



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO SOBRE PRODUCCIÓN, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE BIODIESEL EN PERÚ

Luis Eduardo Vértiz Díaz

Piura, 21 de Septiembre de 2009

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área Departamental de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

Septiembre 2009



Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

U N I V E R S I D A D D E P I U R A
FACULTAD DE INGENIERÍA



"Análisis técnico y económico sobre producción, almacenamiento y transporte de biodiesel en Perú"

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico – Eléctrico

Luis Eduardo Vértiz Díaz

Asesor: Ph. D. Ing. Daniel Marcelo Aldana

Piura, Septiembre 2009

Prólogo

Hoy en día la alternativa frente al petróleo, no sólo por sus precios altos, sino también, por su cada vez menor abastecimiento e ideales de no contaminación del medio ambiente, son los biocombustibles, cuya representación más conocida son el biodiesel y el bioetanol. El biodiesel es un combustible renovable derivado de aceites vegetales, grasas animales o aceites vegetales usados. *El término “bio” hace referencia a su naturaleza renovable y biológica en contraste con el combustible derivado del petróleo. Mientras que “diesel” se refiere a su uso en motores de este tipo.*¹

En el Perú existe un marco legal que promueve y obliga el uso de biocombustibles: biodiesel y bioetanol. Bajo esta consideración se ve importante realizar un estudio intensivo sobre el biodiesel en el Perú, centrándose en los puntos de: producción, almacenamiento y transporte. Es relevante realizar un estudio de este tipo ya que actualmente las empresas en el Perú enfrentan grandes problemas al momento de trabajar con biodiesel (B100) pues no cuentan con la infraestructura compatible necesaria, y su personal no está capacitado en el tema.

Por lo tanto la finalidad de este estudio es colaborar con la empresa peruana en la búsqueda de una solución viable, técnica y económica, a los problemas que se le presenten en los campos de almacenamiento y transporte de biodiesel. Además mediante esta investigación se pretende dejar un legado, para que todo aquel que desee continuar con el estudio del biodiesel encuentre la información que necesite y tenga un punto de partida para continuar profundizando en este tema.

Concluyo este prólogo agradeciendo a las siguientes personas, las cuales han tenido una gran influencia en el desarrollo de esta tesis:

A **mis padres**, pues sin su apoyo no hubiera logrado desarrollar esta investigación, ni hubiese logrado las metas alcanzadas; por sus palabras de aliento para no abandonar mis proyectos, avanzar y desarrollarme en el plano personal y profesional.

Al **Dr. Ing. Daniel Marcelo**, en representación de la Universidad de Piura, como mi asesor de tesis, por su dedicación y esfuerzo en el estudio e investigación en el campo de las energías renovables, y en especial del biodiesel, agradeciéndole por su apoyo incondicional en mi investigación.

¹ ITDG. El biodiesel. En línea Internet. 10 de julio de 2009. Accesible en <http://www.itdg.org.pe>

Resumen

Actualmente existe una problemática en la empresa peruana, relacionada a la falta de conocimiento en los temas de almacenamiento y distribución de biodiesel, debido a que este tema es nuevo para las empresas en especial para las refinerías, por su reciente incorporación en el marco legal peruano en 2009, disposición del Reglamento de Ley N° 28054 y D.S. N° 021-2007-EM (Reglamento para la comercialización de biocombustibles, de abril del 2007) que establece que: desde el 1° de enero del 2009, será obligatoria en todo el país la comercialización del Diesel B2, en reemplazo del Diesel N° 2; y desde el 1° de enero del 2011, será obligatoria la comercialización del Diesel B5, en reemplazo del Diesel B2.

Considerando la falta de conocimiento en estos campos, es que se nace la iniciativa de efectuar un estudio y dividirlo en un análisis técnico y otro en donde se analiza económicamente las opciones presentadas en el análisis técnico.

Para la parte técnica de la tesis, se ha tomado como punto de partida la definición de biodiesel, sus antecedentes, un análisis del proceso de producción de biodiesel, materias primas más utilizadas en el mundo y las que se tienen en Perú, algunas experiencias de investigación con biodiesel en el Perú y el marco legal que rige al biodiesel en Perú. Además como tema de fondo, se ha efectuado el estudio técnico de todos los problemas relacionados con el almacenamiento y transporte del biodiesel, así como las recomendaciones de buenas prácticas en el manejo de este biocombustible aplicado a tuberías, tanques y válvulas para dar solución a dichos problemas.

En el estudio económico, se ha realizado un análisis bastante detallado sobre: costos de materia prima e insumos, costos de producción y una visión general de los costos de distribución final según la materia prima utilizada. El análisis económico de fondo busca plantear la viabilidad económica de las opciones mostradas en el análisis técnico para dar solución a la problemática en el manejo de biodiesel, de manera que la solución final no solo sea técnicamente viable, sino también sea rentable a la empresa peruana.

Los temas de almacenamiento y transporte de biodiesel vistos desde una perspectiva técnica y económica, son de vital importancia por ser temas completamente nuevos en Perú y por ser muy pocos los estudios realizados sobre los problemas que se presentan en estas áreas.

Índice

Prólogo	i
Resumen	iii
Índice	v
Introducción	- 9 -
CAPÍTULO 1	- 11 -
Biodiesel. Marco teórico	- 11 -
1.1 Las energías renovables	- 11 -
1.1.1. La biomasa.....	- 13 -
1.2 El biodiesel	- 14 -
1.2.1. Definición	- 14 -
1.2.2. Antecedentes del Biodiesel.....	- 14 -
1.2.3. Ventajas y desventajas del Biodiesel.....	- 15 -
1.2.4. Propiedades físico-químicas del biodiesel.....	- 19 -
1.3 Tecnologías de producción de biodiesel (Parte I). Introducción	- 20 -
1.3.1 Producción de biodiesel.....	- 20 -
1.3.2 Materias primas: aceites y grasas	- 21 -
1.3.2.1 Composición de los aceites y grasas	- 24 -
1.3.2.2 Ácidos grasos.....	- 25 -
1.3.2.3 Propiedades fisicoquímicas de las grasas y aceites	- 26 -
1.3.2.4 Conclusiones sobre el aceite ideal	- 29 -
1.3.3 Insumos: alcoholes y catalizadores	- 30 -
1.3.3.1 El alcohol.....	- 30 -
1.3.3.2 El catalizador	- 31 -
1.4 Tecnologías de producción de biodiesel (Parte II). Procesos de producción	- 34 -
1.4.1 Transesterificación.....	- 34 -
1.4.1.1 Producción de biodiesel mediante transesterificación alcalina.....	- 34 -
1.4.1.2 Otras tecnologías para producción de biodiesel	- 38 -
1.4.1.3 Conclusiones: comparación de los métodos discutidos	- 40 -
1.5 Estandarización internacional que rige al biodiesel	- 42 -
1.6 Estudio de costos relacionados con el biodiesel	- 44 -
1.6.1. Costos de materia prima.....	- 44 -
1.6.2. Costos de transformación.....	- 47 -
1.6.3. Costos de almacenamiento.....	- 47 -
1.6.4. Costos de transporte y distribución	- 48 -
1.6.5. Precio de venta (usuario final)	- 48 -
CAPÍTULO 2	- 51 -
Biodiesel en el Perú	- 51 -
2.1 Panorama mundial	- 51 -
2.1.1 Principales productores y producción mundial	- 52 -
2.1.2 Aumento del consumo de biodiesel en el mundo	- 54 -

2.2	El biodiesel en el Perú	- 56 -
2.2.1.	Fuentes energéticas en el Perú	- 56 -
2.2.2.	Materias primas para la producción del biodiesel en Perú: aceites y grasas	- 56 -
a)	Aceites vegetales	- 57 -
b)	Aceites y grasas usadas.....	- 57 -
c)	Aceite de pescado.....	- 58 -
2.3	Experiencias de investigación con biodiesel en el Perú	- 59 -
2.4	Marco legal peruano	- 65 -
CAPÍTULO 3		- 71 -
El transporte, almacenamiento y distribución del biodiesel.....		- 71 -
3.1	Problemática encontrada	- 71 -
3.2	Buenas prácticas para un correcto almacenamiento y transporte de biodiesel	- 75 -
3.3	Seguridad en el almacenamiento y transporte de biodiesel.....	- 77 -
3.4	Criterios para el dimensionamiento de tanques, en función de los requerimientos para biodiesel en Perú.....	- 81 -
3.5	Criterios técnicos a considerar para la construcción de un tanque convencional para almacenamiento de biodiesel.....	- 81 -
a)	Selección de materiales de la pared del tanque	- 81 -
b)	Cálculo de espesores de la pared del tanque	- 82 -
c)	Consideraciones para cargas sísmicas.....	- 82 -
d)	Anillo de cimentación del tanque	- 82 -
e)	Techo del tanque	- 82 -
f)	Domos geodésicos de aluminio para cubrir techo de tanque.....	- 84 -
g)	Sistemas de muro de contención	- 84 -
h)	Sistemas de ventilación	- 85 -
i)	Prevención de derrames.....	- 85 -
j)	Sistema de enfriamiento y sistema contra incendio	- 85 -
k)	Criterios relacionados a la protección del medio ambiente	- 85 -
CAPÍTULO 4		- 87 -
Resultados (especificaciones técnicas y económicas de los sistemas de transporte y almacenamiento de biodiesel).....		- 87 -
4.1.	Tuberías para transporte de biodiesel	- 87 -
4.1.1	Generalidades sobre tuberías para transporte de combustibles.....	- 87 -
4.1.2	Buenas prácticas para la elección de tuberías para el manejo de biodiesel	- 88 -
4.2.	Tanques superficiales para almacenamiento de biodiesel	- 90 -
4.2.1	Tanques convencionales para almacenamiento de biodiesel.....	- 90 -
4.2.2	Nuevas tecnologías para fabricación de tanques	- 93 -
4.2.2.1	Tanques de fibra de vidrio	- 93 -
4.2.2.2	Tanques de vidrio fusionado al acero	- 95 -
4.3.	Válvulas compatibles con biodiesel	- 98 -
4.4.	Análisis técnico del almacenamiento, transporte y distribución de biodiesel.....	- 103 -
4.4.1	Tuberías aptas para el transporte de biodiesel	- 103 -
4.4.2	Tanques aptos para almacenamiento de biodiesel	- 103 -
4.4.3	Válvulas aptas para almacenamiento de biodiesel.....	- 104 -
4.5.	Análisis económico del almacenamiento, transporte y distribución de biodiesel	- 105 -
4.5.1	Tuberías aptas para el transporte de biodiesel	- 105 -

4.5.2	Tanques aptos para almacenamiento de biodiesel	- 105 -
4.5.3	Válvulas aptas para distribución de biodiesel	- 106 -
Conclusiones.....		- 107 -
Glosario		- 111 -
Bibliografía.....		- 113 -
-Anexo A-		- 115 -
-Anexo A.1-		- 118 -
-Anexo B-		- 128 -
-Anexo C-		- 133 -
-Anexo D-		- 135 -

Introducción

La idea de usar aceites vegetales como combustible para los motores de combustión interna se remonta al siglo XIX, cuando el Dr. Rudolf Diesel desarrollaba el motor que lleva su nombre. En el año 1900 durante la presentación del motor diesel en París, se usaría aceite de maní como combustible, o, mejor dicho, como biocombustible.

La principal razón por la que no se podría usar aceites vegetales directamente en los motores actuales es, debido a su mayor viscosidad, y la solución a este problema se encuentra en la transesterificación. El proceso de transesterificación (proceso para obtener biodiesel) fue desarrollado a mediados del siglo XIX por los científicos E. Duffy y J. Patrick, cuarenta años antes que Diesel desarrollara su motor de combustión interna.

Las investigaciones para emplear aceites vegetales en motores diesel, comienzan a tomar fuerza nuevamente hacia finales del siglo XX, bajo la forma de biodiesel, e impulsado, principalmente, por preocupaciones ambientales (contaminación ambiental y sus consecuencias: cambios climáticos, efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono) así como la necesidad de encontrar alternativas al uso de combustibles fósiles.

El resurgimiento de las investigaciones en el campo de los biocombustibles: biodiesel y bioetanol, se encuentra muy desarrollado en países de Europa. En América Latina ocurre lo contrario, los avances son en menor escala. En Perú específicamente, son muy pocos los estudios realizados sobre el biodiesel siendo muy escasa la experiencia que se tiene en este rubro de los biocombustibles. Actualmente existe una problemática en la empresa peruana, relacionada a la falta de conocimiento en los temas de almacenamiento y distribución de biodiesel, debido a que este tema es nuevo para las empresas en especial para las refinerías, por su reciente incorporación en el marco legal peruano en 2009, con disposición del Reglamento de Ley N° 28054 y D.S. N° 021-2007-EM (Reglamento para la comercialización de Biocombustibles, de abril del 2007) que establece que: desde el 1° de enero del 2009, será obligatoria en todo el país la comercialización del Diesel B2, en reemplazo del Diesel N° 2; y desde el 1° de enero del 2011, será obligatoria la comercialización del Diesel B5, en reemplazo del Diesel B2.

Partiendo de la falta de conocimiento en estos campos, es que nace la iniciativa de efectuar un estudio y dividirlo en un análisis técnico y otro en donde se analiza económicamente las opciones presentadas en el análisis técnico.

El primer capítulo se centra en el marco teórico relacionado al biodiesel, partiendo con el estudio de las energías renovables, donde se ubica a la biomasa y dentro de la biomasa al biodiesel, ya que es un combustible obtenido de la biomasa. Se ve también una definición básica del biodiesel así como también sus antecedentes, ventajas y desventajas.

Se estudia también el proceso de producción de biodiesel, materias primas e insumos y las tecnologías desarrolladas para la producción de biodiesel, visto desde aspectos técnicos y económicos.

En el segundo capítulo se analiza la situación actual del biodiesel en Perú, previo análisis introductorio de las fuentes energéticas en el mundo.

Sobre la situación del biodiesel en el Perú, se hace un repaso a los avances realizados hasta la fecha, ámbito legal e investigaciones recientes.

Respecto a la situación mundial del biodiesel, se ven los principales países productores y algunos aspectos relacionados al contexto que impulsó al desarrollo del biodiesel en dichos países.

En el tercer capítulo se busca brindar una orientación en la selección de materiales para un correcto almacenamiento, distribución y transporte de biodiesel basado en información técnica diversa (nacional e internacional) y experiencia de empresarios dedicados al rubro del biodiesel.

En el cuarto y último capítulo, se dan las especificaciones técnicas y económicas necesarias para la selección de: tuberías, tanques y válvulas aptos para un correcto transporte y almacenamiento de biodiesel, acorde a las recomendaciones mostradas en el tercer capítulo. En el análisis económico se busca plantear la viabilidad económica de las opciones mostradas en el análisis técnico (solución a la problemática en el manejo de biodiesel), de manera que la solución final no solo sea técnicamente viable, sino también sea rentable a la empresa peruana.

CAPÍTULO 1

Biodiesel. Marco teórico

1.1 Las energías renovables

A manera de introducción se iniciará con la explicación de las energías renovables, ya que el biodiesel es un combustible que se obtiene a partir de una energía renovable: la biomasa. Este biocombustible que está revolucionando el mundo, será el centro de estudio en este primer capítulo.

Una fuente renovable de energía es aquella que se repone constantemente, y por lo tanto nunca se va a agotar, la principal fuente de energía renovable es el sol.

El sol es la fuente primaria de energía que da origen a todas las demás fuentes renovables, entre las que se tienen:

- Energía solar directa: la energía solar se puede aprovechar directamente para la generación de calor (termas solares, secadores solares, cocinas solares) o para la producción de electricidad (sistemas fotovoltaicos).
- Energía eólica: el calor del sol calienta el aire sobre la tierra, generándose gradientes de temperatura y presión que dan origen a los vientos. El viento es la base de la energía eólica, que se puede utilizar para realizar trabajos mecánicos o también para producir electricidad (aerogeneradores).
- Energía hidráulica: el calor del sol también da lugar al ciclo hidrológico por el cual el agua sobre la tierra se evapora, condensa, precipita y fluye en forma de ríos. Los ríos son la fuente de la energía hidráulica utilizada para realizar trabajo mecánico y en las hidroeléctricas para generar electricidad.
- La energía de la biomasa: proveniente de las plantas y animales (leña, residuos agroindustriales, alcohol, aceites y grasas, etc.) también proviene del sol (mediante el proceso de fotosíntesis) y es considerada renovable si su cosecha es sostenible y se permite que vuelvan a crecer.

Ventajas de las energías renovables:

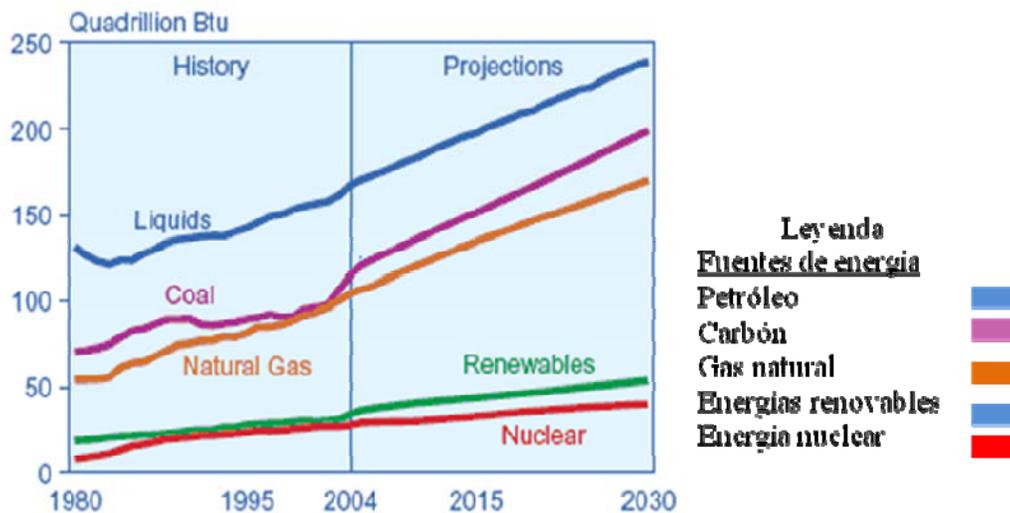
Entre las principales ventajas de las energías renovables se encuentran:

- Permiten diversificar las fuentes, tecnologías e infraestructura para la producción de calor, combustibles y electricidad.
- Mejoran el acceso a fuentes limpias de energía, reduciendo la contaminación y las emisiones de los sistemas energéticos convencionales (creando conciencia de no contaminación).
- Reemplazan el consumo de combustibles fósiles, permitiendo su ahorro para otras aplicaciones o para su uso futuro.

Por estas razones, en los últimos años el uso de energías renovables se está difundiendo de manera más acelerada.

En la figura 1.1 se aprecia un análisis sobre la evolución de las principales fuentes energéticas en el mundo.

Figura 1.1 **Fuentes energéticas en el mundo (Proyección 1980-2030)**



Fuente: Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). En línea Internet. 22 de abril de 2009. Accesible en <http://www.energiasrenovables.ciemat.es>

BTU es una unidad de energía inglesa. Es la abreviatura de "British thermal unit". Se usa principalmente en los Estados Unidos.

Un BTU equivale aproximadamente a: 252.2 calorías y 1.055 julios

En la figura 1.1 se aprecia que los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), seguirán siendo los más utilizados en el mundo, debido a su importancia en el transporte y en el sector industrial.

Para la energía nuclear y energías renovables, también se espera que experimenten un aumento durante el mismo periodo, aunque este aumento será en menor proporción comparado con el de los combustibles fósiles. El empleo de estos dos recursos energéticos

puede verse alterado por cambios en las políticas o leyes que favorezcan su desarrollo, tales como las leyes de no contaminación del medio ambiente.

1.1.1. La biomasa

E término “biomasa” hace mención a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en algún proceso biológico. Este concepto comprende tanto a los productos de origen vegetal como a los de origen animal.

La energía de la biomasa procede de la energía solar fijada por los vegetales mediante la fotosíntesis y acumulada en los enlaces químicos de las moléculas orgánicas que los conforman, es entonces una forma de energía química.

Esta energía puede ser aprovechada de forma directa o de forma indirecta.

Las fuentes de biomasa para la obtención de energía pueden clasificarse de diferentes maneras:

- **Según su origen:**
 - La biomasa natural: producida espontáneamente en las tierras no cultivadas y que el hombre ha utilizado tradicionalmente para satisfacer sus necesidades calóricas. Por ejemplo, la leña.
 - La biomasa residual: producida en las explotaciones agrícolas, forestales y ganaderas, así como los residuos orgánicos de origen industrial y urbano.
 - Los cultivos energéticos: aquellos cultivos producidos con la finalidad de disponer de biomasa transformable en biocombustibles líquidos y sólidos (cultivos con fines de producción energética).
- **Según su uso:**
 - Biocombustibles sólidos: la paja, leña, astillas, briquetas, y el carbón vegetal.
 - Biocombustibles líquidos: alcoholes, aceites vegetales y biodiesel (el cual es el tema en el que se centrará este capítulo).
 - Biocombustibles gaseosos: gas de gasógeno, biogas, hidrógeno.

1.2 El biodiesel

1.2.1. Definición

El biodiesel se define como un biocombustible ya que se obtiene de aceites o grasas de origen vegetal o animal.

El “National Biodiesel Board” (la asociación de productores norteamericanos de biodiesel) lo define como un *combustible compuesto de ésteres² mono-alquílicos³ de ácidos grasos de cadena larga derivados de aceites o grasas, vegetales o animales.*

Este biocombustible se obtiene mediante un proceso químico llamado transesterificación, en el cual los aceites orgánicos son combinados con un alcohol y alterados químicamente para formar un éster etílico o metílico (dependiendo del tipo de alcohol), el cual recibe finalmente el nombre de biodiesel.

1.2.2. Antecedentes del Biodiesel⁴

La idea de usar aceites vegetales como combustible para los motores de combustión interna data de 1895, cuando el Dr. Rudolf Diesel desarrollaba su motor. En la presentación del motor diesel en la “Exposición Mundial de París”, en 1900, el Ing. Diesel usaría aceite de maní como combustible, o, mejor dicho, como biocombustible.

Años después el Ing. Diesel fue muy claro al señalar que *“el motor diesel puede funcionar con aceites vegetales y esto podría ayudar considerablemente al desarrollo de la agricultura de los países que lo usen así”*. Hacia 1912 afirmaría que *“el uso de los aceites vegetales como combustibles (lo que actualmente serían los biocombustibles) para los motores puede parecer insignificante hoy en día, pero con el transcurso del tiempo puede ser tan importante como los derivados del petróleo y el carbón en la actualidad”*.

La principal razón por la que no se puede usar aceites vegetales directamente en los motores es, debido a su mayor viscosidad, y la solución a este problema se encuentra en la transesterificación.

El proceso de la transesterificación (proceso para obtener biodiesel) fue desarrollado a mediados del siglo XIX por los científicos E. Duffy y J. Patrick (cuarenta años antes que Diesel desarrollara su motor de combustión interna).

² Ésteres: Son el producto de la reacción entre los ácidos grasos y los alcoholes.

Los ésteres más comúnmente encontrados en la naturaleza son las grasas, que son ésteres de ácidos grasos y glicerina (el propanotriol, glicerol o glicerina (C₃H₈O₃) es un alcohol).

³ El grupo alquilo (de alcano y la terminación ilo) es un grupo funcional orgánico formado por la eliminación de un átomo de hidrógeno de un hidrocarburo.

⁴ Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1º ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

Durante el siglo XX, se tuvieron algunos intentos para utilizar aceites como combustible para vehículos. Antes de la segunda guerra mundial se introdujo el uso de aceites transesterificados como combustible en vehículos pesados en el África.

Posteriormente se realizaron algunos ensayos en Alemania y Austria con aceite de colza (*Brassica Napus*); en Cabo Verde y en Malí también con aceite de piñón (especies del género *Pinus*, familia *Pinaceae*), obteniéndose excelentes resultados.

Pero el resurgimiento de la idea de emplear aceites vegetales en los motores, empieza a cobrar fuerza nuevamente hacia finales del siglo XX, bajo la forma de biodiesel, e impulsado, principalmente, por preocupaciones ambientales (contaminación ambiental y sus consecuencias: cambio climático, efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono) así como la necesidad de encontrar alternativas al uso de combustibles fósiles.

El movimiento del biodiesel en el mundo toma un mayor auge con la espectacular subida de los precios del petróleo a partir del 2004, a tal punto que los precios de los aceites vegetales y las grasas animales se empiezan a equiparar con los del diesel y generan este reciente "boom" de los biocombustibles líquidos a nivel mundial, que incluye también al bioetanol, que es básicamente etanol o alcohol etílico, que puede utilizarse como complemento o sustituto de la gasolina.

1.2.3. Ventajas y desventajas del Biodiesel

➤ **Ventajas**

- Reducción de la mayoría de emisiones contaminantes.

El biodiesel reduce las emisiones de partículas sólidas menores a 10 micrones (PM_{10}^5), entre las que se encuentran: monóxido de carbono (CO) y óxidos de azufre (SO_x), peligrosos agentes contaminantes.

La "Environmental Protection Agency" (EPA), en un estudio compilatorio de diversas investigaciones sobre emisiones vehiculares con biodiesel, concluyó que las emisiones vehiculares a nivel general se reducían en un 47% cuando se utiliza biodiesel como combustible.

En una de las investigaciones sobre emisiones vehiculares analizadas por la EPA se obtuvo que utilizando biodiesel de soya en buses de transporte urbano, durante la combustión, las reducciones en la contaminación en comparación con el diesel tradicional fueron: 46% para el CO y 100% en los SO_x , ya que el biodiesel no contiene azufre.

A continuación en la tabla 1.1 se presenta un cuadro comparativo de reducción en las emisiones de gases contaminantes utilizando como combustible el biodiesel:

5 PM_{10} : Material particulado menor a 10 micrómetros

Tabla 1.1 Variación de las emisiones contaminantes del biodiesel respecto al diesel

Agentes contaminantes de la atmósfera	Variación de emisiones
	Reducciones de contaminación durante la combustión (%)
CO	-46
CH ₄	0
N ₂ O	0
Hidrocarburos (sin incluir CH ₄)	-37
Hidrocarburos (no especificados)	0
Hidrocarburos policlónicos aromáticos	
Hidrocarburos policlónicos aromáticos nitrogenados	
Benceno	0
Formaldehído	0
PM10	-68
Partículas no especificadas	0
So _x	-100
No _x	+9
HCl	0
HF	0

*En rojo, agentes contaminantes en los que el biodiesel produce mayores emisiones que el diesel

Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1° ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

- Baja toxicidad y alta biodegradabilidad.

El biodiesel no es tóxico en caso de ingestión, tanto para los peces como para los mamíferos. La concentración de biodiesel para que llegue a ser letal por ingestión oral debe ser muy elevada, alrededor de 17.4 g/kg de peso corporal, lo cual significa que una persona de 80 kg tendría que tomar alrededor de 1.6 litros de biodiesel para que tenga efectos mortales. A manera de comparación, se puede afirmar que la sal común (NaCl) es aproximadamente diez veces más tóxica. El impacto en la salud humana es un aspecto importante cuando se considera la idoneidad de un combustible para aplicaciones comerciales.

El biodiesel es altamente biodegradable en el agua. En estudios de la Universidad de Idaho, se encontró que el biodiesel se degrada a un ritmo muy superior al del diesel convencional e incluso tan rápido como la dextrosa (azúcar).

La mezcla de biodiesel con diesel incrementa la biodegradabilidad del combustible. Así, el tiempo necesario para alcanzar un 50% de biodegradación se reduce de 28 a 22 días en el caso del B5 (mezcla de 5% de biodiesel y 95% de diesel) y de 28 a 16 días en el caso del B20.

Estos efectos son ventajosos por dos razones:

- El biodiesel se comercializa actualmente de manera principal mezclado con diesel, y los riesgos de derrame son los mismos que para el diesel puro.
- El biodiesel podría ser utilizado como un «acelerador» de la biodegradación en caso de derrames de hidrocarburos en medios acuáticos.

Estas ventajas convierten al biodiesel en el combustible ideal para embarcaciones fluviales, especialmente en zonas acuáticas sensibles y/o protegidas. Los combustibles fósiles están muy relacionados con el tema de la contaminación del

agua; desde los derrames petroleros en océanos, pasando por la contaminación del agua del subsuelo debido a los tanques subterráneos hasta llegar a la contaminación de los lagos y ríos debido a las fugas de combustible de los motores de las embarcaciones.

Asimismo, el biodiesel es menos tóxico y más biodegradable que el diesel en el suelo. En estudios realizados recientemente, se encontró que el combustible diesel es tóxico a una concentración de 3% en peso en el suelo, mientras que el biodiesel no muestra toxicidad hasta concentraciones de 12% en peso (máxima concentración probada en el estudio). Igualmente, se observó que el biodiesel es más fácilmente degradado por la microbiota⁶ del suelo: mientras que 80% del biodiesel fue completamente biodegradado, sólo 61% del diesel lo fue. Estas características también señalan al biodiesel como combustible apropiado en zonas agrícolas o rurales donde la contaminación del suelo por derrames es más frecuente.

Por lo tanto se afirma que el biodiesel es fácilmente biodegradable, y en caso de derrame y/o accidente, no pone en peligro el suelo ni las aguas.

- Es un combustible que no daña el medio ambiente.

El biodiesel no daña el medio ambiente por ser un combustible de origen vegetal en su estado 100% puro (B100), en este estado sería completamente inocuo con nuestro medio.

- Se produce a partir de materias primas renovables.

El biodiesel se produce a partir de aceites vegetales, vírgenes y reciclados:

Con los aceites vegetales, se contribuye de manera significativa al suministro energético sostenible, lo que permite reducir la dependencia del petróleo, incrementando la seguridad y diversidad en los suministros, así como el desarrollo socioeconómico del área rural (producción de oleaginosas con fines energéticos), y la conservación de nuestro medio ambiente.

Los aceites reciclados proceden de la recolección de los mismos en determinados sectores como: la hotelería, industria alimentaria, cocinas domésticas, etc.

Con el reciclaje de los aceites usados, se evita su vertido, salvaguardando la contaminación de las aguas subterráneas, fluviales y marinas, así como la vida que en ellas habita.

- No contiene azufre (evitando las emisiones de SO_x).

El biodiesel no contiene azufre, agente que se encuentra en el diesel por su poder de lubricación.

En la actualidad los combustibles fósiles bajos en azufre, por su proceso de desulfuración, pierden el poder de lubricación, incrementando el ruido y desgaste de los motores. Las compañías petroleras deben por este motivo aditivar el gasóleo con aditivos químicos y sintéticos para paliar esa anomalía.

⁶ La microbiota del suelo está conformada por una gran variedad de microorganismos, una mezcla microscópica de miles y millones de bacterias, actinomicetos, hongos y protozoos por cada gramo de suelo que cumplen un rol esencial en los procesos biogeoquímicos de la materia.

- Mejora la combustión, reduciendo las emisiones de hollín.

Dado que la molécula de biodiesel aporta, por unidad de volumen, más átomos de oxígeno que lo que aporta el mismo volumen de diesel convencional, la presencia de inquemados es menor utilizando biodiesel dado que hay menos moléculas de carbono elemental (hollín) y menos de monóxido de carbono (CO).

- Crea un ciclo cerrado de CO₂.

El dióxido de carbono CO₂ que emite a la atmósfera el biodiesel durante la combustión es neutro, ya que es el mismo que captó la planta oleaginosa utilizada para extraer el aceite durante su etapa de crecimiento.

Con lo que se tiene que la combustión de biodiesel no contribuye al efecto invernadero, es neutra y ayuda a cumplir el protocolo de Kyoto⁷.

- No contiene ni benceno, ni otras sustancias aromáticas cancerígenas.

El biodiesel, como combustible vegetal no contiene ninguna sustancia nociva, ni perjudicial para la salud, a diferencia de los hidrocarburos (diesel), que tienen componentes aromáticos y bencenos (cancerígenos). La no-emisión de estas sustancias contaminantes disminuye el riesgo de enfermedades respiratorias y alergias.

- No es una mercancía peligrosa.

El biodiesel tiene su punto de inflamación por encima de los 110°C., por eso no está clasificado como mercancía peligrosa, siendo su almacenamiento y manipulación de bajo riesgo.

- Posee un alto poder lubricante y protege el motor reduciendo su desgaste así como sus gastos de mantenimiento.

El biodiesel tiene un alto poder de lubricación, alargando la vida de los motores, reduciendo el ruido en los mismos, así como notablemente abaratando los costes de mantenimiento.

