

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



**Análisis del uso de biocombustibles
en el parque vehicular guatemalteco**

**Trabajo de graduación presentado por
Alejandro José Echeverría Flores
para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Mecánica**

Guatemala

2012

**Análisis del uso de biocombustibles
en el parque vehicular guatemalteco**

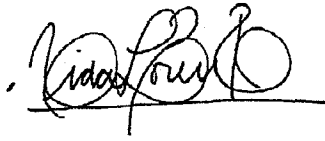
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

**Análisis del uso de biocombustibles en el
parque vehicular guatemalteco**

**Trabajo de graduación presentado por
Alejandro José Echeverría Flores
para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Mecánica**

**Guatemala
2012**

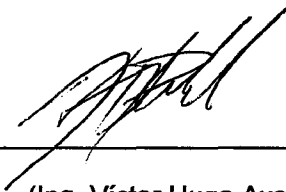
Vo. Bo. :



(f) _____

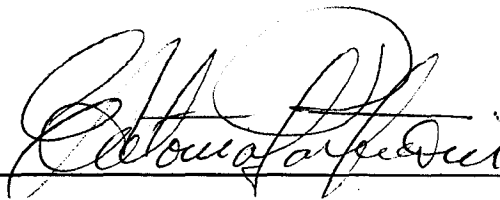
Ing. Aida Lorenzo Rodas

Tribunal Examinador:



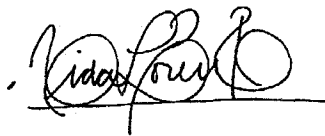
(f) _____

(Ing. Víctor Hugo Ayerdi)



(f) _____

(Ing. Carlos Poitevin)



(f) _____

(Ing. Aida Lorenzo Rodas)

Fecha de aprobación: Guatemala, 4 de diciembre de 2012.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE IMÁGENES	v
LISTA DE GRÁFICOS	vi
LISTA DE TABLAS	vii
RESUMEN	viii
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	2
III. OBJETIVOS	3
IV. METODOLOGÍA	4
V. DEFINICIONES TÉCNICAS/MECÁNICAS	5
VI. BIOCOMBUSTIBLES ALREDEDOR DEL MUNDO	12
VII. LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ Y LOS BIOCOMBUSTIBLES	27
VIII. EL PARQUE VEHICULAR EN GUATEMALA	36
IX. FABRICANTES E IMPORTADORES DE VEHÍCULOS	41
X. VALIDACIÓN DEL USO DE BIOCOMBUSTIBLES	45
XI. PROPUESTA DE USO DE BIOCOMBUSTIBLES PARA EL PARQUE VEHICULAR DE GUATEMALA	63
XII. CONCLUSIONES	64
XIII. RECOMENDACIONES	67
XIV. BIBLIOGRAFÍA	68
XV. APÉNDICES	71

LISTA DE IMÁGENES

Imagen	Página
1. Esquema de la producción de azúcar y etanol de caña	21
2. Esquema de la producción de biodiesel	25
3. Vehículo Flex-Fuel de Chevrolet con circulación en Guatemala (Pick Up Avalanche modelo 2011)	34
4. Formato de pruebas rápidas para biodiesel Depto. Ingeniería Química UVG	52
5. Proceso de extracción de aceite de motor CI de vehículo	54
6. Dispensador de mezcla biodiesel-diésel Depto. Ingeniería Química UVG	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico	Página
1. Emisiones vehículo experimental (B15 – B35)	9
2. Producción mundial de etanol	16
3. Producción mundial de biodiesel	17
4. Parque vehicular guatemalteco según tipo	36
5. Parque vehicular según modelo a julio 2012	37
6. Parque vehicular guatemalteco según intervalos de modelo. Año 2012	38
7. Evolución en el tipo de combustible consumido en el parque vehicular guatemalteco	39
8. Tipo de combustible consumido en el parque vehicular guatemalteco. Año 2012	39
9. Desgaste de motor según presencia de Fe en aceite de motor	55
10. Estado de lubricante según viscosidad cinemática del aceite de motor	56

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Reducción de emisiones debido al uso de biodiesel a nivel mundial. Año 2009	8
2. Reducción de emisiones debido al uso de etanol a nivel mundial. Año 2009	9
3. Marco regulador para el uso y manejo del etanol en los países de América	14
4. Modos principales de falla según categoría en un análisis de aceite	46
5. Localización del problema según los elementos con exceso de partículas de desgaste debido a la dilución de combustible en el carter	47
6. Desgaste motor diesel	47
7. Que indica el análisis de aceite	49
8. Límites condenatorios de fabricantes para la interpretación del análisis de aceite	57
9. Límites comúnmente aceptados en la industria para la interpretación del análisis de aceite	58
10. Límites proactivos para la interpretación del análisis de aceite	59
11. Tasa de desgaste del motor experimental B40 cada 100km de recorrido	60
12. Nivel de azufre en biodiesel, diesel y mezcla B40	61
13. Propiedades de combustibles	71
14. Clasificación de biocombustibles en función de su origen	71
15. Clasificación de los biocombustibles según su aspecto físico	72
16. Características físicas, químicas y físico-químicas de los biocombustibles y sus unidades de medida	73
17. Resultados obtenidos análisis biodiesel girasol en comparación con especificaciones Unión Europea, 1995	74
18. Resultados obtenidos análisis biodiesel girasol. BIVA, 1995	74
19. Propiedades del diesel y biodiesel	75
20. Principales especificaciones de la mezcla de biodiesel, B100	76
21. Alcohol producido por Ingenio Pantaleón, Guatemala	76
22. Producción global de etanol. Años 2008 y 2009	76
23. Producción global de biodiesel hasta el año 2009	77
24. Resultados del análisis de aceite de motor. Realizado por Unopetrol	78
25. Parque vehicular guatemalteco según tipo de vehículo	78
26. Parque vehicular guatemalteco según modelo	79
27. Parque vehicular guatemalteco según tipo de combustible	79
28. Norma ASTM-D6751-06 para control de calidad de biodiesel producido	80

RESUMEN

A pesar que la eficiencia de consumo de combustible en motores ha mejorado grandemente en los últimos años, y seguramente seguirá mejorando en los años por venir, así también habrá un gran aumento en la demanda de combustibles por el incremento de automóviles y otros motores de combustión interna. Habiendo dicho esto, existe la necesidad que la tecnología, disponibilidad y uso de combustibles alternativos, sea analizada e implementada, y con más razón aún en los países que tengan la capacidad de producirlos, siendo esto el fundamento del presente trabajo de graduación.

El presente trabajo propone para su uso y comercialización en Guatemala las mezclas E10 y B40, esto con base en análisis realizados sobre un vehículo experimental de biodiesel propiedad de la Universidad del Valle de Guatemala, y en la vasta experiencia de países como Brasil y Estados Unidos en el uso de biocombustibles, siendo el E10 una mezcla legalizada y distribuida en Brasil.

Con base en información recopilada en este trabajo, se reconoce que el mercado potencial del E10 propuesto equivale al 85% del parque vehicular guatemalteco, mientras que el B40 tiene un potencial del 13%. También los análisis realizados y la experiencia de países como Brasil y Estados Unidos, demuestran que ambas mezclas propuestas no afectan la integridad de los vehículos.

Finalmente, si bien es cierto que el trabajo realizado presenta diversos beneficios para la utilización de las mezclas propuestas, es aconsejable realizar pruebas de E10 sobre las marcas y modelos más comunes de motocicleta en el parque vehicular del país, ya que las motocicletas son el tipo de vehículo con más presencia en Guatemala. De igual forma es recomendable continuar con los estudios de biodiesel en conjunto con el Departamento de Ingeniería Mecánica y el Departamento de Ingeniería Química de la UVG.

I. INTRODUCCIÓN

El trabajo consiste en un estudio sobre el uso de biocombustibles en el parque vehicular guatemalteco. Se sistematizarán las pruebas que validen el uso biodiesel en motores encendidos por compresión con base a análisis realizados con mezclas de biodiesel en un vehículo experimental con el apoyo del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

El trabajo incluye historia, desarrollo, avances y situación actual de los biocombustibles tanto en el ámbito nacional como internacional. El trabajo busca, con base a aspectos técnicos y mecánicos, validar el uso de los biocombustibles y ser así una herramienta para introducir los mismos al mercado guatemalteco de manera obligatoria así como ocurre en la gran mayoría de países alrededor del mundo.

Y finalmente, se hará una propuesta sobre el uso de E10 y B40 con base a la experiencia de otros países, información bibliográfica recabada de diversas fuentes confiables, pruebas de aceite realizadas y recomendaciones adecuadas para asegurar el correcto funcionamiento de los vehículos haciendo uso de dichas mezclas.

II. JUSTIFICACIÓN

En algún momento del siglo 21, el petróleo crudo y los productos a base de petróleo se volverán escasos y costosos de encontrar y producir. Al mismo tiempo habrá un incremento en el número de automóviles y otros motores de combustión interna. A pesar que la eficiencia de consumo de combustible en motores ha mejorado grandemente y seguramente lo seguirá haciendo, en las próximas décadas habrá un gran aumento en la demanda de combustibles. Es por ello que la tecnología, disponibilidad y uso de combustibles alternativos debe analizarse e implementarse en los países que tengan la capacidad de producirlos, y ser utilizados comúnmente.

Guatemala es un país productor de biocombustibles, pero no un consumidor. Lo que el trabajo pretende es ser una herramienta que respalde la tarea de introducir los biocombustibles al mercado guatemalteco.

Los biocombustibles son combustibles más limpios y menos contaminantes, y si bien, no se pretende eliminar los combustibles fósiles que actualmente se utilizan en el mercado, sí se quiere demostrar y establecer que el uso de biocombustibles en los porcentajes que se indicarán en el trabajo no es dañino para los vehículos.

Muchos vehículos hoy en día están diseñados para funcionar con ciertos porcentajes de biocombustibles, y aunque en Guatemala este tipo de vehículos son comercializados (por ejemplo la línea Flex Fuel de Chevrolet) el uso de los biocombustibles no se promueve ni es aceptado por los distribuidores de vehículos en el país. Este último punto mencionado es otro de los objetivos del trabajo de graduación, determinar la postura y el porqué de ésta, de los distribuidores de vehículos con respecto a los biocombustibles.

III. OBJETIVOS

A. General

Realizar un estudio que permita analizar el uso de los biocombustibles en los motores de vehículos encendidos por chispa y por compresión, y al mismo tiempo que dicho trabajo sea una herramienta para la introducción de los mismos al mercado nacional.

B. Específicos

1. Analizar las características del parque vehicular nacional según año, tipo, y tipo de combustible.
2. Establecer los criterios técnicos/mecánicos para validar la aplicación de biocombustibles de la siguiente forma: 10% de mezcla de etanol para los motores encendidos por chispa y hasta un 40% de biodiesel para los motores encendidos por compresión. Demostrando que dichos porcentajes no afectan la integridad de los vehículos.
3. Conocer las políticas del uso de biocombustibles de los principales fabricantes de vehículos a nivel mundial.

IV. METODOLOGÍA

El trabajo incluye una investigación bibliográfica acerca de biocombustibles, su situación actual nacional e internacional, pruebas realizadas en la industria automotriz a nivel mundial, entre otros. De igual forma, se obtuvo información por medio de análisis realizados sobre un vehículo experimental que está utilizando mezcla de biodiesel con diesel.

Se determinaron los beneficios y riesgo del uso de biocombustibles y con base a esto se buscó cumplir con el objetivo de demostrar que el uso de biocombustibles en vehículos no es dañino para los mismos y ésta debe ser una práctica aceptada en el país. De igual forma, si bien, la resistencia de su uso no es necesariamente por razones de posibles daños mecánicos a los vehículos, con el trabajo se buscó contrarrestar la resistencia hacia los biocombustibles.

El trabajo, como bien se ha mencionado intenta servir de respaldo para introducir al mercado de forma obligatoria (legislación que obligue la distribución de los mismos) la distribución de mezclas de biocombustibles.

El trabajo se realizará con el apoyo de Asociación Promotora de Combustibles Renovables del país. También se contará con el apoyo de la empresa Unopetrol para los análisis de aceite de motor, diesel fósil puro, biodiesel puro, y mezcla de biodiesel/diesel. Y finalmente el departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala y la USDA (*United States Department of Agriculture*) apoyarán facilitando las muestras de todos los análisis a realizar mencionados anteriormente.

V. DEFINICIONES TÉCNICAS/MECÁNICAS

A. Número de octano

Es la propiedad de un combustible que describe que tan bien un combustible se auto-enciende o no. Mientras mayor es el número de octano de un combustible, es menos probable que éste se auto-encienda, lo cual no es deseado cuando se habla de motores encendidos por chispa. Los valores del número de octano se encuentran comparando dos combustibles cuyos números de octano son 0 y 100 respectivamente.

Los motores con relaciones de compresión bajas pueden utilizar combustibles con bajo número de octano, pero si la relación de compresión es alta es necesario que el combustible tenga un alto número de octano para evitar la auto ignición del combustible y el golpe que esto provoca en el motor (*engine knock*).

1. **Índice de Octano.** El índice de octano (AKI por sus siglas en ingles) normalmente, es el número de octano que se encuentra normalmente en la estaciones de servicio, se define como

$$AKI = \frac{(MON + RON)}{2}$$

Según la nómina de especificaciones de combustibles de Guatemala publicada por el Ministerio de Energía y Minas, el valor mínimo aceptado para gasolina superior en el AKI es 89 según las normas ASTM D-2699 y D-2700. En el caso de la gasolina regular, el AKI mínimo aceptado es 83.

En el caso específico de Guatemala, el número de octano que se encuentra en las gasolineras es el equivalente al RON.

B. Número de cetano

En el caso de los motores encendidos por compresión, el autoencendido de la mezcla aire-combustible es una necesidad. Es por ello necesario utilizar un combustible que se auto encienda en el momento preciso del ciclo del motor. Y para ello se necesita conocer y controlar el tiempo de retardo de ignición del combustible, el cual es básicamente el tiempo que le toma a un combustible auto encenderse luego de alcanzada la temperatura de autoignición.

La propiedad que cuantifica el tiempo de retardo de ignición (ID por sus siglas en inglés, “*Ignition Delay*”) del combustible es el número de cetano y mientras mayor es el número cetano menor es el ID y por lo tanto el combustible auto encenderá más rápido en la cámara de combustión.

Los valores del número de cetano se determinan comparando dos combustibles cuyos números de cetano son 15 y 100 respectivamente.

Según la nómina de especificaciones de combustibles de Guatemala publicada por el Ministerio de Energía y Minas, el número de cetano mínimo aceptado para diesel según la norma ASTM D-613 es 45.

C. Emisiones

La producción de biocombustibles hoy en día ha superado los 100,000 millones de litros al año, lo cual ha desplazado 1.15 millones de barriles de petróleo al día.

La producción y uso de petróleo crudo y combustibles a base de éste crean aproximadamente 215 millones de toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero anualmente.

La producción de etanol en el año 2009 fue de 73,751 millones de litros y se estima que redujo las emisiones de gases de efecto invernadero en 87.6 millones de toneladas. La mayor parte de esta reducción se dio en Brasil y EE.UU. debido a su alta producción y utilización de este biocombustible. La reducción mencionada anteriormente es equivalente a las emisiones que produjo Austria en el año 2007 (88 millones de toneladas).

