas por los efectos  $a$  y  $b$ , así como de sus interacciones.

En el primer caso, la hipótesis nula es

$H_{0a}$ : "el efecto fila es nulo:  $a_i = 0$ , para todo  $i$ "

frente a la alternativa:

$H_{1a}$ : "alguno de los niveles del efecto  $a$  no es nulo".

El estadístico de contraste es

$$A = \frac{np}{s_R^2(k-1)} \sum_{i=1}^k \hat{a}_i^2$$

que se distribuye como una  $F_{k-1, kn(p-1)}$  de Snedecor.

Para contrastar si actúa el efecto  $b$ , se plantea la hipótesis nula

$H_{0b}$ : "el efecto columna es nulo:  $b_j = 0$ , para todo  $j$ "

frente a la alternativa:

$H_{1b}$ : "alguno de los niveles del efecto  $b$  no es nulo".

El estadístico de contraste en este caso es

$$B = \frac{kp}{s_R^2(n-1)} \sum_{j=1}^n \hat{b}_j^2$$

que tiene distribución  $F_{n-1, kn(p-1)}$  de Snedecor.

Finalmente, para averiguar si los efectos interactúan, se plantea el contraste

$H_{0i}$ : "no existen interacciones entre  $a$  y  $b$ :  $(ab)_{ij} = 0$ , para cualesquiera  $i$  y  $j$ "

frente a la alternativa:

$H_{1i}$ : "algunos de los niveles interactúan".

El estadístico de contraste es

$$I = \frac{p}{s_R^2(k-1)(n-1)} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (\hat{a}\hat{b})_{ij}^2$$

que se distribuye como una  $F_{(k-1)(n-1), kn(p-1)}$  de Snedecor.

### Caso

Se desea comparar tres genotipos distintos de *Drosophila Melanogaster*, observando si existen diferencias de viabilidad sembrando 100 y 800 huevos. De este modo, para cada una de las seis casillas del experimento (2 siembras y 3 genotipos) se dispusieron seis preparados (6 réplicas) y al cabo de un tiempo suficiente de ser sembrados los huevos, se obtuvo el porcentaje de huevos que habían eclosionado. Los resultados obtenidos después de transformarlos para obtener normalidad fueron:

	++	+-
100 huevos	(74.7, 75.8, 74.7, 77.8, 71.6, 74.7, 68)	(66, 73.6, (73.6, 72.5, 71.6, 74.1, 64.9, 65.3) 77.1, 66.4, 62)
800 huevos	(65.9, 69.4, 64.8, 66.4, 66.7, 61.3, 67.5, 71, 67.5, 63.5, 63.1, 44.7)	(54.9, 56.2, 70.1) 69.2, 46.1, 61.3)

Se quiere saber si las siembras de 100 y 800 huevos (factor alfa de 2 niveles) se diferencian en cuanto a viabilidad, así como los genotipos ++, +- y - (factor beta de 3 niveles); finalmente, se quiere estudiar si existe interacción entre genotipo y número de huevos sembrados.

A la vista de las estimaciones de los coeficientes, parece que en los cultivos de 100 huevos hay un mayor porcentaje de eclosiones ( $\alpha_1=4.3$ ) frente a los cultivos de 800 huevos ( $\alpha_2=-4.3$ ). Esta idea se confirma prestando atención a los resultados de los contrastes: la hipótesis nula de no influencia del número de huevos se rechaza al nivel del 5%; por otro lado, ni la pertenencia de los individuos a los diferentes genotipos ni las interacciones entre los dos factores son significativas, por lo que las respectivas hipótesis nulas se aceptan al nivel del 5%.