Así mismo tiene un alto poder detergente, que mantiene limpios los sistemas de conducción e inyección del circuito de combustible de los motores.

➤ **Desventajas**

- A bajas temperaturas puede empezar a solidificar y formar cristales, temperatura de cristalización 40 a 45°F (4.445 a 7.22°C).
- Presenta incompatibilidades frente a ciertos materiales, por lo que se debe seguir una guía de buenas prácticas en su almacenamiento y transporte. Ver sección 3.2 y Capítulo 4.
- Sus costos aún pueden ser más elevados que los del diesel de petróleo. Esto depende básicamente de la fuente de aceite (materia prima) utilizada en su elaboración.

⁷ El Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆), en un porcentaje aproximado de un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990.

1.2.4. Propiedades físico-químicas del biodiesel

En la tabla 1.2 se muestran las principales propiedades físico-químicas del biodiesel obtenido a partir de la Palma aceitera, *Elaeís guineensis*.

Tabla 1.2 Propiedades físico-químicas del biodiesel de la Palma aceitera

Propiedades	Unidad	Método/Test	Resultado
Densidad usando un densímetro digital a 15°C	g/ml	ASTM D 4052	0.8757
API gravedad a 60/60°F	°API	ASTM D 4052	30.00
Flash point (punto de ignición) mínimo 100°C	°C	ASTM D93	>150
Porcentaje de contenido de metanol (máximo permitido 0.2)	%	EN 14110	-
Sedimentos y agua	%	ASTM D2709	0.050
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s (cSt)	ASTM D445	4.529
Lubricidad	um	ISO 1256-1	250
Ph (valor permisible 7) El rango de esta escala es de 0 a 14: de 0 a 7 es ácido, por encima de 7 es alcalino, y 7 es neutro.			7
Contenido porcentual de sulfatos (máximo permitido 0.02)	%	ASTM D874	<0.005
Poder Calorífico	kJ/litro		33.300
Contenido de sulfuros	mg/kg	ASTM D5453	<0.005
Número de cetano	-	ASTM D613	64.20
Cloud point (punto de congelación/neblina)	°C	ASTM D2500	13
Contenido porcentual de residuos de carbón (máximo permitido 0.05)	%	ASTM D4530	<0.050
índice de acidez (máximo permitido 0.5)	mg KOH/g	ASTM D664	0.2
Glicerina libre	%	ASTM D6584	<0.005
Monoglicéridos	%	ASTM D6584	0.389
Triglicéridos	%	ASTM D6584	0.286
Porcentaje total de glicerina (máximo permitido 0.24)	%	ASTM D6584	0.156
Contenido de fósforo (máximo permitido 0.001)	ppm	ASTM D4951	0
contenido de potasio y sodio (máximo permitido 5)	ppm	EN 14538	-
Contenido de magnesio (máximo permitido 5)	ppm	EN 14538	<1.00
Estabilidad a la oxidación a 110°C (mínimo permisible 3 min)	Horas	EN 14112	5.6

Fuente: La Fabril Perú. S.A.C. (2009). "Survey report". *Certificate N° ECG-067-09*.

Estabilidad a la oxidación

La oxidación de las grasas (materia prima en la producción de biodiesel) es una de las principales causas de su deterioro, y da lugar a la aparición de olores y sabores desagradables, conocidos como enranciamiento. Generalmente es un proceso lento tanto como para las grasas como para el biodiesel, aunque existen ciertos materiales tales como: bronce, latón, cobre, plomo, estaño y zinc que pueden acelerar la oxidación del biodiesel creando combustibles insolubles geles y sales cuando reaccionan con algunos componentes del biocombustible, por lo cual se debe evitar el contacto con estos materiales.

Solvatación de algunos elastómeros

La solvatación es el proceso de atracción y asociación de moléculas de un disolvente con moléculas o iones de un soluto. El biodiesel se comporta como un solvente de ciertos elastómeros tales como: caucho natural, butadieno, neopreno, estireno entre otros. Empleados comúnmente en mangueras y empaquetaduras de válvulas.

1.3 Tecnologías de producción de biodiesel (Parte I). Introducción

Esta sección, se iniciará con una breve introducción sobre el proceso de producción de biodiesel (transesterificación) y las materias primas utilizadas (aceites y grasas).

Luego se estudiarán los principales insumos que intervienen en el proceso: alcoholes y catalizadores⁸.

1.3.1 Producción de biodiesel

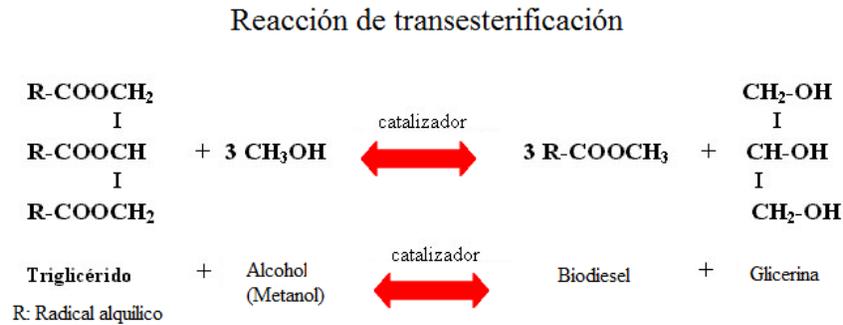
Como ya se ha explicado, el biodiesel es un biocombustible derivado de aceites o grasas vegetales o animales, que puede ser usado en forma pura o mezclado con diesel de petróleo. Se compone de ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, obtenidos mediante la transesterificación de aceites o grasas vegetales o animales con un alcohol.

La idea del proceso de transesterificación es reemplazar el glicerol de los triglicéridos por alcoholes simples, como el metanol o etanol. De esta manera, se obtienen moléculas en forma de cadena larga, muy similares en su forma y sus características físicas a las moléculas de los hidrocarburos (diesel). Lo que se logra con este proceso es reducir la viscosidad del aceite hasta un nivel muy cercano al del diesel.

La reacción de transesterificación se puede ver en la figura 1.2:

⁸ Un catalizador es una sustancia química que interviene en una reacción para facilitar que se realice, pero que no forma parte de los productos finales, es decir, debe poder ser recuperado al final del proceso.

Figura 1.2 **Reacción de transesterificación**



Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1º ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

1.3.2 Materias primas: aceites y grasas

Las dos fuentes más comunes de aceites y grasas para producir biodiesel son:

- Cultivos oleaginosos.
- Tejidos adiposos (grasos) de animales beneficiados.

Además, se está experimentando en diversos lugares para obtener biodiesel a partir de:

- Algas productoras de aceites.
- Aceites residuales de cocina.
- Grasas residuales.

- Cultivos oleaginosos

A continuación se muestran en la tabla 1.3 los principales cultivos oleaginosos conocidos y sus características.

Tabla 1.3 **Principales cultivos oleaginosos y sus características**

Nombre común y científico	Parte oleaginosa	Cont. de aceite (%)	Rendimiento promedio Kg/ha/año	Requerimientos agronómicos generales	Principales usos	Principales productores
Palma aceitera <i>Elaeis guineensis</i>	Pulpa del fruto(aceite de palma)	Pulpa: 45-55 Semilla: 44-57	Pulpa: 5mil Semilla: 800	Palmera de climas tropicales, requiere mínimo 1 600 mm de lluvia anual y 2 a 4 meses secos. Soporta inundaciones temporales y requiere bastante luz y humedad del suelo adecuada. Se desarrolla mejor en áreas bajas. Temperaturas máximas medias 30-32°C y mínimas 21-24°C. Demora 4-5 años en empezar a dar fruto, y alcanza su mayor productividad poco antes de los 20 años.	Palma: Margarina, grasas para cocinar, productos alimentarios, jabones, velas, cosméticos, lubricantes, jebes.	Malasia Indonesia Nigeria
	Semilla (aceite de palmiste)				Palmiste: Grasas alimentarias, helados, mayonesa, repostería, jabones, detergentes, biodiesel.	Tailandia Brasil Colombia.

Soya (<i>Glycine max</i>)	Semilla	18-20	280-580	<p>Herbácea anual adaptada a los climas desde los trópicos hasta los subtropicos húmedos. No resiste calor excesivo o inviernos severos, su temperatura óptima es 24-25°C, pero resiste temperaturas medias anuales entre 5.9 y 27°C.</p> <p>Crece mejor en suelos fértiles y bien drenados.</p>	<p>Aceite para ensaladas, margarinas, productos alimenticios jabones, pinturas, insecticidas, desinfectantes, biodiesel.</p>	<p>Estados Unidos</p> <p>Brasil</p> <p>Argentina</p> <p>China</p> <p>India</p> <p>Paraguay</p> <p>Canadá.</p>
Colza y Cannola (<i>Brassica napus</i> y <i>Brassica rapa</i>)				<p>Planta anual o bianual de flores amarillas, adaptadas a climas fríos. Requiere suelos fértiles y bien drenados.</p>		<p>India</p> <p>China</p> <p>Canadá</p> <p>Alemania</p> <p>Francia.</p>
Girasol (<i>Helianthus annus</i>)	Semilla	45-55	600-950	<p>Planta herbácea anual mejor adaptada a climas cálidos temperados. Puede crecer desde el Ecuador hasta los 55^o de latitud.</p>	<p>Aceite para ensaladas y para cocinar, margarina, lubricantes, jabones, pinturas y esmaltes.</p>	<p>Rusia</p> <p>Ucrania</p> <p>India</p> <p>China</p> <p>Argentina</p> <p>Estados Unidos.</p>
Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>)	Semilla	18-25	300	<p>Arbustiva anual adaptada a regiones tropicales a temperadas. Tolera precipitaciones anuales entre 290 y 2 780mm y temperaturas entre 7 y 27.8°C.</p>	<p>Aceite para ensaladas y para cocinar, margarina y para coberturas protectoras.</p>	<p>India</p> <p>China</p> <p>Estados Unidos</p> <p>Pakistán</p> <p>Uzbekistán</p> <p>Brasil.</p>

Ricino o higuierilla (<i>Ricinus Communis</i>)	Semilla	45-55	1 200	Árbol o arbusto perenne de zonas tropicales, pero se puede comportar como anual en regiones templadas. Es bastante tolerante a las sequías. Se desempeña mejor en suelos fértiles y bien drenados, no alcalinos ni salinos. Limo arenoso y arcilloso es mejor.	En coberturas protectoras, lubricantes, tintas, tintes textiles, preservación de cueros, fibras sintéticas, pinturas, ceras, velas, crayones.	China India Brasil
Piñón (<i>Jatropha curcas</i>)		24-34 (conteniendo cáscara)	159	Arbusto o árbol de hasta 6m de altura, esta planta es originaria de zonas tropicales. Tolera precipitaciones anuales entre 480 y 2 380mm y temperaturas entre 18 y 28.5°C.	Iluminación, Jabón, velas.	

Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1º ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

En la tabla 1.4 se aprecian los principales cultivos oleaginosos que se cultivan en el Perú, así como sus características orientadas a la producción de biodiesel:

Tabla 1.4 Oleaginosas tropicales

Nombre común	Nombre científico	Parte oleaginosa	Rendimiento estimado de aceite en plantaciones (Kg/ha/año)	Contenido de aceite del fruto o semilla (%)
Aguaje	<i>Mautia flexuosa</i>	Pulpa	2 400	21.1
Almendro	<i>Caryocar villosum</i>	Pulpa y semilla	270	
Almendro Colorado	<i>Caryocar glabrum</i>	Semilla		37
Babasu	<i>Orbignia phalerata</i>	Semilla	90-150	72
Bacuri	<i>Platonia insignis</i>	Semilla		46
Castaña	<i>Bertholletia excelsa</i>	Semilla	1 575	69.3
Chopé	<i>Gustavia longifolia</i>	Pulpa		30
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	Endocarpio	610-732	66
Copoasu	<i>Theobroma grandiforum</i>	Semilla	482-808	
Hamaca Huayo	<i>Couepia dolycopoda</i>	Semilla	70-80	
Huasi	<i>Euterpe precatoria</i>	Pulpa y semilla		
Inchi	<i>Caryodendron orinocense</i>	Semilla		41-59
Marañón	<i>Anarcadium occidentale</i>	Nuez		46.3
Olla de Mono	<i>Lecythis pisonis</i>	Almendra		

Pijuayo	<i>Bactris gasipaes</i>	Pulpa y semilla	2 000	23
Polonta	<i>Elaeis oleifera</i>	Pulpa y semilla	1 800	16.2
Sacha Inchi	<i>Plukenetia volubilis</i>	Almendra	51.4	
Sacha Mangua	<i>Grias neuberthii</i>	Pulpa	165	
Tucuma	<i>Astrocaryum vulgare</i>	Pulpa y semilla		43.7
Umari	<i>Poraqueiba sericea</i>	Pulpa	530	21.2
Ungurahui	<i>Oenacarpus bataua</i>	Pulpa	240-525	19

Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1° ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

- Tejidos adiposos (grasos)

Las grasas animales se obtienen de los tejidos animales luego de ser beneficiados, mediante su derretido con calor seco o con vapor. La manteca de cerdo y el sebo de vaca contienen generalmente agua y proteínas que deben ser eliminadas y niveles relativamente altos de ácidos grasos libres que deben reducirse mucho antes de poder utilizar estas grasas.

1.3.2.1 Composición de los aceites y grasas

Los aceites y grasas vegetales o animales están compuestos principalmente por moléculas denominadas triglicéridos, que son ésteres de tres ácidos grasos unidos a un glicerol. Se caracterizan por ser insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos no polares.

Un éster es una sustancia química resultante de la unión de un alcohol y un ácido graso. En el caso de los triglicéridos, puede decirse que ellos son ésteres triples (un alcohol triple unido a tres ácidos grasos). Para el caso del biodiesel, este es un éster simple (un alcohol simple unido a un ácido graso). El proceso de producción de biodiesel se denomina transesterificación: porque consiste en la conversión de un éster en otro tipo de éster.

Los ácidos grasos son compuestos carboxílicos terminales (terminan con un radical carboxilo – COOH) de cadena abierta alifática de C8 a C24 de longitud. Pueden ser saturados (cuando no contienen dobles ni triples enlaces entre los átomos de carbono) o insaturados (cuando contienen uno o más dobles o triples enlaces entre los átomos de carbono).

El glicerol (Propanotriol o glicerina) (C₃H₈O₃) es un alcohol con tres grupos hidroxilos (–OH).

Las grasas suelen clasificarse en aceites y mantecas. Los aceites son líquidos a temperatura ambiente y contienen una mayor proporción de ácidos grasos insaturados, mientras que las mantecas son sólidas a temperatura ambiente y contienen mayor proporción de ácidos grasos saturados. Los aceites o grasas recién extraídos de los animales o semillas oleaginosas se denominan brutos o crudos. Además de los triglicéridos, contienen cantidades variables de otras sustancias presentes naturalmente, como ácidos grasos libres, proteína, fosfolípidos, fosfátidos, ceras, resinas y pigmentos. Aunque estén presentes en cantidades relativamente pequeñas, estas sustancias aportan colores, olores y sabores extraños, inestabilidad y formación de espuma y humo durante la fritura de alimentos.

1.3.2.2 Ácidos grasos

Debido a que constituyen la parte predominante y químicamente activa de los triglicéridos, los ácidos grasos serán los que determinen sus propiedades físicoquímicas, los ácidos grasos se dividen en dos tipos, saturados e insaturados.

- Ácidos grasos saturados

Los ácidos grasos saturados son aquellos con la cadena hidrocarbonada repleta de hidrógenos, por lo que todos los enlaces entre sus átomos de carbono son simples, sin ningún doble enlace, lo que se traduce en una estructura rectilínea de la molécula. Los ácidos grasos saturados son más comunes en los animales.

Los principales ácidos grasos saturados que se encuentran en los aceites y grasas se indican en la tabla 1.5.

Tabla 1.5 Principales ácidos grasos y sus características

Ácido	Número de átomos de carbono	Fórmula	Punto de ebullición a 16mm (°C)	Punto de fusión (°C)
Butírico	4	C ₃ H ₇ COOH	163 (a 760mm)	-8
Caproico	6	C ₅ H ₁₁ COOH	107	-3.4
Caprílico	8	C ₇ H ₁₅ COOH	135	16.7
Capricho	10	C ₉ H ₁₉ COOH	159	31.6
Láurico	12	C ₁₁ H ₂₃ COOH	182	44.2
Mirístico	14	C ₁₃ H ₂₇ COOH	202	54.4
Palmítico	16	C ₁₅ H ₃₁ COOH	222	62.9
Esteárico	18	C ₁₇ H ₃₅ COOH	240	69.6
Aráquico	20	C ₁₉ H ₃₉ COOH	-	75.4
Behénico	22	C ₂₁ H ₄₃ COOH	-	80
Lignocérico	24	C ₂₃ H ₄₇ COOH	-	84.2

Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1° ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

- Ácidos grasos insaturados

Los ácidos grasos insaturados son ácidos carboxílicos de cadena larga con uno o varios dobles enlaces entre los átomos de carbono. Están presentes en algunas grasas vegetales (por ejemplo el aceite de oliva o de girasol) y en la grasas de los pescados azules. En la tabla 1.6 se muestran los ácidos grasos insaturados más importantes.

Tabla 1.6 Ácidos grasos insaturados y sus principales características

Nombre común	Número de átomos de carbono	Número de enlaces dobles	Fórmula
Miristoleico	14	1	C ₁₃ H ₂₅ COOH
Palmistoleico	16	1	C ₁₅ H ₂₉ COOH
Oleico	18	1	C ₁₇ H ₃₃ COOH
Linoleico	18	2	C ₁₇ H ₃₁ COOH
Linolénico	18	3	C ₁₇ H ₂₉ COOH
Araquidónico	20	4	C ₁₉ H ₃₁ COOH
Erúcico	22	1	C ₂₁ H ₄₁ COOH

Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1° ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

1.3.2.3 Propiedades fisicoquímicas de las grasas y aceites⁹

Los aceites y grasas se caracterizan por sus propiedades y químicas.

A continuación se detallará las propiedades más importantes para la producción de biodiesel.

- Viscosidad (V)

La viscosidad puede ser definida como una medida de la fricción interna entre moléculas, o de la resistencia a fluir de los líquidos. En general, la viscosidad de los aceites desciende con un incremento en la insaturación y con un decrecimiento del peso molecular de sus ácidos grasos.

- Índice de acidez (IA)

El índice de acidez es el número de mg de catalizador necesario para neutralizar los ácidos grasos libres (es decir, que no se encuentran unidos a un glicérido) de 1 g de aceite.

Este índice es particularmente importante para el proceso de producción de biodiesel (transesterificación), ya que los ácidos grasos libres reaccionan con el catalizador de la transesterificación formando jabones (saponificación), lo cual lleva a un menor rendimiento en la producción de biodiesel. La saponificación no sólo consume el catalizador necesario para la transesterificación, sino que además los jabones producidos promueven la formación de emulsiones que dificultan la purificación de biodiesel.

- Índice de peróxido (IP)

El índice de peróxido mide el grado de oxidación primaria que ha sufrido la grasa o aceite. Los peróxidos son los productos de descomposición primaria de la

⁹Información extraída de fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de Biodiesel en el Perú*. 1° ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

oxidación de las grasas, cualquiera sea su composición. Se forman en los puntos de insaturación de las cadenas de carbonos de los ácidos grasos

La oxidación de las grasas es una de las principales causas de su deterioro, y da lugar a la aparición de olores y sabores desagradables, conocidos como enranciamiento. La oxidación inducida por el aire a temperatura ambiente se denomina autooxidación. Generalmente es un proceso lento, y se necesita un tiempo considerable para producir una cantidad suficiente de peróxidos que generen enranciamiento. Dentro de los antioxidantes comercialmente más importantes se tienen: el hidroxianisol butilado (BHA) y la butilhidroquinona terciaria (TBHQ).

- **Índice de yodo (IY)**

El índice de yodo es el número de partes de yodo absorbido por 100 partes de peso de sustancia. Este valor da una idea del número de insaturaciones de los ácidos grasos en el aceite.

Un aceite totalmente saturado poseerá un IY = 0, mientras que a mayor cantidad de insaturaciones se fijará en ellos una cantidad proporcional de yodo, incrementándose este índice.

El grado de insaturación del aceite es importante, en primer lugar, porque está relacionado con el punto de fusión del mismo. A mayor cantidad de insaturaciones, el punto de fusión del aceite será menor.

- **Índice de saponificación**

El valor o índice de saponificación de un aceite es el número de miligramos de catalizador necesario para saponificar 1g de aceite completamente.

- **Material insaponificable**

Comprende a todos los compuestos en el aceite o grasa que no reaccionan con el catalizador para producir jabones, es decir, que no son ácidos grasos o glicéridos pero que son solubles en solventes orgánicos (agua).

Entre las materias insaponificables más comúnmente encontradas se tienen: aceites minerales, pigmentos, esteroides, tocoferoles y fosfolípidos.

- **Insolubles y agua**

El contenido de insolubles del aceite debe mantenerse lo más bajo posible (menor a un 0,8% para que el biodiesel cumpla con las especificaciones requeridas).

Estas sustancias no participan en el proceso de transesterificación, pero permanecen en el biodiesel y representan impurezas en el combustible.

A continuación se presenta la tabla 1.7, donde se muestra las características fisicoquímicas de los principales aceites y grasas conocidas.

Tabla 1.7 Principales características fisicoquímicas de algunos aceites y grasas

Aceite o grasa	Principales ácidos grasos presentes	Viscosidad a 38°C mm ² /s	Índice de yodo (g/100g)	Índice de saponificación (mg catalizador/1g)	Materia insaponificable (%)
Soya	53% Linoleico 23% Oleico 12% Palmítico 8% Linolénico	32.6	125-140	190-194	1.00
Semilla de Algodón	53% Linoleico 24% Palmítico 18% Oleico	33.5	110	192-200	1.50
Girasol	59% Linoleico 34% Oleico	37.7	133	189-194	1.30
Palma	48% Palmítico 38% Oleico 9% Linoleico		50	196-206	0.30
Coco	49% Láurico 18% Mirístico 8% Caprílico 8% Palmítico		10	252-260	0.40
Canola	62% Oleico 25% Palmítico 13% Esteárico 10% Linoleico	37	100	170-180	1.00
Manteca de Cerdo	45% Oleico 25% Palmítico 13% Esteárico 10% Linoleico				
Sebo de vacuno	39% Oleico 26% Palmítico 22% Esteárico	51.2	35-48		
Ricino	88% Ricinoleico 8% Oleico	297	85	177-187	0.50

Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1° ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

1.3.2.4 Conclusiones sobre el aceite ideal

En la tabla 1.8 se presenta una visión general de las principales características de los aceites y la relación de estas características con la producción de biodiesel y su calidad.

Tabla 1.8 Características de los aceites y producción de biodiesel

Efectos sobre el proceso de producción		
Índice de acidez	Alta acidez interfiere en la transesterificación alcalina, produciéndose jabones.	Definen tipo de pretratamiento
Contenido de fósforo	Genera emulsiones durante la producción y purificación del biodiesel.	
Contenido de agua	Genera hidrólisis del aceite, producción de AGL y en presencia del catalizador, producción de jabones.	
Efectos sobre la calidad del biodiesel del mismo		
Índice de peróxido	Alto IP indica proceso de oxidación en marcha. Biodiesel ya en proceso de degradación oxidativa.	
Índice de yodo	Alto IY puede indicar menor punto de fusión y mejores propiedades de flujo en frío. Bajo IY indica mejor estabilidad a la oxidación y polimerización (menor riesgo de formación de sólidos), y mayor número de Cetano (mejor calidad de combustión).	
Contenido de insolubles	Insolubles en el aceite resultan en insolubles en el biodiesel, que pueden causar problemas en el motor.	

Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1º ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

1.3.3 Insumos: alcoholes y catalizadores

1.3.3.1 El alcohol

El alcohol es el principal insumo para la producción de biodiesel. En volumen, representa alrededor del 10-15% de los insumos empleados.

Los alcoholes que más comúnmente se utilizan para producir biodiesel son dos: metanol y etanol.

Se puede utilizar otros alcoholes tales como: propanol, isopropanol, butanol y pentanol, pero estos son mucho más sensibles a la contaminación con agua (la presencia de agua en mínimas cantidades inhibe la reacción).

• Metanol

El metanol es tóxico cuando se ingiere, se inhala o al contacto con la piel, y además altamente inflamable, sus gases se encienden a una temperatura de 12°C. Por encima de esta temperatura las mezclas de aire y vapor de metanol (con al menos 6%) son explosivas.

Existe riesgo de explosión e incendio cuando el metanol está expuesto al calor, chispas, llamas o descargas de energía estática. Además, el metanol arde con una llama incolora, de manera que no es fácil notar si se enciende. Medidas de seguridad contra incendios son necesarias al trabajar con metanol, así como adecuada ventilación y etiquetado, se debe contar con sistemas cerrados de manipulación y equipamiento de protección personal para evitar el contacto, inhalación o ingestión de este alcohol.

Cabe mencionar que el metanol se obtiene principalmente de fuentes fósiles no renovables: del gas natural o gas metano.

• Etanol

El etanol es menos tóxico, pero también es altamente inflamable.

Su uso requiere de menores medidas de seguridad ocupacional, pero sí de seguridad contra incendios. La desventaja de su uso para producir biodiesel es que es mucho menos reactivo que el metanol, y la transesterificación se ve afectada principalmente por cualquier cantidad de agua presente en los insumos. Se requiere entonces que el etanol utilizado tenga una pureza superior al 99%, y que los otros insumos (aceite y catalizador) sean igualmente de muy alta pureza, representando así una gran desventaja económica frente al metanol y es por esto que en la mayoría de plantas de producción de biodiesel aún se utiliza metanol pese a su toxicidad.

El etanol, en cambio, proviene de materias primas renovables: caña de azúcar, remolacha azucarera, papa, otros vegetales celulósicos, etc.

1.3.3.2 El catalizador

La transesterificación de los triglicéridos puede ser realizada mediante diferentes procesos catalíticos. Los catalizadores utilizados pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- a) Catalizadores alcalinos: Entre los que se encuentran el hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH), metilato de sodio (NaOMe).
- b) Catalizadores ácidos: tenemos el ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido clorhídrico, ácido sulfónico.
- c) Catalizadores enzimáticos: lipasas
- d) Catalizadores heterogéneos: catalizadores en fase sólida.

a) Catalizadores alcalinos

En el caso de la catálisis alcalina, es muy importante que los catalizadores se mantengan en un estado anhidro. Debe evitarse su contacto prolongado con el aire, pues éste disminuye su efectividad debido a la interacción con la humedad y con el dióxido de carbono. A continuación se describirán los principales catalizadores alcalinos.

• **Hidróxido de sodio (NaOH)**

El NaOH viene en forma de cristales que deben ser disueltos en el metanol antes de la transesterificación.

Es un producto muy barato y fácil de conseguir, pero es cáustico e irritante, y su manipulación directa sin protección respiratoria y para la piel debe evitarse. La manipulación de este insumo sólido puede ser complicada (especialmente en plantas de producción grandes, donde se quieren evitar operaciones manuales). Otro punto importante a mencionar es que el NaOH es higroscópico (absorbe humedad del ambiente), lo cual hace que los cristales se peguen entre sí y sean más difíciles de manipular, y además reduce su eficacia.

Finalmente, la reacción con el metanol es exotérmica (genera calor) y el tanque donde se realiza esta disolución debe mantenerse refrigerado para evitar que se evapore el alcohol. Esto causa pérdidas de este insumo, riesgos de incendio y daños a la salud de los trabajadores.

• **Hidróxido de potasio (KOH)**

De manera muy similar al hidróxido de sodio, el hidróxido de potasio viene también en forma de cristales que deben ser disueltos en el metanol antes de la transesterificación. Es un producto barato y disponible en la mayoría de lugares.

Debido a su mayor peso molecular, se necesita mayor cantidad de KOH que de NaOH para hacer el mismo trabajo, lo cual puede elevar costos.

Las dificultades de operación y riesgos son similares a los que existen con NaOH, sin embargo, algunos estudios han demostrado que con el KOH se obtienen mejores rendimientos de transformación que con NaOH.

Además, el KOH se disuelve más fácilmente que el NaOH en el metanol, lo cual facilita el primer paso previo a la transesterificación.

También se tiene que los jabones de potasio son líquidos, a diferencia de los de sodio que son sólidos. Esto hace que el glicerol crudo sea más fácil de drenar luego de la separación del biodiesel cuando se trabaja con KOH.

Por otra parte, las sales de potasio obtenidas como subproducto de la purificación de la glicerina pueden ser utilizadas como fertilizante agrícola, lo cual no es el caso con las sales de sodio.

Económicamente es un poco más caro que el NaOH, pero tiene muchas ventajas técnicas y económicas sobre el NaOH que puede justificar esta problemática.

- **Metilato de sodio (NaOMe)**

El metilato de sodio no se encuentra disponible en estado puro, debido a que es muy inflamable. Se presenta entonces comercialmente como una solución al 30% en metanol.

Esta solución es un líquido, lo cual constituye la principal ventaja: su manipulación (pese a su alta inflamabilidad y toxicidad) es sencilla, puede ser adaptada a un proceso continuo y realizarse mecánicamente sin necesidad de intervención de los operarios. Algunos autores indican que al utilizarse menor cantidad de metilato, al final quedan menos sales de sodio disueltas en el glicerol, lo cual hace su purificación más sencilla. Otros, en cambio, mencionan que este catalizador causa la formación de diferentes subproductos, principalmente sales de sodio, que deben ser tratados como residuos, y que además requiere utilizar aceite de alta calidad.

El metilato de sodio aparentemente puede ser un muy buen catalizador con materias primas adecuadas, pero su costo es alto y su disponibilidad limitada, lo cual es una barrera para pensar en la elección de este insumo como catalizador.

b) Catalizadores ácidos

Los catalizadores ácidos son aquellos que pueden ser utilizados tanto para la esterificación de ácidos grasos libres con el fin de convertirlos directamente en ésteres o para la transesterificación de los triglicéridos.

Cuando la materia prima es un aceite con alto contenido de ácidos grasos libres (AGL), la esterificación ácida está recomendada como un primer proceso para tratar estos AGL, pero debe ser seguida por la transesterificación alcalina (con NaOH o KOH como catalizadores) para convertir los triglicéridos subsistentes.

Los catalizadores ácidos también pueden ser utilizados directamente para la transesterificación, pero esta reacción es extremadamente lenta y requiere de un exceso de alcohol, lo cual la torna poco económica y por lo tanto nada atractiva.

c) Catalizadores enzimáticos

Los catalizadores enzimáticos como las lipasas¹⁰, son capaces de catalizar la transesterificación de los triglicéridos superando los problemas mencionados arriba.

Sin embargo, los costos de producción de las lipasas aún son mucho más caros que los de los catalizadores alcalinos y esto se convierte en un serio inconveniente para utilizar este catalizador frente al alcalino.

Existen dos tipos de catalizadores enzimáticos:

- **Enzimas extra celulares**

Es decir, que han sido extraídas de las células vivas que las producen y posteriormente purificadas.

- **Enzimas intracelulares**

Es decir, que aún están dentro de las células que las producen. En este caso, son organismos vivos, ciertas bacterias que estarían realizando la catálisis.

d) Catalizadores heterogéneos

Los catalizadores heterogéneos son aquellos que se encuentran en una fase diferente a la de los reactantes. Es decir, que no se encuentran disueltos en el alcohol o aceite, sino que son sólidos, y por lo tanto fácilmente recuperables al final de la reacción.

Este tipo de catalizadores permiten superar algunos de los principales problemas de los catalizadores homogéneos como el hidróxido de sodio o potasio, o el metilato de sodio: los procesos de purificación del biodiesel para separar los restos de catalizador, y los de tratamiento de efluentes contaminados con los catalizadores.

Algunos de los primeros catalizadores sólidos probados fueron:

- Óxido de estaño
- Óxido de magnesio
- Óxido de zinc

Los catalizadores heterogéneos actúan de forma similar a los catalizadores homogéneos, pues terminan convertidos en jabones metálicos o gliceratos metálicos.

El uso de un óxido mixto de zinc y aluminio permite la transesterificación sin que haya pérdida del catalizador. Durante esta reacción, se requiere mayor temperatura y presión que en la transesterificación alcalina convencional, y además se realiza en dos etapas para alcanzar niveles de reacción máximos.

El biodiesel obtenido, sí cumple con las especificaciones de calidad que se exige en la normativa para la producción de biodiesel.