En cuanto al biodiesel, una producción de 16,439 millones de litros se ve reflejada en una reducción de 35.9 millones de toneladas en emisiones de efecto invernadero, lo cual en comparación, resulta ser mayor que las emisiones que reportó Croacia en el año 2007, las cuales fueron equivalentes a 32.4 millones de toneladas.

En general, los biocombustibles combinados permiten una reducción de emisiones de efecto invernadero de 123.5 millones de toneladas, lo cual resulta ser

una reducción en promedio del 57% comparado con las emisiones que hubieren ocurrido en la producción y uso de las mismas cantidades de combustibles a base de petróleo fósil.

Brasil es el mayor productor de etanol de caña de azúcar a nivel mundial. Por ello han sido realizados estudios sobre el etanol de este país, y tales estudios han demostrado que utilizando etanol se evitan emisiones equivalentes a 1.7kg CO₂ / litro de etanol producido y utilizado. Dado que los ingenios que procesan caña de azúcar suelen autoabastecerse de energía y que los insumos para la producción de caña de azúcar son relativamente bajos, se podría decir que el valor de reducción de emisiones calculado en Brasil, podría aplicarse a cualquier región productora de caña de azúcar, es decir, el etanol de caña de azúcar es menos sensibles a factores regionales que otro tipo de etanol.

En cuanto a las reducciones en las emisiones resultado del uso de biodiesel se puede decir que la reducción es muy influenciada según sea la materia prima utilizada. Según un informe presentado por (S&T)² *Consultants Inc.* en el año 2009, las reducciones de emisiones de CO₂ por litro de biodiesel producido y utilizado según materia prima son:

- Colza 1.88kg CO₂ / litro
- Soya 2.39kg CO₂ / litro
- Sebo 3kg CO₂ / litro
- Palma 1.7kg CO₂ / litro
- Desechos de aceites vegetales 3kg CO₂ / litro

Así pues, la reducción total por biocombustibles se puede obtener multiplicando la reducción por litro por el número de litros producidos y utilizados en el mundo.

En las siguientes tablas se puede observar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el año 2009 según fue el biocombustible producido y consumido, por país.

Tabla 1: Reducción de emisiones debido al uso de biodiesel a nivel mundial. Año 2009

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEBIDO AL USO DE BIODIESEL			
Región	Producción biodiesel año 2009 (millones de litros)	Reducción en emisiones de gases de efecto invernadero (kg CO ₂ /litro de biodiesel producido y utilizado)	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (x 1,000 toneladas)
Unión Europea	9,848	2.13	20,976
Estados Unidos	1,682	2.40	4,037
Brasil	1,386	2.38	3,299
Argentina	1,250	2.39	2,988
Tailandia	614	1.70	1,044
Malasia	284	1.70	483
Colombia	205	1.70	349
China	191	3.00	573
Sur Corea	182	2.34	426
Indonesia	170	1.70	289
Singapur	124	1.70	211
Filipinas	108	1.70	184
Canadá	102	3.00	306
Otros Sur América	63	1.70	107
Otros Europa	58	1.88	109
Australia	57	3.00	171
Taiwán	43	2.34	101
Otros Norte y Centro América	38	3.00	114
India	23	3.00	69
Otros Oceanía	6	3.00	18
Otros Asia	5	3.00	15
TOTAL MUNDIAL	16,439		35,869

De igual forma, la reducción en las emisiones del vehículo experimental gracias al uso de una mezcla de biodiesel, se puede apreciar en la siguiente gráfica, la cual muestra en base a la mezcla (eje horizontal) cuantas partes por millón de cada componente (eje vertical) se obtienen en las emisiones al medio ambiente. Como se puede observar en general, conforme se ha ido aumentando la cantidad de biodiesel en la mezcla, las emisiones de cada componente han ido en disminución,

siendo el beneficio más notable en las emisiones de CO ya que la reducción de este ha sido de 900 ppm hasta 500 ppm. La gráfica incluye resultados de B10, B15, B20, B25, B30 y B35. Para ampliación de este trabajo de graduación es necesario realizar un análisis de emisiones para el B40 actualmente utilizado y a futuro con mezclas de mayor porcentaje de biodiesel. La gráfica es cortesía del Depto. de Ingeniería Química de la UVG.

Gráfica 1: Emisiones vehículo experimental (B15 – B35)

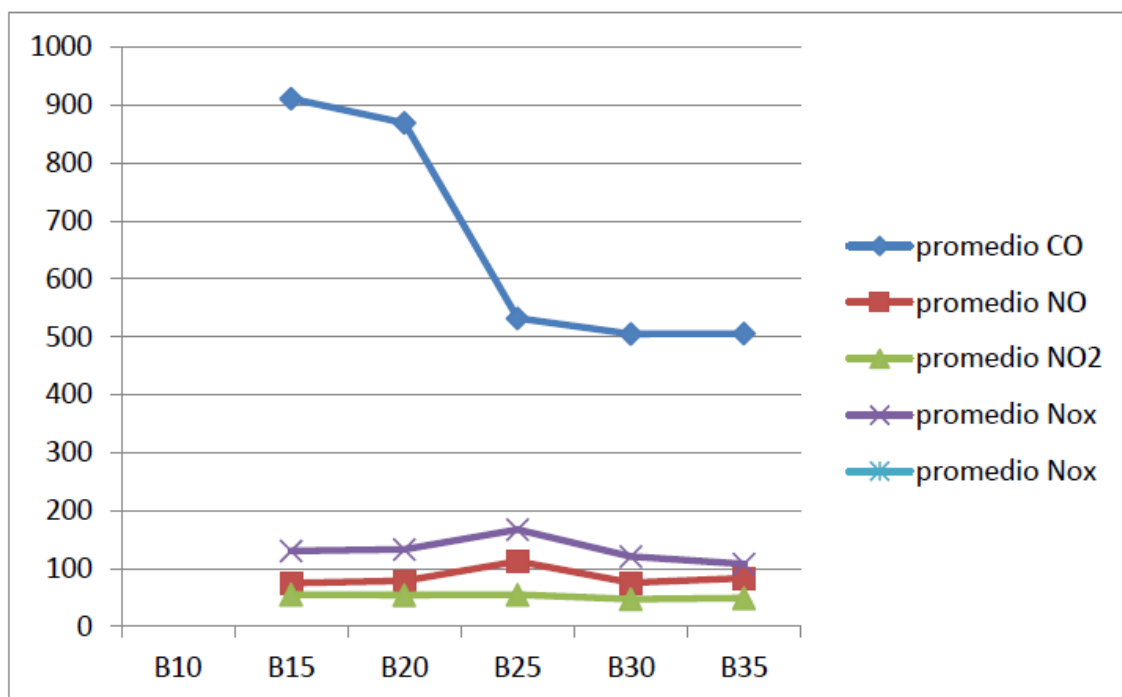


Tabla 2: Reducción de emisiones debido al uso de etanol a nivel mundial. Año 2009

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEBIDO AL USO DE ETANOL			
País o región	Producción etanol año 2009 (millones de litros)	Reducción en emisiones de gases de efecto invernadero (kg CO2/litro de etanol producido y utilizado)	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (x 1,000 toneladas)
Estados Unidos	39,700	0.85	33,745
Brasil	24,900	1.7	42,330
Unión Europea	3,935	1.28	5,037
China	2,050	0.85	1,743
Canadá	1,100	1.13	1,243
Otros	936	1.7	1,591
Tailandia	450	1.7	765
Colombia	315	1.7	536
Australia	215	1.5	323
India	150	1.7	255
TOTAL MUNDIAL	73,751		87,568

El inmejorable efecto de los biocombustibles es la reducción, en buena parte, de los gases nocivos emitidos por los motores de combustión interna: monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, compuestos volátiles, etc. Así pues, se puede disminuir el calentamiento global debido al efecto invernadero provocado por las emisiones provenientes de la combustión de los combustibles fósiles.

No obstante, cabe mencionar también que deben investigarse tecnologías y crear sistemas de producción agrícola que no sean agresivos con el medio ambiente ya que si se pretende generar una cantidad de biomasa desmesurada, sin la tecnología y conocimientos adecuados, se aumentará el uso de fertilizantes y productos fitosanitarios, provocando así mayor contaminación a la tierra.

Según Camps, M. y Marcos, F., se han realizado ensayos de biodiesel (B100) en motores de distintas marcas, con un mayor énfasis en motores sin modificar, y diseñados para funcionar con diesel; los cambios necesarios dependen de la marca ensayada, pero siempre se ha tenido que modificar alguna característica, aunque se tratara solamente del tiempo de inyección del biodiesel. De dichas pruebas resultó lo siguiente con respecto a las emisiones:

- SOx. Reducida prácticamente al 0%
- Hollín. Reducciones del 40 al 60%
- Hidrocarburos. Los resultados varían mostrando incrementos del 0 al 10% en ciertos motores y reducciones del 30 al 46% en otros motores, cuando se reducen en un 68% en relación con los combustibles fósiles sin catalizadores de oxidación.
- Monóxido de carbono. Según los ensayos los resultados son variables pero en general, se puede observar un incremento del 5 al 10%; sin embargo, cuando se usa un catalizador de oxidación, las emisiones se reducen en un 65% comparado con el diesel fósil sin catalizador.
- Óxidos de nitrógeno. La mayoría de las pruebas muestran sólo un mínimo cambio del orden de $\pm 5\%$, mientras que algún caso proporcionó un incremento del 25%. Y al retardar el tiempo de inyección del carburante se obtuvo una reducción de más del 25%.
- PAH (hidrocarburos aromáticos policíclicos). Hubo una clara evidencia de reducciones sustanciales en general.

- Aldehídos, compuestos aromáticos. Para los aldehídos se observó una reducción del 13% y, dentro de este grupo, la emisión de formaldehído se mantuvo en un nivel estable. La emisión de acroleína casi se triplicó y puede provocar un olor peculiar en los gases de escape. Para los compuestos aromáticos, se observó una reducción del 30%, dentro de este grupo, la emisión del bencol se incrementó en un 32%.
- N₂O (gas hilarante). Junto con las emisiones resultantes de la combustión, es necesario incluir las emisiones de N₂O, como uno de los gases de efecto invernadero, originado por la actividad biológica en el suelo al crecer las plantas.

VI. BIOCOMBUSTIBLES ALREDEDOR DEL MUNDO

A. Definición de biocombustibles

Son combustibles de origen biológico obtenidos de manera renovable a partir de restos orgánicos.

Los biocombustibles son combustibles de origen biológico que no se han fosilizado, y se hace la aclaración “no fosilizado”, ya que el petróleo, los carbones minerales y el gas natural también son combustibles de origen biológico pero se han fosilizado hace cientos de años, por lo cual estos no se consideran biocombustibles.

Los combustibles científicamente se pueden definir como un almacén de energía química, y en el caso de los biocombustibles estos son energía solar almacenada en algunos seres vivos.

Para obtener un biocombustible a partir de biomasa agrícola, forestal, ganadera, urbana o mezcla de alguna de ellas, las transformaciones pueden ser físicas, químicas o ambas a la vez. Dentro de las transformaciones físicas utilizadas podemos señalar las siguientes: fragmentación, secado, compactación y densificación. En el caso de las transformaciones químicas, estas son muy diversas y dependen de la materia prima y del biocombustible final que se desee obtener.

Las características físicas y químicas que definen tanto un combustible como un biocombustible se encuentran en la tabla 13. Desde el punto de vista energético, una de las principales características de biocombustibles es su poder calorífico, el cual se define como el calor desprendido por kilogramo de combustible en combustión completa a la presión constante de 1 kg/m².

Los biocombustibles, también llamados bio carburantes, agro carburantes y agro combustibles, se pueden dividir para el sector transporte en etanol, biodiesel y biogás. Los mencionados se definen a continuación:

- Etanol: es un alcohol obtenido principalmente a partir de la fermentación de tres tipos de materia prima renovable: sacarosa (caña de azúcar y remolacha), almidones (cereales y tubérculos) y celulosa (madera y residuos agrícolas).

- Biodiesel: es un combustible limpio y renovable que puede utilizar como reemplazo al diesel fósil. Se produce a partir de materias primas agrícolas (aceites vegetales y/o grasas animales), y aceites o grasas de desecho. El biodiesel posee las mismas propiedades que el combustible diesel fósil, y puede mezclarse en cualquier proporción con diesel fósil.
- Biogás: es un gas generado por medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de materia orgánica, mediante la acción de microorganismos, y otros factores, todo esto en un ambiente anaeróbico. La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables ya que produce un combustible de valor y además genera un efluente que puede aplicarse como acondicionador del suelo.

B. Programas de biocombustibles alrededor del mundo

Grandes países, ya utilizan mezclas de biocombustibles como las propuestas en este trabajo de graduación lo cual se puede observar en las Tablas 1 y 2 de este trabajo.

En el caso del bioetanol los países pioneros y con los programas más desarrollados y conocidos a nivel mundial son Brasil y Estados Unidos. Dichos programas son:

- Programa Proalcohol, en Brasil, quienes producen etanol a partir de caña de azúcar.
- Programa Gasohol, en Estados Unidos, quienes producen etanol a partir de maíz.

Estos países y otros como Suiza, en base a su experiencia indican que, si existe apoyo del gobierno, tanto financiero como legislativo, se puede llegar a establecer y mantener buenos programas de bioetanol; pero sin esta premisa, los proyectos suelen ser muy vulnerables.

El gobierno guatemalteco ha manifestado su interés de apoyar iniciativas de producción de etanol y promover el desarrollo de estos proyectos. Sin embargo, es necesario establecer un marco legal que garantice las inversiones de los productores de alcohol, que les dé las garantías necesarias para incursionar en el negocio y que establezca el papel que desempeñan en dicho campo, tanto el gobierno como el sector productivo.

De igual forma, en el año 2003, el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, mediante la Dirección General de Hidrocarburos, lanzó un programa denominado Bioenergía, que planteaba la posibilidad de utilizar productos agrícolas, como la caña de azúcar y frutas ricas en sacarosa, para producir etanol, como también utilizar aceites vegetales para producir biodiesel.

En la tabla siguiente se especifica por cada país de América las etapas con las que cuentan, para la introducción de etanol a sus respectivos parques vehiculares. En algunos de los países ya se utilizan mezclas de etanol actualmente.

Tabla 3: Marco regulador para el uso y manejo del etanol en los países de América

MARCO REGULADOR PARA EL USO Y MANEJO DEL ETANOL				
	Leyes que establecen mezclas de gasolina más etanol	Leyes que establecen incentivos para la producción de etanol	Leyes, reglamentos que definen la calidad del etanol	Iniciativas de ley
Argentina	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Belice	NO	NO	NO	NO
Bolivia	NO	NO	NO	NO
Brasil	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Chile	NO	NO	NO	SÍ
Colombia	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Costa Rica	SÍ	NO	SÍ	SÍ
Ecuador	NO	NO	NO	SÍ
EE.UU.	SÍ	SÍ	SÍ	NO
El Salvador	NO	NO	NO	SÍ
Guatemala	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Honduras	NO	NO	NO	SÍ
Jamaica	NO	NO	SÍ	NO
México	NO	NO	NO	SÍ
Nicaragua	NO	NO	NO	SÍ
Panamá	NO	SÍ	NO	NO
Paraguay	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Perú	SÍ	NO	NO	NO
Rep. Dominicana	NO	NO	NO	SÍ
Uruguay	NO	NO	NO	SÍ
Venezuela	NO	NO	NO	SÍ

*Fuente: Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas. IICA. Año 2007

De manera más específica la regulación de Guatemala posee el Decreto de Ley número 1785, Ley del Alcohol Carburante de 21/02/1985, en el cual el artículo 13 indica que al menos se debe mezclar el 5% de alcohol con la gasolina, y es importante resaltar que dicha legislación está vigente pero inoperante. Dicha ley establece además normas relacionadas con la producción, almacenamiento, manejo, uso, transporte y comercialización del alcohol carburante y su mezcla mencionada anteriormente.