# **ANEXO IV**

**ANEXO IV**  
**IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE MATERIAS PRIMAS**

**Aceite de Palma:**

<b>Importaciones</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
FOB (\$)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 10,122,718.63	\$ 10,134,662.67	\$ 8,254,757.61	\$ 4,156,843.92
CIF (\$)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 10,859,199.97	\$ 11,046,599.82	\$ 8,993,165.52	\$ 4,502,518.86
Peso Bruto (Ton)	-	-	-	21,158.94	19,642.26	19,308.12	8,538.92
Peso Neto (Ton)	-	-	-	21,158.87	19,642.26	19,307.25	8,538.92
Precio (\$/Ton)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 478.41	\$ 515.96	\$ 427.55	\$ 486.81

<b>Exportaciones</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
FOB (\$)	\$1,019,551.15	\$ 739,664.36	\$ 895,814.39	\$1,230,573.54	\$ 915,759.99	\$ 847,987.00	\$1,143,541.75
Peso Bruto (Ton)	3,445.15	1,919.21	3,306.50	4,403.40	3,053.89	1,906.82	2,855.49
Peso Neto (Ton)	3,418.38	1,895.73	3,270.34	4,359.50	3,019.65	1,892.79	2,825.20
Precio (\$/Ton)	\$ 298.26	\$ 390.17	\$ 273.92	\$ 282.27	\$ 303.27	\$ 448.01	\$ 404.76

**Metanol:**

<b>Importaciones</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
FOB (\$)	\$ 1,941,329.26	\$ 1,439,061.55	\$ 1,200,874.09	\$ 2,184,400.12	\$ 3,461,557.30	\$ 4,203,647.01	\$ 5,200,817.20
CIF (\$)	\$ 2,607,447.25	\$ 1,960,727.78	\$ 1,652,802.61	\$ 2,765,875.19	\$ 4,307,126.53	\$ 5,147,090.64	\$ 6,054,055.02
Peso Bruto (Ton)	8,605.40	6,735.44	6,005.34	7,678.63	11,947.73	13,277.96	13,352.71
Peso Neto (Ton)	8,581.45	6,726.29	5,997.04	7,665.91	11,938.68	13,261.46	13,344.12
Precio (\$/Ton)	\$ 226.22	\$ 213.95	\$ 200.24	\$ 284.95	\$ 289.94	\$ 316.98	\$ 389.75

<b>Exportaciones</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
FOB (\$)	\$ 880.00	\$ 6,481.65	\$ 6,538.56	\$ 13,001.62	\$ 29,055.22	\$ 12,037.28	\$ 2,816.00
Peso Bruto (Ton)	2.93	14.64	22.08	31.73	60.07	27.72	1.45
Peso Neto (Ton)	2.64	13.34	19.84	28.95	54.45	25.13	1.41
Precio (\$/Ton)	\$ 333.33	\$ 485.81	\$ 329.52	\$ 449.08	\$ 533.61	\$ 479.10	\$ 1,997.16

**Soda Anhidra:**

<b>Importaciones</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
FOB (\$)	\$ 984,831.36	\$ 2,546,992.86	\$ 1,563,154.88	\$ 1,528,769.13	\$ 1,525,867.16	\$ 3,320,741.89	\$ 3,576,684.92
CIF (\$)	\$ 1,214,317.75	\$ 3,160,834.63	\$ 1,944,351.23	\$ 1,906,240.57	\$ 1,965,424.61	\$ 4,052,418.43	\$ 4,368,276.78
Peso Bruto (Ton)	3,764.53	9,108.66	6,327.09	6,472.96	7,309.03	10,008.38	11,058.32
Peso Neto (Ton)	3,641.70	8,996.35	6,182.65	6,312.76	7,099.14	9,785.43	10,886.36
Precio (\$/Ton)	\$ 270.43	\$ 283.11	\$ 252.83	\$ 242.17	\$ 214.94	\$ 339.36	\$ 328.55

<b>Exportaciones</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
FOB (\$)	\$1,019,551.15	\$ 739,664.36	\$ 895,814.39	\$1,230,573.54	\$ 915,759.99	\$ 847,987.00	\$1,143,541.75
Peso Bruto (Ton)	3,445.15	1,919.21	3,306.50	4,403.40	3,053.89	1,906.82	2,855.49
Peso Neto (Ton)	3,418.38	1,895.73	3,270.34	4,359.50	3,019.65	1,892.79	2,825.20
Precio (\$/Ton)	\$ 298.26	\$ 390.17	\$ 273.92	\$ 282.27	\$ 303.27	\$ 448.01	\$ 404.76