¹⁰ Lipasas: enzimas que en los seres vivientes están encargadas de descomponer las grasas para permitir su digestión y asimilación

1.4 Tecnologías de producción de biodiesel (Parte II). Procesos de producción

En este apartado, se explica el proceso de producción de biodiesel: la transesterificación, los pasos necesarios de pretratamiento del aceite para asegurar su calidad adecuada, así como los de postratamiento para purificarlo de manera que cumpla con las especificaciones técnicas indicadas en las normas EN 14214 y A.S.T.M D 6751, normas que rigen el proceso de producción de biodiesel.

1.4.1 Transesterificación

El proceso de transesterificación consiste en reemplazar el glicerol de los triglicéridos por alcoholes simples, como el metanol o etanol. De esta manera, se obtienen moléculas en forma de cadena larga, muy similares en su forma y sus características físicas a las moléculas del diesel. La principal ventaja que se logra con este proceso es reducir la viscosidad del aceite.

A continuación se describirá con detenimiento, a la transesterificación más utilizada para la producción de biodiesel: la transesterificación alcalina. En la figura 1.3, se muestra la reacción química de la transesterificación alcalina

Figura 1.3 Transesterificación alcalina



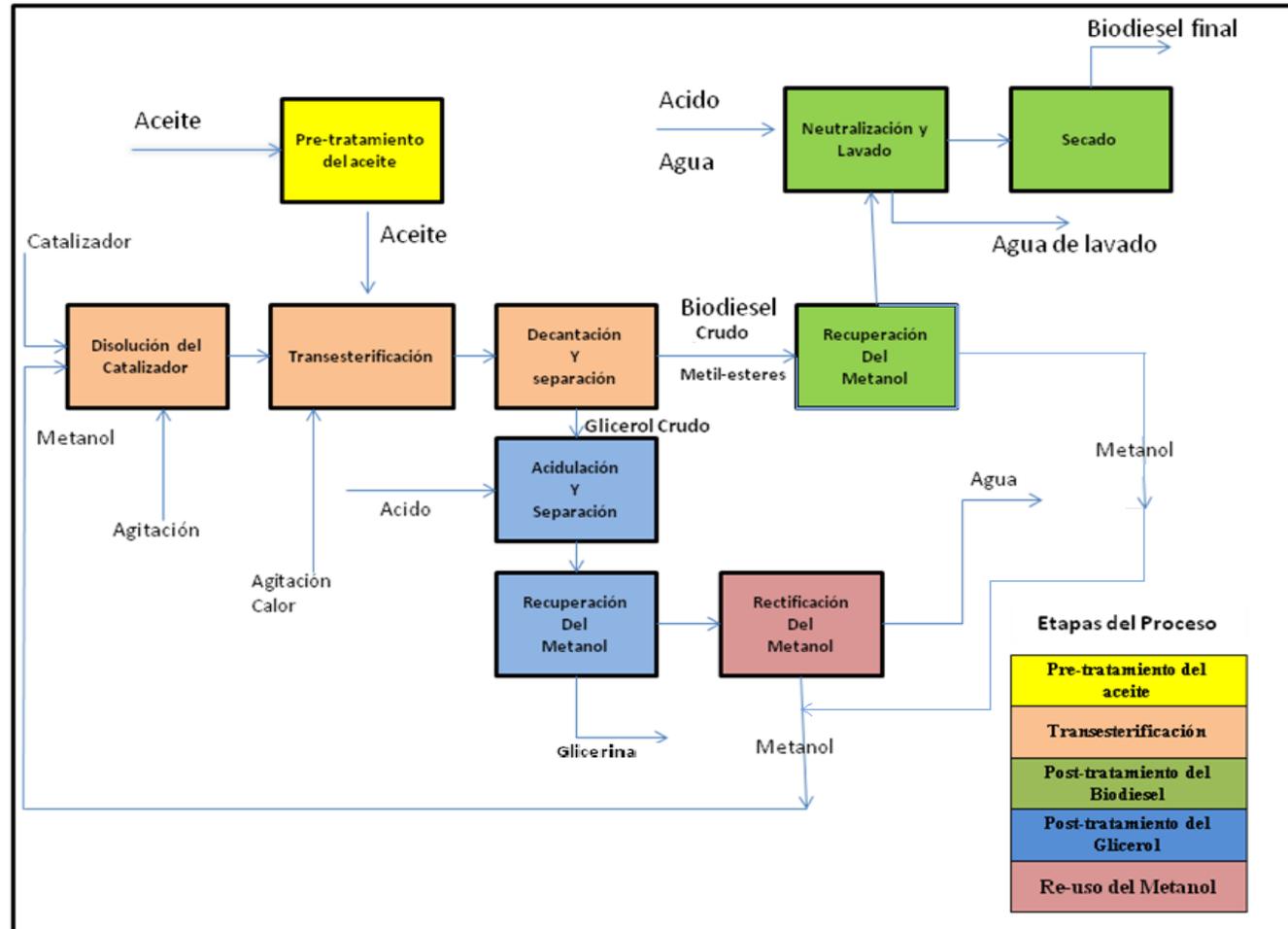
Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1º ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

1.4.1.1 Producción de biodiesel mediante transesterificación alcalina

La transesterificación alcalina es el proceso más simple y más utilizado para fabricar biodiesel. Sin embargo, requiere de un aceite con bajo contenido de ácidos grasos libres, agua y otras impurezas, o de procesos adicionales de pretratamiento de la materia prima para asegurar esta calidad.

Además, requiere de pasos posteriores de postratamiento del biodiesel para reducir su contenido de impurezas procedentes del proceso, principalmente restos de catalizador, y de postratamiento de la glicerina para purificarla parcialmente e incrementar su valor de mercado. A continuación se puede observar en la figura 1.4, el esquema del proceso de producción de biodiesel por medio de la transesterificación alcalina.

Figura 1.4 Proceso de producción de biodiesel por transesterificación alcalina.



Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1º ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

a) Pretratamiento del aceite

La mayor parte del biodiesel se produce a partir de aceites comestibles semirrefinados con buenas características de acidez y humedad. Sin embargo, hay la posibilidad de utilizar grasas o aceites de bajas calidades para convertirlos en biodiesel (por ejemplo, aceites vegetales crudos, grasas animales y aceites usados o residuales). El problema para procesar estas materias primas baratas es que suelen tener grandes cantidades de ácidos grasos libres (ver tabla 1.9), gomas, humedad y otras impurezas que afectan el proceso de transesterificación alcalina.

Tabla 1.9 **Acidez aproximada de algunas materias primas baratas**

Materia prima	Rango de acidez
Aceites de cocina usados	2-7%
Grasas animales	5-30%
Grasas de trampas de grasa	Cerca de 100%

Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1º ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

Para producir biodiesel el aceite debe ser semirrefinado buscando:

- Eliminar gomas, que podrían resultar en formación de emulsiones durante el proceso.
- Eliminar fosfátidos, de manera que los efluentes del proceso no tengan fosfatos y se reduzcan sus costos de tratamiento.
- Eliminar ácidos grasos libres, para facilitar la transesterificación y posteriormente la purificación de la glicerina.
- Eliminar ceras, para mejorar el desempeño en frío del biodiesel.
- Eliminar otros contaminantes, y obtener una mejor calidad de la glicerina.

Esta refinación parcial (pretratamiento del aceite) puede incluir los siguientes procesos:

- Desgomado (en los aceites que tienen gomas, como el de soya y semilla de algodón)
- Neutralización (en los aceites con alta acidez, como el de palma)
- Lavado (para eliminar residuos de la neutralización)
- Secado (para eliminar el contenido de agua).

Para el caso de tener una acidez muy alta en el aceite, la neutralización no es conveniente porque implica la pérdida de los ácidos grasos libres en forma de jabones y el proceso de refinación sugerido es:

- Desgomado
- Esterificación ácida
- Secado

Finalmente, para mejorar las propiedades de flujo en frío del biodiesel, se puede requerir un proceso de fraccionamiento o winterización, con el fin de separar las fracciones con mayores puntos de fusión del aceite.

b) Postratamiento del biodiesel

Luego de la transesterificación y la separación de las dos fases (biodiesel y glicerol), se requiere de un postratamiento para asegurar que el biodiesel cumpla con los estándares de calidad exigidos, pues éste aún contiene impurezas derivadas del proceso: parte del metanol en exceso, posiblemente jabones, y trazas de catalizador.

Tal como se muestra en la figura 1.4, los metil-ésteres se someten a temperatura y vacío para evaporar el metanol y recuperarlo, y luego son llevados a un proceso de lavado para separar todas las impurezas. El lavado se realiza con agua acidulada (con ácido fosfórico o ácido cítrico) que se mezcla con el biodiesel. El ácido neutraliza el catalizador residual presente y separa los jabones que se puedan haber formado en la reacción.

Los jabones se convierten en ácidos grasos libres (que se quedan en el biodiesel) y en sales solubles en agua. Así, los restos de catalizador, jabón, sales, glicerina y metanol se quedan en el agua de lavado. Este lavado se realiza al menos dos veces con agua nueva cada vez, hasta que se haya eliminado todo el residual de catalizador alcalino y el efluente tenga un color claro.

Finalmente, los metil-ésteres lavados se secan (con calor y vacío) para separar toda el agua restante y se filtran. El producto de este proceso es el biodiesel terminado.

c) Postratamiento de la glicerina

El glicerol crudo, que en realidad contiene solamente un 50% de glicerol, es un subproducto de poco valor en esta forma (ya que contiene gran cantidad de jabones, catalizador alcalino y metanol), y además peligroso debido al metanol.

Para poder aprovecharlo, debe ser purificado siguiendo los pasos a continuación:

- Primero es llevado a un proceso de acidulación¹¹, para separar 3 fases: el glicerol propiamente dicho (con metanol aún disuelto), ácidos grasos libres (provenientes del aceite), y una fase sólida que consiste en sales formadas entre el catalizador alcalino y el ácido agregado en esta etapa. Si se utiliza hidróxido de potasio como catalizador de la transesterificación y ácido fosfórico para la neutralización del glicerol, la sal que se forma es fosfato de potasio, producto que puede ser utilizado como fertilizante (como se mencionó anteriormente).
- El glicerol resultante sólo necesita ser separado del metanol (mediante evaporación, temperatura, vacío y condensación del metanol) y así tendrá una pureza de aproximadamente 85%. En esta forma ya está listo para su venta a otros procesos industriales que lo refinan aún más, o que requieran este insumo en este estado.
- El metanol recuperado tanto de los metil-ésteres como del glicerol suele contener agua derivada del proceso y por lo tanto debe ser rectificado (destilado para separarlo del agua) antes de volver a utilizarlo en el proceso. Si se está trabajando con etanol, este paso es más complejo ya que el etanol forma mezclas estables con el agua, y se requiere además de la destilación un filtro molecular para separarlos completamente.

¹¹ Acidulación: proceso en el cual se añade ácido sulfúrico o fosfórico

1.4.1.2 Otras tecnologías para producción de biodiesel

Algunos investigadores, viendo las desventajas de la transesterificación alcalina, han desarrollado otros procesos para producir biodiesel.

A continuación se hace la descripción de algunas de estas nuevas tecnologías:

1.4.1.2.1 Transesterificación en dos etapas

En este método lo que se busca es reducir la cantidad de metanol que interviene en la transesterificación, y mejorar la eficiencia de la reacción, consiguiendo altas tasas de transformación del aceite en biodiesel y una mayor pureza del producto.

Este proceso consiste en agregar sólo una parte de la mezcla de alcohol y catalizador en cada etapa y separar el glicerol después de cada etapa.

1.4.1.2.2 Transesterificación alcalina con etanol

Este método lleva a cabo el proceso de transesterificación utilizando etanol en lugar de metanol.

Ventajas

- Procedencia renovable del alcohol (caña de azúcar, remolacha, maíz, etc.).
- Menor toxicidad.

Desventajas

- Fácil formación de emulsiones estables que dificultan severamente la separación del biodiesel y el glicerol y la purificación del biodiesel.
- Se requiere mucho mayor cuidado con la pureza de los insumos así como con los parámetros de reacción (tiempo, temperatura, agitación), para asegurar el éxito.

1.4.1.2.3 Transesterificación sin catalizador: Metanol supercrítico

Como se ha discutido en párrafos anteriores, la presencia de agua y ácidos grasos libres afecta la eficiencia de la transesterificación alcalina. También se ha visto que el uso de determinados catalizadores dificulta la purificación del biodiesel y el glicerol.

Los ácidos grasos libres contenidos en el aceite, son convertidos a jabones durante la transesterificación y terminan en su mayor parte mezclados con el glicerol. Una vez que se agrega ácido al glicerol, estos jabones se vuelven a convertir en ácidos grasos libres y sales. Los AGL pueden ser reaprovechados para producir biodiesel, mediante la esterificación ácida (la cual fue descrita anteriormente).

Un método para superar todos los problemas mencionados durante la transesterificación es el uso de metanol en condiciones supercríticas.

Ventajas:

- o No se requiere catalizador.
- o No es sensible a la presencia de agua o ácidos grasos libres.
- o Los ácidos grasos libres son esterificados al mismo tiempo que el resto del aceite.
- o Permite aprovechar aceites comestibles usados (de bajo costo), sin necesidad de pretratamiento ácido (que también aumentaría los costos de operación e inversión).

- A pesar de los altos consumos energéticos, el tiempo de reacción es menor, lo cual compensa en cierta manera este aspecto.
- El biodiesel obtenido de la transesterificación solo requiere la destilación del metanol para tener una alta pureza (99.8%). Esto también reduce los costos de inversión y operación necesarios para purificar el biodiesel en la transesterificación alcalina.

A pesar de que algunos autores critican los altos costos operativos de este proceso, debido a los altos requerimientos de temperatura y presión (mayor consumo energético) y también altos costos de inversión para contar con equipamiento que resista estas condiciones de operación, otros autores consideran que este método es efectivo debido a las ventajas mencionadas.

1.4.1.2.4 Craqueamiento térmico o pirólisis de las grasas

El craqueamiento térmico o pirólisis es la conversión de una sustancia en otra por medio de su calentamiento a altas temperaturas (superiores a 450°C) en ausencia de oxígeno.

En algunas situaciones se llega a utilizar catalizadores que ayudan a romper los enlaces químicos de las moléculas, de manera que se forman moléculas de menor tamaño.

La pirólisis de las grasas, con ayuda de óxido de silicio o de aluminio como catalizador, es una manera de obtener combustibles químicamente similares al diesel de petróleo. Sin embargo, es un proceso caro.

Además, al remover el oxígeno del proceso se pierden los beneficios ambientales de ser un combustible oxigenado (como la mejor combustión y menores emisiones contaminantes). Este combustible obtenido del craqueamiento térmico de las grasas no es biodiesel (no está compuesto por ésteres de ácidos grasos), pero es también un combustible renovable semejante al diesel de petróleo.

1.4.1.2.5 Tecnologías biomasa a líquido

Este método implica la síntesis de combustibles líquidos a partir de biomasa sólida mediante un proceso termoquímico.

Objetivo:

Producir combustibles similares a la gasolina y el diesel, que puedan ser utilizados con los sistemas de distribución y los motores actuales.

Son procesos denominados de segunda generación, pues su aplicación a la biomasa se encuentra actualmente en fase de investigación y demostración. Hasta el momento han sido aplicados a gran escala utilizando materias primas fósiles (carbón o gas natural).

1.4.1.3 Conclusiones: comparación de los métodos discutidos

En la tabla 1.10, se muestra una comparación de los requerimientos técnicos, ventajas y desventajas de cada uno de los métodos discutidos.

Cabe mencionar que el único método utilizado comercialmente es la transesterificación alcalina a pesar de sus múltiples limitaciones.

Se necesita más desarrollo e investigación de las nuevas tecnologías, para confirmar su viabilidad técnica y económica.

Tabla 1.10 Comparación de los métodos discutidos

Métodos	Transesterificación alcalina	Esterificación ácida y transesterificación alcalina	Transesterificación alcalina con etanol	Transesterificación enzimática	Transesterificación con catalizador heterogéneo	Transesterificación supercrítica	Transesterificación supercrítica con co-solvente
Alcohol	Metanol	Metanol	Etanol	Metanol	Metanol	Metanol	Metanol
Catalizador	NaOH, KOH o Metilato de sodio	H ₂ SO ₄ y NaOH, KOH o metilato de sodio	NaOH, KOH o metilato de sodio	Lipasas	Oxido de zinc y aluminio	-	-
Razón molar Alcohol: aceite	6:1	30-50:1 (esterif.) 6:1 (transesterif.)	9:1 – 12:1	4:01	n/d	42:1	24:1
Temperatura (°C)	50-80	50:80	30:70	30:40	n/d	320	280
Presión (bar)	1	1	1	1	n/d	400	128
Tiempo de reacción (min)	60-120	60	60	720	n/d	5-15	5-15
Sensibilidad a presencia de Agua	SI	SI	ALTA	NO	n/d	NO	NO
Sensibilidad a ácidos grasos libres	SI	NO	SI	NO	n/d		
Pre-tratamiento requerido	Neutralización aceite	Esterificación ácida es pretratamiento	Neutralización y secado en aire	NO	NO	NO	NO
Remoción de catalizador	Neutralización y lavado con agua	Neutralización y lavado con agua	Neutralización y lavado con agua	Filtrado	Filtrado	No necesaria	No necesaria
Remoción de jabones	Lavado con agua	Lavado con agua	Lavado con agua	No necesaria	No necesaria	No necesaria	No necesaria
Rendimiento en biodiesel	96%	97%	95%	95%	98%		98%
Calidad de glicerol	Baja	Baja	Baja	Alta	Alta (96% de pureza)	Alta (96.4% de pureza)	
Efluentes	Alcalinos-jabonosos	Ácidos y alcalinos-jabonosos	Alcalinos-jabonosos	No hay	No hay	Agua de refrigeración	Agua de refrigeración
Otros	Limitado a aceites de buena calidad. Rendimiento se puede mejorar realizándolo en 2 etapas.	Se requiere equipos resistentes a ácidos sulfúricos (equipos caros).	Limitado a aceites de muy buena calidad y etanol anhidro.	Se necesitan cosolventes- Enzimas son caras-Separación por Centrifugación.	Proceso en 2 etapas.	Altos costos de inversión y operación, compensados por menor pre y post-tratamiento.	Requiere cosolvente: Propano. Altos costos compensados por menor pre y post tratamiento.

Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1° ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

1.5 Estandarización internacional que rige al biodiesel

En la actualidad se han publicado dos normas que reúnen los estándares para biodiesel según los criterios de varios países, sin embargo estas normas son muy recientes y aún se encuentran en proceso de evolución, estas normas son para estandarizar las propiedades fisicoquímicas del biodiesel y sus mezclas (se debe indicar que no hay normas técnicas que estandaricen el almacenamiento y transporte de biodiesel, tema central de la tesis).

La EN 14214 y A.S.T.M D 6751, normas europeas y norteamericanas, respectivamente; son un marco de referencia para la evaluación del biodiesel elaborado y sus mezclas (“blend”).

Sin embargo, es necesario resaltar, que las propiedades fisicoquímicas de este biocombustible han de ser evaluadas por la materia prima utilizada, los parámetros que son función del proceso de elaboración y los que son función del post-procesamiento.

A continuación en la tabla 1.11 podemos apreciar una comparación entre las propiedades típicas del diesel y del biodiesel según sus estándares respectivos:

Tabla 1.11 **Propiedades típicas del diesel y biodiesel**

Propiedades del combustible	Diesel	Biodiesel
Estándar que rige el combustible	ASTM D975	ASTM ¹² D6751
Viscosidad cinemática a 40°C	1.3 a 4.1	4.0 a 6.0
Gravedad específica [kg/l] a 60°C	0.85	0.88
Densidad a 15°C [libras/galón]	7.079	7.328
Agua y sedimentos, vol. %	0.05 max.	0.05 max.
Carbono [%]	87	77
Hidrogeno [%]	13	12
Oxígeno [%]	0	11
Azufre* [%]	0.05 max	0.0 a 0.0024
Punto de ebullición [°C]	180 a 340	315 a 350
Punto de ignición [°C]	60 a 80	100 a 170
Punto de congelación [°C]	(-)15 a 5	(-)3 a 12
Número de cetano	40 a 55	48 a 65
Lubricación SLBOCLE [gramos]	2 000 a 5 000	>7 000
Lubricación HFRR [micrones]	300 a 600	<300
*Según decreto promulgado 2006, contenido de azufre en combustible debe ser como máximo 15ppm		

Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1º ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

La norma ASTM para el biodiesel B (100) es ASTM D6751-03. A continuación, se muestran algunos de estos puntos en la tabla 1.12. Estas especificaciones se dan con la finalidad de asegurar la calidad del biodiesel utilizado como mezcla al 20% o menor.

¹² ASTM: “American Society for Testing and Materials”.

Tabla 1.12 **Requerimientos para biodiesel B (100) y mezclas según ASTM D6751-03**

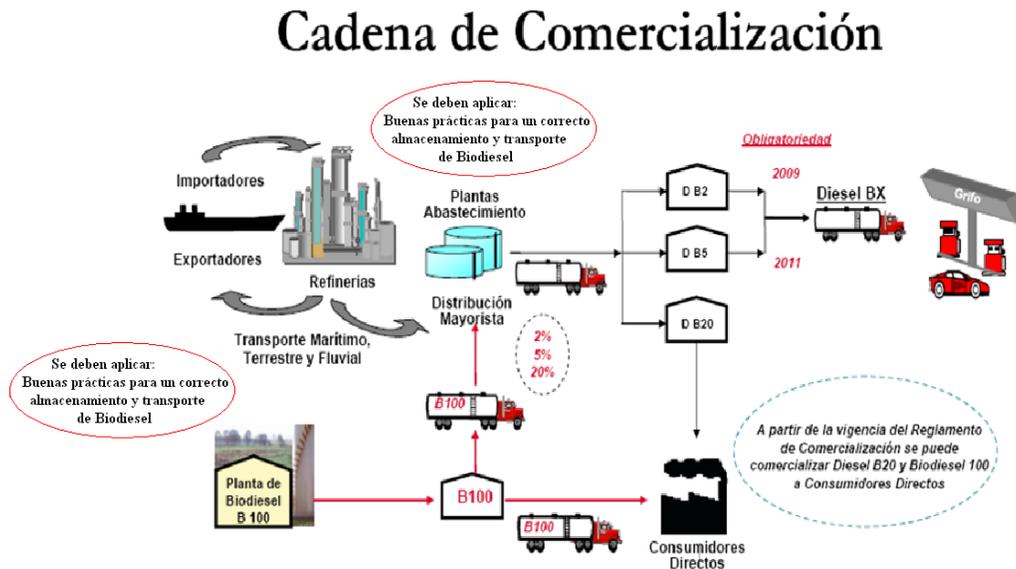
Propiedad	ASTM estándar	Límites	Unidades
Punto de ignición	D93	130 min	°C
Agua y sedimentos	D2709	0.050 max	% vol.
Viscosidad cinemática a 40°C	D445	1.9 a 6.0	mm ² /s
Residuos con azufre	D874	0.020 max	% masa
Cont. de azufre	D5453	0.0015 max	% masa
Número de cetano	D613	-	-
Residuo de carbón	D4530	0.050max	% masa
Índice de acidez	D664	0.80 max	mg KOH/g
Glicerina libre	D6584	0.020 max	% masa
Glicerina total	D6584	0.240 max	% masa
Cont. de fósforo	D4951	0.001 max	% masa
Temp.de destilación	D1160	360 max	°C

Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1° ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

1.6 Estudio de costos relacionados con el biodiesel

En la figura 1.5, se muestra la cadena de comercialización del biodiesel desde la producción, transporte, comercialización a las refinerías para su mezcla con diesel, hasta su destino final en el usuario.

Figura 1.5 Cadena de comercialización del biodiesel



Fuente: Garrido, Angie. (2007). “La producción de Biodiesel en el Perú”. *Dirección General de Hidrocarburos. Ministerio de Energía y Minas, Perú*. Volumen 1: Pág. 16/26

1.6.1. Costos de materia prima

Las materias primas más comúnmente utilizadas son:

Materia prima de origen vegetal:

- La materia prima vegetal a usar en la producción de biodiesel es cualquier aceite vegetal, si es desgomado mejor (para el aceite de soja conviene el desgomado, otros aceites no necesitan desgomado) otros aceites son de copra, colza, canola, algodón, en general cualquier aceite económico que se pueda obtener.
- Otra opción es utilizar aceite usado luego de algunas frituras.

Se va a analizar un caso a manera de ejemplo, un caso de producción de Tempate (*Jatropha curcas*) en el Salvador¹³, ver tablas 1.13.

¹³ Fuente: Salazar, Samuel. (2008). “Biodiesel, consideraciones básicas para su producción en el Salvador”. *Biodiesel*, volumen 1: 4 páginas.

Tablas 1.13 Análisis económico de producción de Tempate (*Jatropha curcas*).

Tabla 1.13.1 Producción de Tempate

Producción de Tempate (<i>Jatropha curcas</i>).					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo x unidad	Total	Costo parcial
Fertilización					
Fertilizante completo	Quintal	3	US\$ 16.00	US\$ 48.00	US\$ 144
Mano de obra aplicación	D/h	6	US\$ 4.00	US\$ 24.00	
Fertilizante foliar	L	-	US\$ 8.00	US\$ 0.00	
Aplicación fertilizante foliar	D/h	-	US\$ 4.00	US\$ 0.00	
Fertilizante nitrogenado	Quintal	4	US\$ 12.00	US\$ 48.00	
Mano de obra fertilizante	D/h	6	US\$ 4.00	US\$ 24.00	
Controles					
Herbicida	L	1	US\$ 10.00	US\$ 10.00	US\$ 44.00
Aplicación de herbicida	D/h	4	US\$ 4.00	US\$ 16.00	
Insecticida	L	1	US\$ 10.00	US\$ 10.00	
Aplicación de insecticida	D/h	2	US\$ 4.00	US\$ 8.00	
Cultivos					
Podas	D/h	20	US\$ 4.00	US\$ 80.00	US\$ 80.00
Cosecha					
Cosecha	Tm	33	US\$ 25.00	US\$ 825.00	US\$ 1 007.00
Sacos cosecha	Unid	200	US\$ 3.33	US\$ 60.00	
Transporte interno	Tm	33	US\$ 2.00	US\$ 66.00	
Secado	D/h	6	US\$ 4.00	US\$ 24.00	
Descascarillado	D/h	8	US\$ 4.00	US\$ 32.00	
Sub total					US\$ 1 275
Administración (valores según fuente)	5%			US\$ 64.00	US\$ 64.00
Amortización de establecimiento (valores según fuente)				US\$ 70.00	US\$ 70.00
Valor de tierra (valores según fuente)				US\$ 70.00	US\$ 70.00
Total					US\$ 1 479.00

Tabla 1.13.2 Producción obtenida (promedio)

Producción promedio obtenida	
Producción de fruta fresca por manzana	33 000kg
Producción semilla seca por manzana	5 000kg
Contenidos de aceite	35%

Fuente: Salazar, Samuel. (2008). "Biodiesel, consideraciones básicas para su producción en el Salvador". *Biodiesel*, volumen 1: 4 páginas.

- **Producción de Tempate (Jatropha curcas)**

Como se aprecia el costo total de producción de Tempate por manzana es de US\$ 1 479.00

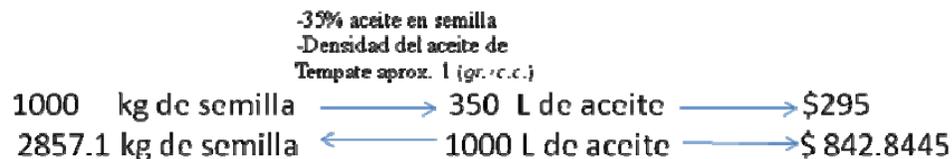
La cosecha se ha calculado a razón de US\$ 25.00 la tonelada de fruta fresca y no se han considerado costos para transportar el producto hacia la planta.

Se ha asumido un fertilización de 8oz por planta (230 grs.) y se ha eliminado aplicaciones foliares, las cuales se deberán pensar en los inicios de la plantación.

El costo de establecimiento (aprox. US\$ 450.00) del cultivo se ha depreciado en razón de US\$ 70.00 por año.

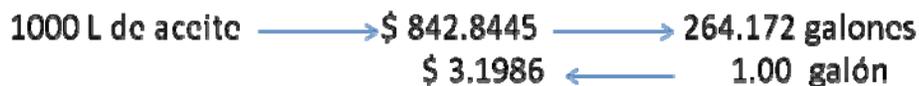
Como el costo de mano de obra en cosecha se ha calculado por obra, la mejora en productividad no mejorara ese costo.

La tonelada de semilla cuesta en promedio de US\$ 295.00 (asumiendo que se obtendrán 5 Tm de semilla seca “oro” con un costo de US\$ 1 479.00).



Redondeando nos da un valor de US\$ 845.00 en promedio por tonelada de aceite, asumiendo un 35% de aceite en semilla y una densidad del aceite de aproximadamente 1gr/cc.

Finalmente se calcula que el precio promedio del aceite de Tempate por galón es de US\$ 3.1986.



Materia prima de origen vegetal: aceite vegetal usado

Su precio es de US\$ 1.10 por galón.

Materias primas de origen animal

- “Yellow Grease”, grasas amarillas las cuales se importa a unos valores relativamente bajos que van desde 380 hasta 500 dólares la tonelada, en los últimos años el precio ha crecido, sin embargo en Estados Unidos y otros países estos precios se mantienen. Aproximadamente US\$ 1.85 por galón.
- Existen otras grasas de menor calidad como el Trap Grease que se cotiza normalmente a mitad del precio de la anterior (200 hasta 350 dólares la tonelada). El trap grease es la grasa atrapada en las aguas de servicio de los restaurantes y bares. Aproximadamente US\$ 0.76 por galón.

A continuación se presenta un cuadro, tabla 1.14, donde se expondrán los costos de diversas materias primas utilizadas en la elaboración de biodiesel.

Tabla 1.14 **Costos de materias primas para la elaboración de biodiesel**

	Cultivo Tempate	Cultivo Ricino	“Trap grease”	“Yellow grease”
Precio Tm semilla	US\$ 289.4	US\$ 308.00		
Porcentaje de aceite en semilla	35%	35%		
Precio por Tm aceite o grasa	US\$ 842.8445	US\$ 890.00	US\$ 201.00	US\$ 490.00
Precio galón de aceite (en bruto)	US\$ 3.1986	US\$ 3.37	US\$ 0.76	US\$ 1.85

Fuente: Salazar, Samuel. (2008). “Biodiesel, consideraciones básicas para su producción en el Salvador”. *Biodiesel*, volumen 1: 4 páginas.

1.6.2. Costos de transformación

Tomando en cuenta la tabla 1.14 mencionada anteriormente, se dará información aproximada de los costos de transformación en biodiesel de las materias primas mostradas:

Tabla 1.15 **Materias primas para la elaboración de biodiesel-costos de transformación**

	Cultivo Tempate	Cultivo Ricino	“Trap grease”	“Yellow grease”
Precio Tm semilla	US\$ 289.4	US\$ 308.00		
Porcentaje de aceite en semilla	35%	35%		
Precio por Tm aceite o grasa	US\$ 842.8445	US\$ 890.00	US\$ 201.00	US\$ 490.00
Precio galón de aceite	US\$ 3.1986	US\$ 3.37	US\$ 0.76	US\$ 1.85
Costos de transesterificación por galón	US\$ 0.43	US\$ 0.44	US\$ 0.5	US\$ 0.45
Costos biodiesel por galón (dentro de planta de producción)	US\$ 3.6286	US\$ 3.81	US\$ 1.26	US\$ 2.3

Fuente: Salazar, Samuel. (2008). “Biodiesel, consideraciones básicas para su producción en el Salvador”. *Biodiesel*, volumen 1: 4 páginas.

1.6.3. Costos de almacenamiento

Se ha investigado todas las tecnologías existentes para la fabricación de tanques destinados al almacenamiento de biodiesel así como sus costos.

Cabe indicar que el almacenamiento de biodiesel necesita todo un estudio y una explicación detallada la cual es la base de esta investigación. A continuación se muestra un cuadro con las principales tecnologías de fabricación de tanques para biodiesel y sus costos de fabricación aproximados. Ver tabla 1.16:

Tabla 1.16 Costos de almacenamiento

Tecnología de fabricación de tanques para almacenamiento de biodiesel	Dimensiones (diámetro x altura)	Capacidad	Costo aproximado
Tanques convencionales de acero al carbono	24 x 10.51metros	25 000.00 barriles	US\$ 1 440 283.41
Tanques de fibra de vidrio PRFV	4 x 12.430metros	943.471 barriles	US\$ 34 271.00
Tanques de vidrio fusionado al acero	17.91 x 13.06metros	20 686.00 barriles	US\$ 671 239.50

En el Capítulo 3 y en la sección 4.2 se estudiará a fondo la problemática del almacenamiento del biodiesel desde aspectos técnicos y económicos.