Por otro lado, el 27 de abril de 2006 se presentó la iniciativa de Ley 3469, que reforma el Decreto de Ley 1785 mencionado con anterioridad, que permitiría el uso del alcohol carburante, inclusive con una especificación de calidad para la mezcla de gasolina con 25% de alcohol, de carácter obligatorio, pero dicha iniciativa no fue aprobada por el Congreso de la República.

En cuanto a programas de biodiesel, no se ha encontrado ninguno tan desarrollado como los mencionados anteriormente de bioetanol, pero a pesar de esto el biodiesel ya es ampliamente utilizado alrededor del mundo lo cual se puede observar en la Tabla 1, en donde se muestra que la producción y consumo de biodiesel para el año 2009 fue de 16,439 millones de litros.

Cabe resaltar el programa con el que cuenta la Universidad del Valle de Guatemala en conjunto con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, el cual trata sobre producción de biodiesel a base aceite desechado de la industria alimenticia, creación de mezclas biodiesel-diesel y su respectiva utilización en un vehículo experimental. Dicho programa se encuentra bajo la dirección del ingeniero Gamaliel Zambrano, director del Departamento de Ingeniería Química de la UVG.

Sobre el biodiesel aún no existe ninguna legislación en Guatemala, más si existe un reglamento técnico centroamericano aplicable al B100 que indica las especificaciones de calidad del biodiesel, indicando características, valores y métodos de análisis. Dicho reglamento es el RTCA 75.02.43:06.

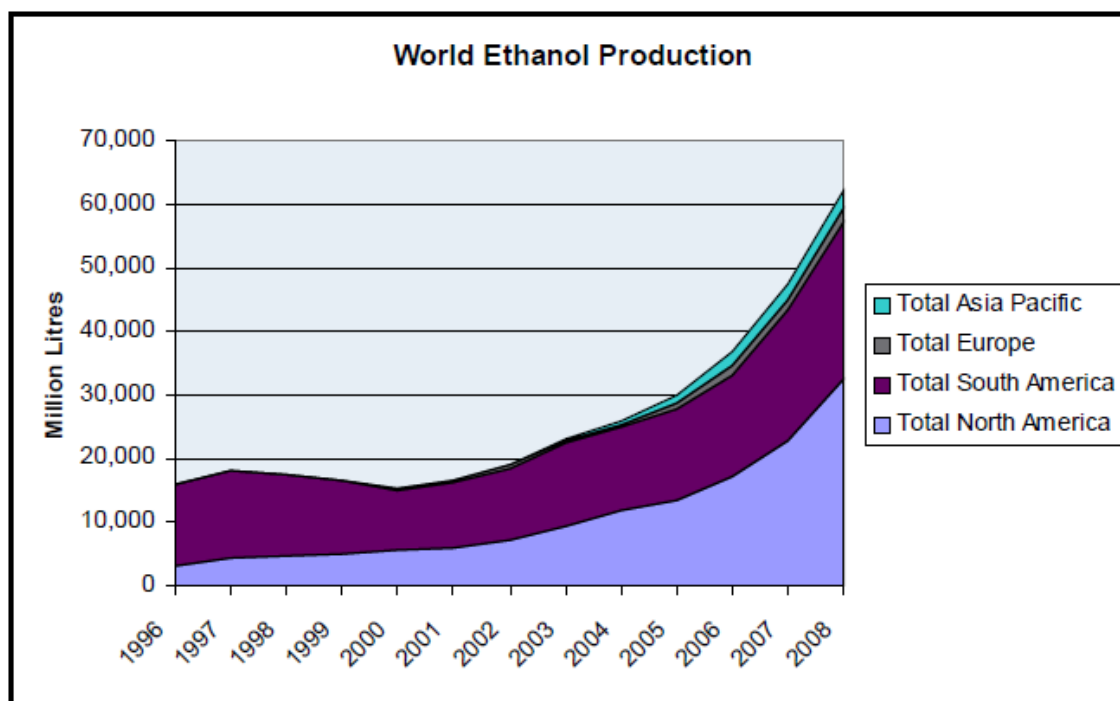
C. Producción de biocombustibles alrededor del mundo

La información que se presentará sobre la producción de biocombustibles a nivel mundial proviene de la compañía *F.O. Licht's*, la cual se dedica a brindar información a nivel mundial sobre sectores agrícolas y energéticos, incluyendo biocombustibles.

1. Producción de etanol. El etanol actualmente es producido en más de 15 países con base en variedades de azúcares y almidón. El maíz y la caña de azúcar son la materia prima dominante en la producción de etanol.

Para el año 2009, "*BP Statistical Review of World Energy*" presentó la siguiente gráfica sobre el aumento en la producción de etanol a nivel mundial.

Gráfica 2: Producción mundial de etanol



Para poder observar cifras exactas sobre la producción de etanol alrededor del mundo, en los años 2008 y 2009 véase la Tabla 22.

En Guatemala a octubre 2012 existen cinco destilerías de etanol las cuales en conjunto tienen una capacidad instalada de 250 millones de litros anuales de etanol. De la producción de etanol del país, el 90% de ésta es exportado principalmente a

Europa, Estados Unidos y México. El 10% que no es exportado, se utiliza exclusivamente en el mercado de bebidas.

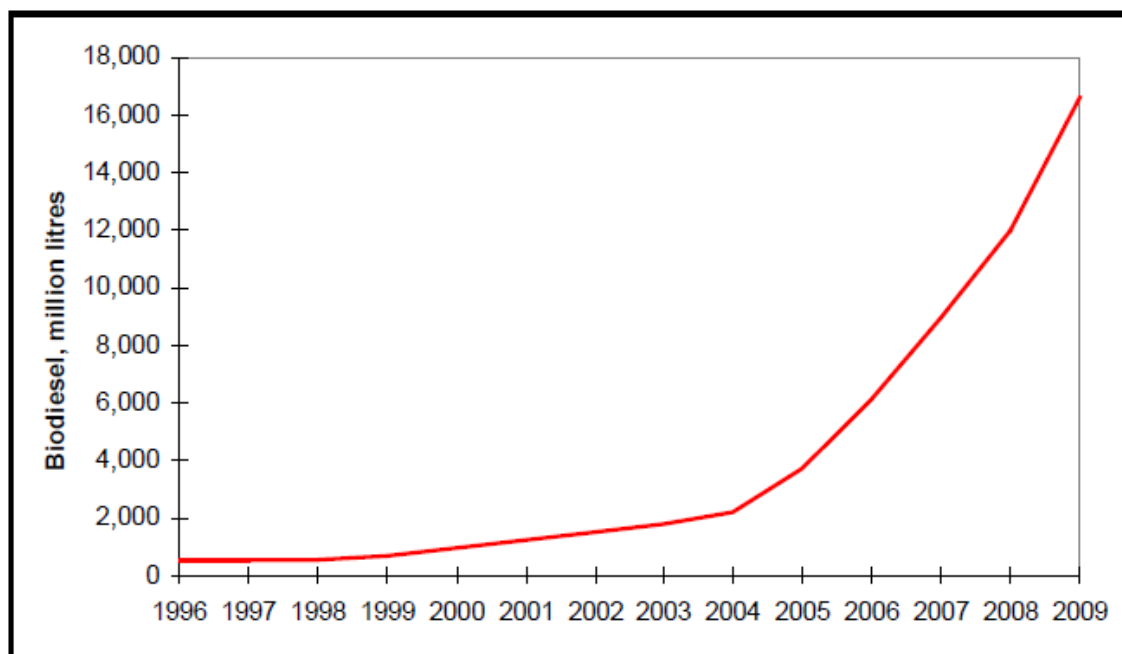
La destilería del Ingenio Pantaleón es la más grande del país y tiene una capacidad de producción de 600,000 litros de etanol diarios desde el año 2010.

De las cinco destilerías mencionadas, únicamente dos producen alcohol carburante y ambas cuenta con una certificación de sostenibilidad de su producción por medio de ISCC (*International Sustainability and Carbon Certification* por sus siglas en inglés).

2. Producción de biodiesel. Por su parte, la producción de biodiesel también ha incrementado rápidamente durante los últimos años. La información presentada sobre la producción de biodiesel a nivel mundial proviene de *F.O. Licht's* y *(S&T)² Consultants Inc.*

A continuación, se puede observar una gráfica con la evolución en producción de biodiesel a nivel mundial hasta el año 2009.

Gráfica 3: Producción mundial de biodiesel



En la Tabla 23, se puede observar cómo está distribuida la producción de biodiesel por país y materia prima.

En Guatemala la producción instalada para la producción de biodiesel es de 4,000 galones diarios según datos no oficiales, y la gran mayoría del biodiesel que se produce en el país es a base de aceite reciclado.

D. Beneficios (ventajas y desventajas) del uso de los biocombustibles

Algunas razones por las cuales es necesaria la tecnología, disponibilidad y uso de biocombustibles son:

- Mejora en el uso de los recursos agrícolas y forestales; el desarrollo de mercados alternativos para productos agrícolas pueden llevar a un mejor aprovechamiento del suelo, subutilizado en muchas zonas.
- Reducción de los excedentes y del gasto derivado; la introducción y desarrollo de cultivos energéticos puede reducir en parte los problemas de excedentes, dedicando una parte de los cultivos a cultivos para abastecimiento de alimento y otra para abastecimiento energético.
- Incremento en las rentas agrícolas y diversificación de mercados.
- Revitalización de economías rurales y generación de empleo. Los cultivos energéticos y el uso de biocombustibles pueden apoyar las economías rurales en dos aspectos: por el uso adicional de los recursos de las explotaciones agrarias, creando empleo directo, y por la manufactura y comercialización del producto.
- Los combustibles a base de petróleo se volverán más escasos y costosos.
- Disminución de la contaminación por emisiones de los motores de combustión interna que funcionan con combustibles a base de petróleo.
- El déficit comercial que provoca a la importación tanto de crudo como de combustibles, ya que un alto porcentaje de petróleo crudo debe ser importado de los países que controlan los campos de petróleo más extensos.

Vale la pena mencionar que al momento en que los biocombustibles lleguen a ser parte importante del suministro de energía, será más conveniente utilizar aceites vegetales y sus ésteres que alcoholes, ya que los cultivos para azúcar o almidón tienen mercados establecidos que pueden llegarse a ver afectados. Claro está, que esto ocurrirá si el etanol se produce directamente de la caña de azúcar, pero en el caso de Guatemala esto no representa un riesgo significativo ya que el etanol en Guatemala es producido a base de melaza, un subproducto del proceso de

obtención de azúcar, y es por ello que así no se afecta el mercado ya establecido de azúcar.

1. Alcohol (Pulkrabek, W., Camps, M. y Marcos, F.). Las ventajas del alcohol como un combustible incluyen:

- Es un combustible de alto octanaje con índice “anti-knock” superior a 100. El alto octanaje del alcohol es en parte a la alta velocidad de la llama del alcohol. Y cabe recordar, que los motores que utilizan combustibles de alto octanaje pueden funcionar más eficientemente con mayores relaciones de compresión.
- Generalmente, contamina menos por emisiones que la gasolina.
- Genera menos NOx y HC.
- Cuando se quema, genera más moles de escape, lo cual da una mayor presión y potencia en la carrera de expansión.
- Tiene una alta capacidad de refrigeración por evaporación, lo cual resulta en procesos de admisión y compresión más fríos que con gasolina, lo cual repercute en un aumento en la eficiencia volumétrica del motor y reduce la cantidad de trabajo necesaria para la carrera de compresión.
- Bajo contenido de azufre en el combustible.

Las desventajas del alcohol puro o E100 (nótese que la propuesta es una mezcla E10, por lo tanto, las desventajas del alcohol puro no aplican por completo a la mezcla propuesta) como combustible incluyen:

- Bajo contenido de energía como se puede ver en la Tabla 13. Esto quiere decir que por unidad de gasolina, se debe quemar el doble de alcohol para obtener la misma energía en el motor.
- El alcohol produce más aldehídos en el escape, y si se consume la misma cantidad de alcohol que de gasolina actualmente, las emisiones de aldehídos pueden ser convertidas en un grave problema de contaminación.
- El alcohol es más corrosivo que la gasolina sobre el cobre, latón, aluminio, caucho y varios plásticos de los cuales se fabrican las piezas de un motor y sistemas de un vehículo.
- Mal encendido en clima frío debido a la baja presión de vapor y evaporación del alcohol. Los motores que utilizan alcohol como combustible generalmente sufren dificultades encendiendo a temperaturas menores a 10°C. Solución: Al

agregar gasolina al alcohol se mejora grandemente el encendido en clima frio, por lo tanto con la mezcla E10 propuesta no existe tal problema.

- Malas características de ignición en general.
- Flama casi invisible lo cual se considera peligroso para su manejo.

Solución: Al agregar gasolina al alcohol se elimina el peligro de la flama invisible.

- Peligro en el almacenamiento ya que debido a la baja presión de vapor, el aire puede ingresar a los tanques de almacenamiento y provocar una mezcla combustible.
- Debido a la baja temperatura de flama, toma mayor tiempo alcanzar la temperatura de operación eficiente del convertidor catalítico de un vehículo.
- Olor ofensivo del combustible.
- Bloqueo de los sistemas de suministro de combustible por el vapor de alcohol.
- Si hay una fuga se pueden contaminar las aguas subterráneas debido a que el alcohol y el agua se mezclan.

2. Biodiesel (Camps, M. y Marcos, F.)

Ventajas:

- Los residuos se degradan en menos de 21 días en una cantidad de 98.3%.
- La reducción de emisión de aldehídos del 60 al 70%.
- Menor emisión de compuestos aromáticos en un 40%.
- Menor emisión de óxidos nitrogenados.
- Se cierra el ciclo de CO₂, con lo que el efecto invernadero se elimina.
- Ligero aumento del rendimiento energético, en algunos casos.
- Desaparecen casi por completo las partículas carbonosas y los derivados del azufre.
- El hollín apenas es visible (aunque aumentan las partículas).
- No es tóxico y es seguro en su manejo si es puro.

Inconvenientes:

- Pérdida de un 5% de potencia.
- Residuos en inyectores, cámara, pistón y asientos de válvulas.
- Dilución del aceite del motor, lo que implica un aumento de la frecuencia del cambio del mismo.

- Mayor frecuencia también en la sustitución del filtro de combustible (cada 130 horas en lugar de 200 horas).
- Problemas en el arranque en frío en invierno.
- Alta densidad de los aceites frente al diesel.