### Ácido Sulfúrico:

<b>Importaciones</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
FOB (\$)	\$ 48,786.28	\$ 83,938.86	\$ 30,625.49	\$ 38,712.70	\$ 49,753.39	\$ 145,526.91	\$ 434,170.55
CIF (\$)	\$ 59,649.12	\$ 99,136.13	\$ 37,495.37	\$ 46,707.45	\$ 57,768.72	\$ 402,780.34	\$ 533,018.04
Peso Bruto (Ton)	32.45	58.45	37.82	42.46	64.06	4,654.36	6,142.91
Peso Neto (Ton)	26.25	52.02	33.15	37.56	58.48	4,646.70	6,136.29
Precio (\$/Ton)	\$ 1,858.40	\$ 1,613.62	\$ 923.71	\$ 1,030.76	\$ 850.80	\$ 31.32	\$ 70.75

<b>Exportaciones</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
FOB (\$)	\$1,816,934.50	\$3,481,247.11	\$1,882,632.95	\$2,400,403.45	\$2,650,432.28	\$4,447,014.47	\$2,777,461.16
Peso Bruto (Ton)	242,332.74	263,580.54	120,806.67	128,027.43	106,550.74	147,200.87	80,762.13
Peso Neto (Ton)	242,330.54	263,579.12	120,804.00	128,026.53	106,550.74	147,200.84	80,762.00
Precio (\$/Ton)	\$ 7.50	\$ 13.21	\$ 15.58	\$ 18.75	\$ 24.87	\$ 30.21	\$ 34.39

**Ácido Fosfórico:**

<b>Importaciones</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
FOB (\$)	\$ 1,865,903.55	\$ 1,736,484.97	\$ 2,006,313.88	\$ 2,115,809.28	\$ 2,354,555.84	\$ 4,776,448.33	\$ 4,257,660.23
CIF (\$)	\$ 2,081,601.89	\$ 1,987,328.00	\$ 2,271,885.45	\$ 2,448,030.47	\$ 2,617,725.30	\$ 5,448,251.81	\$ 4,758,375.76
Peso Bruto (Ton)	3,829.06	3,898.11	4,805.90	5,516.33	5,186.00	8,437.27	7,970.79
Peso Neto (Ton)	3,708.29	3,744.19	4,613.83	5,285.51	4,989.26	8,075.71	7,628.96
Precio (\$/Ton)	\$ 503.17	\$ 463.78	\$ 434.85	\$ 400.30	\$ 471.92	\$ 591.46	\$ 558.09

<b>Exportaciones</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
FOB (\$)	\$ -	\$ 3.50	\$ 3,840.70	\$ 36.00	\$ 1,004.30	\$ 3,305.00	\$ 258.97
Peso Bruto (Ton)	-	0.00	2.46	0.05	1.26	5.04	0.35
Peso Neto (Ton)	-	0.00	2.40	0.05	1.21	5.00	0.35
Precio (\$/Ton)	#DIV/0!	\$ 5,000.00	\$ 1,598.96	\$ 720.00	\$ 830.00	\$ 661.00	\$ 739.91