1.6.4. Costos de transporte y distribución

El transporte de este biocombustible se efectúa al igual que el petróleo en buques-tanques, camiones cisternas y por tuberías.

El análisis técnico y económico sobre el transporte y distribución de biodiesel en tuberías y válvulas de materiales compatibles con biodiesel se encuentra en las secciones 4.1 y 4.3 (páginas 87 y 98 respectivamente).

1.6.5. Precio de venta (usuario final)

El costo de venta del biodiesel B100 es típicamente más alto que el del diesel en 1 a 2 dólares por galón. La magnitud de la diferencia de precios depende de los productores de biodiesel, los costos de materia prima, costos de transporte, incentivos para la producción, incentivos en los impuestos, y otras variables locales.

Actualmente el costo del biodiesel es aproximadamente 140 dólares barril, es decir 3.8788 dólares galón (1Barril=36.0934galones).

Fuente: Empresa productora de biodiesel: LA FABRIL S.A. (Ecuador). Abril de 2009.

Mientras que el costo del diesel es aproximadamente de 60 dólares barril, es decir 1.6623 dólares galón (1Barril=36.0934galones).

Fuente: Refinería Petroperú (Talara-Perú). Abril de 2009.

Tomando nuevamente la tabla 1.17, se dará información aproximada de los costos finales de biodiesel en función de las materias primas mostradas y se compararán estos mismos con los costos del diesel derivado del petróleo.

Tabla 1.17 Materias primas para la elaboración de biodiesel-análisis económico

	Cultivo Tempate	Cultivo Ricino	“Trap grease”	“Yellow grease”	Diesel (Petróleo)
Precio Tm semilla	US\$ 289.4	US\$ 308.00			
Porcentaje de aceite en semilla	35%	35%			
Precio por Tm aceite o grasa	US\$ 842.8445	US\$ 890.00	US\$ 201.00	US\$ 490.00	
Precio galón de aceite	US\$ 3.1986	US\$ 3.37	US\$ 0.76	US\$ 1.85	
Costos de transesterificación por galón	US\$ 0.43	US\$ 0.44	US\$ 0.5	US\$ 0.45	
Costos biodiesel por galón (dentro de planta de producción)	US\$ 3.6286	US\$ 3.81	US\$ 1.26	US\$ 2.3	
Impuestos (valores según fuente)	US\$ 0.47	US\$ 0.50	US\$ 0.14	US\$ 0.29	
Precio de venta al público por galón	US\$ 4.0986	US\$ 4.31	US\$ 1.40	US\$ 2.59	US\$ 1.6623
Diferencia biodiesel-diesel, por galón	-US\$ 2.4363	-US\$ 2.6477	+US\$ 0.2623	-US\$ 0.9277	

Fuente: Salazar, Samuel. (2008). “Biodiesel, consideraciones básicas para su producción en el Salvador”. *Biodiesel*, volumen 1: 4 páginas.

De este análisis económico se obtiene que todos los biodiesel obtenidos de las materias primas: Tempate, Ricino, yellow grease; resultan ser más caros que el diesel convencional, mientras que el biodiesel producido a partir de “trap grease” (grasa atrapada en las aguas de servicio de los restaurantes y bares) resulta ser aproximadamente US\$ 0.2623 más barato.

CAPÍTULO 2

Biodiesel en el Perú

En este capítulo se analizará la situación actual del biodiesel en Perú, previo análisis introductorio de las fuentes energéticas en el mundo.

Sobre la situación del biodiesel en el Perú, se hará un repaso a los avances realizados hasta la fecha, ámbito legal e investigaciones recientes.

Respecto a la situación mundial del biodiesel, se verán los principales países productores y algunos aspectos relacionados al contexto que impulsó al desarrollo del biodiesel en dichos países.

2.1 Panorama mundial

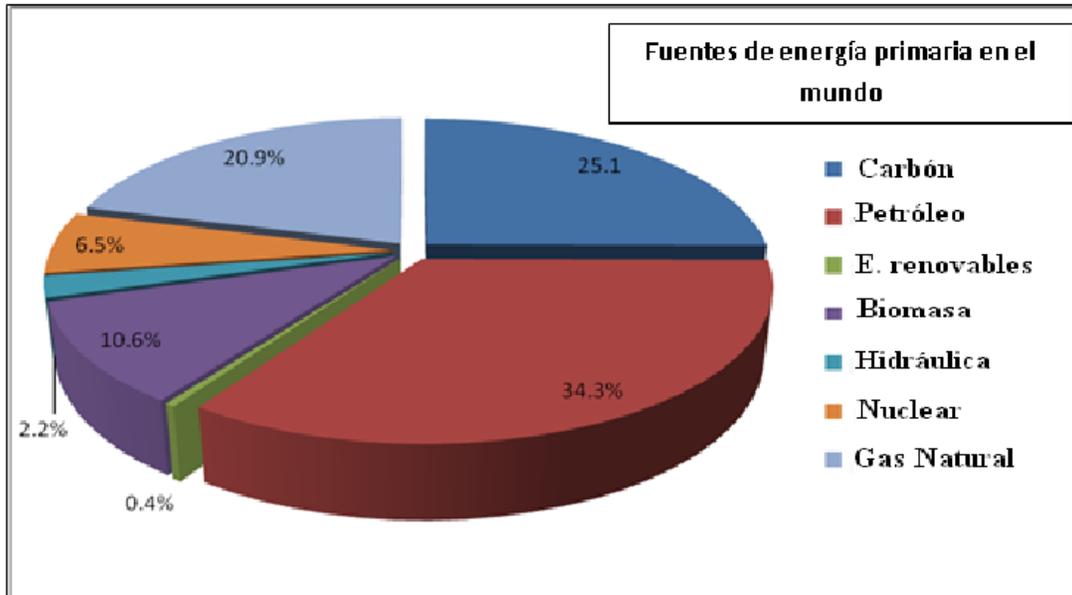
Actualmente el sistema energético mundial está basado en su mayor parte en el empleo de combustibles fósiles y el consumo de leña. Esto ha traído como consecuencia la peligrosa degradación ambiental del planeta, debido a las emisiones de CO₂ a la atmósfera que están contribuyendo al cambio climático global, a las emisiones de otros gases contaminantes en las ciudades que afectan a la salud de las poblaciones y a la deforestación causada por la demanda de leña.

El conjunto de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) provee el 80% de la energía primaria total consumida en el mundo y de ellos el petróleo sigue siendo el principal, ya que aporta el 34% del total de la energía.

La biomasa tradicional: leña, residuos de cosecha, estiércol, es la cuarta fuente en importancia, con un 10.6% de la energía primaria consumida total.

A continuación se muestra en la figura 2.1, las fuentes de energía primaria en el mundo.

Figura 2.1: Fuentes de energía primaria en el mundo



Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1º ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

2.1.1 Principales productores y producción mundial

La producción mundial de biodiesel y bioetanol aumentó un 29.6% en 2007. Con dicho incremento se alcanzaron 47.4 millones de toneladas de producción total, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), de España.

De la cantidad total producida (47.4 millones de toneladas), 39.5 corresponden a la producción de bioetanol, en la que Estados Unidos se encuentra a la cabeza con 19.5 millones de toneladas, seguido de Brasil con 14.9 millones, la Unión Europea con 1.8 millones y China con 1.27 millones.

La producción total de biodiesel registrada en 2007 fue de 7.9 millones de toneladas, situándose como principal productor Alemania con 2 millones de toneladas, seguido de Estados Unidos con 1.2 millones, Francia con 1.15 millones e Italia con 550.000 toneladas.

A continuación en la tabla 2.1, se muestra a los principales productores de biodiesel en el mundo y la producción en [millones de litros/año]

Tabla 2.1: Principales productores de biodiesel en el mundo

País	Año	Producción (millones de litros/año)	Insumos utilizados	Tipo de uso
Alemania	2005	920	Colza, girasol, y/o aceite de cocina reciclado.	Uso puro en todo tipo de vehículos (Más de 400 mil vehículos usan B100 en Alemania, Austria y Suecia).
Francia	2005	511	Colza, girasol, y/o aceite de cocina reciclado.	Mezcla con diesel para su uso general B2 y en flotas cautivas B30. 10 a 15 millones de automóviles usan B2 en Francia.
EE.UU.	2005	290	Más del 90% provienen de soya, el resto de grasa amarilla, otros aceites o grasas animales.	B100, B20 y B2 principalmente en flotas cautivas, pero también venta al público y uso en minas subterráneas (por motivos de salud ocupacional).
Italia	2005	227	Girasol y/o aceite de cocina reciclado.	90% del biodiesel se usa puro o mezclado con 20% de diesel fósil, para usos térmicos como calefacción. Inicios en uso para transporte, especialmente flotas cautivas.
China	2004	138	Colza, semilla de algodón, y/o aceite de cocina reciclado.	Exportado a Hong Kong, uso principal en flotas cautivas.
República Checa	2002	63	Colza, girasol, y/o aceite de cocina reciclado.	Mezcla de diesel con 30% ó 40% de biodiesel.
Australia	2004	36	Aceite de cocina reciclado, grasas animales.	Mezcla de diesel con 30% ó 40% de biodiesel.
Austria	2005	30	Colza y/o aceite de cocina reciclado.	Mezcla de biodiesel de colza con diesel, o biodiesel puro de aceite de fritura.
España	2002	7	Girasol, aceite de cocina reciclado.	Flotas cautivas.
Dinamarca	2002	5	Colza, girasol, y/o aceite de cocina reciclado.	Mezcla de diesel con 30% ó 40% de biodiesel.
Reino Unido	2002	5	Principalmente aceite de cocina reciclado, también	Venta directa a flotas o en algunas estaciones de servicio. Promoción

			colza.	del B5.
Suecia	2002	3	Colza	Flotas cautivas
Suiza	2002	1	Principalmente colza	Uso en cooperativas agrícolas y como B100 en algunas estaciones de servicio
Eslovaquia	2002	1	Colza, girasol, y/o aceite de cocina reciclado.	Mezcla de diesel con 30% ó 40% de biodiesel

Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1° ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

La producción de biodiesel ha tenido un crecimiento espectacular en los últimos años debido a que se está tomando conciencia en el cuidado del medio ambiente y búsqueda de la independización del petróleo. Entre el 2000 y el 2005, ésta se ha cuadruplicado, mientras que la producción de bioetanol sólo creció al doble y la de petróleo sólo creció un 7%. Sin embargo, aún se está lejos de los niveles de producción mundial de bioetanol, que ya superó los 35 mil millones de litros por año.

2.1.2 Aumento del consumo de biodiesel en el mundo

Los principales motivos que llevaron a los diferentes países a impulsar la producción de biodiesel han sido:

- Una mayor seguridad en el abastecimiento energético.
- La reducción de la dependencia de fuentes de energía fósiles.
- La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- La reducción de emisiones dañinas de efecto local.
- La protección del suelo mediante el uso de productos biodegradables.
- La reducción de peligros a la salud mediante el uso de productos no tóxicos.
- La minimización de los excedentes de la producción agraria.

Como se puede observar, todas estas razones están directamente relacionadas con las ventajas del biodiesel explicadas en el Capítulo 1.

Estas ventajas mencionadas se relacionan también con los tipos de medidas regulatorias y de fomento que han implementado los gobiernos en el mundo para alcanzar estas metas, tal como se puede apreciar en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Motivos para la regulación y sus medidas de implementación en diferentes países

Motivo	País	Medida Legal
Seguridad del abastecimiento energético	Estados Unidos	Vehículos con combustibles alternativos.
	Unión Europea	Cuota obligatoria de 2% y 5% del mercado de combustibles.

Reducción de emisiones dañinas	Estados Unidos Italia	Ley de aire limpio. Programa de ciudades limpias. Programa de ciudades limpias.
Salud ocupacional	Estados Unidos Alemania Austria	Minería subterránea: límites de emisiones. Montacargas en interiores. Trabajo en túneles: límite de emisiones.
Protección del suelo	Austria Holanda	Regulación sobre la lubricación de moto sierras. Mayor depreciación de equipos.
Protección del agua	Alemania Austria Suiza	Comisión para el tráfico internacional de barcos.
Protección del clima	Alemania	Sistema de impuestos ecológicos.
Minimización de excedentes agrarios	Unión Europea	Política de tierras puestas en descanso y de promoción de cultivos con fines no alimentarios.
Reducción de costos de la disposición de residuos y mejoramiento de la imagen de la ciudad	Austria	Recolección de aceites usados y uso como biodiesel en la flota.
Imagen Corporativa: “Nos preocupamos”	Alemania	Sistema de tráfico de buses con biodiesel
Imagen Regional: “Pureza natural”	Austria	Sistema de tráfico de buses con biodiesel
Incentivo para el uso de buses públicos con biodiesel	Austria	Sistema de tráfico de buses con biodiesel

Incentivo para el uso de vehículos limpios	Suecia	Estacionamiento gratuito para vehículos con bioetanol.
---	--------	--

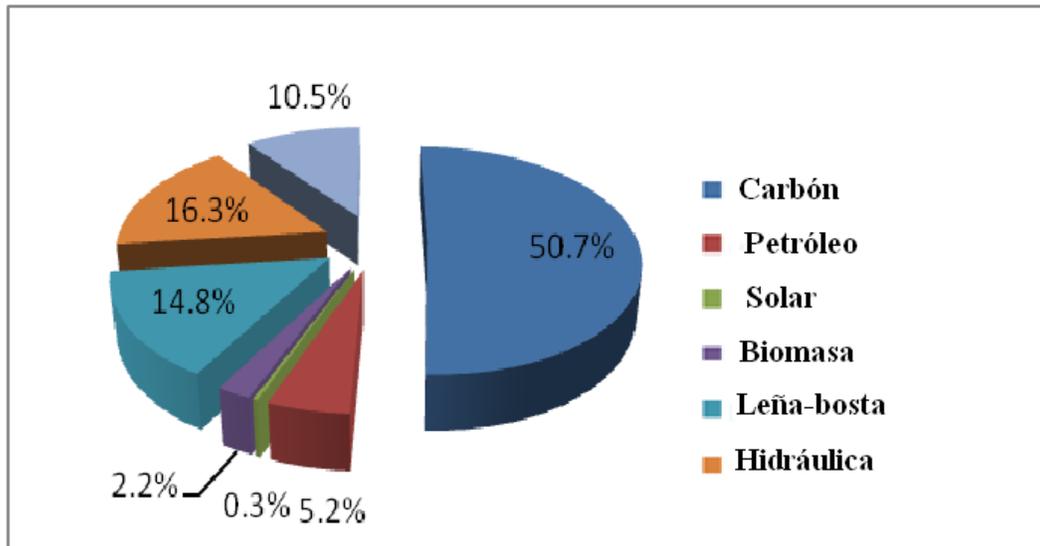
Fuente: Castro, Paula. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. Primera edición. Lima: Forma e Imagen.

2.2 El biodiesel en el Perú

2.2.1. Fuentes energéticas en el Perú

En el Perú la distribución de fuentes de energía es parecida a la distribución mundial, los combustibles fósiles representan el 66% de nuestras fuentes primarias de energía, y la biomasa tradicional el 15% (17% si se considera además el bagazo, utilizado principalmente en la industria azucarera). A continuación se muestra en la figura 2.2, las principales fuentes de energía primaria en el Perú.

Figura 2.2 Fuentes de energía primaria en el Perú



Fuente: Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú*. 1º ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.

Como se puede apreciar más del 50% de la energía utilizada en el Perú proviene del petróleo el cual es un recurso no renovable y altamente contaminante del medio ambiente. Es por eso que nace la inquietud de la investigación del buen manejo del biodiesel (almacenamiento y transporte) para que este biocombustible se pueda aprovechar sin generar inconvenientes al empresario peruano.

2.2.2. Materias primas para la producción del biodiesel en Perú: aceites y grasas

Las materias primas para producir biodiesel en el Perú son variadas, entre las que se tienen:

- a) Aceites vegetales
- b) Aceites y mantecas comestibles usadas (sebo, grasas amarillas).

c) Aceite de pescado

Sin embargo, la cantidad de materias primas disponibles en Perú no es la suficiente para satisfacer una posible demanda a gran escala de biodiesel, lo cual se convierte en una barrera para pensar en una futura producción de biodiesel en el Perú (al menos a gran escala).

a) Aceites vegetales

Las materias primas que han despertado mayor interés en el Perú por su potencial para la producción de biodiesel son: la palma aceitera en la selva y la colza canola en la sierra. Otras materias primas potenciales serían también la semilla de algodón en la costa, el piñón o tempate en zonas diversas, así como algunas fuentes alternativas como los aceites y grasas usadas, el aceite de pescado y el sebo animal.

A continuación mencionamos algunas de estas materias primas:

- **Palma aceitera**

El principal cultivo oleaginoso en el Perú es la palma aceitera (*Elaeis guineensis*), que se produce principalmente en la región amazónica, y tendría aún un amplio potencial de crecimiento. Según cifras oficiales, la superficie instalada con plantaciones de palma aceitera en el Perú asciende a 21 200 hectáreas, de las cuales alrededor del 60% (12 400 hectáreas) se encuentran en producción.

- **Colza canola**

La colza canola (*Brassica napus*), después de la soya y la palma, es la tercera fuente de aceite vegetal más importante del mundo. En el Perú, sin embargo, su producción es prácticamente inexistente, pese a que en los últimos meses ha despertado mucho interés ya que viene siendo promovida por el “Programa Sierra Exportadora” como uno de sus principales programas productivos, cuyos planes contemplarían la instalación de 20 mil a 200 mil hectáreas de colza canola en la sierra del Perú.

- **Piñón**

Si bien la producción y las experiencias en el Perú con el piñón o tempate (*Jatropha curcas*) son más bien escasas, éste es otro de los cultivos que ha generado gran interés por sus posibles ventajas que presentaría para la producción de biodiesel.

b) Aceites y grasas usadas

La cantidad disponible de aceites y grasas usados (conocidos también como *grasa amarilla*) depende de la población humana y de sus hábitos de consumo alimenticio. Se ha estimado que en la zona de Lima habría 4 millones de litros de grasa amarilla disponibles anualmente.

En ciudades de Norteamérica se calcula que se producen anualmente 4.5 litros de grasa amarilla por persona, lo cual, con una población de 7.8 millones de habitantes en Lima Metropolitana, equivaldría a unos 35 millones de litros de grasa amarilla por año.

Un gran inconveniente que presenta esta materia prima, es la logística que habría que implementar para su recolección.

Por otra parte, y a diferencia de lo que ocurre en países europeos o en los Estados Unidos, en el Perú, estos materiales de desecho tienen un precio de mercado, ya que son reutilizados informalmente para diversos fines.

Pero a pesar de todos estos inconvenientes de disponibilidad y acceso a este tipo de insumos, su uso puede ser interesante ya que la transformación de esta grasa amarilla en biodiesel podría tener como principal beneficio, evitar su vertimiento en los desagües y luego a ríos o lagos reduciendo así en gran porcentaje la contaminación de nuestro medio.

c) Aceite de pescado

El aceite de pescado, finalmente, es otra opción de materia prima para el biodiesel, y en el Perú se produce en gran cantidad: según cifras del Ministerio de la Producción, en el año 2005 se fabricó un total de 290 mil toneladas de aceite de pescado crudo.

El inconveniente es que aún existe poca experiencia en el mundo en producción de biodiesel a partir de este aceite, y por lo tanto se requiere investigación específica sobre el proceso de producción y la calidad del combustible que se obtendría.

Además los precios del aceite de pescado son aún muy altos, la tonelada de aceite crudo de pescado cuesta US\$ 640 (promedio F.O.B.¹⁴ en Perú durante el 2007), mientras que el crudo de soya costó un promedio de US\$ 534 y el crudo de palma solamente US\$ 511 (precios C.I.F.¹⁵ en Rotterdam).

¹⁴ FOB: “Free on Board” (en comercio internacional: precio de la mercadería puesta en el barco, sin incluir el flete)

¹⁵ CIF: “Cost, Insurance and Freight” (en comercio internacional: precio de la mercadería en el puerto de destino, incluyendo el costo del seguro marítimo y el flete de transporte)

2.3 Experiencias de investigación con biodiesel en el Perú

Se ha realizado el análisis de un estudio denominado: “**Opciones para la producción de biodiesel a pequeña escala en el Perú**” realizado en el año 2004 por:

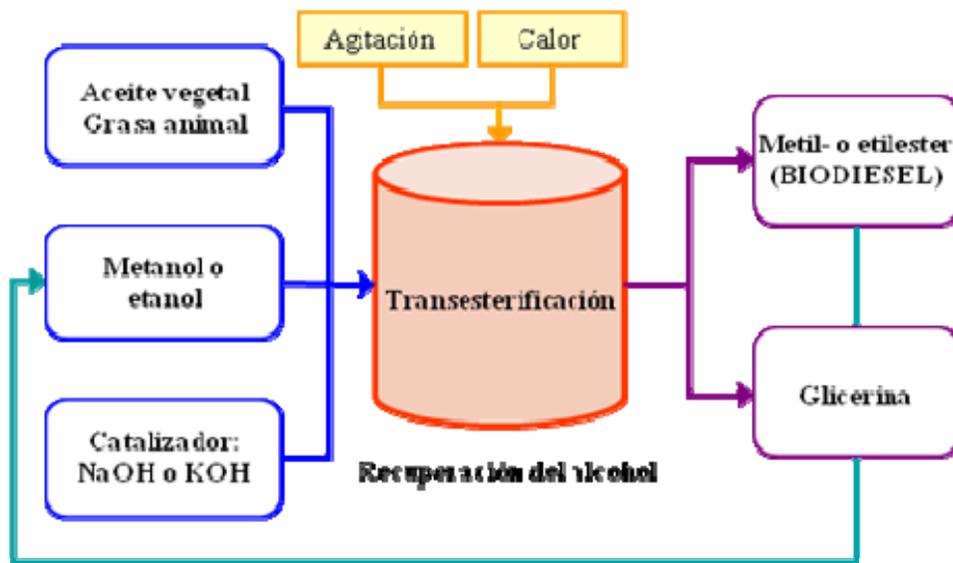
- PhD. José Luis Calle Maraví, UNALM (Universidad Nacional Agraria la Molina)
- Javier Coello Guevara, ITDG
- Paula Castro Pareja, UNALM
- Mirtha Nazario Ramírez, UNALM
- Fernando Acosta Bedoya, UAP (Universidad Alas Peruanas)
ITDG¹⁶ – UNALM-CONCYTEC¹⁷

Este estudio consta de dos casos:

Caso a) Materia prima: Insumos oleaginosos de la Amazonía peruana (CONCYTEC-2004)

En la figura 2.3 se ha esquematizado el proceso de obtención de biodiesel:

Figura 2.3 **Proceso de obtención de biodiesel**



Fuente: ITDG-CONCYTEC. (2004). “Producción de Biodiesel a pequeña escala a partir de Recursos Oleaginosos Amazónicos”. *ITDG-CONCYTEC*, volumen 1: 25 diapositivas.

Proceso

- Recolección y/o extracción de aceites
- Determinación de acidez del aceite
- Transesterificación (alcalina)
- Separación de la glicerina, usos:

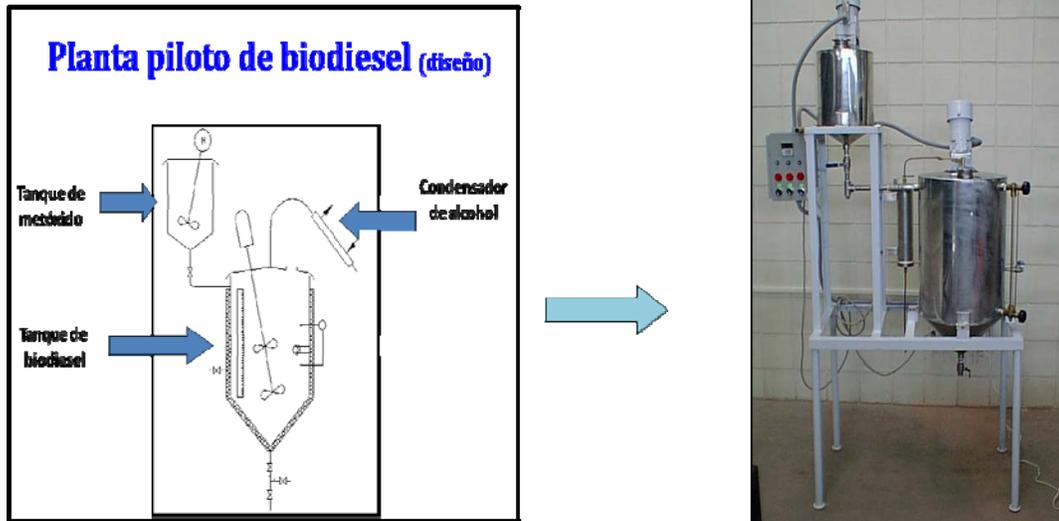
16 ITDG-Perú: “Intermediate Technology Development Group”.

17 CONCYTEC: Consejo nacional de ciencia, tecnología e innovación tecnológica del Perú.

- Briquetas¹⁸
 - Purificación y venta
- Lavado y filtrado de biodiesel, uso: motores de combustión interna

En la figura 2.4, se muestra la planta piloto utilizada para la producción de biodiesel, al lado izquierdo el esquema de diseño de la planta y al lado derecho el equipo ya construido.

Figura 2.4 Equipo utilizado en la investigación



Fuente: ITDG-CONCYTEC. (2004). “Producción de Biodiesel a pequeña escala a partir de Recursos Oleaginosos Amazónicos”. *ITDG-CONCYTEC*, volumen 1: 25 diapositivas.

En la tabla 2.3, se presenta las oleaginosas con las que se realizó el estudio, junto con algunas de sus características de producción.

Tabla 2.3 Oleaginosas con las que se trabajó en este estudio:

Fruto	Nombre científico	Producción fruto (Tm/ha año)	Producción de aceite (kg/ha)	Lípidos (%)
Aguaje	Mauritia flexuosa	6.1 (aguajes naturales-Perú) 19 (monocultivos-100 plantas/ha)	800-1 200 (monocultivo)	21.1
Castaña	Bertholletia excelsa	7.5 (plantaciones-25 plantas/ha)	1 575	69.3

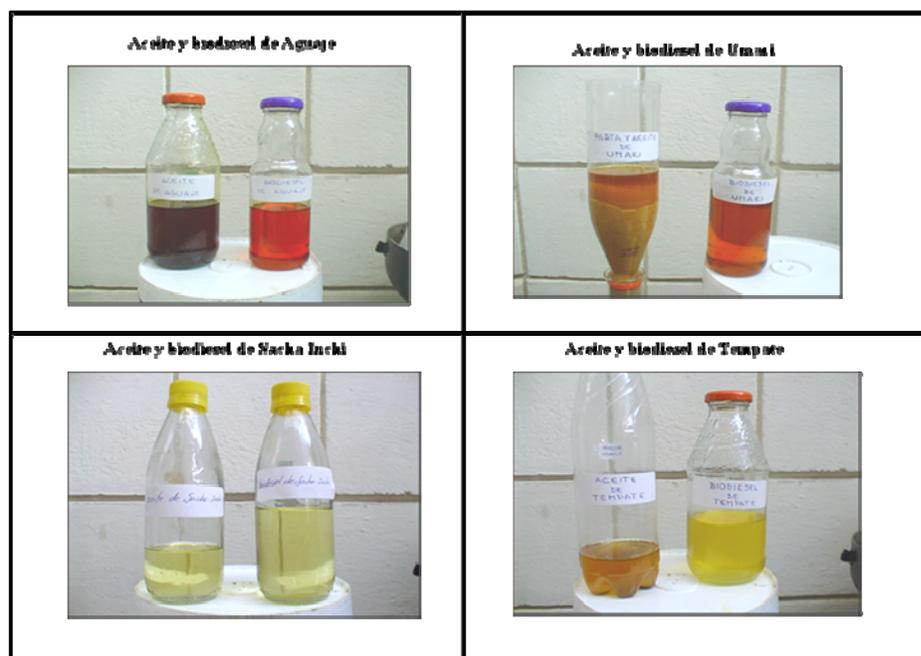
¹⁸ Bloque sólido combustible para la estufa o chimenea, en forma de ladrillo, que sustituye a la leña. Están hechas con materia residual, como cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar, residuos de pulpa de papel, papel o cartón y aserrín de madera.

Pijuayo	Bactris gasipaes	10-24	2 000	23
Piñón/Tempate	Jatropha curcas	4.8	1 700	30-38
Umari	Poraqueiba sericea	9.8	2 077.6	21.2
Ungurahui	Oenocarpus bataua	1.6-3.5 (forma natural) 3.27 (plantaciones)	240-525 (plantación)	19.3(mesocarpo) 14.5 (epicarpo)
Babasu	Orbignia phalerata	1.5-5	90-150	5-7
Coco	Cocos nucifera	11.7	610-732	66
Palma aceitera	Eleaeis guineensis	25.9	4 000	

Fuente: ITDG-CONCYTEC. (2004). “Producción de Biodiesel a pequeña escala a partir de Recursos Oleaginosos Amazónicos”. *ITDG-CONCYTEC*, volumen 1: 25 diapositivas.

Las imágenes mostradas a continuación son del aceite y biodiesel obtenido de cada fruto amazónico (ver figura 2.5):

Figura 2.5 Aceites y biodiesel obtenidos en el estudio



Fuente: ITDG-CONCYTEC. (2004). “Producción de Biodiesel a pequeña escala a partir de Recursos Oleaginosos Amazónicos”. *ITDG-CONCYTEC*, volumen 1: 25 diapositivas.

A continuación se presenta la tabla 2.6 en donde se muestran los rendimientos de cada fruto tropical orientados a la producción de biodiesel:

Tabla 2.4 **Análisis de rendimientos**

Insumo	Aguaje		Umari	Tempate	Ricino	Palma	Palma
Parte útil	Pulpa		Pulpa	Semilla	Semilla	Pulpa	Pulpa
Rendimiento aceite teórico (% del fruto)	3.00%		5.36%	5.25%	8.55%	Se obtuvo el aceite directamente	Se obtuvo el aceite directamente
Proceso de extracción	Hervido	Prensado	Hervido	Prensado	Prensado		
Rendimiento extracción (%del fruto)	0.34%	0.84%		2.35%	4.01%		
Rendimiento extracción (obtenido vs. teórico)	11.44%	28.07%	0.00%	44.85%	46.86%		
Acidez del aceite (g NaOH/L aceite)	10	10	2	8.00%	-	5.9	14.4
Rendimiento biodiesel vs. aceite	81.02%		90.58%	77.86%	-	87.16%	72.64%

Fuente: ITDG-CONCYTEC. (2004). "Producción de Biodiesel a pequeña escala a partir de Recursos Oleaginosos Amazónicos". *ITDG-CONCYTEC*, volumen 1: 25 diapositivas.

Costos:

Se ha estimado un costo de S/. 2.10 galón, solo para el proceso de producción de biodiesel, bajo los siguientes supuestos:

- Reactor artesanal que produce 50 litros por lote.
- Sin consumo de energía eléctrica: calor de briquetas o leña y agitación manual.
- Sin costos de transporte dado que sería para uso local.
- No se ha incorporado los costos de los insumos (aceite, alcohol y metanol), que serán variables según la ubicación y la calidad de los mismos.

Caso b) Materia prima: Aceites vegetales de desecho generados por el comedor universitario de la UNALM

Análisis:

- Inadecuada disposición final de los aceites desechados.
- La generación de aceites usados en el comedor universitario es de aproximadamente 50 litros semanales, dependiendo del tipo de alimento preparado.
- Es un aceite de buena calidad, debido a que se usa sólo una vez.
- Actualmente se botan al desagüe.
- La producción de biodiesel se presenta como una alternativa para la disposición de estos aceites usados del comedor.
- Disposición final adecuada que evita la contaminación de las aguas.