E. Biocombustibles en Guatemala

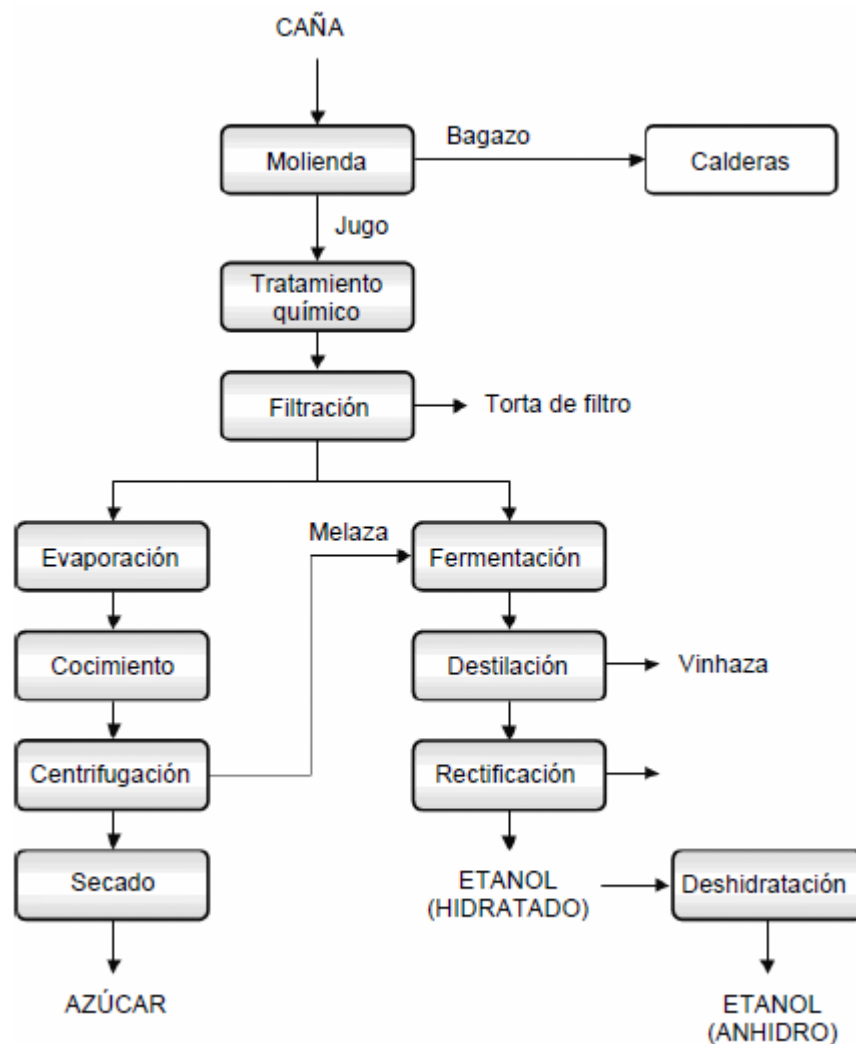
1. Alcohol carburante. Los alcoholes son un combustible alternativo muy atractivo debido a que pueden obtenerse de diferentes maneras, tanto naturales como manufacturadas. El metanol y etanol son los dos tipos de alcohol más prometedores y los que han tenido un mayor desarrollo como combustible para motores.

El etanol puede ser hecho de etileno o de la fermentación de granos y del azúcar. Mucha producción de etanol se hace a base de maíz, remolacha de azúcar, caña de azúcar y hasta celulosa (madera y papel).

Existen varias formas de obtener etanol pero el método más sencillo es como se ha mencionado anteriormente, el que usa un producto azucarado, como puede ser caña de azúcar o sorgo dulce. Como el rendimiento del cultivo es alto produce mayor cantidad de alcohol por unidad de superficie, aunque esto no es completamente cierto en el caso de la caña, ya que se tiene que tener en cuenta que este cultivo utiliza el suelo los doce meses del año. En climas tropicales o subtropicales, la alternativa puede incluir dos o más cultivos al año.

En Guatemala el mayor potencial de producción de bioetanol es por medio de la caña de azúcar, por lo que el esquema de producción se presenta a continuación. Con respecto al esquema mostrado se aclara que este incluye la producción de etanol por medio de caña de azúcar directamente (sacrificando la producción de azúcar) y también por medio de la melaza, subproducto de la producción de azúcar, y este último es el proceso que se lleva a cabo en Guatemala actualmente.

Imagen 1: Esquema de la producción de azúcar y etanol de caña.



Para el uso de alcohol hidratado puro (con cerca del 5% de agua), se necesita adaptar los motores, pero, cuando se trata de mezclas con concentraciones de hasta 10% de etanol (E10) o alcohol deshidratado o anhidro, se pueden utilizar los motores convencionales a gasolina sin ningún tipo de ajuste.

Según el libro "*Bioetanol de caña de azúcar*", constatados concretamente y bien documentados en base a la experiencia de Brasil en la producción de etanol a partir de caña de azúcar, se pueden destacar los siguientes puntos:

- El bioetanol se puede utilizar en motores vehiculares, puro o en mezclas con gasolina. En concentraciones de hasta un 10%, los efectos del bioetanol son casi imperceptibles sobre el consumo de los vehículos, que en esos niveles

como el que propone este trabajo de graduación, E10, se puede emplear este biocombustible en los motores sin ninguna modificación.

- El bioetanol de caña de azúcar se produce con elevada eficiencia en la captación y en la conversión de energía solar (relación producción/consumo de energía superior a 8)
- El bioetanol de caña de azúcar, producción en las condiciones brasileñas, se muestra competitivo con el petróleo alrededor de US\$50.00 el barril.
- Los impactos ambientales de carácter local (en Brasil) asociados a la producción de bioetanol de caña de azúcar sobre los recursos hídricos, el suelo y la biodiversidad, y derivados del uso de agroquímicos, entre otros, pueden ser, y en buena medida en Brasil fueron efectivamente atenuados a niveles tolerables.
- El uso del etanol de caña de azúcar permite reducir en casi 90% las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Son significativas las perspectivas de desarrollo tecnológico en la agroindustria del bioetanol de caña de azúcar, con aumento de la productividad y el desempeño energético y diversificación de la gama de productos, de interés en el incremento de la producción de bioetanol y bioelectricidad.
- Los empleos en la agroindustria del bioetanol de caña de azúcar presentan buenos indicadores de calidad y la mano de obra permanece elevada por unidad de energía producida.
- La producción de bioetanol de caña de azúcar, como se desarrolla en Brasil y otros países con suficiente disponibilidad de tierras, poco afecta la producción de alimentos.
- La agroindustria del bioetanol de caña de azúcar se articula con muchos sectores de la economía y promueve el desarrollo de diversas áreas.
- Son amplias las posibilidades de expandir la producción de bioetanol de caña de azúcar, no sólo en Brasil, sino también en otros países tropicales húmedos, considerando la posibilidad de tierras ociosas o utilizadas con actividades pecuarias de baja productividad y la existencia de clima adecuado.

2. Biodiesel. Es un biocombustible que se fabrica a partir de cualquier grasa animal o aceites vegetales. Algunos cultivos comunes para la producción de biodiesel son: girasol, canola, soja y jatropha. El biodiesel se puede utilizar puro o mezclado en los motores de combustión interna encendidos por compresión.

El principal productor de biodiesel en el mundo es Alemania, con el 63% de la producción mundial, seguida por Francia, Estados Unidos, Italia y Austria con el 17%, 10%, 7% y 3% de la producción mundial respectivamente.

El término biodiesel alude al combustible puro denominado B100 que ha sido designado como combustible alternativo por los departamentos de Energía y de Transporte de los EE.UU. El B100 puede usarse en estado puro, pero se usa con mayor frecuencia como aditivo para el combustible diesel convencional.

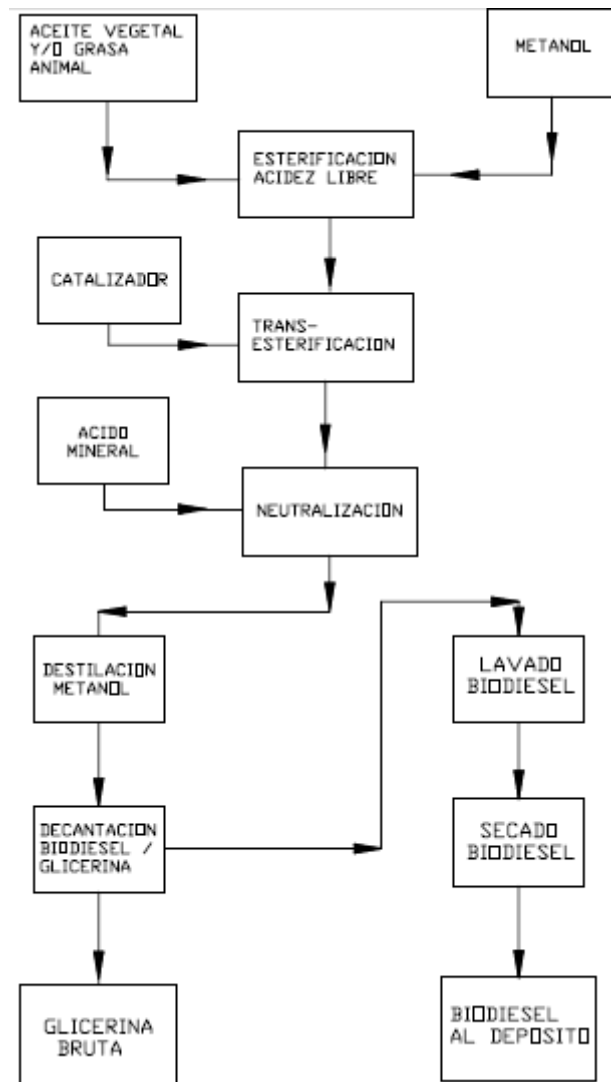
El biodiesel, desde el punto de vista de la inflamabilidad y toxicidad, es más seguro que el diesel a partir de petróleo fósil, no es peligroso para el ambiente y es biodegradable.

El biodiesel posee las mismas propiedades del combustible diesel empleado en los vehículos automotores y puede ser mezclado en cualquier proporción con el diesel obtenido de la refinación del petróleo.

El biodiesel se elabora mediante la transesterificación de grasas y aceites con alcohol metílico en ambiente básico. Los catalizadores a emplear pueden ser soda cáustica o metilato sódico, ambos en solución metanólica.

El esquema de producción de biodiesel es,

Imagen 2: Esquema de la producción de biodiesel.



a. Esterificación. La esterificación es el método más sencillo para acercar las características de los aceites a las del diesel, y el resultado es lo bastante bueno para que se pueda hacer la sustitución sin que el sistema sufra menoscabo alguno.

Previamente, se exige la extracción y refino del aceite de semilla. O bien la limpieza y el refino del aceite usado. Se mezcla con un exceso de metanol (la relación estequiométrica es de tres moles de alcohol por mol de aceite) en presencia

de un catalizador de la reacción (normalmente es KOH, pero puede ser otro alcalino o ácido). Poniendo doble cantidad de alcohol, se necesita un tiempo comprendido entre 1 y 8 horas (según la temperatura) para obtener el metiléster, a la vez que una fase acuosa a base de glicerina. Lo normal es usar un reactor discontinuo con un agitador, aunque para grandes producciones se puede utilizar un método continuo.

La reacción se puede parar añadiendo ácido fosfórico. Se separa la fase acuosa. Se evapora el alcohol en exceso, destilándolo para volverlo a emplear. Se puede centrifugar el éster para eliminar cualquier residuo de agua.

Un estudio indica que 100kg de aceite y 11kg de metanol (con catalizador) producen en una hora (a 70°C) una cantidad de 100kg de biodiesel (también llamado diéster por la contracción entre diesel y éster) y 11kg de glicerina.

Si consideramos por ejemplo, una producción de semilla de colza de 3 t/ha con un porcentaje del 40% de aceite, obtendremos una producción neta de 1200 kg/año*ha de combustible (1300 litros). Además, proporcionaría otros beneficios alimenticios, y todo esto, representa, en cuanto a cantidad total de combustible, entre 1900 y 2500kg de petróleo por hectárea. En conjunto, pues, se obtiene una energía total de 50GJ/ha.

VII. LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ Y LOS BIOCOMBUSTIBLES

A. Industria automotriz a nivel mundial

Siempre han existido algunos motores de combustión interna que funcionan con combustibles que no son ni gasolina ni diesel, aunque son limitados.

Países tales como Estados Unidos y Brasil cuentan con fuertes programas de etanol, y ambos en conjunto representan aproximadamente el 87.60% de la producción y consumo de etanol a nivel mundial, siendo al mismo tiempo estos los más beneficiados con la disminución en contaminación que tiene como beneficio utilizar este biocombustible. De igual manera en la Tabla 2 se pueden observar otros países que consumen el etanol de forma significativa en sus vehículos y el beneficio medioambiental que estos perciben gracias a esto.

Si bien es cierto, los combustibles alternativos pueden ser costosos hoy en día, esto se debe a la poca cantidad que es utilizada. Pero si el consumo de los mismos aumenta al mismo orden del consumo de los combustibles a base de petróleo hoy en día, los costos de fabricación y distribución serán menores al de los combustibles comunes.

Dos de los principales problemas que han existido con respecto al uso de biocombustibles son: la falta de una red de distribución de biocombustibles y la insuficiencia en vehículos que puedan utilizar dichos biocombustibles. Pero dichos inconvenientes ya no son un problema con base a los desarrollos actuales de vehículos Flex Fuel y a la propuesta de este trabajo de graduación, la cual propone la distribución de la mezcla E10 y hasta B40 en las estaciones de servicio actuales (gasolineras), no siendo necesario el establecimiento de estaciones de servicio exclusivas para biocombustibles.

De igual forma, si bien, no hay vehículos específicamente fabricados para funcionar con una mezcla de biodiesel, este trabajo presenta resultados sobre pruebas realizadas en un vehículo experimental con el apoyo del departamento de Agricultura de Estados Unidos y la Universidad del Valle de Guatemala, los cuales han demostrado que el vehículo experimental ha funcionado correctamente sin necesidad de ninguna modificación o reparación especial utilizando un combustible B40.

Dichos resultados son alentadores por lo que este trabajo presenta los análisis necesarios que deberán continuar realizándose para poder en base a mayor cantidad de pruebas realizadas sobre el vehículo concluir que este continua funcionando a la perfección como lo ha hecho hasta el momento (Octubre 2012).

B. Historia de uso de etanol en los vehículos

El etanol ha sido usado como combustible para vehículos por muchos años en varias regiones del mundo. Brasil es probablemente el país líder en el uso del etanol como combustible, cuando en los años noventa, 4.5 millones de vehículos operaban con combustibles que contenían 93% de etanol.

El gasohol, conocido como E10, es una mezcla que contiene 90% gasolina y 10% etanol, y ha sido utilizado por varios años en los estados productores de maíz del medio oeste de Estados Unidos.

Existen dos mezclas principales de gasolina y etanol, la ya mencionada E10, y la E85, la cual es básicamente 85% de etanol con 15% de gasolina adicionada para eliminar los problemas que produce un combustible 100% etanol.

En cuanto al E10, es un combustible que permite la tan necesaria reducción del consumo de gasolina, y su uso ha demostrado que no es necesaria ninguna modificación al motor de un vehículo.

Al principio, se pensaba que el alcohol etílico proveniente del suelo a través de los cultivos llegaría a utilizarse solamente como un aditivo, y no como un combustible por sí mismo, habida cuenta de las modificaciones que su uso al 100% acarrearía en los motores de combustión interna encendidos por chispa. Así pues, en Estados Unidos, se decidió que una proporción aceptable sería la del 10%, y en América del Sur, en algunos países se llega hasta un 20% en las mezclas de alcohol con gasolina.

Los países pioneros son Brasil y Estados Unidos. El etanol se puede usar solo o mezclado con gasolina, dependiendo de su pureza; así, cuando esta puro (99.5%), se puede mezclar, sin apenas modificaciones en el motor; si es alcohol hidratado (95-96%), se utiliza solo, y pueden requerirse modificaciones al motor de importancia según sea la proporción de la mezcla.

En el caso de la mezcla propuesta E10 cabe resaltar que no es necesario realizar ningún tipo de modificación de los motores de los vehículos.