# **ANEXO V**

## ANEXO V

### DIMENSIONES DE EQUIPOS PROPUESTOS

<b>Zona de Esterificación</b>				
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Capacidad</b>	
P-100	Bomba de Metanol	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	2.0766
P-101	Bomba de ácido sulfúrico	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	0.0207
P-102	Bomba de NaOH / Ácido sulfúrico	Rotatoria	Weje (Kw)	0.0217
P-103	Bomba de alimentación de aceite	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	2.0766
P-104	Bomba de agua de Torre L-L	Rotatoria	Weje (Kw)	0.0512
P-105	Bomba de reactor de esterificación	Rotatoria	Weje (Kw)	2.0983
MIX-100	Mezclador H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y CH <sub>4</sub> OH	Centrifugo	Weje (Kw)	2.0973
MIX-101	Mezclador H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /CH <sub>4</sub> OH y Aceite	Centrifugo	Weje (Kw)	2.0983
E-100	Intercambiador de calor	Doble tubo	m <sup>2</sup>	4.31
E-101	Intercambiador de calor	Múltiples tubos	m <sup>2</sup>	29.61
RX-100	Reactor de Esterificación	Tubular agitado	m <sup>2</sup>	246.30
T-101	Torre de extracción L-L pretratamiento	Torre de platos	m <sup>2</sup>	5.39

<b>Zona de Transesterificación</b>				
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Capacidad</b>	
P-200	Bomba de Aceite Neutralizado	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	2.0983
P-201	Bomba de Metoxido	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	1.4111
P-202	Bomba de reactor	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	2.0983
P-203	Bomba de reactor	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	2.0983
P-204	Bomba de reactor	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	2.0983
P-205	Bomba de torre de destilación	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	2.0983
MIX-200	Mezclador Metanol / Soda	Centrifugo	Weje (Kw)	3.5094
MIX-201	Mezclador Metoxido / Aceite	Centrifugo	Weje (Kw)	3.5094
E-200	Intercambiador de Aceite/Metoxido	Doble tubo	m2	7.78
E-201	Intercambiador de calor de reactores	Doble tubo	m2	7.78
E-202	Intercambiador de calor de reactores	Doble tubo	m2	7.78
E-203	Intercambiador de calor de reactores	Doble tubo	m2	7.78
E-204	Intercambiador de torre de destilación	Doble tubo	m2	7.78
RX-200	Reactor de Transesterificación	Tanque agitado	m2	313.38
RX-201	Reactor de Transesterificación	Tanque agitado	m2	313.38
RX-202	Reactor de Transesterificación	Tanque agitado	m2	313.38
RX-203	Reactor de Transesterificación	Tanque agitado	m2	313.38
RX-204	Reactor de Transesterificación	Tanque agitado	m2	313.38

<b>Zona de Separación y Purificación</b>					
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Capacidad</b>		
P-300	Bomba de metanol de recirculación	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	0.1705	
P-301	Bomba de fondos torre de destilación	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	0.5221	
P-302	Bomba de agua	Rotatoria	Weje (Kw)	0.0116	
P-303	Bomba de ácido fosfórico	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	0.0072	
P-304	Bomba de MIX 301	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	0.1566	
P-305	Bomba fondos T-303	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	0.5293	
P-306	Bomba tope de T-303	Centrifuga de una etapa	Weje (Kw)	0.2646	
MIX-300	Mezclador Acido/Fondos T-301	Centrifugo	Weje (Kw)	0.5337	
X-301	Separador sólido/liquido Fosfato	Centrifugo	Weje (Kw)	0.5337	
E-300	Intercambiador de metanol de reciclo	Múltiples tubos	m2	21.08	
E-301	Intercambiador de fondos de T-300	Múltiples tubos	m2	64.40	
E-302	Intercambiador de alimentación T-303	Múltiples tubos	m2	15.69	
E-303	Intercambiador de tope T-303	Múltiples tubos	m2	47.21	
E-304	Intercambiador de fondos T-303	Doble tubo	m2	6.65	
T-300	Torre de destilación	Torre de platos	D(m)-L(m)	1.9208	22.19
T-301	Torre de extracción L-L	Torre de platos	D(m)-L(m)	0.602	5.39
T-302	Torre de extracción sódica	Tanque agitado	Capacidad nominal (kg/h)	17,500.00	
T-303	Separador liquido / vapor glicerina	Separador Centrifugo	D(m)-L(m)	1.4938	5.23