Proceso:

- Pretratamiento del aceite por presencia de sólidos y/o humedad.
- Evaluación del uso de sólidos en alimentación animal
- Determinación de la acidez libre para calcular la cantidad de catalizador a utilizar.
- Obtención del biodiesel por transesterificación (ver proceso mostrado en caso a)

Resultados:

- Aceite usado del comedor de la UNALM con adecuadas características para producción de biodiesel.
- Se ha diseñado un reactor para procesar volumen de aceite desechado en el comedor de la UNALM.
- Se han determinado los parámetros ideales para producir biodiesel con este aceite.
- El biodiesel producido cumple con estándares internacionales de calidad.
- El rendimiento de biodiesel obtenido fue de 89.6% en relación con el aceite utilizado.
- Se está desarrollando un sistema de recolección de los aceites del comedor para su transformación en biodiesel.

En la tabla 2.5 se puede apreciar un análisis económico del proceso de producción de biodiesel en la investigación realizada

Tabla 2.5 **Análisis económico**

Rubro	Unidad	Cantidad requerida	Costo unitario (Nuevos Soles)	Costo total (con IGV)	Subtotales por lote	Subtotales por galón
Insumos						
Aceite usado	Litros	50	0.00	0.00		
Soda cáustica	kilogramos	0.2425	4.96	1.20		
Metanol	Litros	9	1.96	17.61	18.82	1.45
Proceso						
Electricidad	kw/h	6.73	0.31	2.47		
Agua	m ³	0.21	3.24	0.81		
Mano de obra	horas hombre	6	2.80	16.80		
Depreciación de equipo				10.38	30.46	2.34
Transporte				0.00	0.00	0
Costo total (Nuevos Soles, incluido IGV)					49.28	3.78
Si el aceite cuesta S/. 0.40 por litro, el biodiesel costaría S/. 5.32 por galón, valores según fuente						

Fuente: ITDG-UNALM. (2004). "Producción de Biodiesel a pequeña escala a partir de Aceites vegetales de desecho generados por el comedor universitario de la UNALM". ITDG-UNALM, volumen 1: 25 diapositivas.

Conclusiones generales:

Los principales inconvenientes presentados en el análisis de este estudio son:

- Costo de aceites vegetales cuando se emplean cultivos oleaginosos tradicionales.
- Logística de recolección de la materia prima en el caso del aprovechamiento de aceites vegetales usados.

2.4 Marco legal peruano

El Perú cuenta con un marco legal para la promoción de los biocombustibles, conformado por:

- **Ley N° 28054: Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, 7 de agosto de 2003.**

A continuación un breve comentario de la ley:

En el artículo 1, se expone el objetivo de la ley, el cual es 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 fin 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.

En el artículo 2, se hace una breve definición de biocombustibles como los productos químicos que se obtienen 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.

Luego en el artículo 3 se muestran algunas políticas generales de la ley (pueden ser revisadas en el anexo ley 28054, art. 3), el artículo 4 hace mención que el poder ejecutivo dispondrá la oportunidad y las condiciones para el establecimiento del uso de biocombustibles (etanol y biodiesel).

Finalmente en el artículo 5, se toca el tema de los proyectos de desarrollo y apoyo a los programas de lucha contra las drogas.

Cerrando la ley, se dan unas disposiciones complementarias y transitorias, en las cuales se menciona que se deberá crear un programa de promoción del uso de biocombustibles (PROBIOCOM) y tendrá por objeto promover las inversiones para la producción y comercialización de biocombustibles. También se deberá crear una comisión técnica encargada de proponer y recomendar las normas y disposiciones complementarias para el cumplimiento de la presente ley y se mencionan a los integrantes de dicha comisión.

Para mayor detalle, se adjunta la Ley N° 28054: Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles en el anexo A.

▪ **D.S. N° 013–2005–EM: Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, de marzo del 2005.**

Mediante Decreto Supremo N° 013-2005-EM, se aprobó el Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles.

A continuación se hará un comentario del D.S. N° 013–2005–EM:

Título I

Disposiciones Generales

En el artículo 1, se menciona, que el reglamento busca la promoción de las inversiones para la producción y comercialización de Biocombustibles, difundiendo las ventajas económicas, sociales y ambientales de su uso, y se establecen los requisitos técnicos de seguridad para su producción y distribución; de modo que salvaguarde la salud pública y el medio ambiente y coadyuve a la Estrategia Nacional de Lucha contra las Drogas promoviendo la inversión en cultivos alternativos en las zonas cocaleras del país.

En el artículo 2 se explica que al mencionar el término “la Ley”, se está refiriendo a la Ley N° 28054 - Ley de promoción del mercado de biocombustibles.

En el artículo 3, se dan diversas definiciones a términos relacionados a biocombustibles (véanse en el anexo Reglamento de la Ley N° 28054 - Ley de promoción del mercado de biocombustibles, Título 1, art. 3).

El artículo 4, se refiere a la norma técnica peruana con la que se debe cumplir.

En el artículo 5 se menciona la aplicación a nivel nacional de la ley y que esta debe de ser cumplida por los productores, comercializadores y distribuidores de biocombustibles.

Título II

De la promoción de los biocombustibles

Capítulo I

Porcentaje y cronograma de aplicación y uso del alcohol carburante y biodiesel:

En los artículos 6 y 7 se dan los porcentajes de mezcla de gasolina con etanol y el cronograma de fechas en los que se entrará en vigencia dichas mezclas.

Los artículos 8 y 9 muestran los porcentajes de mezcla y el cronograma de fechas respectivamente:

- A partir del 1 de enero de 2008 el Diesel N° 1 y Diesel N° 2 Ecológico (con 5% de biodiesel y 95% de diesel convencional) se comercializarán en las regiones: Loreto, Ucayali, Amazonas, San Martín y Huánuco.
- A partir del 1 de enero de 2010 en todo el país.

El artículo 10 señala que los productores nacionales de Alcohol Carburante y de Biodiesel deberán presentar al Ministerio de Energía y Minas, en el mes de enero de cada año, sus planes de producción quinquenal de etanol y de Biodiesel, detallando el volumen de producción mensual y el área geográfica en la cual se realizará.

El artículo 12 menciona que los distribuidores mayoristas de combustibles líquidos debidamente registrados en el Ministerio de Energía y Minas son los únicos autorizados a comprar Alcohol Carburante y Biodiesel en el mercado nacional.

En el artículo 13 se explica que las mezclas de etanol con gasolinas y de Biodiesel con diesel se realizarán únicamente en las Plantas de Abastecimiento y las operaciones de mezcla estarán a cargo del Operador de la Planta de Abastecimiento.

Capítulo II

Promoción de cultivos para biocombustibles

Los artículos 14, 15, 16 y 17 hacen mención a los proyectos de cultivo para biodiesel y pueden ser revisados en el anexo Reglamento de la Ley N° 28054 - Ley de promoción del mercado de biocombustibles, Título 2, cap. II.

Capítulo III

Promoción para el desarrollo de tecnologías

En el artículo 18 se señala que se busca promocionar e incentivar la creación y el desarrollo de nuevas tecnologías para la producción, comercialización y distribución de biocombustibles.

Capítulo IV

Programa de promoción del uso de biocombustibles

En el artículo 19 se menciona la creación del Programa del Uso de Biocombustibles (PROBIOCOM) y sus funciones.

También se han dado algunas disposiciones transitorias:

La primera hace mención a las normas técnicas peruanas y a las normas técnicas internacionales para el manejo del biodiesel.

La segunda se dirige a los productores nacionales de etanol y biodiesel y se dan directivas para presentar sus planes de producción al Ministerio de Energía y Minas.

Para mayor detalle, se adjunta el D.S. N° 013–2005–EM: Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles en el anexo A-1.

▪ **D.S. N° 021–2007–EM: Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, de abril del 2007.**

A continuación se hará un breve comentario del D.S. N° 021–2007–EM:

Título I

Disposiciones generales

En el artículo 1, se tocan los objetivos del reglamento, los cuales son la comercialización y distribución de los Biocombustibles, así como lo referente a las normas técnicas de calidad de los mencionados productos.

En el artículo 2 se muestra el contenido del reglamento:

- 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.

En el artículo 3, se explica que al hacer mención a “la Ley”, se entenderá que se está haciendo referencia a la Ley N° 28054 - Ley de promoción del mercado de biocombustibles.

En el artículo 4, se dan diversas definiciones a términos relacionados a biocombustibles (véanse en el anexo D.S. N° 021–2007–EM: Reglamento para la comercialización de biocombustibles, art. 4).

El artículo 5, hace referencia a la norma técnica peruana con la que se debe cumplir.

En el artículo 6, se muestran los alcances de aplicación del reglamento y los organismos competentes para efectos del presente reglamento

Título II

Comercialización y control de la calidad de los biocombustibles y de sus mezclas con los combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos

En los artículos 7 y 8 se dan los porcentajes de mezcla de gasolina con etanol (gasohol) y el cronograma de fechas en los que se entrará en vigencia dichas mezclas, estos artículos surgen como modificación de los artículos 6 y 7 del D.S. N° 013–2005–EM: Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, de marzo del 2005.

Las modificaciones en el cronograma son las siguientes:

- 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.

Los artículos 9 y 10 muestran los porcentajes de mezcla de biodiesel con diesel y el cronograma de fechas respectivamente, estos artículos surgen como modificación de los artículos 8 y 9 del D.S. N° 013–2005–EM: Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles.

Las modificaciones en el cronograma son las siguientes:

- 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 B2, B5 y B20 (2%, 5% y 20% de biodiesel respectivamente).
*En el D.S. N° 013-2005-EM se autorizaba la mezcla sólo del 5% de biodiesel con 95% de diesel convencional.

La comercialización del Biodiesel B100 y del Diesel BX será de acuerdo al siguiente cronograma (modificado):

- 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.

En el artículo 11, se menciona el tema de la calidad y las especificaciones técnicas que deben cumplir los biocombustibles (etanol y biodiesel), así mismo el productor debe contar con un certificado de calidad que garantice la calidad de su biocombustible ofertado

El artículo 12 señala que los distribuidores mayoristas de combustibles líquidos debidamente registrados en el Ministerio de Energía y Minas son los únicos autorizados a comprar Alcohol Carburante y Biodiesel en el mercado nacional.

En el artículo 13 se menciona lo referente las mezclas, las mezclas de etanol con gasolinas y de Biodiesel con diesel se realizarán en las Plantas de Abastecimiento y las operaciones de mezcla estarán a cargo del Operador de la Planta de Abastecimiento.

El artículo 14 indica que el vendedor previamente deberá informar por escrito al usuario, de manera clara y adecuada, sobre las características, la forma de uso, y toda la información relacionada con el producto.

También se han efectuado disposiciones transitorias y complementarias, la disposición transitoria se refiere a la actualización del registro de la dirección general de hidrocarburos por parte de los agentes de la cadena de comercialización de combustibles líquidos y la complementaria hace mención a que los consumidores cuyos motores y equipos no sean compatibles con biodiesel podrán seguir consumiendo Diesel 2 pero deberán ponerlo en conocimiento de la dirección general de hidrocarburos.

- Directiva N° 004-2007-PROINVERSIÓN: Lineamientos del Programa de Promoción del Uso de Biocombustibles – PROBIOCOM, de marzo del 2007.

También tenemos que el grupo “PROINVERSIÓN” aprobó los lineamientos del programa de promoción del uso de biocombustibles (PROBIOCOM).

Como ya se ha mencionado, este programa tiene por objeto “promover las inversiones para la producción y comercialización de biocombustibles, así como, difundir las ventajas económicas, sociales y ambientales de su uso”.

En tanto esta es una tarea multisectorial, por lo cual “PROINVERSIÓN” ha identificado los siguientes grupos de trabajo:

Grupo I

Promoción del consumo y aspectos tributarios (coordinado por CONAM y conformado por MEM, PETROPERÚ, MEF y DEVIDA)

Grupo II

Normas técnicas y ensayos sobre mezclas (grupo coordinado por “PROINVERSIÓN” y conformado por MEM y PETROPERÚ)

Grupo III

Reglamento de comercialización y competencias (coordinado por MEM y conformado por OSINERGMIN, PRODUCE y MINAG)

Grupo IV

Exploración agrícola y asociatividad (coordinado por MINAG y conformado por PROINVERSIÓN, CONAM y Programa “Sierra Exportadora”).

Grupo V

Desarrollo tecnológico y cooperación internacional (coordinado por PRODUCE y conformado por MINAG, CONCYTEC, DEVIDA y Programa “Sierra Exportadora”).

Para mayor detalle, se adjunta el D.S. N° 021-2007-EM: Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles en el anexo A-2.

CAPÍTULO 3

El transporte, almacenamiento y distribución del biodiesel.

El objetivo de este capítulo es brindar una orientación en la selección de materiales para un correcto almacenamiento, distribución y transporte de biodiesel basado en información técnica diversa (nacional e internacional) y experiencia de empresarios dedicados al rubro del biodiesel.

3.1 Problemática encontrada

Actualmente existe una problemática en la empresa peruana, relacionada a la falta de conocimiento en los temas de almacenamiento y distribución de biodiesel, debido a que este tema es nuevo para las empresas en especial para las refinerías ya que recién ha entrado en vigencia en 2009 por disposición del Reglamento de Ley N° 28054 y D.S. N° 021-2007-EM (Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, de abril del 2007) que establece que: desde el 1° de enero del 2009, será obligatoria la comercialización del Diesel B2, en reemplazo del Diesel N° 2; y desde el 1° de enero del 2011, será obligatoria la comercialización del Diesel B5, en reemplazo del Diesel B2.

Por lo tanto, por ser el almacenamiento y transporte de biodiesel un tema nuevo en Perú, la mayoría de empresas no están preparadas para trabajar con este biocombustible pues no tienen la infraestructura compatible necesaria, y su personal no está capacitado en el tema.

Eso mismo está sucediendo con Petroperú en su refinería de Talara, actualmente están importando biodiesel del Ecuador de la empresa La Fabril S.A. y lo están almacenando en un tanque diseñado para almacenar gasolina (tanque 299), y los resultados obtenidos son los que se muestra a continuación en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 **Información técnica del tanque 299**

Tanque N°:	299	Servicio:	Biodiesel (desde dic. 2008)	Ubicación:	playa tanques
Diámetro:	18 m.	Altura:	12.9 m.	Capacidad:	20 600.00 barriles
Fecha de construcción: 1936				Ultima inspección: 2005	
Tipo: Remachado					
Tipo de inspección: Visual externa					

A continuación se muestran imágenes de los daños originados por el inadecuado almacenamiento de biodiesel en el tanque 299 de la refinería de Petroperú:

Fotos 3.1 **Tanque 299, almacenamiento de biodiesel**



Inspección del tanque 299, por problemas de fuga de biodiesel



Fugas de biodiesel a través de los remaches, detectadas durante la inspección del tanque



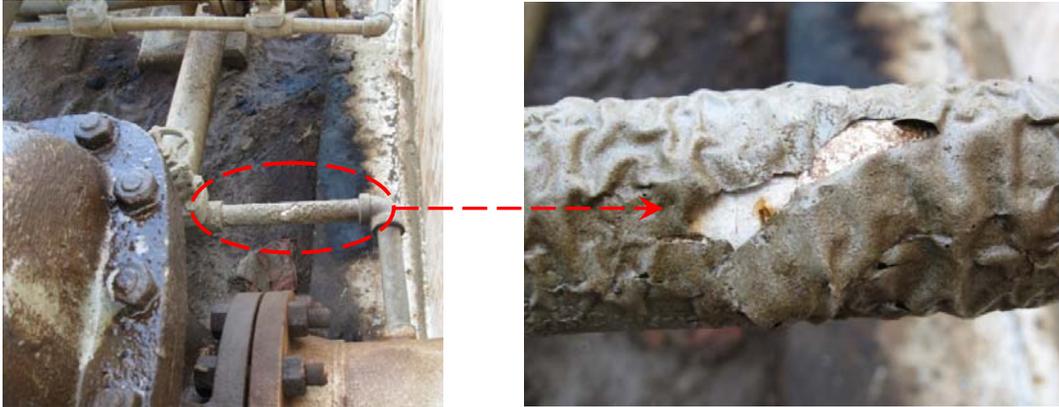
Fugas de biodiesel a través de los remaches, detectadas durante la inspección del tanque

Las fotos de la sección Fotos 3.1 muestran claramente las fugas presentes en el tanque de almacenamiento de biodiesel, demostrando que no está siendo almacenado correctamente.

Fotos 3.2 Accesorios del tanque 299, válvulas y tuberías.



Fugas de biodiesel en válvulas del sistema de distribución del tanque 299



Daños en la pintura exterior de las tuberías por efectos del biodiesel (pintura no compatible con el biodiesel).



Fugas de biodiesel en válvulas del sistema de distribución del tanque 299

En las fotografías presentadas de la sección fotos 3.2, se pueden apreciar las fugas de biodiesel por las válvulas y daños en la pintura exterior de tuberías y válvulas, esto ocasionado al no contar con buenas prácticas para una correcta distribución de biodiesel.

Es por eso que se ha tomado la iniciativa de realizar un estudio sobre buenas prácticas de manejo y almacenamiento de biodiesel en el Perú orientado a todas las empresas que están iniciando sus trabajos con este biocombustible.

3.2 Buenas prácticas para un correcto almacenamiento y transporte de biodiesel

- Los materiales compatibles con biodiesel B100 y aptos para ser empleados en los sistemas para tanques, válvulas y tuberías son:
Aluminio, aceros al carbono convencionales para construcción de tanques y tuberías, acero inoxidable de preferencia 316, algunos elastómeros tales como polietileno fluorinado, polipropileno fluorinado, teflón y la mayoría de las fibras de vidrio.
- Se han encontrado cuatro tecnologías para la construcción de tanques de almacenamiento de biodiesel:
Tanques de aceros al carbono convencionales diseñados para almacenamiento de hidrocarburos (acero al carbono ASTM A-516 Gr60, ASTM A-650), tanques de acero inoxidable (de preferencia 316), tanques de fibra de vidrio y la nueva tecnología de tanques de vidrio fusionado al acero.
- Los tanques diseñados para almacenar diesel podrán almacenar biodiesel B100 sin ningún problema (tener en cuenta el estado del tanque).
- En la construcción de un tanque de almacenamiento de biodiesel, no debe emplearse bronce, latón, cobre, plomo, estaño y zinc ya que pueden acelerar la oxidación del biodiesel creando combustibles insolubles (sedimentos) o geles y sales cuando reaccionan con algunos componentes del combustible.
- Deberá evitarse también la soldadura de plomo, y recubrimientos de zinc.
- De seleccionarse tanques de acero al carbono, el recubrimiento interno preseleccionado es un sistema de pintura del tipo epóxico¹⁹ fenólico novolac (ver Anexo C). El recubrimiento externo será del sistema epóxico con acabado poliuretánico²⁰.
- El biodiesel por lo general no requiere ser almacenado en tanques de techo flotante ya que no se degrada rápidamente en condiciones normales (tanque construido de un material compatible con biodiesel y almacenamiento permisible entre 3 y 6 meses) y su evaporación es baja, por lo que generalmente el gasto no se justifica. Sin embargo, a solicitud de algunos clientes se construye techo flotante por condiciones muy particulares, tal como es el almacenamiento por largos periodos y para casos más estrictos de almacenamiento se deberá hacer inertización con nitrógeno.

¹⁹ Sistema epóxico (anticorrosivo).

Se caracteriza por tener excelente adherencia sobre acero y buena sobre cinc, cadmio y aluminio envejecidos. Apto para ser aplicado sobre superficies con óxido fuertemente adherido, pinturas, esmaltes y anticorrosivos.

Su campo de aplicación es: en la industria petrolera, petroquímica, química, alimenticia, metalúrgica, de energía, siderúrgica, naval, aeronáutica.

²⁰ El revestimiento poliuretánico es un revestimiento durable y resistente a las condiciones climáticas, diseñado especialmente para el mercado de los metales en general.

- Excelente resistencia a la corrosión y a la humedad.

- Se lo puede personalizar para lograr una resistencia superior a los químicos y a las manchas.

- Resistente a las condiciones climáticas, está diseñado especialmente para los productos de metal que necesitan un buen rendimiento en el exterior.

- Se debe evitar almacenar el biodiesel B100 por periodos largos. La entidad norteamericana “National Biodiesel Board” recomienda una vida en almacenamiento de 6 meses para el B100. Si se va a conservar más de 6 meses se deben agregar antioxidantes y analizar periódicamente el número de acidez y sedimentos a fin de verificar que el biodiesel cumpla con el estándar ASTM D6751.
- El muestreo en los tanques debe realizarse con muestreadores exclusivos para este uso. Los envases para muestras a ser almacenadas deben ser color ámbar, de preferencia de vidrio.
- Los efectos causados por el biodiesel B2 en tanques de almacenamiento, son prácticamente inexistentes.
- Con respecto a las tuberías se tiene que pueden ser fabricadas de aceros al carbono utilizados convencionalmente en tuberías para el transporte de hidrocarburos, tales como: ASTM A-312, 316L, ASTM A-53 A y B, ASTM A-106 gr. B. Además pueden ser de fibra de vidrio, materiales termoplásticos compatibles con biodiesel y en casos especiales, por su elevado precio, acero inoxidable.
- No se deben utilizar tuberías de cobre, reguladores de bronce y accesorios de cobre. Debido a que el combustible y los accesorios reaccionan cambiando de color, además los insolubles formados pueden taponar los filtros de combustible.
- El biodiesel B100 no es compatible con algunos elastómeros. Puede ablandar y disolver cierto tipo de compuestos de caucho en manueras y empaquetaduras. Tener extremo cuidado en asegurar que cualquier parte de sistema de combustible que tiene contacto con el biodiesel sea compatible con él. Ver tablas de compatibilidad 3.2, 3.3, 3.4 y anexo B.
- De adaptarse líneas y otros accesorios al servicio de biodiesel, verificar que todas las tuberías e infraestructura con la que estará en contacto el biodiesel, se encuentren limpias de cualquier impureza y libre de agua.
- Si hay un derrame, es importante limpiar rápidamente. El biodiesel puro puede remover la pintura de las estructuras y dañar el concreto (pinturas no compatibles con biodiesel).
- Para B2 tener en cuenta que a más agitación o mezcla es mejor. El biodiesel es más pesado que el diesel. Para verificar si el tanque ha sido mezclado cuidadosamente muestrear en la parte superior, en el medio y en el fondo del tanque y medir el contenido de biodiesel.
- Donde sea posible, la especificación del biodiesel o sus mezclas almacenadas será determinado con detalle en:
 - o Nivel de insaturación de grasas o ésteres;
 - o Estabilidad del producto al almacenamiento y ambientes expuestos.
 - o Punto de niebla
 - o Mejores prácticas de manipuleo

3.3 Seguridad en el almacenamiento y transporte de biodiesel

- El biodiesel puro no es tóxico, es biodegradable y es mucho menos irritante para la piel que el diesel. Sin embargo, las mismas normas de seguridad que se refieren al diesel se aplican también al uso de mezclas de biodiesel. La siguiente lista resume algunas cuestiones de seguridad:
 - o Cuando se manipula biodiesel se recomienda usar guantes revestidos con PVC, así como lentes de seguridad.
 - o Almacenar en recipientes cerrados, ventilados.
 - o Mantener alejado de agentes oxidantes, calor excesivo, y de fuentes de ignición.
 - o Almacenamiento, llenado y el uso debe ser en lugares bien ventilados protegidos de sol directo.
 - o No guardar o use cerca del calor, chispas o llamas.

- Con respecto al almacenamiento se tiene:

Se aconseja almacenarlo por un tiempo promedio de entre 3 y 6 meses utilizando aditivos para estabilizarlo. Esto es válido también para las mezclas (una vida más prolongada puede lograrse con la adición de estabilizantes).

- Normalmente el biodiesel producido tiene estabilidad en sus propiedades bajo condiciones normales de almacenamiento, sin formación de productos insolubles de degradación, aunque algunos reportes sugieren que el biodiesel puede degradarse más rápido que el diesel.

- El biodiesel que va a ser almacenado por periodos prolongados se debe seleccionar cuidadosamente para evitar aumento de acidez, viscosidad y formación de sedimentos, que puede taponar los filtros afectando la operación de la bomba de combustible, y/o obstruir los inyectores cuando esté en funcionamiento en el motor.

- Estas prácticas constituyen una buena guía para el manejo del biodiesel, se deben tener en cuenta las sugerencias para la operación y mantenimiento de instalaciones de almacenamiento y transporte seguro del producto.

A continuación se muestran las tablas 3.2, 3.3, 3.4, con los materiales compatibles con el biodiesel y los no compatibles, siguiendo estas tablas como recomendación se podrá obtener buenos resultados con el almacenamiento y el transporte de este biocombustible, para mayor detalle de los materiales mostrados en las tablas, ver anexo B.

Tabla 3.2 **Compatibilidad de varios elastómeros²¹ con el biodiesel.**

Elastómero	Calificación de compatibilidad del compuesto
Nitrilo NBR	4
Nitrilo Hidrogenado HNBR	4
Etileno Propileno EPDM	2
Fluorocarbono FKM	1
Hifluor FKM	1
Perfluoroelastomero FFKM	1
Aflas (TFE/Propylene) FEPM	X
Neopreno/Cloropreno CR	4
Stireno-Butadieno SBR	4
Poliyacrilato ACM	X
Poliurethane AU,EU	X
Butil	2
Butadieno	4
Isopreno	X
Caucho natural	4
Hypalon CSM	4
Fluorosilicona FVMQ	2
Silicona MQ, VMQ, PVMQ	X

Fuente: U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information. (2009). *Biodiesel Handling and Use Guide*. 4º ed. Springfield-Estados Unidos: Editorial de U.S. Department of commerce.

Calificación de compatibilidad

- 1 – Satisfactoria
- 2 – Débil (uso aceptable para sellos estáticos)
- 3 – Dudoso (uso aceptable para sellos estáticos)
- 4 – Insatisfactorio
- X – Datos Insuficientes

*Para mayor detalle de los materiales mostrados en las tablas, ver anexo B.

²¹ Los elastómeros son aquellos polímeros que muestran un comportamiento elástico. El término, que proviene de polímero elástico, es a veces intercambiable con el término goma, que es más adecuado para referirse a vulcanizados.

Tabla 3.3 **Compatibilidad de varios elastómeros, metales y plásticos**

Material	Calificación de Compatibilidad del Compuesto
Elastómeros	
Wil-Flex	C
Poliuretano	-
Neopreno	D
Buna-N	D
Nordel	C
Viton	B
Teflón	A
Saniflex TPE	-
Metales	
Aluminio	A
Hierro forjado	-
Aceros al carbono	A
Aceros inoxidable	A
Hastelloy	A
Halar ECTFE revestido	-
Plásticos	
Nylon	-
Carbon-Filled Acetal (CFA)	A
Polipropileno fluorinado	A
Polietileno fluorinado	A
PVDF	-

Fuente: U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information. (2009). *Biodiesel Handling and Use Guide*. 4º ed. Springfield-Estados Unidos: Editorial de U.S. Department of commerce.

Calificación de compatibilidad

- A Efectos menores
- B Efecto menor a moderado
- C Efecto moderado a severo
- D No Recomendado
- Información Insuficiente

*Para mayor detalle de los materiales mostrados en las tablas, ver anexo B.

Tabla 3.4: Compatibilidad de “O-Rings”

Elastómero	Calificación de compatibilidad del polímero
Aflas	0
Chemra	1
Fluorocarbon	1
Kalrez	2
Nitrilo Hidrogenado	4
Poliuretano, fundido	0
Styrene-Butadiene SBR	4
Buna-N (Nitrile)	4
Epichlorohyrin	0
Fluorosilicona	3
Natural Rubber (caucho)	4
Polyacrylate	0
Polyurethane, Millable	0
Teflon Virgin	1
Butyl	3
Ethylene-Propylene	3
Hypalon	4
Neoprene	4
Polysulfide	0
Silicone	0
Vamac	0

Fuente: U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information. (2009). *Biodiesel Handling and Use Guide*. 4º ed. Springfield-Estados Unidos: Editorial de U.S. Department of commerce.

Calificación de compatibilidad

- 1 – Satisfactoria
- 2 – Débil (uso aceptable para sellos estáticos)
- 3 – Dudoso (uso aceptable para sellos estáticos)
- 4 – Insatisfactorio
- 0 – Datos Insuficientes

*Para mayor detalle de los materiales mostrados en las tablas, ver anexo B.

3.4 Criterios para el dimensionamiento de tanques, en función de los requerimientos para biodiesel en Perú.

Se ha considerado los requerimientos preliminares de biodiesel de Petroperú para tener una referencia en la capacidad de tanques de almacenamiento de biodiesel:

Volúmenes requeridos y lugares de entrega de biodiesel para el primer trimestre del 2009:

- Refinería Talara: 30 150.00 barriles aprox. / 1º trimestre 2009.
- Refinería Conchán: 36 360.00 barriles aprox. / 1º trimestre 2009.
- Refinería Iquitos: 4 680.00 barriles aprox. / 1º trimestre 2009.
- Refinería El Milagro: 1 000.00 barriles aprox. / 1º trimestre 2009.

3.5 Criterios técnicos a considerar para la construcción de un tanque convencional para almacenamiento de biodiesel

Tomando como parámetro de diseño del tanque la capacidad nominal de requerimiento trimestral en la refinería de Talara²², de 30 150 barriles y haciendo las siguientes consideraciones:

- Las dimensiones de los tanques convencionales en el patio de tanques, se encuentran entre 20 000 y 25 000 barriles.
- El requerimiento trimestral de biodiesel no es un solo lote, por lo cual la capacidad del tanque a diseñar debe ser menor que 30 150.00 barriles.
- Actualmente el biodiesel adquirido es almacenado en un tanque de 20 600 barriles de capacidad (como se ha mostrado en la sección 3.1).

Tomando estas tres consideraciones, el tanque para almacenar biodiesel a diseñar se hará para una capacidad de 25 000 barriles como capacidad nominal máxima.

Las dimensiones del tanque serán las dimensiones de los tanques existentes en la refinería con esa capacidad (ver tabla 3.5).

Tabla 3.5 Dimensiones del tanque diseñado

Diámetro	24 metros	78.740 pies
Altura	10.51 metros	34.4816 pies
Capacidad	25 000 barriles/ litros	39 746 82.39

a) Selección de materiales de la pared del tanque

Planchas de acero al carbono ASTM A-516 Gr60, por sus buenas prestaciones en aplicaciones de recipientes a presión a temperaturas moderadas-bajas; condiciones a las que se encuentra un tanque.

²² Se ha tomado como referencia a la Refinería Talara, por ser un caso práctico en el Perú y por el contacto directo que se ha tenido con la empresa.

b) Cálculo de espesores de la pared del tanque

Para calcular el espesor de la pared del tanque se puede utilizar el método descrito en el API 650 apartado A:

Espesor de la pared, según el apartado A.4.1 del API 650:

$$t = \frac{2.6D(H-1)G}{(E)(21000)} + CA$$

Donde:

t: espesor mínimo, pulgadas.

D: diámetro nominal del tanque, pies

H: nivel de diseño, pies

G: gravedad específica del líquido, biodiesel entre 0.87 y 0.89.

E: eficiencia de junta (0.85), ver A.3.4 del API 650.

CA: corrosión permitida, pulgadas, especificada por el comprador. (Sección 3.3.2 del API 650). Se considera aceptable un valor de 0.03 pulg. de pérdida de material por corrosión en razón de una probable ocurrencia de "Stress Corrosion Cracking" por el biodiesel almacenado.

Se procede a reemplazar valores en la fórmula según datos de tabla 3.5, para calcular un espesor de pared de tanque teórico:

$$t = \frac{2.6x(77.740\text{ pies})x(34.416\text{ pies} - 1)x(0.87)}{(0.85)x(21000)} + 0.03\text{ pulg} = 0.3291 + 0.03 = 0.3591"$$

Espesor teórico mínimo calculado para un tanque con las dimensiones mostradas en la tabla 3.5

c) Consideraciones para cargas sísmicas

Se deben considerar los criterios dados en el Apéndice E del API 650, debido a que las cargas derivadas de probables sismos podrían producir esfuerzos superiores a los normales, comprometiendo la estabilidad en los tanques de almacenamiento.