C. Historia del uso de biodiesel en los vehículos

- En 1900, Rudolph Diesel hizo funcionar su motor con aceite de cacahuete.
- En 1995 se realizaron análisis sobre una muestra de biodiesel de girasol (metiléster de girasol esterificado) por BIVA (Biocombustibles Vascos, Bilbao).
- Pruebas realizadas por Mercedes Benz en Indonesia con biodiesel de aceite de palma, en un clima bastante cálido dieron resultados positivos, ya que como bien se ha mencionado, el nivel de ácidos grasos tiene una clara relación con el comportamiento de los biocombustibles en condiciones de frío, haciendo los aceites más saturados menos adecuados para dichas condiciones.
- Pruebas realizadas en Suiza mostraron una reducción de más del 25% en las emisiones de óxidos de nitrógeno al retardar el tiempo de inyección del carburante, utilizando biodiesel en comparación con las emisiones provocadas por el diesel fósil.
- El Instituto Austriaco de calidad del agua, en un intento de evaluar la toxicidad de los carburantes en los ecosistemas, llevó a cabo varias pruebas en los organismos principales de la vida acuática, probando tanto el biodiesel como el diesel fósil, y los resultados mostraron en general una reducción del 80 al 100% en toxicidad del biodiesel con respecto al diesel fósil.
- En el año 2008 se diseñó una planta de biodiesel a partir de aceite de palma africana para la industria Olmeca, S.A. en Guatemala. Esto debido a las variaciones en precio del diesel fósil y la capacidad de producción de biodiesel para autoabastecerse de dicha industria. En el año 2008 Olmeca contaba con 500,000 hectáreas de Palma Africana sembradas, de las cuales podía utilizar algunas para producir biodiesel para autoabastecerse de combustible. La planta fue diseñada pero se desconoce si realmente fue realizada y funciona actualmente.
- El gobierno de Estados Unidos adoptó las normas de la ASTM para el biodiesel, por lo que el juego de normas D6751 sigue ganando importancia. La ley de independencia y seguridad energética de 2007 exige el uso de la norma D6751 y obliga a los productores de combustible a usar por lo menos 36 mil millones galones de combustible renovable por año para el año 2022.

Hasta ahora, aproximadamente 35 estados, entre los que se pueden mencionar Minnesota y Tennessee, exigen que el combustible biodiesel cumpla con las normas de la ASTM, y los demás estados usan fragmentos de las normas en sus propias especificaciones.

- La norma D6751 también se usa total o parcialmente en países como Brasil, Malasia, Grecia, Singapur y Filipinas.
- Según el Consejo Nacional de Biodiesel (*National Biodiesel Board*), más de 170 empresas en los EE.UU. están promocionando intensamente el biodiesel y construyendo fábricas con una capacidad potencial de producción de aproximadamente 2.24 mil millones galones por año.

D. Estudios sobre impacto del uso de biocombustibles en los motores de combustión interna

1. Biodiesel. En cuanto a los problemas añejos del motor, es decir, al margen del rendimiento y las prestaciones, se pueden señalar las siguientes (nótese que las mencionadas tienen un impacto más tangible para el B100 que para el B40 propuesto, aunque se mencionan ya que no está de más tener un panorama amplio y poder así tomar todas las medidas preventivas para el caso):

- Obturación de los inyectores: la presencia de ácidos grasos no saturados provoca inestabilidad y da lugar a residuos de las reacciones de oxidación; estos residuos se depositan en los inyectores y pueden obturarlos. Estos depósitos producen modificaciones en la inyección de la gota, provocan combustiones incompletas y aumentan la toxicidad de los gases de escape. Además cuando el combustible se quema de forma incompleta, actúa como disolvente del aceite de lubricación y refrigeración.

Estos mismos residuos se depositan también en los segmentos, y dificultan el funcionamiento del motor.

Los elementos de caucho se deterioran rápidamente, efecto que puede evitarse sustituyéndolo por otros materiales tales como el teflón u otros elastómeros de síntesis.

- Disolución del aceite lubricante.
- Rendimiento del motor: como bien es sabido, el motor diesel ha sido refinado de tal manera con el pasar de los años, que cualquier pequeña diferencia en sus parámetros de funcionamiento, tal como el uso de biodiesel en lugar de diesel, puede provocar el alejamiento de su punto óptimo de funcionamiento.

Es precisamente por esto que resulta la posibilidad de alcanzar un diseño que mejore el rendimiento en el caso de utilizar biodiesel, bien en estado puro, o bien en el porcentaje de mezcla que se considere más aconsejable para su uso.

En cuanto a la potencia, no se han encontrado diferencias significativas en el comportamiento de los motores al comparar el biodiesel con el diesel fósil. Generalmente, se filtra biodiesel desde la cámara de combustión hasta el carter, y en varias pruebas se observó que el incremento de esta dilución va desde el 1 hasta el 10%.

E. Desarrollos en biocombustibles por los fabricantes de vehículos a nivel mundial (modelos de vehículos diseñados para funcionar con biocombustibles)

1. Fabricantes de vehículos a nivel mundial. Hoy en día, ya circulan en el mercado mundial y nacional vehículos Flexible-Fuel, los cuales son diseñados para operar con mezclas de etanol-gasolina, y sea por desconocimiento del conductor del vehículo o por la falta de lugares que distribuyan estas mezclas (gasolineras) este potencial es desaprovechado. Véase la Imagen 3, la cual muestra la placa que traen consigo los vehículos Chevrolet que tienen la capacidad de operar con mezclas de hasta E85.

Para el año 2012, ya existe gran variedad de vehículos Flex Fuel E85, a continuación se mencionan algunos según marca de vehículo:

Dodge E85 FFV (Flex Fuel Vehicules)

- Dodge Avenger 3.6L
- Dodge Charger 3.6L
- Dodge Durango
- Dodge Journey 3.6L
- Dodge Grand Caravan

General Motors E85 FFV

- Buick Regal 2.0L
- Chevrolet Camaro V6

- Chevy Caprice
- Chevy Malibu 2.4L
- Chevrolet Impala 3.6L
- Chevy Express 5.3L
- Chevrolet Silverado 5.3L y 6.2L
- Chevrolet Equinox 2.4L
- GMC Terrain 2.4L
- Buick Verano 2.4L
- Buick Lacrosse
- GMC Sierra Truck 4.8L y 5.3L
- GMC Savana Vans 5.3L
- GMC Yukon/Denali
- Cadillac SRX
- Chevrolet Tahoe
- Chevy Suburban

Ford Motors E85 FFV

- Ford Escape 3.0L
- Ford Focus 2.0L
- Ford Fusion 3.0L
- Ford F150 3.7L y 5.0L
- Ford Expedition E Series 5.4L

Daimler Chrysler E85 FFV

- Chrysler 200 3.6L
- Chrysler Aspen 4.7L
- Jeep Grand Cherokee 4WD
- Chrysler Town and Country
- Chrysler 300 AWD

Bentley E85 FFV

- Continental Supersport 6.0L
- Continental GTC 6.0L
- Continental Flying Spur 6.0L

Saab E85 FFV

- Saab 9-3 Cabrio 2.0L
- Saab 9-3 Sport 2.0L
- Saab 9-3 Sport Combi 2.0L
- Saab 9-5 Sedan 2.0L

Mercedes Benz E85 FFV

- Mercedes Benz C300 3.0L

Nissan E85 FFV

- Nissan Titan 5.6L V8
- Nissan Armada 5.6L V8

Mazda E85 FFV

- Mazda Tribute

Toyota E85 FFV

- Toyota 5.7L Sequioa
- Toyota Tundra 5.7L

Volkswagen E85 FFV

- Volkswagen Routan

A continuación, se muestra la insignia con la que cuentan los vehículos FFV que ya se encuentran en las calles de Guatemala.

Imagen 3: Vehículo Flex-Fuel de Chevrolet con circulación en Guatemala (Pick Up Avalanche modelo 2011)



2. ASTM International. La ASTM International está fomentando el uso de una fuente de energía renovable alternativa con la publicación de octubre de 2008 de especificaciones nuevas y revisadas para el biodiesel. Las nuevas normas le dan a la industria una herramienta valiosa que garantiza la calidad y el comportamiento del producto porque establece parámetros claramente definidos.

El desarrollo de las especificaciones para los combustibles mezclados empezó en 2001 luego de la publicación de la norma D6751 de la ASTM, especificación para las existencias de mezclas de combustibles biodiesel (B100) para los combustibles de destilación intermedia.

Entre las normas nuevas y modificadas, están las siguientes:

- ASTM D6751-08, especificación para las existencias de mezclas de combustible biodiesel (B100) para combustibles de destilación intermedia, que se modificó para incluir un requisito que controle las combinaciones secundarias y que brinda una información más precisa sobre como funcionará el combustible cuando el ambiente está frío.
- ASTM D975-08a, especificación para el fueloil para los motores diesel (que se usa en aplicaciones diesel convencionales y todo terreno), se modificó y ahora permite hasta un 5% de biodiesel. Esto permite que las mezclas B5 se traten de la misma manera que el diesel convencional a efectos de la realización de ensayos.
- ASTM D396-08b, especificación para el fueloil (usado en sistemas de calefacción y en calderas), que se modificó y ahora permite hasta un 5% de biodiesel.
- ASTM D7467-08, especificación para las mezclas de biodiesel (B6 a B20) de fueloil para motores diesel, es una especificación totalmente nueva que rige las propiedades de las mezclas que contienen entre 6% y 20% de biodiesel para ser usadas en motores diesel convencionales y todo terreno.
- ASTM-D6751-06, norma que indica los análisis de calidad que debe de cumplir un biodiesel producido.

El ingeniero José Andrés Hernández del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala, encargado de la producción de biodiesel de dicho instituto educativo informa que para el control de calidad del biodiesel que

producen, utilizan la norma ASTM-D6751-06. Dicho biodiesel es el utilizado en la mezcla B40 que está siendo utilizada en el vehículo experimental.

También el ingeniero indica que la norma no es aplicada a cabalidad, ya que esta abarca diversas propiedades físico químicas, de las cuales la Universidad puede realizar únicamente las siguientes debido al equipo de laboratorio que poseen:

- Agua y Sedimentos según ASTM-D2709
- Viscosidad Cinemática según ASTM-D445
- Cloud Point según ASTM-D2500
- Número Ácido según ASTM-D664
- Densidad

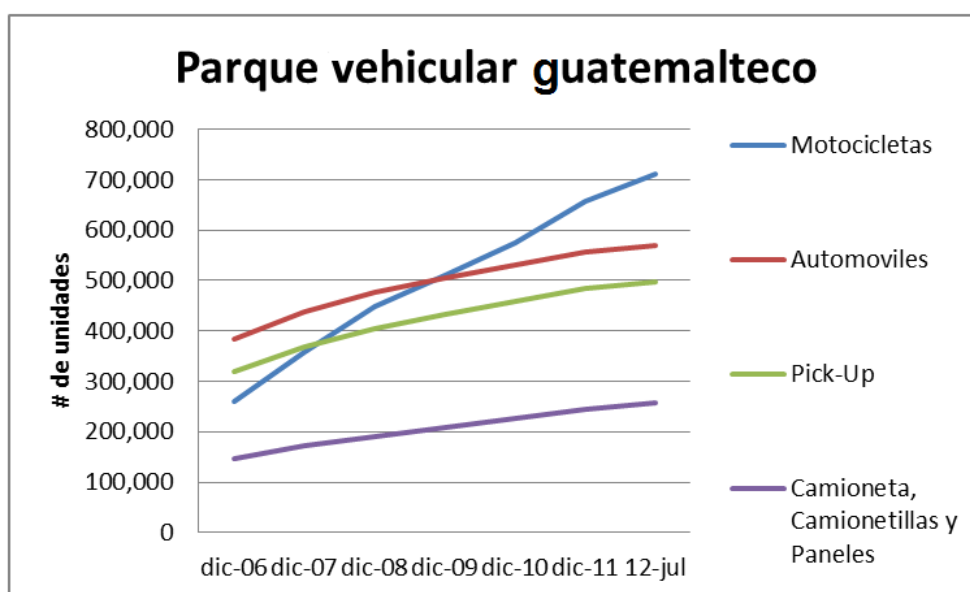
En la Tabla 28, se puede observar todas las propiedades, normas, límites y unidades que analiza la norma ASTM-D6751-06 para el control de calidad de biodiesel.

VIII. EL PARQUE VEHICULAR EN GUATEMALA

A. Parque vehicular por tipo de vehículo

Haciendo uso de la Base de Datos del Sistema de Registro Fiscal de Vehículos de la SAT se presenta la siguiente gráfica en donde se puede observar la tendencia en crecimiento del parque vehicular guatemalteco según el tipo de vehículo. Esta información es útil para poder comprender como está dividido el mercado de combustibles en el país, es decir, por ejemplo, las motocicletas son el tipo de vehículo con mayor presencia en el país, y en base a esto es recomendable ampliar un estudio sobre la utilización del combustible propuesto E10 en este tipo de vehículos. En la Gráfica 4 se muestran los 4 principales tipos de vehículos en el parque vehicular del país y además en la Tabla 25 se pueden observar cantidades exactas sobre los 8 principales tipos de vehículos.