## **BIBLIOGRAFIA**

1. AGUDELO, JOHN; BENJUMEA, PEDRO. Biodiesel de aceite crudo de palma colombiano: aspectos de su obtención y utilización. Medellín: Universidad de Antioquia, 2004. p. 13-40.
2. BAILEY, ALTON. Aceites y grasas industriales. 2. ed. Barcelona: Reverté, 1984. p. 58, 388, 128-129, 59-87, 495.
3. BAILEY, ALTON. Aceites y grasas industriales. 2. ed. Barcelona: Reverté, 1984. p. 495.
4. BRANAN, CARL. Soluciones prácticas para el ingeniero químico. 2. ed. México: McGraw-Hill, 2000. p. 32.
5. BONDIOLI, P. The Preparation of Fatty Acid Esters by Means of Catalytic Reactions, Topics Catalysis 27: 77-82 (2004).
6. CORREDOR, LESMES; FLÓREZ, ÁNGELA Y MORENO, PATRICIA. Estudio de prefactibilidad para la implementación de un programa nacional de biodiesel a partir de aceite de palma africana. Barranquilla: Universidad del Norte, 2004.
7. CRESPO, VICENTE; MARTÍNEZ, M Y ARACIL, J. Biodiesel: Una alternativa real al gasóleo mineral. En: Ingeniería Química. Madrid (Mar. 2001); p. 135-145.

8. FREEDMAN, B., W.F. KWOLEK, y E.H. PRYDE, Quantitation in the Analysis of Transesterified Soybean Oil by Capillary Gas Chromatography, *J. Am. Oil Chem. Soc.* 63: 1370–1375 (1986).
9. GTB-CONAM. Propuesta para la Producción de Uso de Biocombustibles en el Perú. Lima, Perú: CONAM 2002.
10. HAAS, M. et al. A process model to estimate biodiesel production costs. En: *Bioresource technology*. New York. N°97 (2006); p. 671-678.
11. HENAO, CARLOS. Simulación y evaluación de procesos químicos. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, 2005. p. 4-7, 4-66 - 4-82, 5-1 - 5-43. (Sin editar).
12. KOMERS, K., R. STLOUKAL, J. MACHEK, F. SKOPAL, y D A. KOMERSOVÁ, Biodiesel Fuel from Rapeseed Oil, Methanol, and KOH. *Analytical Methods in Research and Production, Fett/Lipid* 100: 507–512 (1998).
13. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (MINEM), Plan Referencial de Hidrocarburos 2007. Perú.
14. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (MINEM), Balance Nacional de Energía 2005. Perú.

15. MITTELBACH, M., Analytical Aspects and Quality Criteria for Biodiesel Derived from Vegetable Oils, Proceedings of an Alternative Energy Conference: Liquid Fuels, Lubricants, and Additives from Biomass, ASAE, St. Joseph, MI, 1994, pp. 151–156.
16. MITTELBACH, M., Diesel Fuel Derived from Vegetable Oils, VI: Specifications and Quality Control of Biodiesel, Bioresour. Technol. 56: 7–11 (1996).
17. PETROPERU, Operaciones Conchán. Coordinación Operativa.
18. SIT, CHENG et al. Kinetic study on transesterification of palm oil. En: Journal of Oil Palm Research. Kuala Lumpur. Vol. 16. N°2 (Dic. 2004); p. 19-29.
19. SENDZIKIENE, EGLE et al. Kinetics of free fatty acids esterification with methanol in the production of biodiesel fuel. En: European Journal of Lipid Science and Technology. Weinheim, Alemania. Vol. 106. N°12 s.f.; p. 831-836.
20. TURTON, RICHARD et al. Analysis, synthesis and design of chemical processes. New Jersey: Prentice Hall, 1998. p. 39-75, 679-694.
21. SCHWAB, A.W., M.O. BAGBY, y B. FREEDMAN, Préparation and Properties of Diesel Fuels from Vegetable Oils, Fuel 66: 1372–1378 (1987).

22. ZHANG, Y. et al. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. En: Bioresource technology. New York. N°89 (2003); p. 1-16.
23. ZHANG, Y. et al. Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis. En: Bioresource technology. New York. N°90 (2003); p. 229-240.