Se debe verificar la estabilidad del tanque propuesto, calculando el momento de volteo según lo mencionado en dicho apéndice.

d) Anillo de cimentación del tanque

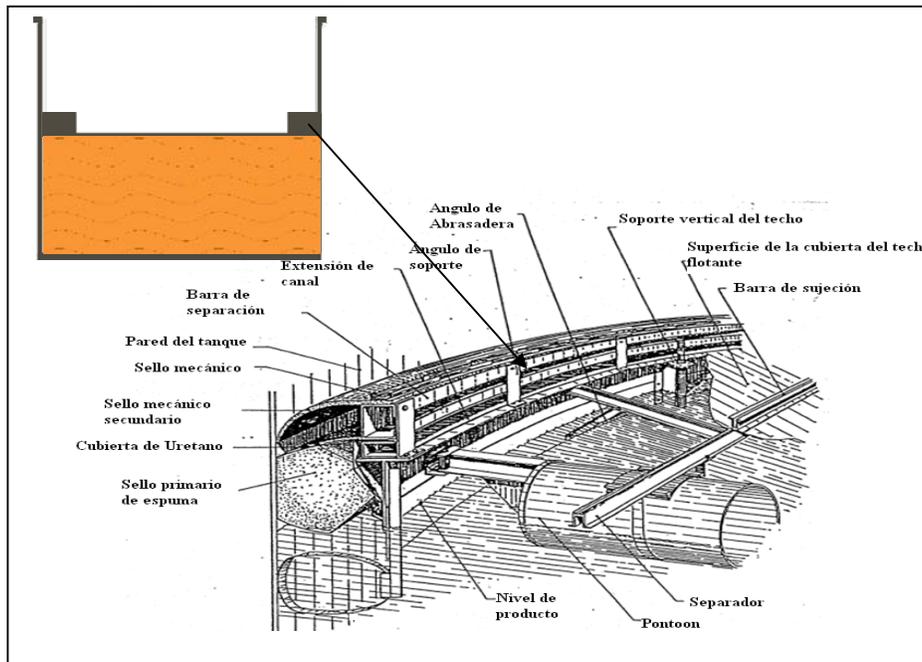
Para calcular las dimensiones del anillo de cimentación se deben considerar los parámetros obtenidos en un previo "Estudio de Suelos", el cual debe ser desarrollado como parte de un "Estudio de Impacto Ambiental (EIA)" aprobado por la "Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos" (DGAAE) mediante resolución directoral.

e) Techo del tanque

El biodiesel por lo general no requiere de techo flotante ya que no se degrada rápidamente en condiciones normales (tanque construido de un material compatible con biodiesel y almacenamiento permisible entre 3 y 6 meses) y su evaporación es baja, por lo que generalmente el gasto no se justifica.

Sin embargo, a solicitud de algunos usuarios se construye techo flotante por condiciones muy particulares, tal como es el almacenamiento por largos periodos y para casos más estrictos de almacenamiento se deberá hacer inertización con nitrógeno.

Figura 3.1 Tanques de techo tipo sábana flotante



Fuente: Vacono (2009). “Usos y beneficios de los techos flotantes internos y domos geodésicos de aluminio”. *Vacono*. Presentación Power Point: 10 diapositivas.

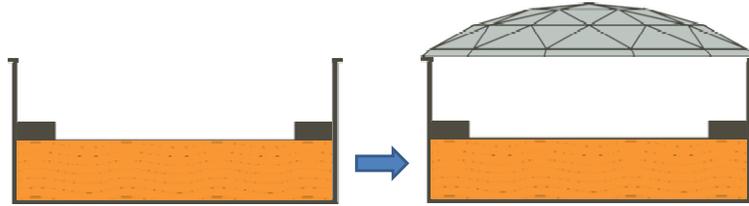
En caso de elegir la sábana flotante interna, en la ingeniería de detalle se deben considerar los requerimientos mínimos indicados en API 650 Apéndice H, así como también lo siguiente:

- a) Todos los sellos periféricos y sus aditamentos a las membranas internas flotantes se deben diseñar para absorber una desviación adecuada entre el casco y la membrana interna flotante.
- b) Las juntas de la cubierta deben ser herméticas al vapor y al producto.
- c) El techo flotante del tanque deberá estar provisto de dispositivos de venteo dimensionados y adecuados para los caudales de entrada y salida del etanol almacenado.
- d) Cada membrana debe contar con válvula de presión-vacío con su empaque, la cantidad de válvulas debe estar en función de la capacidad del tanque y del régimen de bombeo.

Adicionalmente, al API 650 se puede tener en cuenta las especificaciones dadas por cualquiera de los fabricantes de IFR (“Internal Floating Roof”) como por ejemplo ALTECH. Para la soldadura de la sábana interna, cuyo material es aluminio, se debe tener en cuenta el Estándar ANSI B96.1 “Specification for Welded Aluminum - Alloy Field - Erected Storage Tanks”.

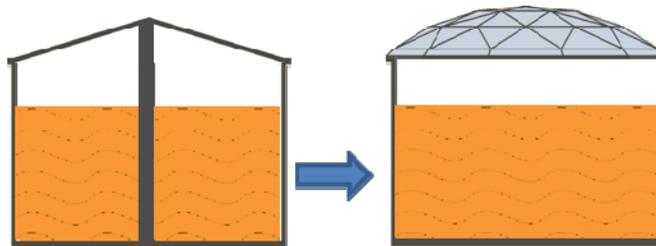
f) Domos geodésicos de aluminio para cubrir techo de tanque

Figura 3.2.1 Tanque de techo tipo sábana flotante y su domo geodésico de aluminio



Fuente: Vacono (2009). “Usos y beneficios de los techos flotantes internos y domos geodésicos de aluminio”. *Vacono*. Presentación Power Point: 10 diapositivas.

Figura 3.2.2 Tanque de techo tipo fijo y su domo geodésico de aluminio



Fuente: Vacono (2009). “Usos y beneficios de los techos flotantes internos y domos geodésicos de aluminio”. *Vacono*. Presentación Power Point: 10 diapositivas.

Ventajas de un domo geodésico de aluminio

- Elimina los efectos de lluvia, viento, sol y nieve.
 - No hace falta sistema de drenaje.
 - Usualmente no se requiere de sello secundario.
 - Rara vez se producen incendios en la periferia.
- No se requiere de escalera rodante.
- Básicamente no requiere mantenimiento.
- Reduce las pérdidas estáticas por evaporación en un 90%.
- Se ensamblan rápida y fácilmente.
- Menos tiempo en la ejecución de toda la obra.
- No tienen columnas.
- Cumplen con los requerimientos del API 650 “G”.
- No hay soldaduras durante el ensamble.
- No requieren pintura.
- Entre 4 a 12 semanas de tiempo de construcción.
- Prefabricados bajo condiciones de control.

g) Sistemas de muro de contención

Se debe cumplir que los tanques deben estar rellenos dentro de un muro de contención o berma, las paredes del mismo pueden ser de concreto, mampostería o cualquier tipo de material el cual debe estar debidamente reforzado e impermeabilizado.

El dimensionamiento del muro de contención debe estar acorde con la capacidad nominal del tanque. La capacidad volumétrica del muro de contención debe ser igual o mayor que el volumen del tanque más grande completamente lleno comprendido dentro del área del muro conforme lo especifica la norma NFPA 30 "Flammable and Combustible Liquids Code". El muro de contención debe contar con su respectiva válvula para drenaje.

h) Sistemas de ventilación

En la ingeniería de detalle se deberán considerar lo indicado en Normas Técnicas vigentes, para asegurar sistemas de ventilación adecuados que puedan regular las presiones y sub presiones internas evitando variaciones de presión que tengan como consecuencia un probable distorsionamiento del techo o el casco del tanque.

Aunque cabe mencionar que el biodiesel es de baja volatilidad y no genera gran cantidad de gases que aumenten la presión a niveles críticos.

i) Prevención de derrames

La ingeniería de detalle, deberá considerar factores dados en las Normas Técnicas y Legales vigentes, a fin de asegurar la prevención de derrames que puedan afectar el medio ambiente y/o ocasionar riesgos, pérdidas económicas, etc. Para lo cual se deberán instalar los respectivos controles de nivel del tanque.

Se deberá instalar un control de nivel local redundante con el indicador ubicado en un área de fácil visibilidad para el operador de campo.

j) Sistema de enfriamiento y sistema contra incendio

La Normativa vigente indica que se debe enfriar las paredes exteriores del tanque en caso se requiera mediante un sistema de enfriamiento adecuado, asimismo, suministrar el flujo adecuado de espuma contra incendio.

k) Criterios relacionados a la protección del medio ambiente

En el desarrollo de la ingeniería de detalle se debe considerar factores indicados en Normas Técnicas - Legales vigentes, a fin de evitar y/o reducir aspectos ambientales significativos que puedan afectar al medio Ambiente.

El objetivo será evitar riesgos de ocurrencia de aspectos ambientales significativos como:

- Explosión y/o incendio por exposición al calor y fuego (sistema CI, sistema de enfriamiento, techo flotante, etc.)
- Derrames/contaminación ambiental por impacto a cuerpo receptor (indicador de nivel, impermeabilización del fondo del tanque, cimentación, etc.)
- Accidentes por condición insegura (iluminación, barandas, escaleras, etc.).

Para lo cual deberá tenerse en cuenta:

- Características del producto.
- Condiciones de operación del producto.
- Localización del tanque con respecto al resto de tanques, etc.
- Mejoras tecnológicas (control de nivel, sistemas automáticos, etc.)
- Experiencia (estadística de emergencias en el área de instalación propuesta).

CAPÍTULO 4

Resultados (especificaciones técnicas y económicas de los sistemas de transporte y almacenamiento de biodiesel)

4.1. Tuberías para transporte de biodiesel

A continuación se darán las especificaciones técnicas y económicas para la selección de tuberías aptas para transportar biodiesel.

4.1.1 Generalidades sobre tuberías para transporte de combustibles

- El fabricante debe otorgar un certificado donde se definan las especificaciones del tipo de material del cual están fabricados, así como la trazabilidad de la calidad del mismo.
- Los tramos de tuberías soterradas que conducen combustible deben unirse y sellarse herméticamente de manera que se impida la fuga del mismo, para lo cual deben emplearse uniones o sellos conforme la norma API 5L “Standard Specification for Line Pipe”.
- Los tramos de tuberías superficiales que conducen combustible deben unirse y sellarse herméticamente de manera que se impida la fuga del mismo, para lo cual debe emplearse tipos de soldadura y sellos conforme la norma API 5L “Standard Specification for Line Pipe” y ANSI/AWS D 11.2 “Guide for Welding Iron Casting”.
- En las soldaduras y uniones, los trabajos realizados correspondientes a estas actividades así como la inspección de las mismas deben cumplir con los siguientes estándares:
 - UL 142 “Steel Aboveground Tanks for Flammable and Combustible Liquids”.
 - UL 58 “Steel Underground Tanks for Flammable and Combustible Liquids”.
 - ANSI/AWS B 1.10 “Guide for the Non Destructive Inspection of Welds”.
 - ANSI/AWS B 1.11 “Guide for Visual Inspection of Welds”.

4.1.2 Buenas prácticas para la elección de tuberías para el manejo de biodiesel

- No deben emplearse tuberías de bronce, latón, cobre, plomo, estaño y zinc ya que pueden acelerar la oxidación del biodiesel creando combustibles insolubles (sedimentos) o geles y sales cuando reaccionan con algunos componentes del combustible.
- Deberá evitarse soldadura de plomo, y recubrimientos de zinc.
- El pintado externo para las tuberías será del sistema epóxico con acabado poliuretánico.
- Se deberá verificar que todas las tuberías e infraestructura con la que estará en contacto el biodiesel, se encuentren limpias de cualquier impureza y libre de agua.
- De haber un derrame de biodiesel es importante limpiar rápidamente ya que el biodiesel puro puede remover la pintura de las tuberías, estructuras y también dañar el concreto.
- Las tuberías para transporte de biodiesel deben ser elaboradas de materiales compatibles con este biocombustible, entre los que se tienen acero al carbono, se debe indicar que el biodiesel trabaja bien con cualquier acero al carbono convencional para tuberías ASTM A-312 316L, ASTM A-53 A y B, ASTM A-106 gr. B, ASTM A-516 Gr60 (dependiendo de los requerimientos de presión y temperatura de trabajo). Otros materiales compatibles con biodiesel son aluminio, fibra de vidrio, materiales termoplástico compatible con biodiesel (ver tablas de compatibilidad, tablas 3.2 y 3.3) y en casos especiales acero inoxidable (debido a su elevado precio).

En la tabla 4.1 se muestra un cuadro con los principales materiales para tuberías de transporte de biodiesel:

Tabla 4.1 **Especificaciones de los materiales de tubería para transporte de biodiesel**

Opción	Material para tuberías de transporte de biodiesel
1	Acero al carbono ASTM A-312 316L, ASTM A-53 A y B, ASTM A-106 gr. B, ASTM A-516 Gr60.
2	Fibra de vidrio
3	Material termoplástico compatible con biodiesel (ver tablas 3.2, 3.3, 3.4)
4	Acero inoxidable de preferencia 316

La fabricación de tuberías a adaptar al sistema debe cumplir con la norma ASME B 31.3 “Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping” para uso en refinerías.

Empresas proveedoras de tuberías compatibles con biodiesel:

- Acero Importaciones y Representaciones S.R.L.
Av. Argentina N° 1680 – Lima.
Email: ventas@aceroimpor.com
Central telefónica: 336-8998 - Fax: 336-9002;
- J.R VERSAC Construcciones y Montajes Electromecánicos
Gerente general: Jaime Vera Noriega

Av. Néstor Gambeta Km 7.100 (carretera a Ventanilla) - Lima
 Email: jaimevera@versac.com.pe

- Empresa LRP
 Gerentes Lizandro Rosales Puño
 Av. República de Colombia N°189 of. B. San Isidro-Lima
- Representante en el Perú: Alfredo Noriega Lay
 Tuberías y Equipos S.A.C.
 Ca. Diego de Almagro mz N, Lote 26
 La Molina, Lima - PERU
 Tel. (51-1) 349-6338 / 349-6339
 Fax (51-1) 348-3690

De las empresas que proveen tuberías fabricadas bajo los criterios de calidad y materiales señalados para buenas prácticas en el transporte de biodiesel, se hizo la consulta a la empresa proveedora “Acero Importaciones y Representaciones S.R.L.” (ACEROIMPOR) para tener conocimiento del precio de tuberías bajo las especificaciones necesarias para transportar biodiesel, siendo los resultados los mostrados en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Cuadro económico de tuberías aptas para el transporte de biodiesel.

Opción	Cantidad	Descripción	Precio unidad
1	1	Tubería de acero al carbono ASTM A-53, A-106 GR B. SCH-40, 10" X 6 metros.	US\$ 382.60
2	1	Tubería de acero al carbono ASTM A-53, A-106 GR B. SCH-40, 20" X 12 metros.	US\$ 1 596.80
3	1	Tubería de acero inoxidable 316 SCH-40 8" X 6 metros.	US\$ 2 492.00
4	1	Tubería de acero inoxidable 316 SCH-40 C/C, 10" longitudes entre 2.5 y 3.6 metros.	US\$ 749.10

4.2. Tanques superficiales para almacenamiento de biodiesel

Se han encontrado cuatro tecnologías para fabricación de tanques de almacenamiento de biodiesel:

Tanques de aceros al carbono convencionales (ASTM A-516 Gr60²³), tanques de acero inoxidable (de preferencia 316²⁴), tanques de fibra de vidrio y la nueva tecnología de tanques de vidrio fusionado al acero.

Se deben respetar las características de diseño mencionadas en el apartado 3.4.2 para el caso de tanques convencionales de acero al carbono. Así como también tomar en cuenta las buenas prácticas para un correcto almacenamiento y transporte mostradas en la sección 3.2 y 3.3 de la presente tesis.

En el cuerpo del tanque, deben indicarse las especificaciones técnicas del mismo, tales como:

- Tipo de producto almacenado.
- Capacidad de almacenamiento.
- Fecha de última prueba hidrostática.
- Fecha de último mantenimiento realizado.
- El color con el cual esté pintado el tanque debe estar en concordancia con el tipo de producto a almacenar, según lo señalado en la norma ANSI Z 535.1 “Safety Colors Code”.

También debe colocarse alrededor del o los tanques, la debida señalización preventiva, la cual incluye las siguientes señales:

- “Peligro”. Producto inflamable o Producto combustible.
- “No Fumar”.
- “No Pasar”.

4.2.1 Tanques convencionales para almacenamiento de biodiesel

- Para la construcción del tanque puede ser utilizado cualquier acero al carbono convencional para construcción de tanques pero se recomienda el acero ASTM A-516 Gr60. También puede utilizarse acero inoxidable de preferencia 316, pero no es una solución tan factible en tanques de gran capacidad debido al alto costo del acero inoxidable.
- En la construcción de un tanque de almacenamiento de biodiesel, no debe emplearse bronce, latón, cobre, plomo, estaño y zinc ya que pueden acelerar la oxidación del biodiesel creando combustibles insolubles (sedimentos) o geles y

²³ ASTM A-516: acero al carbono con especificación para planchas, de buenas características para soportar altas presiones, servicio en condiciones de temperaturas moderadas y bajas.

²⁴ Acero inoxidable 316: Es un acero más resistente a la corrosión que otros aceros al cromo-níquel cuando se expone a muchos tipos de corrosivos químicos y atmósferas marinas. Maquinabilidad: 45%. Soldabilidad: adecuado para todos los métodos, utilizar electrodos tipo 316.

sales cuando reaccionan con algunos componentes del combustible.

- De seleccionarse tanques de acero al carbono, el recubrimiento interno preseleccionado es un sistema de pintura del tipo epóxico fenólico novolac (Ver Anexo C). El recubrimiento externo será del sistema epóxico con acabado poliuretánico.
- El biodiesel por lo general no requiere de techo flotante ya que no se degrada rápidamente en condiciones normales (tanque construido de un material compatible con biodiesel y almacenamiento permisible entre 3 y 6 meses) y su evaporación es baja, por lo que generalmente el gasto no se justifica. Sin embargo, a solicitud de algunos usuarios se construye techo flotante por condiciones muy particulares, tal como es el almacenamiento por largos periodos y para casos más estrictos de almacenamiento se deberá hacer inertización con nitrógeno.
- Además se debe considerar la colocación del domo geodésico de aluminio, por las ventajas mencionadas en la sección 3.4.2.f.

Empresas constructoras con esta técnica:

- M&C PARIÑAS S.A.
Av. Cesar Vallejo 1475 Lince
Lince-Lima
- DEMEN S.A.
Representante Legal: Sr. Severino Gómez Cutipa
Dirección: Parque 22-19 Talara
Jr. Moyobamba 277 La Victoria Lima.
Teléfono Fijo: 073-382668 Talara
470-3344 / 470-0187 Lima
- HAUG S.A.
Av. Argentina 2060, Callao
Teléfono: 465-4636 *429-3091
- Consorcio, Prisma contratistas generales S.A.C. y Murgisa servicios generales S.R.L.
Block Nro. 50 Int. 101 Edif. los Nogales- Jesús María-Lima.

De todas las empresas constructoras nacionales mostradas, se hizo la consulta a la contratista DEMEN S.A. (Talara-Perú) para averiguar el costo de la construcción de un tanque con las especificaciones necesarias para almacenar biodiesel (según análisis de determinación de dimensiones y especificaciones técnicas de la sección 3.4.2 y buenas prácticas mostradas en los apartados 3.2 y 3.3).

Los resultados son los presentados en la siguiente tabla:

Tabla 4.3 Costo de construcción de un tanque de acero al carbono convencional para almacenamiento de biodiesel

Diámetro	24 metros
Altura	10.51 metros
Capacidad	25 000 Barriles/ 39 746 82.39 litros
Tipo	Techo tipo sábana/techo flotante, con domo geodésico de aluminio
Producto almacenado	Biodiesel (B100)
Material	Acero al carbono ASTM A-516 Gr60
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - No deben emplearse bronce, latón, cobre, plomo, estaño y zinc ya que pueden acelerar la oxidación del Biodiesel creando combustibles insolubles (sedimentos) o geles y sales cuando reaccionan con algunos componentes del combustible. - Deberá evitarse soldadura de plomo, y recubrimientos de zinc, así como reguladores de bronce y accesorios de cobre. - El recubrimiento interno preseleccionado es un sistema de pintura del tipo epóxico fenólico novolac. El recubrimiento externo será del sistema epóxico con acabado poliuretánico. - El biodiesel B100 no es compatible con algunos elastómeros. Puede ablandar y disolver cierto tipo de compuestos de caucho en manueras y empaquetaduras. Tener extremo cuidado en asegurar que cualquier parte de sistema de combustible que tiene contacto con el biodiesel sea compatible con él.
Monto estimado referencial	<p>US\$ 1 440 283.41</p> <p>Incluido IGV</p>
Empresa constructora	DEMEN S.A.

4.2.2 Nuevas tecnologías para fabricación de tanques

A continuación se muestran las nuevas tecnologías para la fabricación de tanques para almacenamiento de biodiesel.

4.2.2.1 Tanques de fibra de vidrio

Tanques en fibra de vidrio (PRFV) para almacenamiento de agua, químicos, hidrocarburos, biodiesel.

Vida útil superior a 30 años.

Por experiencia en su uso los fabricantes de tanques con esta tecnología afirman que los tanques de P.R.F.V. funcionan muy bien como depósitos de biodiesel y para ello no requieren de ninguna adaptación

Existe un inconveniente con respecto a la capacidad de almacenamiento, ya que la capacidad máxima construible es de 943.471 barriles /150 000 litros (capacidad limitada para requerimientos de gran escala >20 000 barriles).

Empresas constructoras de tanques con esta técnica:

- **STRAPLAS S.A.**
Roberto Valsecchi
Gerente general
Correo electrónico: straplas@straplas.com.ar
Av. Garibaldi 2235 Llavallol - Buenos Aires
Teléfono: 54 11 4298 4219

- **AQUAPLANT LTDA.**
Ing. Jorge Enrique Peña
Director de proyectos
Calle 34 SUR No 78L-22 Bogotá, D.C.
Correo electrónico: aquaplant.fibra@gmail.com
Teléfono: 8-024114/311-5814993

- **AQUA FIBRA TANK S.A.**
Gerente Comercial: Ing. Johanna Iriarte
Correo electrónico: jiriarte@aquafibratank.com
Página web: www.aquafibratank.com
Itagüí, Antioquía-Colombia
PBX: (574) 444 11 04
CEL: 317 501 08 80

De todas las empresas mostradas, se hizo la consulta a la constructora STRAPLAS S.A. (Buenos Aires-Argentina) para averiguar el costo de la construcción de un tanque con las especificaciones necesarias para almacenar biodiesel (según análisis de determinación de dimensiones y especificaciones técnicas de la sección 3.4.2 y buenas prácticas mostradas en los apartados 3.2 y 3.3). Los resultados se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Costo de construcción de un tanque de fibra de vidrio PRFV para almacenamiento de biodiesel

Diámetro	4 metros
Altura	12.430 metros
Capacidad	943.471 barriles /150 000 litros
Tipo	Tanque vertical, techo fijo
Producto almacenado	Biodiesel (B100), a temperatura ambiente y a presión atmosférica
Material	Fibra de vidrio (PRFV)
Datos de diseño del fabricante	<ul style="list-style-type: none"> - La virola o camisa tendrá una barrera anticorrosiva en resina isoftálica de 1,8 mm de espesor, formada por un velo y dos Mat 450 grs., los 12 milímetros siguientes se realizarán con resina tereftálica e hilos de vidrio pretensados, saturados, por sistema de “Filament Winding” con máquina automática programada según norma ASTM D 3299. Los milímetros restantes se realizaran con resina isoftálica y velo de superficie, completando así su espesor total de 14 mm. - Los extremos base plana y techo torriesférico se realizarán por proyección simultánea según norma PS 15-69. - Los accesorios se construirán con resina isoftálica por prensado en frío según norma PS 15-69. - Las soldaduras interiores y exteriores se realizarán en un todo con resina isoftálica y en ningún caso serán menores a $1,5 \times 2e$. (e= espesor de pared) - Incluye proceso de post curado en horno y verificación hidráulica de estanqueidad. - La terminación superficial interna será espejo, mientras que la externa tendrá como acabado una capa de “Gel-Coat”, no menor de 0.6 milímetros y con 20% de bióxido de titanio (blanco) y absorbedor de rayos ultravioletas. - El Biodiesel B100 puede ablandar y degradar cierto tipo de compuestos por lo cual se pide tener extremo cuidado en para asegurar que cualquier parte de sistema de combustible que tiene contacto con el biodiesel es compatible con él.
Detalles comerciales	<p>Condiciones de pago: 50% Anticipo Saldo c/ entrega cheque a 30 días f.fact.</p> <p>Mantenimiento de oferta: 10 días.</p> <p>Impuestos: I.V.A. no incluido.</p> <p>Plazo de entrega: 30 días.</p> <p>Lugar de entrega: En Straplas s/ camión.</p>
Monto estimado referencial	US\$ 34 271 Impuestos: I.V.A. no incluido.
Empresa constructora	STRAPLAS S.A. (Buenos Aires- Argentina)

* Por razones inherentes al transporte y a la fabricación, el tanque de mayor volumen es el de 150 000 litros, de 4 metros de diámetro y de 12.430 metros de altura total (mostrado en el análisis económico).

4.2.2.2 Tanques de vidrio fusionado al acero

Esta tecnología de vidrio fusionado al acero fue introducida hace más de 50 años para aplicaciones de almacenamiento.

Más de 100 000 tanques de vidrio fusionado al acero han sido instalados en más de 70 países alrededor del mundo.

El vidrio fusionado al acero se ha convertido en la tecnología Premium en el almacenamiento de agua y otros líquidos entre ellos el biodiesel y es la tecnología recomendada en la tesis para el almacenamiento de biodiesel.

Ventajas:

- Mínimos requerimientos de mantenimiento durante la vida del tanque, no necesita pintarse, no se corroe ni se oxida.
- Mayor vida útil en comparación a los tanques soldados o de concreto.
- Construcción más rápida – fácil ensamblado sin grúas ni equipo mecánico especial.
- Expandible para ajustarse a futuros requerimientos.
- Disponible en diámetros desde 11 pies (3.3 m) hasta 204 pies (62.2 m) y capacidades desde 20 000 galones (75m³, 476.190 barriles) hasta más de 6 millones de galones (22 700 m³, 142 857.142 barriles).

La capa de “Vitrium” empleada, tiene la dureza para soportar a un hombre de pie encima del tanque. Esta formulación de dióxido de titanio es diseñada para manejar todas las temperaturas y presiones en todos los procesos comunes. Los paneles son tan fuertes que fácilmente pueden soportar pesos de equipos y el peso del techo.

Los tanques con la tecnología de "vidrio fusionado al acero" tienen el interior liso para un fácil mantenimiento y es menos poroso que el acero inoxidable. Los estudios muestran que la porcelana (vidrio) esmaltada sobre-acero tienen una consistencia que proporciona la inhibición máxima de crecimiento bacterial, ideal para un adecuado almacenamiento de biodiesel.

A continuación se adjuntan algunas de las características principales del vidrio fusionado al acero, proporcionadas por la compañía Permastore

Tabla 4.5 Características principales con las que debe cumplir un tanque de vidrio fusionado al acero

Características principales	Tanque de vidrio fusionado al acero compañía Permastore
ISO 9001-2000	Sí cumple
Certificación de los estándares de fusión publicados bajo normas ISO (ISO 28765-2008).	Sí cumple
Certificación de cada lámina con cero defectos / cero “Holiday”, ningún punto de corrosión.	Sí cumple
Accesorios en acero galvanizado o acero inoxidable.	Sí cumple
Alto estándar de calidad de acero de CORUS (Acería más grande del Mundo).	Sí cumple
Control de calidad de pruebas de impacto-resistencia en láminas de 80 Newtons.	Sí cumple

Test de impacto según norma ISO 4532	Sí cumple
Test de nivel de adherencia según norma EN 10209	Sí cumple
Test de resistencia a la abrasión según norma ISO 63701-2	Sí cumple
Test de resistencia térmica según norma ISO 2747	Sí cumple
Test de dureza a ser rayado según norma EN 101	Sí cumple

La tecnología de tanques de vidrio fusionado al acero cumple con la norma ISO 28765-2008, este es un estándar internacional que rige el diseño y uso de tanques de vidrio fusionado al acero.

Las interrogantes comunes que se presentan al estudiar esta tecnología de fabricación de tanques son las siguientes:

La primera relacionada con la resistencia al impacto del tanque recubierto con cerámica, el que ésta tecnología recubra las planchas de acero, con vidrio, no implica la fragilización de las planchas recubiertas. Estas planchas ofrecen similares características a las de acero al carbono, la ventaja es que es acero especial de alta resistencia (desarrollado por la empresa fabricante) superior al acero carbón utilizado comúnmente en los tanques de combustibles y petróleo.

En la sección 9.3.2.1 de la norma ISO 28765, se hace referencia al diseño de las paredes de los tanques con esta tecnología y se menciona que las paredes de los tanques deben ser diseñadas para resistir las cargas combinadas que se demandan (impactos). Otro estándar donde se prueba la resistencia al impacto de las planchas de vidrio fusionado al acero es la norma ISO 4532 mencionado en la tabla 4.5.

Otras interrogantes surgen al comparar los tanques de vidrio fusionado al acero con tanques de acero al carbono soldado son: los pernos y el “Mastic” o sellante. Sobre los pernos se puede decir que son de acero de grado alto galvanizados los cuales dan una excelente resistencia. Sobre el “Mastic” o sellante, este es un desarrollo de SIKA que ha sido comprobado y es resistente a los productos almacenados y al ambiente exterior dando una larga vida y un sello excelente del tanque, por lo que no se presentan fugas.

Una desventaja que pueden tener los tanques con la tecnología de vidrio fusionado al acero es que no están homologados aún para almacenamiento de petróleo crudo y gasolina. No por el material es decir por el vidrio fusionado al acero que tienen suficientes propiedades para trabajar con los dos fluidos, sino por el “Mastic” o sellante el cual aún SIKA no ha terminado los ensayos para poder sacar el material adecuado para resistir estos dos fluidos. Pero han sido probados en biocombustibles es decir en biodiesel y bioetanol con excelentes resultados.

Empresas constructoras de tanques con esta técnica:

- **FLORIDA AQUASTORE INTERNATIONAL S.A.**
345 Harvestore Drive, DeKalb, Illinois 60115-USA
Phone: 815-756-1551, Fax: 815-756-7821
www.aquastore.com Correo electrónico: sales@aquastore.com
Representante en el Perú: Alfredo Noriega Lay Tuberías y Equipos S.A.C.
Ca. Diego de Almagro mz N, Lote 26 La Molina, Lima - PERU
Tel. (51-1) 349-6338 / 349-6339 Fax (51-1) 348-3690
- **PERMASTORE**, Proveedor de tanques BIOTANQ
Director PermaStore: Alexis Díez María
España - América Latina - Caribe
Correo electrónico: permastoretanks@hotmail.com

Se hizo la consulta a la constructora FLORIDA AQUASTORE INTERNATIONAL S.A., para averiguar el costo de la construcción de un tanque con las especificaciones necesarias para almacenar biodiesel (según análisis de determinación de dimensiones y especificaciones técnicas de la sección 3.4.2 y buenas prácticas mostradas en los apartados 3.2 y 3.3). Se aprecia el análisis para esta tecnología en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Costo de construcción de un tanque de vidrio fusionado al acero para almacenamiento de biodiesel

Diámetro	17.91 metros.
Altura	13.06 metros.
Capacidad	20 686 barriles / 3 288 811.196 litros.
Tipo	Tanque vertical, techo fijo con cúpula “domo” de aluminio.
Producto almacenado	Biodiesel (B100)
Material	El tanque de material de vidrio sílica fusionado al acero con su pernería y demás accesorios para su construcción con “Edgecoat”
Datos de diseño del fabricante	<ul style="list-style-type: none"> - El tanque cuenta con una escotilla de acceso de 30” x 30”, aeredador de gravedad de aluminio. - Piso de material de vidrio sílica fusionado al acero con sus pernos y tuercas recubiertas con “Thermocomp”, el cual es compatible con el biodiesel a almacenar. - Un diseño estructural y certificación profesional de ingeniero para anillo perimetral en concreto. - El tanque cuenta con los siguientes accesorios: una escalera exterior con riel en aluminio y jaula de seguridad de acero galvanizado, una plataforma galvanizada con riel de seguridad y una entrada de hombre inferior de acero inoxidable con cobertura desmontable. - Se incluye un lote de casquetes protectores para los pernos. - Se incluye seis planos de ingeniería. - Tres manuales de operación y mantenimiento.
Detalles comerciales	<ul style="list-style-type: none"> - La entrega de los componentes del tanque Aquastore puede realizarse a las 6 u 8 semanas del recibo de los planos aprobados por el ingeniero y el comprador. - El tiempo estimado de construcción es de 22 días. - Un año de garantía en el material del tanque. - Las demás condiciones del contrato se adjuntan en el anexo D
Monto estimado referencial	<p>US\$ 438 338.00 Tanque Aquastore Modelo 5943SF</p> <p>US\$ 6 000.00 Gastos estimados de flete marítimo CFI Perú</p> <p>US\$ 2 350.00 Medidor de nivel de líquido</p> <p>US\$ 175.00 Soportes de tubería</p> <p>US\$ 630.00 Bridas y orificios en acero galvanizado (12”)</p> <p>US\$ Más 50% del total por impuestos y seguros</p> <p>US\$ 671 239.50 Monto total aproximado</p>
Empresa constructora	FLORIDA AQUASTORE INTERNATIONAL S.A.