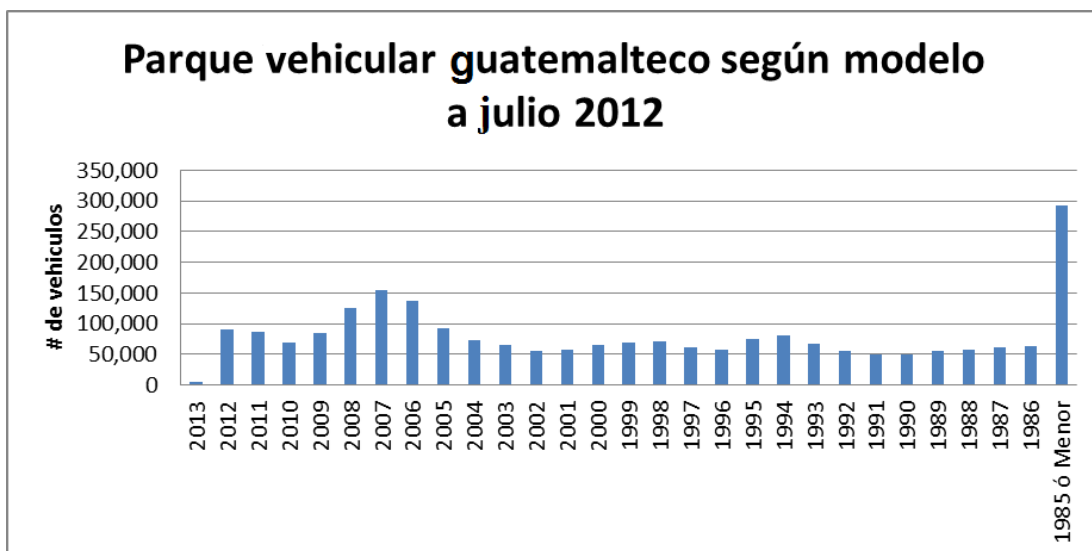
Gráfica 4: Parque vehicular guatemalteco según tipo



B. Parque vehicular por modelo

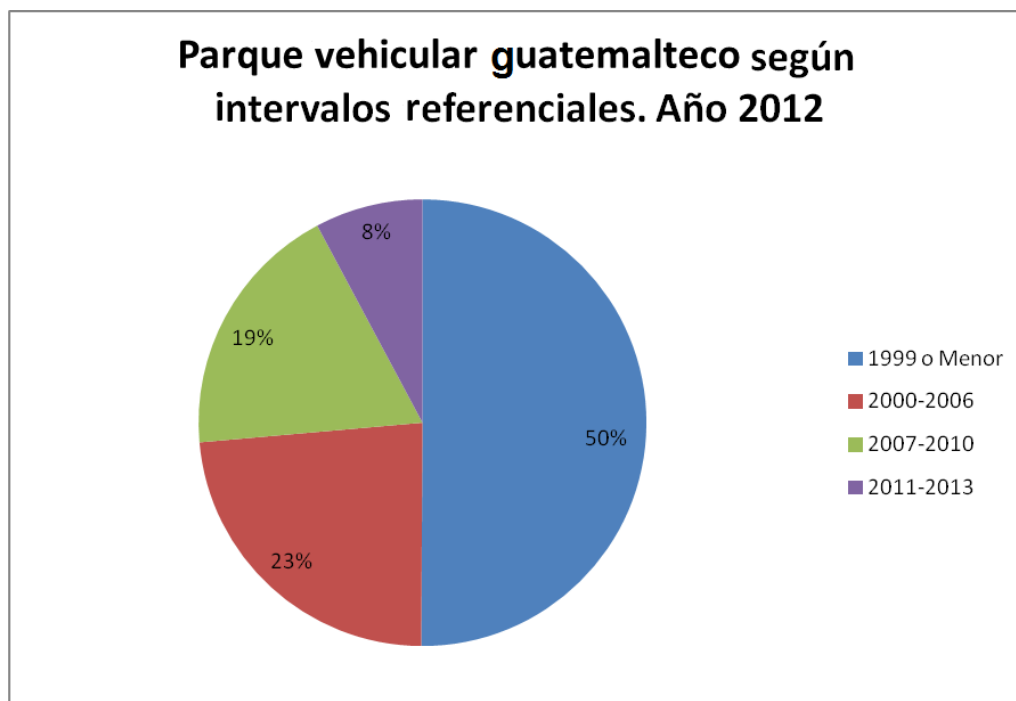
Igualmente haciendo uso de los registros de la SAT se obtuvieron tablas y gráficos sobre el parque vehicular del país según modelo de los vehículos. Esto es importante ya que los modelos más nuevos son más propicios a la aceptación de biocombustibles, esto no quiere decir que los modelos antiguos no acepten el uso de biocombustibles, aunque es aconsejable hacer estudios sobre estos modelos para ver que los vehículos funcionen normalmente.

Gráfica 5: Parque vehicular guatemalteco según modelo a julio 2012



También es importante hacer notar que el parque vehicular del país es muy viejo (el 50% del parque está constituido por modelos 1,999 o menor), lo cual se puede hacer notar en la siguiente gráfica. Los intervalos que se muestran en la siguiente gráfica se tomaron con los criterios siguientes: 1999 o menor es para los vehículos fuera de este milenio, del 2000-2006 es para los vehículos pertenecientes a este milenio pero antes del modelo 2007 ya que como se puede observar en la gráfica de barras presentada anteriormente, este es el modelo de vehículo con mayor presencia en el parque vehicular guatemalteco luego del modelo 1985 o Menor, del 2007-2010 es tomando el 2007 ya explicado anteriormente y separando el 2011 en el siguiente y último intervalo ya que es 2011 el modelo del vehículo experimental al que se le hicieron análisis con B40.

Gráfica 6: Parque vehicular guatemalteco según intervalos de modelo. Año 2012

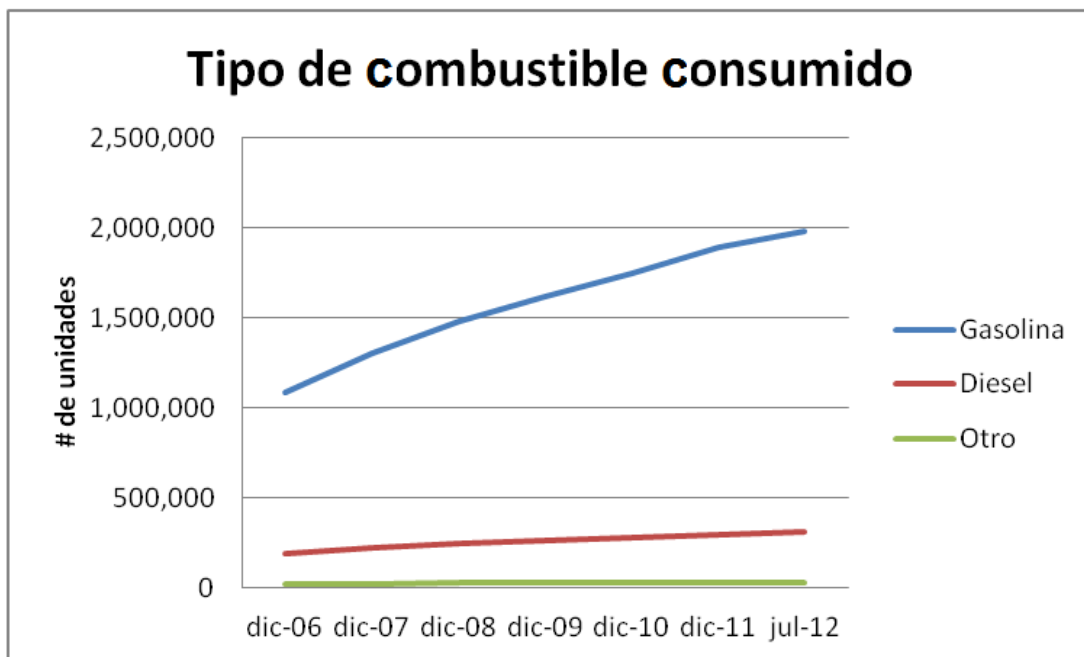


En la Tabla 26 se pueden observar cifras exactas sobre la distribución de vehículos del parque vehicular guatemalteco según modelo.

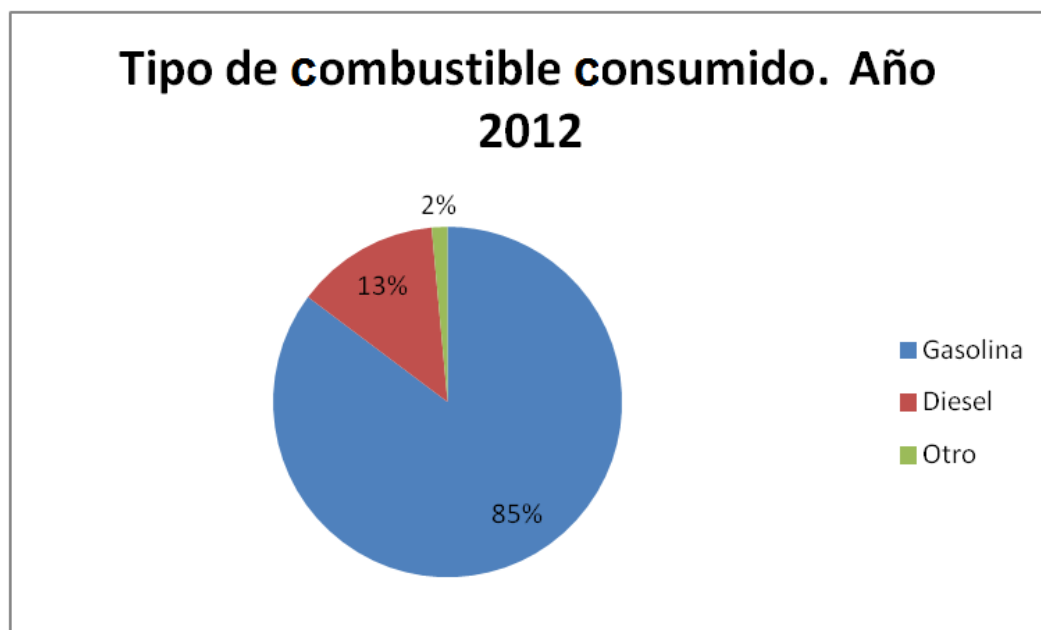
C. Parque vehicular por combustible

Si bien, las tablas y gráficos del parque vehicular guatemalteco según tipo y modelo de vehículo son muy útiles, la clasificación según tipo de combustible es la que indica que cantidad de vehículos aplican al consumo de E10 y B40, de una forma más concreta. Claro está que como bien se había mencionado anteriormente, el modelo del vehículo puede tener influencia sobre el uso de biocombustibles, con base en la Tabla 27 y gráficos presentados a continuación se puede tener una idea del potencial de consumo que tienen ambos biocombustibles propuestos en este trabajo de graduación, y dicho potencial de consumo también es un indicador del potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que se puede tener al desplazar un 10% de gasolina fósil y un 40% de diesel fósil, según las mezclas que se proponen.

Gráfica 7: Evolución en el tipo de combustible consumido en el parque vehicular guatemalteco



Gráfica 8: Tipo de combustible consumido en el parque vehicular guatemalteco. Año 2012



Como se puede ver claramente en las Gráficas 7 y 8, el combustible consumido con mayor participación es la gasolina, en la gráfica de evolución del consumo se puede observar que con el pasar de los años, el aumento en el consumo de gasolina ha sido bastante pronunciado, mientras que con los otros dos

combustibles graficados el aumento en consumo ha sido mínimo, este aumento en el tiempo podría tener relación con el aumento en la presencia de motocicletas mostrado en la Gráfica 4 ya que este tipo de vehículos utilizan la gasolina como combustible. Y en general se puede observar que la participación de la gasolina como combustible utilizado en el país es del 85% y es por ello que se puede indicar que el E10 es la mezcla propuesta en este trabajo con un mayor mercado para ser comercializado.

En la Tabla 27 se pueden encontrar cifras exactas sobre la cantidad de vehículos que consumen cada tipo de combustible en el parque vehicular guatemalteco.

IX. FABRICANTES E IMPORTADORES DE VEHÍCULOS

A. Agencias importadoras en el país

1. **Nuevos.** Según el listado de integrantes de la Asociación de Importadores y Distribuidores de Vehículos Automotores de Guatemala, las empresas son:

- Autocom
- Excel Automotriz
- Comercial Omni
- Automotores y Marina, S.A.
- DFAC Dong Feng
- Sika Motors
- Global Motors
- Moauto
- Canella, S.A.
- Cofiño Stahl
- Continental Motores, S.A.
- Uniauto
- Disagro
- Ivesa
- Grupo Los Tres
- Transequipos

B. Políticas sobre el uso de Biocombustibles

1. **Según casa matriz (fabricante).** Ya sea para una flotilla de vehículos o para un solo vehículo, las personas se sienten más a gusto usando un nuevo combustible si los fabricantes de motores y vehículos aprueban el uso de los mismos en sus productos. Con respecto al biodiesel, obtenido de la página web del fabricante, Volkswagen indica, “Desde el punto de vista ecológico, el biodiesel representa una alternativa viable al combustible diesel convencional, puesto que forma parte de un ciclo de CO₂ cerrado. Sin embargo, dado que la composición básica del biodiesel difiere de la del combustible diesel convencional, no puede utilizarse sin restricciones como sustituto directo del diesel. El mayor obstáculo actualmente es la inexistencia de un estándar uniforme que regule la calidad y la composición del biodiesel”. Claro está, que si bien el B100 propuesto no puede sustituir al diesel fósil sin requerir cambios en los vehículos, las pruebas realizadas con B40 en el vehículo experimental muestran que no ha sido necesaria ninguna modificación al vehículo y este se encuentra funcionando en excelentes condiciones. Por otro lado, la otra preocupación mencionada por Volkswagen es la falta de estándares para el biodiesel, tema que ASTM International está en proceso de resolver como se podrá ver en la sección ASTM International de este trabajo.

En cuanto a las políticas de los fabricantes de vehículos a nivel mundial sobre el etanol, y más importante, la mezcla E10 propuesta, se obtuvo mediante los documentos “*2003 Automobile Manufacturer Fuel Recommendations*” y “*2006 Automobile Manufacturer Fuel Recommendations*” ambos propiedad de la Asociación de Combustibles Renovables de Estados Unidos (RFA por sus siglas en inglés) lo siguiente:

- BMW: Mezclas de combustible de hasta 10% de etanol (E10) no anulan las garantías con respecto a defectos en materiales y fabricación del vehículo.
- Daimler Chrysler: Autoriza el uso de E10 en sus vehículos para reducir emisiones de gases de efecto invernadero.
- Ford: Indica que si se posee un vehículo Flex Fuel de su marca se debe utilizar específicamente con E85. De igual forma Ford apoya el uso de este biocombustible para mejorar la calidad del aire.
- General Motors: Recomienda el uso de mezclas de gasolina con etanol siempre y cuando dicha mezcla cumpla con sus especificaciones de combustible.
- Honda/Acura: Autoriza el uso de mezclas que contengan hasta un 10% de etanol.
- Hyundai: Autoriza el uso del E10 en sus vehículos, e indica que si existiese alguna falla en el funcionamiento del vehículo se utilice gasolina nuevamente.
- Isuzu: Indica que siempre y cuando las mezclas con etanol cumplan con sus especificaciones de combustible, dichas mezclas pueden ser utilizadas para mejorar la calidad del aire reduciendo la contaminación.
- Jaguar: Mezclas que contengan hasta un 10% de etanol pueden ser utilizadas en sus vehículos, pero siempre hay que verificar que los niveles de octanaje de la mezcla cumplan los recomendados para el uso en sus vehículos.
- Kia: Autoriza la mezcla hasta un 10% de etanol y al mismo tiempo prohíbe utilizar mezclas con porcentajes mayores a éste de etanol.
- Land Rover: El uso de mezclas de gasolina sin plomo con etanol hasta un 10% no invalida la garantía de sus vehículos.
- Mazda: La mezcla más común que puede ser utilizada en sus vehículos es una mezcla con etanol no mayor al 10%.
- Mercedes-Benz: Autoriza el uso de E10 en sus vehículos.

- Mitsubishi: Una mezcla E10 se puede utilizar en sus vehículos siempre y cuando cumpla con sus niveles de octanaje requeridos.
- Nissan/Infiniti: Se pueden usar mezclas con etanol en sus vehículos siempre y cuando dichas mezclas no excedan el 10% de etanol.
- Porsche: Indica que bajo condiciones de operación normales el porcentaje de etanol dentro de la mezcla no afectará el manejo de sus vehículos. Y recalca que la mezcla debe cumplir con sus requerimientos de octanaje.
- SAAB: Autoriza un máximo de 10% de etanol en las mezclas que se utilicen en sus vehículos.
- Subaru: Afirma que para el correcto funcionamiento de sus vehículos, las mezclas que estos pueden utilizar puede contener un máximo de 10% de etanol.
- Suzuki: Indica que las mezclas con etanol no se deben utilizar en sus vehículos si la presencia del etanol en la mezcla no es mayor al 10%.
- Toyota: Autoriza el uso de mezclas con hasta un 10% de etanol.
- Volkswagen/Audi: Especifica que para utilizar mezclas con etanol el AKI debe ser como mínimo 87 y la mezcla no debe contener más que un 10% de etanol.
- Volvo: Se pueden utilizar mezclas que contengan hasta un 10% de etanol.
- Bentley: Se puede utilizar E10 en sus vehículos.
- Rolls Royce: Indica que el uso de mezclas con un porcentaje de etanol de hasta el 10% pueden ser utilizadas ya que no afectan la garantía de sus vehículos.

Se debe aclarar que las recomendaciones mencionadas anteriormente son para vehículos comunes, es decir no para vehículos Flex Fuel (FFV), exceptuando en caso de Ford que si indica que para sus FFV es necesario utilizar E85. Y es esto mismo un respaldo más, que indica que los fabricantes de vehículos si permiten utilizar la mezcla E10 sin ninguna modificación en sus vehículos comunes, ya que los Flex Fuel son diseñados para utilizar mezclas de etanol por lo tanto la aceptación del uso de biocombustibles es más fácil en estos que en los comunes, pero lo fabricantes indican en su gran mayoría que la mezcla E10 es aceptada para ser utilizada en sus vehículos comunes sin riesgo de pérdida de garantía.

De igual manera, se puede observar que en su gran mayoría el límite máximo aceptado por los fabricantes en las mezclas es el 10% de etanol, el mismo porcentaje propuesto en este trabajo de graduación. Este límite del 10% aceptado

por la gran mayoría como el máximo de etanol en la mezcla puede ser debido a que con este porcentaje se puede obtener los beneficios del etanol como combustible sin traer consigo las desventajas del mismo.

Finalmente, es importante mencionar que así como en su gran mayoría aceptan el uso de E10 en sus vehículos, también en su gran mayoría prohíben el uso de mezclas con metanol, y debe ser aclarado ya que tanto el etanol como el metanol son alcoholes, pero el etanol es aceptado por la mayoría de fabricantes de vehículos como parte de una mezclas, a diferencia del metanol que es rechazado por la mayoría de fabricantes también.

X. VALIDACIÓN DEL USO DE BIOCOMBUSTIBLES (E10 Y B40)

A. Definición de la prueba de campo

Prueba de campo biodiesel:

Combustible: Mezcla Biodiesel al 40%. La mezcla es la que se tiene a Octubre 2012, pero se ha venido aumentando el porcentaje de biodiesel un 5% a la vez, desde que el departamento de Ingeniería Química de la UVG inicio los estudios con un B5. La siguiente mezcla a utilizar y para la cual se debería repetir los análisis descritos en este trabajo de graduación sería para B45.

Vehículo utilizado: Nissan Frontier modelo 2011 2500cc.

Aceite utilizado: 15W40.

Motor vehículo: Diesel 2,500cc.

Tipo de prueba: Análisis aceite de motor

Definición de la prueba:

El análisis de aceite de motor que se realizó utiliza cuatro equipos distintos:

1. ICP (Espectro fotómetro de plasma: Tiene capacidad de análisis de hasta 11 micrones y lee hasta 24 metales.
2. IR (Infrarrojo Perkin Elmer): Da los resultados en % peso/peso
3. Viscosímetro: Para analizar un vehículo se utiliza a una temperatura de 100°C
4. Triturador para TBN: Esto da el número básico del lubricante y en base a esto se puede determinar si el aceite que está siendo utilizado es el adecuado para el motor analizado.

El análisis del aceite de motor se divide en tres categorías: desgaste del motor, contaminación del lubricante y estado del lubricante. De estas tres categorías, la calidad del combustible se ve reflejada en la de estado de lubricante como se puede ver resaltado en la Tabla 4.

Tabla 4: Modos de falla principales según categoría en un análisis de aceite

	Estado de lubricante	Contaminación del lubricante	Desgaste de maquinaria
PRINCIPALES MODOS DE FALLA	Alta/Baja temperatura	Falla de filtro (presencia de polvo o tierra)	Mal ensamblaje
	Excesivo paso de gases al carter		Desbalanceo
	Calidad del combustible	Humedad ambiental	Mantenimiento deficiente
	Degradación térmica		Corrosión
	Agotamiento de aditivos	Mala combustión	Herrumbre
	Mezcla con otros lubricantes		Degaste
	Descarga electrostática	Fugas en el sistema de refrigeración	Cavitación
			Falla película de aceite
	Micro-Dieseling	Contaminación de otro lubricante	Sobrecarga
			Abrasión

Igualmente el desgaste del motor puede estar relacionado con el combustible debido a las diluciones de combustible hacia el carter (uno de los problemas que puede provocar el biodiesel). En la tabla siguiente se puede observar, en donde posiblemente se localiza el desgaste debido a la dilución de diesel, biodiesel o mezcla en un motor según sean los elementos sobre los cuales hay exceso de partículas de desgaste.

Tabla 5: Localización del problema según los elementos con exceso de partículas de desgaste debido a la dilución de combustible en el carter

Problema	Causa de desgaste excesivo	Combinación de elementos	Posible localización del problema
Exceso de partículas de desgaste	Dilución con diesel, biodiesel o mezcla	Cu, Pb	Metal de cojinete, árbol de levas, bujes
		Fe, Cu, Pb	Metal de cojinete, árbol de levas, bujes
		Fe, Cu, Cr, Al, Pb	Metal de cojinete, camisa, anillos, pistón

En la tabla anterior se indicó la posible localización del desgaste debido a la dilución de combustible en el carter, ya que este es uno de los problemas que podría provocar el uso de biodiesel. Pero a continuación, en la Tabla 6 se indica de una forma más general, según sea el elemento que aparezca en el análisis de aceite en la categoría de desgaste, cuál es la posible localización del problema, en motores diesel.

Tabla 6: Desgaste motor diesel

Elemento		Posible localización del problema/desgaste
Hierro	Fe	Camisa, engranes, elevadores, anillos
Cromo	Cr	Anillos, levas, empujadores
Plomo	Pb	Rodamientos, arandelas
Cobre	Cu	Cojinetes, bujes, arandelas
Estaño	Sn	Rodamientos
Aluminio	Al	Pistones, cojinetes, tierra
Silicio	Si	Tierra, anti-espumante
Sodio	Na	Refrigerante, sal, posible aditivo

El análisis de aceite incluye diversas pruebas, de las cuales las siguientes son las que se mencionan ya que son necesarias para determinar la calidad del combustible:

- Viscosidad a 100°C
- Número ácido
- Número básico
- Punto de inflamación
- Hollín

Los beneficios del análisis de aceite se pueden observar en la tabla siguiente, la cual indica la información que se puede obtener a partir del análisis de aceite en base a mantenimientos proactivos, predictivos y reactivos según aplique:

Tabla 7: Qué indica el análisis de aceite

	Detección de causa de falla	Detección de causa de inicio de falla	Diagnóstico del problema	Progreso de la falla	Autopsia
Análisis de aceite indica	Alerta las condiciones de causa de falla.	Detección de la falla en etapa temprana.	¿Cuál es la naturaleza del problema? ¿De dónde viene? ¿Qué tan severo es? ¿Puede ser corregido?	Que el equipo/máquina requiere reparación o reemplazo	¿Qué ocasionó la falla de la máquina/equipo? ¿Se podría haber evitado la falla?
Monitoreo	Partículas, humedad, viscosidad, temperatura, aditivos, oxidación, acidez/basicidad, hollín, glicol, entre otros.	Partículas de desgaste, contaminación sólida, humedad, elementos metálicos, viscosidad, ferrografía analítica.	Partículas de desgaste, contaminación sólida, humedad, viscosidad, elementos metálicos, ferrografía analítica, análisis de vibración	Elementos metálicos, ferrografía analítica, análisis de vibración, temperatura	Ferrografía analítica, densidad ferrosa, elementos metálicos, componentes dañados
Tipo de mantenimiento	Proactivo	Predictivo	Predictivo	Reactivo	Reactivo

B. Metodología de validación de E10 (mezcla de etanol y gasolina, con el etanol al 10%)

Dado que el etanol (alcohol) es más corrosivo que la gasolina sobre materiales tales como el cobre, latón, aluminio, caucho y varios plásticos, de los cuales se fabrican las piezas de los motores y sistemas de los combustibles, es necesario que si la mezcla se utiliza sobre un motor diseñado para operar con gasolina, se revise y dé mantenimiento a lo siguiente:

- Tanque de combustible y tubería de distribución de combustible
- Juntas

Es preciso aclarar que lo mencionado anteriormente son medidas que se deben tomar cuando se utilizan mezclas con alto porcentaje de etanol. Así pues, para el E10, el efecto corrosivo del alcohol no es tan crítico, pero igual se recomienda seguir las indicaciones de revisión y mantenimiento mencionadas.

El experto en biocombustibles Saúl Santamaría indica también las siguientes acciones a tomar para iniciar a utilizar E10 en un vehículo:

Para vehículos antiguos (mayores a dos años, modelo 2010 o menor):

- Lavar y secar el tanque de gasolina antes de introducir E10
- Cambiar el filtro de gasolina
- Cambiar el filtro de gasolina después de terminar el primer tanque E10
- Sincronizar el motor después de terminar el primer tanque E10

Para vehículos nuevos (menores a dos años, modelo 2011 o mayor):

- Cambiar el filtro de gasolina después de terminar el primer tanque de E10
- Sincronizar el motor después de terminar el primer tanque de E10. Los vehículos actuales poseen ya sistemas que les permite sincronizarse automáticamente, pero de igual manera se menciona como parte de la metodología.

Tanto para vehículos viejos como nuevos es necesario sincronizar el motor ya que el oxígeno de las moléculas de etanol hace necesario modificar la relación aire combustible para que el motor opere en su punto óptimo con E10.

C. Metodología de validación de la mezcla al 40% de biodiesel en un motor encendido por compresión

Es preciso tener cuidado en algunos aspectos puntuales, como puede ser el ataque del éster sobre algunas conducciones, depósitos en la bomba de inyección y en la cámara de combustión, y dilución en el aceite lubricante. Todo esto con solución en la elección de ciertos materiales y lubricaciones, y efectuando el adecuado mantenimiento.

Con el fin de poder validar el biodiesel, en la Tabla 19 se encuentran las propiedades físicas y químicas más importantes relacionadas con el diesel fósil (tradicional) y el biodiesel junto con los valores aceptados en cada una de ellas y la norma en la cual dichos valores son respaldados.

Fuentes bibliográficas indican que generalmente, se filtra biodiesel desde la cámara de combustión hasta el carter, e indican que el incremento de esta dilución va desde el 1 hasta el 10% por lo que es necesario hacer pruebas del aceite del motor para verificar los porcentajes de disolución.

Debido a las propiedades disolventes del biodiesel, algunos elastómeros (ej.: goma de nitrilo) pueden destruirse con el tiempo, por lo que es recomendable cambiar las piezas que no son adecuadas por materiales de goma de flúor con un resistencia suficiente.

De igual forma es aconsejable la revisión de corrosión de tanques de almacenamiento e hinchamiento de mangueras de transporte de biodiesel.


El uso del biodiesel según sea la mezcla se puede definir con respecto a las mangueras del vehículo como:

- B20 (20% biodiesel y 80% diesel) se puede usar en vehículos con mangueras de caucho natural.
- B100 (100% biodiesel) se puede usar en vehículos con mangueras de caucho sintético.
- B40 (40% biodiesel y 60% diesel) no se encontró alguna indicación con respecto a las mangueras, pero ya que el vehículo experimental está utilizando esta mezcla, en base a esto se indicará el tipo de manguera que aplica para esta mezcla.

En la siguiente imagen se muestra el formato de resultados de control de calidad del biodiesel producido por la Universidad del Valle de Guatemala (cortesía del Depto. De Ingeniería Química). Los resultados mostrados son sobre el lote BDA 2-7 de biodiesel puro, y el ingeniero Andrés Hernández, encargado de la producción de biodiesel, indica que en general todos los lotes tienen aproximadamente los mismos resultados.

Los parámetros y resultados mostrados en la Imagen 4, son sobre un lote que si aplica para su uso (véase el renglón observaciones de la Imagen 4). El departamento de Ingeniería Química de la UVG cuenta con altos estándares de calidad basados en normas ASTM, y se aclara que los resultados mostrados en la Imagen 4 son del biodiesel que se utiliza para fabricar la mezcla B40 utilizada en el vehículo experimental.

Imagen 4: Formato de pruebas rápidas para Biodiesel. Depto. Ingeniería Química
UVG

		Formato de resultados de pruebas rápidas para biodiesel					
Procedencia aceite:	Frituras			Fecha análisis:	Agosto 2, 2012		
Proveedor:	Chinito Veloz			Fecha producción:	Julio		
Número de lote:	BDA 2-7						
Encargado producción:	Ing. José Andrés Hernández						
		¿Cumple?				¿Cumple?	
pH	9.501	Sí	No	Viscosidad (cSt)	3.483	Sí	No
Número ácido	0.197	Sí	No	Tiempo (s)	352		
Peso muestra	5.0612			Constante viscosímetro (cSt/s)	0.009896		
Cantidad KOH (mL)	3			Prueba 3/27	-	Sí	No
Normalidad KOH (N)	5.936E-03			Observaciones Prueba 3/27	Reacción completa, disolución completa		
Densidad (g/cm ³)	0.8827	Sí	No	Agua y sedimentos (mL)	0.01	Sí	No
W _{picnómetro} (g)	44.2479			Resultados de la Prueba	0.01 ml de capa de glicerina		
W _{pic. + Agua} (g)	68.3506						
M _{Agua} (g)	24.1027						
W _{picnómetro} (g)	44.251						
W _{pic. + BIO} (g)	65.527						
M _{Bio} (g)	21.276						
V _{Agua} (cm ³)	24.1027						
ρ _{Agua} (g/cm ³)	1						
Observaciones (si aplica)							
Elaborado por	Ana Silvia López						
Revisado por	Luis Angel Pinzón						
Aprobado por	Danilo Mirón						
						Revisión	0
						Hoja	1 de 1

D. Pruebas, análisis y resultados obtenidos

En primera instancia se debe aclarar que este trabajo de graduación incluye únicamente análisis realizados sobre un vehículo experimental utilizando B40, ya que no se tuvo acceso a un vehículo experimental utilizando E10. Así pues, el marco práctico fue realizado únicamente para biodiesel, mezcla B40.

Pero las mismas pruebas realizadas sobre el experimental B40 pueden ser realizadas sobre un vehículo experimental E10, al momento de tener acceso a un experimental de este tipo, lo cual resulta en una recomendación a futuro para otro trabajo investigativo.

En cuanto a la prueba, primero es necesario definir el procedimiento correcto para tomar muestras de aceite de un motor de combustión interna, este es muy básico pero si la muestra no es tomada de esta manera el aceite se puede contaminar fácilmente y así los resultados obtenidos no son confiables:

1. Se debe tomar la muestra de aceite 5-10 minutos después de apagado el motor, luego de un tiempo prudencial de trabajo del mismo. Idealmente el aceite se debería tomar justo al momento de apagar el motor, pero el tiempo indicado es para que la temperatura disminuya al menos un poco para que la persona que tome la muestra no sufra riesgo de quemadura al topar con alguna pieza del motor, y también para evitar que la manguera que se utiliza para extraer la muestra no se derrita por la alta temperatura del motor. Es necesario que el aceite esté caliente para que se tome una muestra de aceite con sus moléculas en movimiento, ya que si se tomase el aceite con el motor frío todas las moléculas estarían en reposo y los metales y otros contaminantes se encuentran en el fondo del carter por lo que el análisis no sería confiable.