4.3. Válvulas compatibles con biodiesel

El biodiesel B100 como se ha mencionado anteriormente y se ha explicado en tablas de compatibilidad, degrada ciertos materiales por lo cual se debe tener cuidado y hacer una buena elección para los componentes que entren en contacto con este biocombustible.

Luego de una investigación y de contactar con fabricantes de válvulas y usuarios a nivel nacional e internacional, se ha determinado que las válvulas adecuadas para este servicio son válvulas con cuerpos en aluminio, acero al carbono A-516 gr. 60, A-395 y acero inoxidable 304, 316, 416.

Los vástagos de las válvulas deben ser de acero inoxidable 17-4ph, 304, 316, 416.

También se utilizan válvulas revestidas completamente en teflón ("liner").

A continuación se muestra en la tabla 4.6 las combinaciones de materiales que se pueden realizar en cada tipo de válvula para buscar un buen desempeño frente al biodiesel.

Tabla 4.6 **Especificaciones técnicas para válvulas compatibles con biodiesel**

Tipo de válvula	Cuerpo	Bonete	Vástago	Sellos del cuerpo, sellos del vástago ("Packing, O' ring")	Anillos de asiento
Válvulas de compuerta, globo y check	Aluminio, acero al carbono A-516, A-395. Acero inoxidable 304, 316, 416. De preferencia acero inoxidable.	Aluminio, acero al carbono A-516, A-395. Acero inoxidable 304, 316, 416. De preferencia acero inoxidable.	Acero inoxidable 17-4ph, 304, 316, 416.	Teflón (TFE ²⁵ , PTFE ²⁶ , PFA ²⁷ , RTFE ²⁸ , Acetal) o Viton ²⁹	Acero inoxidable 304, 316, 416

²⁵ TFE: tetrafluoroetileno (TFE o Freón 1114).

²⁶ PTFE (politetrafluoretileno) es un material plástico de alta resistencia química, auto lubricante y resistente a altas temperaturas.

²⁷ PFA: Resina PFA (Perfluoroalcóxido), polímero de semejante estructura molecular y propiedades del PTFE, ofreciendo una mayor facilidad de manipulación en su aplicación industrial.

²⁸ RTFE: tipo de teflón (PTFE ó RTFE). El PTFE soporta aproximadamente 200°C y el RTFE unos 260°C. Material idóneo para asiento de válvulas.

²⁹ Acetal o viton: El fluoroelastómero Viton® es el más utilizado y destaca por su excelente resistencia al calor (400°F/200°C), a los combustibles y a los químicos agresivos. Además está certificado mundialmente por ISO 9000 e ISO/TS 16949.

En la siguiente tabla se muestran los tipos de válvulas y las características que deben tener para trabajar con biodiesel, en la clasificación de accionamiento manual o control automático:

Tabla 4.7 Especificaciones técnicas para válvulas compatibles con biodiesel según clasificación manual o de control automático.

Válvulas de accionamiento manual	- De preferencia compuerta, globo y check	Cuerpo y bonete de acero inoxidable Anillos de asiento en acero inoxidable 304, 316, 416 y con sellos de cuerpo y vástago (packing, bujes) de viton o teflón.
Válvulas de control	- Se utilizan bola v-port (Cpt Worcester) - Globo(Kammer 13200 revestida (liner) completamente con teflón)	Cuerpo y bonete de acero inoxidable Anillos de asiento en acero inoxidable 304, 316, 416 y con sellos de cuerpo y vástago (packing, bujes) de viton o teflón.

Empresas proveedoras de válvulas compatibles con biodiesel:

- **ABSISA**

Gerente general: Carlos Alva

Correo electrónico: carlos.alva@absisa.com

Av. Los Ingenieros 807 La Molina Lima 12

Telefax (511) 348-1976 (511) 348-1978 (511) 348-9946 (511) 348-9945

Fax: (511) 348-7828

- **PRECISION-PERU**

División Fluidos: Hugo Benites T.

Correo electrónico: hbenites@precisionperu.com

Cel.: 996 416 709 RPM: #229347

Perú/Oficina principal: Av. República de Panamá 2131 Santa Catalina, La Victoria – Lima.

- **WORTEC S.A.**

Av. Del Pinar 124 Of. 302 Urb. Chacarilla del Estanque Santiago de Surco, Lima 33, PERU

Teléfono: (51-1) 616-5050

Fax: (51-1) 255-3761

Correo electrónico :wortec@wortecperu.com

El proveedor WORTEC S.A., hizo la recomendación de las siguientes válvulas compatibles con biodiesel, de la empresa FLOWSERVE y DURCO, las cuales se muestran a continuación en las tablas 4.8.

Tablas 4.8 Válvulas compatibles con biodiesel.-FLOWSERVE/DURCO

- Válvula Durco- Modelo BTV-2000

Línea de válvulas para servicio químico

Tipo de válvula/Marca DURCO	Cuerpo	Bonete	Vástago	Sellos del cuerpo, sellos del vástago (“Packing, O’ ring”)	Anillos de asiento
Válvulas de mariposa Diámetro de 2” a 24”	ASTM A-395	Acero inoxidable 316	Acero inoxidable 17-4ph	PTFE, sello del vástago. Anillo de Viton, sello del cuerpo	Acero inoxidable 316

- Válvulas de bola Worcester- Modelo series 51-52

Para aplicaciones químicas y de fluidos altamente corrosivos

Tipo de válvula/ Marca Worcester	Cuerpo	Bonete	bola	Sellos del cuerpo, sellos del vástago (“Packing, O’ ring”)	Anillos de asiento
Válvulas de bola Diámetros de ½” a 10”	Acero inoxidable 316	Acero inoxidable 316	Acero inoxidable 316	PTFE, Viton, sello del cuerpo.	TFE reforzado,

De las empresas que producen válvulas bajo los criterios de fabricación y los materiales señalados para una buena distribución de biodiesel, se hizo la consulta a la empresa proveedora WORTEC S.A. para averiguar el precio de válvulas bajo las especificaciones necesarias para distribuir biodiesel.

Los resultados fueron los mostrados a continuación en la tabla 4.9

Tabla 4.9 Cuadro económico de válvulas compatibles con biodiesel FLOWSERVE /DURCO

Opción	Cantidad	Descripción	Precio unidad
1	1	<p>Válvula tipo Mariposa, Modelo BTV 2000 Marca Durco/Flowserve Control División</p> <p>Características de la válvula:</p> <ul style="list-style-type: none"> - #Modelo: 10BTW481 - Tipo: mariposa - Diámetro: 10 pulgadas - Estilo del cuerpo: wafer - Clase: ANSI 150 <p>Materiales de Construcción:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuerpo: "Ductil cast iron" - Disco: PFA - Liner: PTFE - Vástago: Acero inoxidable 316SS - Packing: TFE-V ring 	US\$ 4 384.00
2	1	<p>Válvula tipo Mariposa, Modelo BTV 2000 Marca Durco/Flowserve Control División</p> <p>Características de la válvula:</p> <ul style="list-style-type: none"> - #Modelo: 24BTW481 - Tipo: mariposa - Diámetro: 24 pulgadas - Estilo del cuerpo: wafer - Clase: ANSI 150 <p>Materiales de Construcción:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuerpo: "Ductil cast iron" - Disco: PFA - Liner: PTFE - Vástago: Acero inoxidable 316SS - Packing: TFE-V ring 	US\$ 25 920.00

3	1	<p>Válvula tipo Bola, Modelo Series 51/52 Marca Worcester/Flowserve Control División</p> <p><u>Características de la válvula:</u></p> <ul style="list-style-type: none">- #Modelo: 105166TV150, Clase: ANSI 150- Tipo: bola- Diámetro: 10 pulgadas <p><u>Materiales de Construcción:</u></p> <ul style="list-style-type: none">- Cuerpo: Acero inoxidable 316SS- Bola: Acero inoxidable 316SS- Asientos: TFE- Sellos del Vástago: Viton-Vástago: Acero inoxidable 316SS	US\$ 11 185.00
---	---	---	----------------

4.4. Análisis técnico del almacenamiento, transporte y distribución de biodiesel

Se deben respetar las características de diseño mencionadas en el apartado 3.4.2 para el caso de tanques convencionales. Así como también tomar en cuenta las buenas prácticas para un correcto almacenamiento y transporte mostradas en la sección 3.2 y 3.3 de la presente tesis.

4.4.1 Tuberías aptas para el transporte de biodiesel

- El biodiesel trabaja bien con cualquier acero al carbono convencional para tuberías ASTM A-312 316L, ASTM A-53 A y B, ASTM A-106 gr. B. Otros materiales compatibles con biodiesel son: fibra de vidrio, algún material termoplástico compatible con biodiesel (ver tablas de compatibilidad, tablas 3.2 y 3.3) y en casos especiales acero inoxidable (debido a su elevado precio). Ver tabla 4.1

4.4.2 Tanques aptos para almacenamiento de biodiesel

- Se han encontrado cuatro tecnologías para la construcción de tanques de almacenamiento de biodiesel:
- Tanques de aceros al carbono convencionales (de preferencia ASTM A-516 Gr60), tanques de acero inoxidable (de preferencia 316), tanques de fibra de vidrio y la nueva tecnología de tanques de vidrio fusionado al acero.

Tanques convencionales

- Para la construcción del tanque puede ser utilizado cualquier acero al carbono convencional para construcción de tanques pero se recomienda el acero ASTM A-516 Gr60. También puede utilizarse acero inoxidable de preferencia 316, pero no es una solución tan factible en tanques de gran capacidad debido al alto costo del acero inoxidable.
- De seleccionarse tanques de acero al carbono, el recubrimiento interno preseleccionado es un sistema de pintura del tipo epóxico fenólico novolac (ver anexo C). El recubrimiento externo será del sistema epóxico con acabado poliuretánico.
- El Biodiesel por lo general no requiere de techo flotante ya que no se degrada rápidamente en condiciones normales (tanque construido de un material compatible con biodiesel y almacenamiento permisible entre 3 y 6 meses) y su evaporación es baja, por lo que generalmente el gasto no se justifica. Sin embargo, a solicitud de algunos usuarios se construye techo flotante por condiciones muy particulares, tal como es el almacenamiento por largos periodos y para casos más estrictos de almacenamiento se deberá hacer inertización con nitrógeno.
- Se debe considerar la colocación del domo geodésico de aluminio, por las ventajas mencionadas en la sección 3.4.2.f.

Tanques de fibra de vidrio

- Tanques en fibra de vidrio (PRFV) para almacenamiento de agua, químicos, diesel, biodiesel y todo tipo de líquidos.
- Vida útil superior a 30 años.
- Por experiencia en su uso los fabricantes de tanques con esta tecnología afirman que los tanques de P.R.F.V. funcionan muy bien como depósitos de biodiesel y para ello no requieren de ninguna adaptación

- Existe un inconveniente con respecto a la capacidad de almacenamiento, ya que la capacidad máxima construible es de 943.471 barriles /150 000 litros (capacidad limitada para requerimientos de gran escala >20 000 barriles).

Tanques de vidrio fusionado al acero

- Esta tecnología de vidrio fusionado al acero fue introducida hace más de 50 años para aplicaciones de almacenamiento. Más de 100 000 tanques de vidrio fusionado al acero han sido instalados en más de 70 países alrededor del mundo.
- El vidrio fusionado al acero se ha convertido en la tecnología Premium en el almacenamiento de agua y otros líquidos entre ellos el biodiesel y es la tecnología recomendada en la tesis para el almacenamiento de biodiesel.
- Los tanques con la tecnología de "vidrio fusionado al acero" tienen el interior liso para un fácil mantenimiento y es menos poroso que el acero inoxidable. Los estudios muestran que la porcelana (vidrio) esmaltada sobre-acero tienen una consistencia que proporciona la inhibición máxima de crecimiento bacterial, ideal para un adecuado almacenamiento de biodiesel.
- Ventajas:
 - Mínimos requerimientos de mantenimiento durante la vida del tanque, nunca necesita pintarse, no se corroe ni se oxida.
 - Mayor vida útil en comparación a los tanques soldados o de concreto.
 - Construcción más rápida, fácil ensamblado sin grúas ni equipo mecánico especial.
 - Expandible para ajustarse a futuros requerimientos.
 - Disponible en diámetros desde 11 pies (3.3 m) hasta 204 pies (62.2 m) y capacidades desde 20 000 galones (75m³, 476.190 barriles) hasta más de 6 millones de galones (22 700 m³, 142 857.142 barriles).

4.4.3 Válvulas aptas para almacenamiento de biodiesel

- Luego de una investigación y de contactar con fabricantes de válvulas y usuarios a nivel nacional e internacional, se ha determinado que las válvulas adecuadas para este servicio son válvulas con cuerpos en aluminio, acero al carbono convencional para válvulas y acero inoxidable 304, 316, 416. Se recomienda el acero inoxidable.
- Los vástagos de las válvulas deben ser de acero inoxidable 17-4ph, 304, 316, 416.
- Los sellos del cuerpo y de vástago ("O' ring") deben ser de teflón (TFE, PTFE, PFA, RTFE, Acetal) o Viton.
- Anillos de asiento en acero inoxidable 304, 316, 416.
- También se utilizan válvulas revestidas completamente en teflón (liner) por ejemplo: BTV 2000, Durco t-line. Ver tabla 4.6.

4.5. Análisis económico del almacenamiento, transporte y distribución de biodiesel

4.5.1 Tuberías aptas para el transporte de biodiesel

Tabla 4.10 Cuadro económico de tuberías aptas para transportar biodiesel

Opción	Cantidad	Descripción	Precio unidad
1	1	Tubería de acero al carbono ASTM A-53, A-106 GR B. SCH-40, 10" X 6 metros.	US\$ 382.60
2	1	Tubería de acero al carbono ASTM A-53, A-106 GR B. SCH-40, 20" X 12 metros.	US\$ 1 596.80
3	1	Tubería de acero inoxidable 316 SCH-40 8" X 6 metros.	US\$ 2 492.00
4	1	Tubería de acero inoxidable 316 SCH-40 C/C, 10" longitudes entre 2.5 y 3.6 metros.	US\$ 749.10

Como se aprecia en la tabla 4.10, el precio de una tubería de acero inoxidable es aproximadamente el doble del de una tubería de acero al carbono convencional para la fabricación de tuberías (ASTM A-53 o ASTM A-106) a igualdad de diámetro y longitud. Con lo cual el gasto no se justifica para condiciones de servicio normales.

4.5.2 Tanques aptos para almacenamiento de biodiesel

Tabla 4.11 Cuadro económico de tanques aptos para el almacenamiento de biodiesel

Tecnología de fabricación de tanques para almacenamiento de biodiesel	Dimensiones (Diámetro x altura)	Capacidad	Costo aproximado
Tanques convencionales de acero al carbono	24 x 10.51 metros	25 000 barriles	US\$ 1 440 283.41
Tanques de fibra de vidrio PRFV	4 x 12.430 metros	943.471 barriles	US\$ 34 271
Tanques de vidrio fusionado al acero	17.91 x 13.06 metros	20 686 barriles	US\$ 671 239.50

En la tabla 4.11, se observa la gran diferencia de precios entre las diferentes tecnologías de fabricación de tanques para almacenamiento de biodiesel, si bien es cierto con las tres tecnologías se obtendrán buenos resultados, al efectuar análisis económico a igualdad de capacidades, el costo de construcción de un tanque con la tecnología de vidrio fusionado al acero es aproximadamente la mitad que el costo de construcción de un tanque de acero al carbono convencional.

4.5.3 Válvulas aptas para distribución de biodiesel

Tabla 4.12 Cuadro económico de válvulas aptas para la distribución de biodiesel

Opción	Descripción	Precio unidad
1	Válvula tipo Mariposa, Modelo BTV 2000 Marca Durco/Flowserve Control División #Modelo: 10BTW481 Diámetro: 10 pulgadas	US\$ 4 384.00
2	Válvula tipo Mariposa, Modelo BTV 2000 Marca Durco/Flowserve Control División #Modelo: 24BTW481 Diámetro: 24 pulgadas	US\$ 25 920.00
3	Válvula tipo Bola, Modelo Series 51/52 Marca Worcester/Flowserve Control División #Modelo: 105166TV150 Diámetro: 10 pulgadas	US\$ 11 185

Según la explicación del ingeniero de ventas de la empresa contactada para el análisis técnico en válvulas aptas para la distribución de biodiesel se tiene que:

- Las válvulas son el punto crítico en un sistema de almacenamiento y transporte de biodiesel.
- El acondicionamiento de las válvulas para habilitarlas y dejarlas aptas para entrar en contacto con biodiesel es lo que las encarece, oscilando sus precios entre 4 mil y 20 mil dólares para diámetros entre 10 y 24” para el tipo mariposa.
- Las válvulas recomendadas para adaptarse al sistema de un tanque son tipo Mariposa y tipo Bola

Conclusiones

- El biodiesel no es compatible con ciertos materiales, ver apartados 3.2 y 3.3 así como las tablas de compatibilidades 3.2, 3.3, 3.4. Por lo tanto antes de empezar un proyecto de almacenamiento y/o transporte de biodiesel, se deberá hacer un estudio previo de selección de materiales que entren en contacto con el biocombustible, pues el biodiesel puede corroer al material (algunos elastómeros) o caso contrario, el biodiesel se puede degradar (frente a algunos metales).
- El biodiesel corroe ciertos elastómeros utilizados comúnmente en el “packing” de las válvulas y se degrada frente a algunos metales con los que usualmente se fabrican tuberías o partes de válvulas, formándose geles o jabones en el biocombustible.
- A continuación se plantean las conclusiones sobre el tema de almacenamiento y transporte de biodiesel, se darán las conclusiones según cada ítem:

Tuberías

- Las tuberías para transporte de biodiesel pueden ser de acero al carbono convencional para tuberías ya que es un material compatible con el biodiesel y la mayoría de tuberías para transporte de hidrocarburos son de acero al carbono con lo cual no habría problemas de cambio de infraestructura en las empresas.
- Otra opción puede ser la fibra de vidrio y materiales termoplásticos compatibles (ver tablas 3.2, 3.3, 3.4) pero se ha de tener cuidado con conocer a profundidad las características de estos materiales.
- Para casos especiales, ya que tienen un elevado costo, se puede recurrir al acero inoxidable, se recomienda al acero inoxidable 316 por ser un acero más resistente a la corrosión que otros aceros al cromo-níquel cuando se expone a muchos tipos de corrosivos químicos y atmósferas marinas.

Tanques

- Se han encontrado cuatro tecnologías para construcción de tanques de almacenamiento de biodiesel:
Tanques de aceros al carbono convencionales (de preferencia ASTM A-516 Gr60), tanques de acero inoxidable (de preferencia 316), tanques de fibra de vidrio y la nueva tecnología de tanques de vidrio fusionado al acero.

- Los tanques diseñados para almacenar el diesel podrán almacenar biodiesel B100 sin ningún problema (tener en cuenta el estado del tanque).
- El biodiesel por lo general no requiere de techo flotante ya que no se degrada rápidamente en condiciones normales (tanque construido de un material compatible con biodiesel y almacenamiento permisible entre 3 y 6 meses) y su evaporación es baja, por lo que generalmente el gasto no se justifica. Sin embargo, a solicitud de algunos clientes se construye techo flotante por condiciones muy particulares, tal como es el almacenamiento por largos periodos y para casos más estrictos de almacenamiento se deberá hacer inertización con nitrógeno.
- El recubrimiento interno preseleccionado es un sistema de pintura del tipo epóxico fenólico novolac. El recubrimiento externo será del sistema epóxico con acabado poliuretánico (para tanques convencionales de acero al carbono).
- En el análisis económico sobre los tanques especializados para el almacenamiento de biodiesel se comparan las tres opciones propuestas en el análisis técnico (ver tabla 4.5.2):
 - La primera opción es la de tanques de acero al carbono, los cuales son tanques convencionales y no habría problema en el almacenaje de biodiesel pero es una opción bastante costosa pues su construcción bordea el millón y medio de dólares, requiere de mantenimiento programado y de pintado interior y exterior.
 - Otra propuesta fue la de tanques de fibra de vidrio PRFV, es una tecnología que se está aplicando mucho en Colombia y Argentina pero la problemática es la poca capacidad de estos tanques, se pueden construir en dimensiones hasta de 4 metros de diámetro y 12.430 metros de altura y para igualar a la capacidad de un tanque convencional se necesitarían 26 tanques de estos y se originaría una deficiencia de espacio, en cuanto a lo económico no es del todo desfavorable pues su costo de construcción sería aproximadamente de US\$ 900 000, todavía menos costoso que los tanques convencionales.
 - Y la tercera opción, la recomendada en la tesis, es la de tanques con la tecnología de vidrio fusionado al acero, es una tecnología revolucionaria para el almacenamiento de biodiesel pues a las planchas de acero comunes se les da un “baño” con cerámico lo cual crea una superficie interior y exterior con un ambiente ideal para almacenar biodiesel, no necesita mantenimiento, no necesita pintado y no es afectada por la corrosión del medio. Su precio es la mitad del de un tanque convencional de acero al carbono a igualdad de capacidad. Las empresas que cuentan con esta tecnología son dos, inglesa y norteamericana.

Válvulas

- Las válvulas son el punto crítico en un sistema de almacenamiento y transporte de biodiesel.
- El acondicionamiento de las válvulas para habilitarlas y dejarlas aptas para entrar en contacto con biodiesel es lo que las encarece, oscilando sus precios entre 4 mil y 20 mil dólares para diámetros entre 10 y 24” para el tipo mariposa.
- Las válvulas recomendadas para adaptarse al sistema de un tanque son tipo

Mariposa y tipo Bola ver tabla 4.5.3.

- Se ha determinado que las válvulas adecuadas para este servicio son válvulas con cuerpos en aluminio, acero al carbono A-516 gr. 60 y acero inoxidable 304, 316, 416.
- Los vástagos de las válvulas deben ser de acero inoxidable 17-4ph, 304, 316, 416.
- Los sellos del cuerpo y de vástago (“O’ ring”) deben ser de Teflón (TFE, PTFE, PFA, RTFE, Acetal) o Viton.
- Anillos de asiento en acero inoxidable 304, 316, 416.
- También se utilizan válvulas revestidas completamente en teflón (liner) por ejemplo: BTV 2000, Durco t-line. Ver tabla 4.6.
- Cualquiera de las combinaciones de materiales son recomendadas para fabricar una válvula apta que entre en funcionamiento con biodiesel, dependerá del usuario y de la disponibilidad económica para la elección de alguna de ellas.

Glosario

Aceite: Producto de origen mineral, animal o vegetal, líquido a 25° C. Constituido en el primer caso por hidrocarburos pesados, y en los otros por mezclas de glicéridos.

Biodiesel. “Esteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales y que se emplea en los motores de ignición de compresión (motores diesel) o en calderas de calefacción”. (Ref.: “American Standards for Testing and Materials”).

Blend. Son las mezclas de Biodiesel respecto a diesel. Biodiesel puro es B100, al 50% es B50. En Refinería Talara se mezcla a B2.

Ciclo de Vida: El Biodiesel tiene un ciclo de vida extraordinariamente corto respecto a diesel del petróleo y puede presentar formación de depósitos durante el tiempo de almacenamiento (glicerina o similar). La estabilidad de biodiesel se ve comprometida, dependiendo de la composición química, contenido de esteres metílicos de ácidos grasos o etil ésteres y exposición ya sea a la luz, al oxígeno, altas temperaturas o contacto con metales no ferrosos o agua, o bien por el tiempo. Durante el periodo de envejecimiento del Biodiesel, la acidez del producto se incrementará. Con el tiempo, cualquier traza de glicerina y otros contaminantes sólidos se decantarán en el fondo del tanque. Igualmente, cualquier traza de agua atacará a los ésteres en el producto y se estratificará hacia el fondo del contenedor formando una solución éster-agua que no se revertirá nuevamente en el producto. A mayor nivel de insaturación de la grasa o éster, será más susceptible a la oxidación.

Estabilidad a la oxidación. Es uno de los límites medidos en estándares internacionales para la producción de biodiesel y sus mezclas. La prueba mide la estabilidad y se basa en la formación de ácidos volátiles en un periodo de inducción.

“FAME”: Ésteres metílicos de ácidos grasos: fatty acid methyl esters. Refiere a la composición química del Biodiesel.

Grasa: esteres de glicerol. Se caracteriza por ser sólida a 25 ° C.

Inertización: La inertización se obtiene mediante el uso de un gas inerte, como el nitrógeno, para formar una capa protectora, evitando la reacción de los productos. El propósito en sistemas de Biodiesel es el “blanketing”; esto es, mantener al producto aislado del oxígeno del aire. Para esto, debe mantenerse una atmósfera inerte y uniforme por encima de la sustancia combustible a manera de una "capa protectora". Añadiendo o removiendo el nitrógeno con el mismo caudal con el que el tanque es llenado o vaciado, se mantiene un efecto de protección de la calidad del producto,

evitándose el riesgo de oxidación.

Periodo de Inducción: Es el tiempo en que tarda, o la cantidad de tiempo requerida para el inicio de la auto-oxidación. Dependiendo del estándar de oxidación, la estabilidad requerida en el Biodiesel cambiará, con niveles estándar a niveles tan bajos como a 3 horas.

Bibliografía

1. Amésquita, Fidel. (2008). “Informe de visita técnica al laboratorio de biocombustibles de Intertek – Rosario, Argentina”. *OSINERGMIN*. Volumen 1: 4 páginas.
2. Castro, Paula; Coello, Javier; Castillo, Liliana -ITDG. (2007). Opciones para la producción y uso de biodiesel en el Perú. 1° ed. Lima: Editorial Forma e Imagen.
3. Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). En línea Internet. 22 de abril de 2009. Accesible en <http://www.energiasrenovables.ciemat.es>
4. Demirbas, Ayhan. (2008). “Biodiesel, a realistic fuel alternative for Diesel engines”. 1° ed. Estados Unidos: Editorial Springer.
5. ITDG-CONCYTEC. (2004). “Producción de Biodiesel a pequeña escala a partir de Recursos Oleaginosos Amazónicos”. ITDG-CONCYTEC, volumen 1: 25 diapositivas.
6. ITDG-UNALM. (2004). “Producción de Biodiesel a pequeña escala a partir de Aceites vegetales de desecho generados por el comedor universitario de la UNALM”. ITDG-UNALM, volumen 1: 25 diapositivas.
7. National Biodiesel Board- Materials Compatibility. En línea Internet: 24 de junio de 2009. Accesible en <http://www.biodiesel.org/>.
8. Salazar, Samuel. (2008). “Biodiesel, consideraciones básicas para su producción en el Salvador”. Biodiesel, volumen 1: 4 páginas.
9. Vacono (2009). “Usos y beneficios de los techos flotantes internos y domos geodésicos de aluminio”. Vacono. Presentación Power Point: 10 diapositivas.
10. U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information. (2009). Biodiesel Handling and Use Guide. Cuarta edición. Springfield-Estados Unidos: Editorial de U.S. Department Tecnología para la Producción de Biodiesel.

-Anexo A-

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 1° de la presente Ley.

Artículo 4°.- Uso de biocombustibles

El poder Ejecutivo dispondrá la oportunidad y las condiciones para el establecimiento del uso del etanol y el biodiesel.

Artículo 5°.- 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 A.1-

D.S. N° 013–2005–EM: Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles -

TÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Objeto

El presente Reglamento promueve las inversiones para la producción y comercialización de Biocombustibles, difundiendo las ventajas económicas, sociales y ambientales de su uso, y establece los requisitos técnicos de seguridad para su producción y distribución; de modo que salvaguarde la salud pública y el medio ambiente y coadyuve a la Estrategia Nacional de Lucha contra las Drogas promoviendo la inversión en cultivos alternativos en las zonas cocaleras del país.

Artículo 2.- 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 referido al presente Reglamento.

Artículo 3.- Definiciones

En el presente Reglamento se utilizarán los siguientes términos cuya definición se detalla:

Biocombustibles: Son los 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 carburantes.

Etanol: Es el alcohol etílico cuya fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ 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 muy bajo contenido de humedad y ser compatible con las gasolinas con las cuales se puede mezclar en cualquier proporción para producir un combustible oxigenado para uso motor.

Sustancia Desnaturalizante: Sustancia extraña, generalmente gasolina motor sin contenido de plomo, que se agrega al alcohol carburante para convertirlo en no potable y para evitar que sea desviado para usos diferentes al de los componentes oxigenantes de combustibles.

Alcohol Carburante: Es el Etanol Anhidro desnaturalizado, obtenido de la mezcla del etanol anhidro con la sustancia desnaturalizante en un pequeño porcentaje; entre 2 y 3% en el caso de ser gasolina motor sin contenido de plomo.

Biodiesel: Mezcla de ésteres (de acuerdo con el alcohol utilizado) de ácidos grasos saturados e insaturados de diferentes masas moleculares derivados de la transesterificación de aceites y grasas de origen vegetal. Para fines del presente reglamento se entiende como una sustancia oleaginosa obtenida a partir del aceite de palma, higuera, soja, girasol y otros aceites vegetales.

Bases de Mezcla: Son las gasolinas de 97, 95, 90 y 84 octanos, y el Diesel N° 1 y N° 2, comercializados en el país y cuyas calidades se establecen en las normas técnicas peruanas correspondientes.

Gasolina Ecológica: Es la mezcla que contiene gasolina (97, 95, 90, 84 octanos según sea el caso) y Alcohol Carburante.

Diesel Ecológico: Es la mezcla que contiene Diesel N° 1 ó N° 2 y Biodiesel.

Artículo 4.- Normas Técnicas

Las características técnicas del Alcohol Carburante y del Biodiesel deben cumplir lo establecido por la correspondiente Norma Técnica Peruana aprobada por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

Artículo 5.- Alcances y ámbito de aplicación

El presente Reglamento se aplica a nivel nacional y establece las normas que deben cumplir los productores de Biocombustibles, comercializadores y distribuidores.

TÍTULO II

DE LA PROMOCIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

CAPÍTULO I

PORCENTAJE Y CRONOGRAMA DE APLICACIÓN Y USO DEL ALCOHOL CARBURANTE Y BIODIESEL

Artículo 6.- Porcentaje de mezcla - gasolinas

El porcentaje de Alcohol Carburante en las gasolinas que se comercialicen en el país será de 7,8 (siete coma ocho) por ciento. Las mezclas que contengan 92,2% de gasolina y 7,8% de Alcohol Carburante se denominan gasolinas ecológicas según grado de octanaje: 97E, 95E, 90E y 84E.

Artículo 7.- Cronograma para gasolinas

Cronograma de aplicación y uso del Alcohol Carburante en las gasolinas:

- A partir del 30 de junio del 2006 las gasolinas ecológicas serán producidas y comercializadas en las regiones: La Libertad, Lambayeque, Ancash, Piura y las provincias de Barranca y Huaura de la Región Lima.
- A partir del 1 de enero de 2008 en las regiones: Loreto, Ucayali, Amazonas, San Martín y Huánuco.
- A partir del 1 de enero de 2010 en todo el país.

Artículo 8.- Porcentaje de mezcla - Diesel

El porcentaje de Biodiesel en el diesel que se comercialice en el país será de 5,0 (cinco coma cero) por ciento. La mezcla que contenga 95% de Diesel N° 1 o N° 2 y 5% de Biodiesel se denomina Diesel Ecológico N° 1E y N° 2E.

Artículo 9.- Cronograma para Diesel

Cronograma de aplicación y uso del Biodiesel:

- A partir del 1 de enero de 2008 el Diesel N° 1 Ecológico y Diesel N° 2 Ecológico se comercializarán en las regiones: Loreto, Ucayali, Amazonas, San Martín y Huánuco.
- A partir del 1 de enero de 2010 en todo el país.

Artículo 10.- Declaración Anual de Producción de biocombustibles

Los productores nacionales de Alcohol Carburante y de Biodiesel deben presentar al Ministerio de Energía y Minas, en el mes de enero de cada año, sus planes de producción quinquenal de Alcohol Carburante y de Biodiesel, detallando el volumen de producción mensual y el área geográfica en la cual se realizará. El productor que no presente su plan de producción será considerado con producción cero por el Ministerio de Energía y Minas.

Artículo 11.- Modificación de cronograma

El Ministerio de Energía y Minas con una anticipación no menor a 12 meses, podrá modificar el cronograma de aplicación y uso establecido en los artículos 7 y 9 del presente Reglamento cuando los productores nacionales no puedan abastecer el volumen de Alcohol Carburante y Biodiesel requerido para el consumo nacional.

Artículo 12.- Comercialización Mayorista

Los distribuidores mayoristas de combustibles líquidos debidamente registrados en el Ministerio de Energía y Minas son los únicos autorizados a comprar Alcohol Carburante y Biodiesel en el mercado nacional.

Artículo 13.- Lugares de Mezcla

Las mezclas de Alcohol Carburante con gasolinas y de Biodiesel con diesel se realizarán en las Plantas de Abastecimiento y las operaciones de mezcla estarán a cargo del Operador de la Planta de Abastecimiento.

CAPÍTULO II

PROMOCIÓN DE CULTIVOS PARA BIOCOMBUSTIBLES

Artículo 14.- Promoción de Proyectos de Inversión

Los Proyectos de inversión en cultivos para la producción de Biocombustibles cumplirán con la Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental. Estos proyectos deberán tener en cuenta la zonificación ecológica y económica de la región, cuenca y/o localidad, y de no existir la misma, se tomará en cuenta la Capacidad de Uso Mayor de los Suelos.

Artículo 15.- Del Mecanismo de Desarrollo Limpio

En el marco del Protocolo de Kyoto, los proyectos que busquen el incentivo económico del Mecanismo de Desarrollo Limpio - MDL, podrán coordinar con PROBIOCOM, sin perjuicio de las competencias del Consejo Nacional del Ambiente.

Artículo 16.- De los Cultivos Alternativos

La Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas - DEVIDA, proporcionará la información necesaria a los Gobiernos Regionales y al Ministerio de Agricultura sobre las áreas que requieran de Programas de Cultivos Alternativos, con la finalidad de promocionar la producción de biocombustibles en la selva, ofreciendo un mercado asegurado a la inversión privada y productores organizados.

Artículo 17.- Programa de Cultivos Alternativos

DEVIDA, como Ente Rector en la Lucha Contra las Drogas, cumplirá con las siguientes funciones:

- a) Recibirá y calificará a la empresa privada interesada en desarrollar proyectos agroindustriales o industriales en las áreas requeridas de cultivos alternativos, para la producción de alcohol carburante y biodiesel.
- b) Elaborará proyectos agroindustriales destinados a la producción de alcohol carburante y biodiesel, para desarrollarse en las zonas requeridas de sustitución de cultivos ilícitos, en coordinación con el Ministerio de Agricultura y PROBIOCOM.
- c) Coordinará con los Gobiernos Regionales los proyectos a desarrollarse en las áreas calificadas por DEVIDA para la sustitución de cultivos ilícitos, con el propósito de generar condiciones favorables a la inversión privada.
- d) Canalizará hacia la empresa privada previamente calificada, las líneas de crédito nacional e internacional que sea captada para la producción de biocombustibles.
- e) Coordinará con PETROPERÚ y con los productores y comercializadores de combustible privados, la suscripción de convenios de adquisición de biocombustibles, producidos dentro del Programa de Desarrollo Alternativo vinculado a la Lucha Contra las Drogas y Cuidado del Medio Ambiente.
- f) Auspiciará a la empresa privada, si fuera necesario, en la instalación de la agroindustria para la producción de biocombustibles, en las áreas que no estén directamente comprometidas con la sustitución de cultivos ilícitos dentro de su ámbito de acción.

CAPÍTULO III

PROMOCIÓN PARA EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS

Artículo 18.- Del desarrollo de tecnologías

El Poder Ejecutivo, a través del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica - CONCYTEC y las Universidades, promueve e incentiva la creación y el desarrollo de nuevas tecnologías para la producción, comercialización y distribución de biocombustibles.

CAPÍTULO IV

PROGRAMA DE PROMOCIÓN DEL USO DE BIOCOMBUSTIBLES

Artículo 19.- Creación del Programa del Uso de Biocombustibles

El Programa del Uso de Biocombustibles (PROBIOCOM) se encuentra bajo la dirección de PROINVERSIÓN, entidad que se encargará de emitir las directivas para su funcionamiento en un plazo no mayor a 90 días a partir de la vigencia del presente reglamento.

DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Primera.- En tanto no sean aprobadas las normas técnicas peruanas por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI, son de aplicación las normas técnicas internacionales.

Segunda.- Los productores nacionales de Alcohol Carburante y de Biodiesel deben presentar al Ministerio de Energía y Minas, dentro de los 60 días de vigencia del presente reglamento sus planes de producción quinquenal de Alcohol Carburante y de Biodiesel, detallando el volumen de producción mensual y el área geográfica en la cual se realizará.

-Anexo A.2-

DECRETO SUPREMO N° 021-2007-EM
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 referido 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 Norma Actualizada al 25 de mayo de 2009.

Biodiesel: Combustible compuesto de ésteres mono-alquílicos 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 oleaginoso 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 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ 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 potable 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. (*)

(*) Literal modificado por el Artículo 1 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008, cuyo texto es el siguiente:

“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 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. La competencia del OSINERGMIN empieza en las Refinerías y en las Plantas de Abastecimiento, lugares donde se realizarán las mezclas.

La fiscalización de la calidad de los biocombustibles será realizada por el OSINERGMIN en el punto donde las empresas productoras de biocombustibles entregan sus 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% Biodiesel y 98 Diesel= B2

5% Biodiesel y 95 Diesel = B5

20% Biodiesel y 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 modificado por el Artículo 2 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008, cuyo texto es el siguiente:

“Artículo 12.- Comercialización Mayorista

Las Refinerías y los Distribuidores Mayoristas con inscripción vigente en el Registro de Hidrocarburos son los únicos autorizados para comprar Alcohol Carburante y Biodiesel B100, de las empresas productoras de Biocombustibles, para su mezcla con gasolina y Diesel N° 2 respectivamente.

Las empresas productoras de Biodiesel B100 que deseen comercializar este producto, sólo podrán venderlo a Refinerías, Distribuidores Mayoristas y Consumidores Directos debidamente registrados en la Dirección General de Hidrocarburos - DGH. Para efectuar ventas de Biodiesel B100, deberán registrar en la DGH el referido producto, detallando su clasificación, características y especificaciones de calidad contenida en la norma técnica correspondiente. Para el registro del producto deberán presentar la documentación siguiente:

- a) Solicitud de acuerdo a formato, consignando el número de RUC.
- b) Formato de declaración jurada (por cada producto).

c) Especificaciones de calidad del producto adjuntando el certificado de análisis químico realizado por un laboratorio mediante ensayos acreditados para el respectivo producto. La vigencia del certificado de análisis será de treinta (30) días desde su fecha de expedición.

d) Plan de producción anual por mes.”

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 modificado por el Artículo 3 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008, cuyo texto es el siguiente:**

“Artículo 13. - Lugares de Mezcla y Expendio

Las mezclas de Alcohol Carburante con gasolinas y de Biodiesel B100 con Diesel N°2, se podrán realizar en las Refinerías o en las Plantas de Abastecimiento que cuenten con inscripción vigente en el Registro de Hidrocarburos; para lo cual los operadores de estas instalaciones deben efectuar las adecuaciones necesarias que le permitan realizar las operaciones de mezcla en tanque o en línea, según corresponda, debiendo contar con el respectivo Informe Técnico Favorable (ITF), emitido por el OSINERGMIN.

A partir de las fechas indicadas en los artículos 8 y 10 del Reglamento, los Establecimientos de Venta al Público de Combustibles debidamente inscritos en el Registro de Hidrocarburos, no podrán comercializar Diesel 2 y gasolinas debiendo en su reemplazo comercializar Diesel B2 o Diesel B5 y Gasohol.

Los surtidores o dispensadores de expendio deberán tener en forma perfectamente visible el tipo de producto que éstos despachan. En el caso de comercializar Gasohol, los surtidores o dispensadores deberán tener la leyenda “Gasohol 98 Plus, Gasohol 97 Plus, Gasohol 95 Plus, Gasohol 90 Plus y Gasohol 84 Plus”. En el caso de comercializarse Diesel B2 o Diesel B5 deberá indicarse en la leyenda de los surtidores o dispensadores “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.

TÍTULO III DE LOS INFORMES

Artículo 15.- Información a proporcionar

Las empresas productoras de Biocombustibles deben presentar a la Dirección General de Hidrocarburos - DGH, en la primera quincena de enero, su plan de producción anual por meses.

Las empresas productoras de Biocombustibles, así como los operadores de Plantas de Abastecimiento, Distribuidores Mayoristas y Consumidores Directos que efectúen actividades de comercialización de Biocombustibles y/o de sus mezclas con combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos, están obligados a proporcionar información necesaria para el cumplimiento de las funciones de las autoridades competentes, en la oportunidad, formato y medio tecnológico que éstas determinen.

(*) Título incorporado por el Artículo 4 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008.

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 modificada por el Artículo 5 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008, cuyo texto es el siguiente:

“Única.- Actualización del Registro de la DGH

Las ampliaciones o modificaciones en las instalaciones que corresponden realizar a 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.

De acuerdo a los cronogramas indicados en los artículos 8 y 10 del Reglamento, en las inscripciones del Registro de Hidrocarburos así como en las respectivas.

Constancias de Registro, a partir del 1 de enero de 2009, la denominación “Diesel N° 2” se entenderá que se refiere al “Diesel B2” y a partir del 1 de enero de 2011 en reemplazo de este último, se entenderá que se refiere al “Diesel B5”. Asimismo, a partir del 1 de enero de 2010 la denominación “Gasolina 98, 97, 95, 90 y 84” se entenderá que se refiere al “Gasohol 98 Plus, 97 Plus, 95 Plus, 90 Plus y 84 Plus”; sin perjuicio de lo establecido en el tercer párrafo del Art. 13 del presente Reglamento.”

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. (*)

(*) Disposición derogada por el Artículo 6 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008.

-Anexo B-

Descripción de materiales mencionados en las tablas de compatibilidad 3.2, 3.3, 3.4

Nitrilo NBR

Nitrilo NBR		
Comportamiento frente a	Resistencia mecánica	Buena
	Resistencia al envejecimiento	Moderada
	Resistencia a aceites y grasas	Moderada
	Resistencia a hidrocarburos	Buena
	Resistencia al calor	Buena
	Resistencia a la llama	Mala
	Resistencia al agua	Buena
	Resistencia al frío	Buena
	Resistencia a ésteres y cetonas.	Mala

Según un estudio realizado por “NATIONAL BIODIESEL BOARD” donde se colocaba el Nitrilo en contacto con biodiesel por aproximadamente 694 horas a 50°C. La dureza del Nitrilo fue reducida aproximadamente en 20 por ciento; y se hinchó aproximadamente en 17 a 18 por ciento.

EPDM Etileno-Propileno

EPDM Etileno-Propileno		
Comportamiento frente a	Resistencia al desgarramiento	Regular
	Resistencia a la abrasión	Buena a excelente
	Deformación por compresión	Buena
	Permeabilidad a los gases	Bastante baja
	Ácido resistencia diluido	Excelente
	Ácido resistencia concentrado	Buena
	Hidrocarburos alifáticos	Pobre
	Hidrocarburos aromáticos	Pobre
	Solventes oxigenados (cetonas) y ésteres.	Excelente
	Disolventes de lacas	Pobre a regular
	Hinchamiento en aceite lubricante	Pobre
	Aceite y gasolina	Pobre
Aceites vegetales y animales*	Buena a excelente	

*Como se puede apreciar este elastómero tiene muy buena resistencia al contacto con aceites vegetales y animales, lo cual lo convierte en una opción para entrar en contacto con biodiesel.

Aflas

AFLAS ® es la marca para un único fluoroelastómero basado sobre una alternación de tetrafluoretileno y propileno ("TFE/P"). AFLAS, puede ser usado fabricar "o'rings" (anillos), juntas, y sellos que poseen varias propiedades únicas:

1) resistencia de calor excelente con 230°C capacidad de trabajador interino de servicio continua, 2) resistencia química incluyendo resistencia a ácidos fuertes y bases, 3) alta resistencia eléctrica, y 4) resistencia excelente del aceite.

Neopreno/Cloropreno CR

Cloropropeno - Neopreno		
Comportamiento frente a	Resistencia al desgarramiento	Buena
	Resistencia a la abrasión	Excelente
	Deformación por compresión	Regular a buena
	Permeabilidad a los gases	Baja
	Ácido resistencia diluido	Excelente
	Ácido resistencia concentrado	Buena
	Hidrocarburos alifáticos	Regular a buena
	Hidrocarburos aromáticos	Regular
	Solventes oxigenados (cetonas) y ésteres.	Pobre a regular
	Disolventes de lacas	Pobre
	Hinchamiento en aceite lubricante	Buena
	Aceite y gasolina	Buena
	Aceites vegetales y animales*	Pobre

Stireno-Butadieno SBR

Caucho estireno-butadieno		
Comportamiento frente a	Resistencia al desgarramiento	Regular a buena
	Resistencia a la abrasión	Excelente
	Deformación por compresión	Excelente
	Permeabilidad a los gases	Muy baja
	Ácido resistencia diluido	Baja
	Ácido resistencia concentrado	Pobre
	Hidrocarburos alifáticos	Pobre a nula
	Hidrocarburos aromáticos	Pobre a nula
	Solventes oxigenados (cetonas) y ésteres.	Pobre
	Disolventes de lacas	Pobre a regular
	Hinchamiento en aceite lubricante	Regular a buena
	Aceite y gasolina	Baja
	Aceites vegetales y animales	Baja

Butil

	Butyl - Isobutileno-Isopropeno	
Comportamiento frente a	Resistencia al desgarramiento	Buena
	Resistencia a la abrasión	Buena
	Deformación por compresión	Regular
	Permeabilidad a los gases	Muy baja
	Ácido resistencia diluido	Excelente
	Ácido resistencia concentrado	Buena
	Hidrocarburos alifáticos	Pobre
	Hidrocarburos aromáticos	Pobre
	Solventes oxigenados (cetonas) y ésteres.	Buena
	Disolventes de lacas	Regular a buena
	Hinchamiento en aceite lubricante	Pobre
	Aceite y gasolina	Pobre
	Aceites vegetales y animales	Muy buena

Butadieno

El 1,3-butadieno es un alqueno que se produce en la destilación del petróleo. El 1,3-butadieno ocupa el lugar número 36 entre las sustancias químicas de más alta producción en los EE. UU. Es un gas incoloro de olor levemente parecido a la gasolina.

Cerca del 75% del 1,3-butadieno que se manufactura se usa para fabricar caucho sintético. El caucho sintético es usado extensamente en neumáticos para automóviles y camiones.

El 1,3-butadieno también se usa para fabricar plásticos, entre los que se incluyen los acrílicos. La gasolina contiene pequeñas cantidades de 1,3-butadieno.

Caucho natural

	Caucho natural	
Comportamiento frente a	Resistencia al desgarramiento	Muy buena
	Resistencia a la abrasión	Excelente
	Deformación por compresión	Buena
	Permeabilidad a los gases	Bastante baja
	Ácido resistencia diluido	Regular a buena
	Ácido resistencia concentrado	Regular a buena
	Hidrocarburos alifáticos	Pobre
	Hidrocarburos aromáticos	Pobre
	Solventes oxigenados (cetonas) y ésteres.	Pobre
	Disolventes de lacas	Pobre
	Hinchamiento en aceite lubricante	Pobre
	Aceite y gasolina	Pobre
	Aceites vegetales y animales*	pobre

Hypalon CSM

Hypalon CSM		
Comportamiento frente a	Resistencia mecánica	Buena
	Resistencia al envejecimiento	Moderada
	Resistencia a aceites y grasas	Moderada
	Resistencia a hidrocarburos	Buena
	Resistencia al calor	Buena
	Resistencia a la llama	Mala
	Resistencia al agua	Buena
	Resistencia al frío	Buena
	Resistencia a ésteres y cetonas.	Mala

Silicona MQ, VMQ, PVMQ

Silicona		
Comportamiento frente a	Resistencia al desgarramiento	Pobre
	Resistencia a la abrasión	Pobre
	Deformación por compresión	Regular
	Permeabilidad a los gases	Muy baja
	Ácido resistencia diluido	Excelente
	Ácido resistencia concentrado	Regular
	Hidrocarburos alifáticos	Pobre
	Hidrocarburos aromáticos	Pobre
	Solventes oxigenados (cetonas) y ésteres.	Regular
	Disolventes de lacas	Pobre
	Hinchamiento en aceite lubricante	Regular
	Aceite y gasolina	Regular
	Aceites vegetales y animales	Buena

Viton

Viton		
Comportamiento frente a	Resistencia al desgarramiento	Regular a buena
	Resistencia a la abrasión	Buena
	Deformación por compresión	Excelente
	Permeabilidad a los gases	Muy baja
	Ácido resistencia diluido	Buena a excelente
	Ácido resistencia concentrado	Excelente

	Hidrocarburos alifáticos	Excelente
	Hidrocarburos aromáticos	Excelente
	Solventes oxigenados (cetonas) y ésteres.	Pobre
	Disolventes de lacas	Pobre a regular
	Hinchamiento en aceite lubricante	Excelente
	Aceite y gasolina	Excelente
	Aceites vegetales y animales	Excelente

Teflón

El politetrafluoretileno (PTFE) es un polímero similar al polietileno, en el que los átomos de hidrógeno han sido sustituidos por átomos flúor. La fórmula química del monómero, tetrafluoretileno, es $CF_2=CF_2$. La fórmula del polímero se muestra en la siguiente figura.

Bajo el nombre de teflón, también llamado teflón en algunas regiones, la multinacional DuPont comercializa este y otros cuatro polímeros de semejante estructura molecular y propiedades. Entre ellos están la resina PFA (Perfluoroalcóxido) y el copolímero FEP (Propileno Etileno Flurionado), llamados Teflón-PFA y Teflón-FEP respectivamente.

Es capaz de resistir temperaturas de unos 300° C durante largos periodos sin apenas sufrir modificaciones.

Es resistente a la mayoría de los ácidos y las bases.

Es resistente (insoluble) a muchos disolventes orgánicos

Kalrez

Provee prestaciones de estanqueidad como las del caucho, una resistencia química como la del PTFE y una fiabilidad prologada y duradera como ningún otro elastómero. Combina la elasticidad y la fuerza estanqueizante de un elastómero con la resistencia química y térmica del PTFE.

Esta es la razón por la cual las piezas KALREZ pueden resolver problemas críticos de estanquidad bajo condiciones en las cuales otros elastómeros fallan.

Resistencia Química: resistente al ataque de casi todos los reactivos químicos, incluyendo éteres, disolventes, combustibles, ácidos y alcalinos, proporcionando una larga vida de servicio en todos los procesos de fluidos en química y petroquímica, incluso frente a aditivos corrosivos o impurezas.

-Anexo C-

Pintura epoxi fenólico novolac

Descripción y ventajas

- Epoxi Fenólico Novolaca (EPN) de 100% de sólidos.
- Especial para condiciones de alto desempeño.
- Alto brillo, por lo que se recomienda como acabado en sistemas para acero y concreto.
- Excelente resistencia química y a la abrasión.
- Bajo olor y bajo VOC.
- Se puede usar en sistemas antideslizantes.
- Inmersión en productos derivados del petróleo.
- Resistente a altas temperaturas.
- Inmersión de productos químicos agresivos.

Usos típicos

- En sistemas “tank lining” para buena resistencia química.
- En sistemas “tank lining” para todo tipo de hidrocarburos, MTBE, ETBE y TAME.
- Almacenamiento de Biodiesel B5, B20, B50.
- Estructuras y tuberías sometidas a productos químicos agresivos y alta abrasión.
- Estructuras en plantas EW-SX en la industria minera.
- Tanques de contención primaria y secundaria.
- Recubrimientos para Pisos de Alto Desempeño.

Aplicación

- Refinerías
- Interior ductos de gases
- Industria petroquímica
- Plantas de agua y tratamiento de agua de desecho

Datos físicos

Acabado: Brillante

Color: estandares

(*) Expuesto a luz UV puede cambiar ligeramente el color y el brillo

Componentes: Dos

Relación de la mezcla:

4 volúmenes de resina,

1 volumen de catalizador

Curado: Reacción química

Sólidos en volumen: 98% ± 2%

Espesor película seca: 10 – 20 mils por capa

Número de capas: Depende del sistema

Rendimiento teórico: 14,9 m²/gal a 10 mils seco

Dilución: No require

Vida Útil (a 21C°): 30 minutos

El rendimiento real depende de las condiciones de aplicación y del estado de la superficie.

Preparación de la superficie

La superficie debe estar limpia y seca.

Remover restos de grasa, aceite y otros materiales que afecten la buena adhesión del producto.

Superficie de Acero nuevo o con pintura antigua: preparar con Chorro Abrasivo según SSPC-SP-10, logrando un perfil de rugosidad mínimo de 2 mils (50 micrones).

Aplicar preferentemente un primer recomendado.

Superficie de Concreto Nuevo:

El concreto debe tener un curado mínimo de 28 días a25°C. Realizar la preparación de superficie según SSPC-SP13 / NACE 6, ó ICRI 03732, CSP 3-6.

Remover todo material extraño, agentes de curado, sales, eflorescencia mediante arenado o granallado (“shotblasting”), escarificado ó con productos químicos según ASTM D4260, verifique que el pH se encuentre entre 8 y 11, dejando secar adecuadamente la superficie.

Superficie de Concreto Antiguo:

Considerar el procedimiento general de preparación de superficie para concreto nuevo.

Si el concreto está contaminado con aceites, grasas, químicos:

Estos deben ser removidos según ASTM D4258.

La duración de la pintura depende del grado de preparación de la superficie.

Método de aplicación

Equipo "airless" similar a Graco Xtreme 45:1 boquilla 0,019" a 0,023" con filtro malla 60, con una presión de 3500 a 4500 psi.

Brocha resistente a diluyentes epóxicos

Para Pisos: Rodillos de poliéster pelo corto y/o jaladores de jebe ("squeegee")

Para facilitar la aplicación se debe usar zapatos de púas para poder transitar sobre la pintura durante la aplicación.

También se debe disponer de un agitador neumático.

Precauciones de seguridad

El uso o manipuleo inapropiado de este producto puede ser nocivo para la salud o causar explosión.

No use este producto sin antes tomar todas las precauciones de seguridad.

Estas deben incluir:

adecuada ventilación, iluminación a

prueba de explosión, vestimentas

adecuadas, guantes, mascarar para

vapores orgánicos o con alimentación de aire.

Tiempo de secado a 21°C (ASTM D1640)

Al tacto: 2 a 4 horas

Al tacto duro: 10 a 18 horas

Repintado

Mínimo: 3 horas

Máximo 15 días

Condiciones de aplicación

Temperatura mínima y máxima de la superficie 4°C 32°C del ambiente 4°C 32°C

Humedad relativa % 85

La temperatura de la superficie deberá ser 3°C mayor que el punto de rocío.

La superficie de concreto debe estar seca con más de 28 días de curado y debe contener menos de 80% de humedad relativa evaluada según norma ASTM F 2170.

-Anexo D-

Se anexa cotización N° GT09-0506 con fecha 6 de mayo de 2009, dada por la empresa FLORIDA AQUASTORE INTERNATIONAL S.A. para la construcción de un “Tanque para almacenamiento de biodiesel, con la tecnología de vidrio fusionado al acero”



A: **REFINERIA DE PETROPERU**
Talara, Peru

Atencion: Universidad de Piura
Av. Ramn Mugica 131
Urb. San Eduardo
Piura, Peru
Ing. Luis Eduardo Vertiz Diaz

Fecha: 6 de mayo de 2009

Propuesta No.: GT09-0506-1

Proyecto: **TANQUE PARA ALMACENAMIENTO DE BIODISEL**

PROPUESTA PARA EQUIPOS Y ACUERDO CONTRACTUAL

FLORIDA AQUASTORE INTERNATIONAL se complace en suministrar e instalar los equipos de acuerdo a la Propuesta No. GT09-0506-1 con fecha 6 de mayo de 2009 que se anexa y forma parte de esta propuesta. La firma del **CÓMPRADOR** y la aceptación por escrito de **FLORIDA AQUASTORE INTERNATIONAL** de esta orden de compra implicará un contrato formal entre ambas partes.

Nota: Los equipos descritos se encuentran sujetos a la aprobación de los ingenieros.

Precio del contrato: Ver Sección de Precio.

Suministrado por:

O-tek
Felipe Valenzuela

Aceptado por:
FLORIDA AQUASTORE
INTERNATIONAL

Aceptado por:
REFINERIA DE PETROPERU

FECHA: _____

FECHA: _____

Esta propuesta se hace a **REFINERIA DE PETROPERU**, designada en lo sucesivo como **EL COMPRADOR** y **FLORIDA AQUASTORE INTERNATIONAL**, designada en lo sucesivo como **EL VENDEDOR**, para el suministro de un (1) tanque para almacenamiento de biodiesel para ser instalado en Talara, Perú según las especificaciones descritas a continuación.

TANQUE AQUASTORE

Un (1) Tanque "Aquastore" Modelo 5943SF con pernos de acero galvanizado y revestimiento de vidrio fusionado al acero. El tanque Aquastore tendrá una capacidad de 20,686 barriles. El tanque Aquastore objeto de esta oferta cumple con todas las especificaciones de diseño de la **AWWA D-103, AWWA D-103 87 Zona Sísmica 3** (Pseudo Dinámica), y **resistencia a vientos de hasta 80 MPH**. El tanque Aquastore incluirá los siguientes elementos:

- A. Un (1) tanque de material de Vidrio Silica fusionado al Acero, con sus pernos y demás accesorios para su construcción con Edgecoat™.
- B. Un (1) techo cúpula "domo" de aluminio de 59 pies de diámetro, con una (1) escotilla de acceso de 30" x 30", aereador de gravedad de aluminio.
- C. Un piso de material de Vidrio Silica fusionado al Acero con sus pernos y tuercas recubiertas en Thermocomp, el cual es compatible con el biodiesel a almacenar.
- D. Un (1) diseño estructural y certificación profesional de ingeniero para anillo perimetral en concreto.
- E. Una (1) escalera exterior con riel en aluminio y jaula de seguridad de acero galvanizado.
- F. Una (1) plataforma galvanizada con riel de seguridad.
- G. Una (1) entrada de hombre inferior de acero inoxidable con cobertura desmontable.
- H. Un (1) Lote de Casquetes protectores para los pernos.
- I. Un (1) año de garantía en el material del tanque.
- J. Seis (6) planos de ingeniería.
- K. Tres (3) manuales de operación y mantenimiento.

TABLA 1

Cant.	Modelo	Dimensiones Pies	Dimensiones Metros	Capacidad del Tanque m3	Capacidad del Tanque Galones U.S.
1	5943SF	58.75 dia. X 42.85 alt.	17.91 X 13.06	3,289	868,812

CALIDAD

Todos los equipos ofrecidos en esta propuesta serán de la calidad y el tipo detallados en las hojas de especificaciones Aquastore que se anexan, así como los planos de Engineered Storage Products Company. Los servicios de supervisión de instalación ofrecidos en esta propuesta serán ejecutados por personal especializado que trabaja regularmente en trabajos de instalación de productos Engineered Storage Products. Toda la supervisión se realizará siguiendo las mejores normas de calidad de acuerdo a las tolerancias y especificaciones del Manual de Instalación del fabricante (Engineered Storage Products Company).

ENTREGA DE DIBUJOS

El precio total de esta propuesta incluye todos los planos necesarios hechos por el fabricante así como las especificaciones requeridas para el suministro al ingeniero para su aprobación incluyendo la losa de concreto y el tanque. Los planos suministrados son de ubicaciones generales, incluyendo cálculos de ingeniería (de ser requeridas) y no son planos sobre detalles de fabricación. Dichos planos estarán disponibles al ingeniero a las dos (2) semanas del recibo de una orden de compra aceptable.

El precio propuesto, entrega y tiempo de construcción estarán sujetos a la aprobación del ingeniero y EL COMPRADOR siempre que la aprobación del paquete de trabajo suministrado por el fabricante se haga en un plazo no mayor de catorce (14) días.

FLETE

Términos de esta son **EXWORKS fabrica (DeKalb, Illinois)**, el Flete C.I.F. Peru, carga a Barco, Flete Marítimo, están incluidos en este propuesta como un artículo separado. Descarga, aduanas, Tarifas de Importación, cargos de Puerto, Flete en tierra (Peru) a la obra y Descarga de Flete en la obra (a aproximadamente seis (6) metros de distancia de donde se construirá el tanque serán por el Cliente.

ENTREGA

Se estima que la entrega de los componentes del tanque Aquastore puede realizarse a las **6-8 semanas** del recibo de los planos aprobados por el ingeniero y EL COMPRADOR.

TIEMPO ESTIMADO DE CONSTRUCCION

TABLA 2

Cantidad	Modelo	Construcción Anillo Perimetral (Días)	Construcción De Tanque (Días)	Acero Estimado Para construcción de la cimentación (kg)	Concreto estimado para construcción de la cimentación (m³)
1	5943SF	***	22	***	***

*** esperando diseño

INSTALACION

En esta propuesta se incluye la instalación de un (1) tanque Modelo 5943SF incluyendo los accesorios especificados en las secciones A-K del titular TANQUE AQUASTORE de esta propuesta. El diseño de la cimentación (anillo perimetral) ofrecida en esta propuesta se ajusta a las especificaciones de Engineered Storage Products Company. La preparación del terreno para el tanque de agua objeto de esta propuesta será la responsabilidad de EL COMPRADOR y no se incluye en la propuesta. EL COMPRADOR se hace responsable de proporcionar suelo bajo el tanque Aquastore con una capacidad portante mínima de **2.4 kg/cm²/5,000 psf** según certificación de un ingeniero de suelos competente. Los requisitos para cimentación y losa en suelos de menor capacidad portante serán determinados y especificados por otros. Los costos relacionados con una cimentación y losa que no sea la ofrecida en esta propuesta, serán adicionales a los costos ya especificados.

***Nota: La construcción de la cimentación y la losa por cualquier ente que no sea certificado por la Engineered Storage Products Company, y que no pertenezca a un concesionario exclusivo de Engineered Storage Products Company se hará bajo riesgo y responsabilidad de dicho ente.**

SUMINISTRADO POR EL COMPRADOR

1. Preparación y estabilización del sitio de la obra incluye limpieza, remoción de rocas y cualquier tipo de escombros, movimiento de tierra relleno o excavación y transporte del sobrante, examen del concreto/suelo, si es requerido.
2. Permisos ambientales, de construcción, y de trabajo de ser necesarios.
3. Agua para uso y llenado del tanque.
4. Seguridad y protección de la zona.
5. Pruebas bacteriológicas, de salud y/o presión.
6. Material, equipo y mano de obra para prueba hidrostática.

7. Material, equipo y mano de obra para la construcción del anillo perimetral (cimentación) en concreto.
8. Mano de obra (6-8 personas) para asistencia en el montaje del tanque.
9. Puesta en marcha y desinfección del tanque.
10. Retiro de material sobrante al finalizar la obra.
11. Cualquier elemento no especificado anteriormente.

PRECIO	
UN (1) TANQUE AQUASTORE MODELO 5943SF EXWORKS FÁBRICA	\$438,338 USD

Agregar para gastos estimados de flete marítimo CIF Perú (se necesitaran 3 contenedores de 40')	\$6,000 USD

Este precio se mantiene firme para su aceptación por un espacio de treinta (30) días, y para la liberación a producción del tanque no más allá de sesenta (60) días.

BRIDAS & ACCESORIOS

Los orificios, las bridas en acero galvanizado y la instalación serán de acuerdo al tamaño de las mismas y de acuerdo al precio indicado en esta lista:

TABLA 3

CANTIDADES REQUERIDAS	TAMAÑOS	PRECIOS UNITARIOS	TOTAL
	2"	\$236.00	
	4"	\$290.00	
	6"	\$345.00	
	8"	\$483.00	
	10"	\$558.00	
	12"	\$630.00	
	16"	\$ 998.00	
	Medidor de Nivel de Líquido	\$2,350.00	
	Soportes de Tubería	175.00	

COSTO TOTAL DE BRIDAS & ACCESORIOS: \$ _____

Nota: Estos precios incluyen instalación cuando son instaladas al mismo tiempo que se construye el tanque.