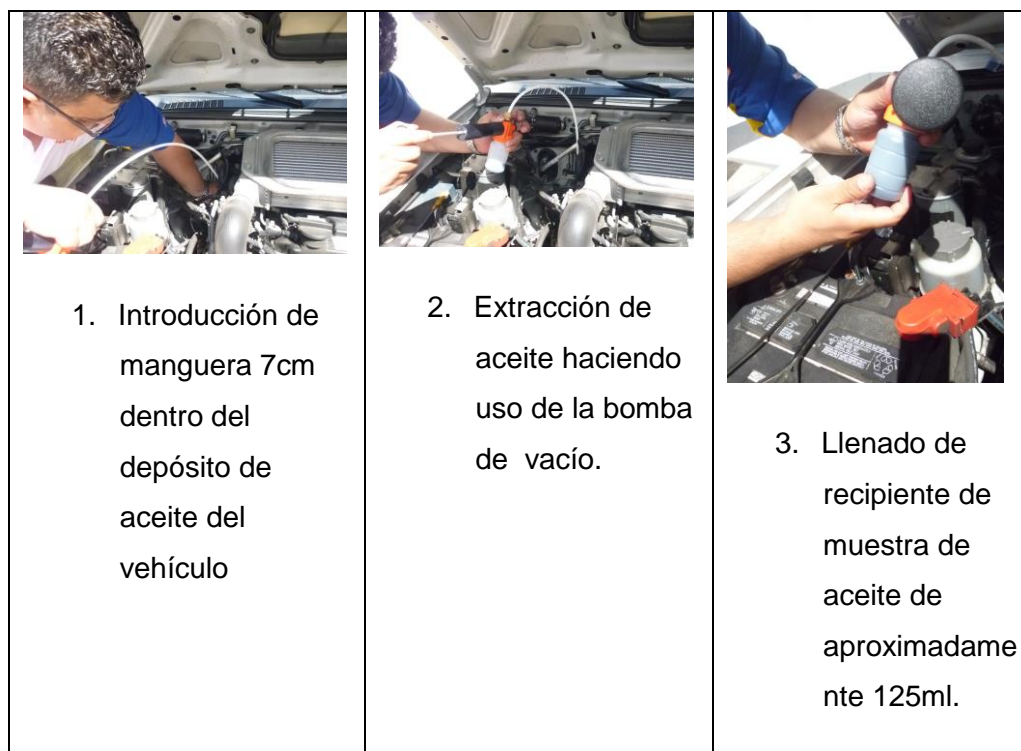
2. En un motor de vehículo únicamente hay un punto en donde se puede retirar el aceite del motor, pero cabe aclarar que en motores en donde existan varios puntos para retirar aceite, se debe escoger solo uno de estos y todas las muestras de aceite que se tomen deben ser tomadas del mismo punto.

3. Se debe utilizar una manguera de plástico rígido nueva lo suficientemente larga según sea necesario, una bomba de vacío, y a la manguera se le debe realizar un corte de 45° en el extremo que ingresara al depósito de aceite. La manguera se debe introducir aproximadamente 7cm dentro del depósito de aceite para retirar la muestra. El recipiente en donde se almacena la muestra debe ser adecuado, completamente limpio y nuevo. Luego de realizado el análisis, la

manguera que se utilizo debe ser desechada. Para cada análisis se debe utilizar una manguera nueva y un recipiente de almacenaje nuevo. La razón por la cual la manguera debe ser de plástico rígido, es para que esta no pierda su forma al momento que la bomba de vacío provoque el vacío para extraer aceite. El corte en 45° mencionado se hace para que si en dado caso, al ingresar la manguera al depósito de aceite se topa con el fondo, los 45° evitan que la manguera que taponee con los lodos que se puedan encontrar en el depósito.

A continuación, de muestras unas imágenes con el procedimiento adecuado de extracción de aceite de motor:

Imagen 5: Proceso de extracción de aceite de motor CI de vehículo.



E. Discusión de resultados y dictamen final

El vehículo experimental sobre el cual se realizó la prueba de aceite utiliza un lubricante Shell R3 15W40 (en anexos de encuentra la ficha técnica de dicho aceite lubricante) el cual es utilizado normalmente en ese tipo de vehículo cuando estos utilizan diesel. La razón de esto es que se pretende demostrar que una mezcla de biodiesel, en este caso B40, puede ser utilizada en un vehículo bajo las mismas condiciones que si este utilizara diesel a base de petróleo fósil. De igual forma, como valor agregado al trabajo, también se realizaron pruebas a: diesel fósil, biodiesel puro y mezcla B40, para determinar el nivel de azufre de estos, pero aún más

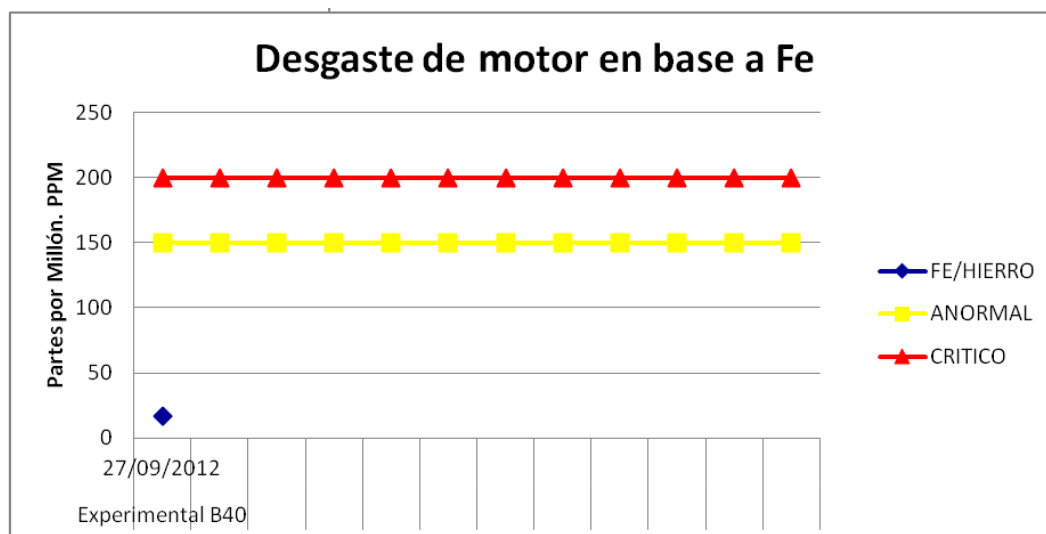
importante, determinar el nivel de azufre de la mezcla, ya que en base a esto se podrá determinar si el aceite que se está utilizando en el vehículo es el más adecuado.

Como bien se mencionó, esto es para agregarle valor al trabajo, porque los resultados de los análisis realizados por Unopetrol, demuestran que para el aceite que se está utilizando (que es el que normalmente se utiliza en este tipo de vehículos diesel), los niveles de desgaste, contaminación y estado de lubricante son normales para la mezcla B40.

Como parte del análisis realizado Unopetrol indica que la unidad experimental y lubricante se encuentra en buenas condiciones de operación y se recomienda tomar otra muestra dentro de 3,000km, por ello se deja indicado realizar el siguiente análisis cuando el vehículo experimental tenga un kilometraje de 42,360km.

Para poder establecer una tendencia y determinar hasta qué porcentaje de mezcla de biodiesel el análisis de aceite determina la normalidad en la funcionalidad del vehículo se dejan para su futuro uso las siguientes gráficas realizadas con el apoyo de Unopetrol debido a que ellos brindaron los niveles anormal y crítico para la Gráfica 9 y los niveles máximo y mínimo para la Gráfica 10. Ambas gráficas indican la primera muestra tomada bajo la ejecución de este trabajo de graduación, y sobre estas se pueden plotear los análisis realizados en el futuro ya que en ambas se indican los niveles aceptables.

Gráfica 9: Desgaste de motor según presencia de Fe en aceite de motor



- Límites Proactivos: Estos son límites establecidos por comparación con los mejores resultados, buscando alcanzar y mantenerse dentro de los mejores valores posibles (son los valores menos permisivos de los 3 mencionados).

Luego de explicado lo anterior, a continuación se observa la Tabla 8, la cual indica los límites condenatorios de Caterpillar, Cummins y Detroit. Esta tabla no considera kilómetros ni horas de uso, sino que simplemente indica que al llegar a ese nivel de contaminación o desgaste, es necesario cambiar el aceite. Los valores presentados en esta tabla son extremadamente altos y no deben usarse como referencia para un mantenimiento proactivo, ya que los valores aceptables y proactivos son mucho menores como se podrá ver en las tablas de límites comúnmente aceptados y de límites proactivos.

Tabla 8: Límites condenatorios de fabricantes para la interpretación del análisis de aceite

Elemento	Caterpillar	Cummins	Detroit
Hierro	100 ppm	84 ppm	150 ppm
Cromo	15 ppm	15 ppm	NE
Plomo	100 ppm	100 ppm	NE
Cobre	45 ppm	20 ppm	90 ppm
Estaño	20 ppm	20 ppm	NE
Aluminio	15 ppm	15 ppm	NE
Silicio	10 ppm	15 ppm	NE
Sodio	40 ppm	20 ppm	50 ppm
Boro	20 ppm	25 ppm	20 ppm
Viscosidad	+20% a - 10%	±1 grado SAE o 4cSt del nuevo a 100 Celsius	+40% a -15%
Combustible	5% MAX.	5% MAX.	2.5 MAX.
Agua	0.25% MAX.	0.20% MAX.	0.30% MAX.
Glicol	0.1% MAX.	0.1% MAX.	0.1% MAX.

*NE significa NO ESPECIFICADO

*Fuente: *Widman International S.R.L.*

En la Tabla 9 presentada a continuación, se pueden ver los límites que son normalmente aceptados en la industria para motores diesel, independientes de la marca. Estos mantenimientos también son muy altos para ser considerados como parte de un plan de mantenimiento proactivo al igual que los límites condenatorios

presentados con anterioridad. La siguiente tabla no considera los kilómetros recorridos o las horas de uso y no considera tampoco el tamaño del motor, por lo que se aplica para cualquier tamaño de motor analizado.

Tabla 9: Límites comúnmente aceptados en la industria para la interpretación del análisis de aceite

Elemento	Normal	Anormal	Critico
Hierro	< 100 ppm	100 a 200 ppm	> 200 ppm
Cromo	< 10 ppm	10 a 25 ppm	> 25 ppm
Plomo	< 30 ppm	30 a 75 ppm	> 75 ppm
Cobre	< 30 ppm	30 a 75 ppm	> 75 ppm
Estaño	< 20 ppm	20 a 30 ppm	> 30 ppm
Aluminio	< 20 ppm	20 a 30 ppm	> 30 ppm
Silicio	< 20 ppm		> 50 ppm
Sodio	< 50 ppm	50 a 200 ppm	> 200 ppm
Níquel	< 10 ppm	10 a 20 ppm	> 20 ppm
Combustible	< 2%	2 a 6%	> 6%
Hollín (Soot)	< 2%	2 a 6%	> 6%

*Fuente: *Widman International S.R.L.*

Finalmente, se presentan en la Tabla 10 los límites proactivos para la interpretación del análisis de aceite. Cabe resaltar que esta no es una tabla con valores ideales o específicos para un mantenimiento proactivo, sino que representa una base de lo que debe ser alcanzado, ya que para ser proactiva en debe ser adaptada a los motores sobre los cuales se aplique específicamente ya que cada uno tiene características diferentes. Como se podrá observar esta tabla tiene los valores menos permisivos de las tres tablas, pero si son valores que pueden ser alcanzados.

Tabla 10: Límites proactivos para la interpretación del análisis de aceite

Elemento	Normal	Comentario
Hierro	5 a 50 ppm	Niveles superiores a 15 ppm indican mayor desgaste que lo permisivo.
Cromo	1 a 8 ppm	Alto desgaste de Cromo frecuentemente es resultado de alto hollín o tierra en los anillos y el árbol de levas.
Plomo	2 a 10 ppm	Más de 10 ppm indica un motor parado mucho tiempo, contaminación, aceite muy delgado o aceite muy viscoso.
Cobre	2 a 5 ppm	Motores con enfriadores de aceite pueden tener niveles superiores al indicado sin preocupación.
Estaño	1 a 2 ppm	Operación del motor a bajas revoluciones con alta carga causa de la degradación de los cojinetes.
Aluminio	2 a 15 ppm	Normalmente será 30% del valor del Silicio. Si el valor excede el porcentaje indicado existe algún problema.
Silicio	5 a 10 ppm	Motores nuevos o rectificados pueden tener niveles superiores una o dos veces. Después de ello existe un problema.
Sodio	0 a 10 ppm	Alto Sodio indica una entrada de agua del radiador, a no ser que se opere cerca del mar. El Sodio es muy corrosivo.
Níquel	1 a 2 ppm	Alto desgaste de Níquel normalmente indica alta contaminación por hollín y tierra.
Combustible	0 a 2%	La presencia de Combustible diluye el aceite y desgasta los cojinetes.
Hollín (Soot)	0 a 2%	Niveles superiores al indicado no son rentables por el alto consumo de combustible y poco aprovechamiento para la conversión del mismo a potencia.

*Fuente: *Widman International S.R.L.*

Una manera práctica para controlar el desgaste del motor en base a los resultados obtenidos del análisis de aceite es haciendo uso de la tasa de desgaste por elemento, la cual se define de la siguiente forma:

$$\text{Tasa de Desgaste} = (\text{Concentración Medida [ppm]} / \text{km ó horas de operación}) \times 100 \\ = (\text{Desgaste [ppm]} / (100 \text{ km ó horas de operación}))$$

Así pues, según los resultados del análisis realizado, la tasa de desgaste por elemento por cada 100km de recorrido se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11: Tasa de desgaste del motor experimental B40 cada 100km de recorrido

Fecha muestra	27/09/2012	27/09/2012	27/09/2012	27/09/2012	27/09/2012	27/09/2012	27/09/2012	27/09/2012
Muestra	1_B40	1_B40	1_B40	1_B40	1_B40	1_B40	1_B40	1_B40
km/Hrs Aceite	4110	4110	4110	4110	4110	4110	4110	4110
Elemento	Fe	Cr	Pb	Cu	Sn	Al	Si	Na
Lectura ppm	17	0	0	3	0	0	0	0
Tasa de desgaste [ppm/100km]	0.41	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00

*La fecha, muestra y km/Hrs. Aceite es la misma para todos los elementos ya que todo se obtiene en el mismo análisis de aceite.

*1_B40 significa que es el primer análisis de aceite del motor del vehículo experimental utilizando combustible B40.

Y así con base en la tabla anterior se puede concluir que el motor experimental B40 está teniendo un desgaste para el hierro de 0.41ppm/100km de recorrido, para el cobre de 0.07ppm/100km de recorrido, y en cuanto a los demás elementos de desgaste de motor que indica el análisis de aceite (Cr, Pb, Sn, Al, Si y Na) la tasa es 0ppm/100km de recorrido. Al igual que los análisis de aceite se deben seguir realizando para obtener información más allá de este trabajo de graduación, también se deben calcular las tasas de desgaste con la fórmula indicada anteriormente para cada elemento como se muestra en la Tabla 11.

Como bien fue mencionado anteriormente, también se realizó un análisis al combustible para determinar su nivel de azufre y así poder indicar cuál es el aceite de motor más adecuado para el vehículo experimental. El análisis de azufre de los combustibles se realizó al igual que el análisis de aceite con el apoyo de Unopetrol de Guatemala. Los resultados a continuación.

Tabla 12: Nivel de azufre en biodiesel, diesel y mezcla B40

Combustible	Azufre [ppm]
Biodiesel	19
Diesel	270
Mezcla B40	129.8

***El biodiesel y mezcla B40 fueron fabricados por el Depto. De Ingeniería Química de la UVG**

Actualmente, el vehículo está utilizando un aceite Shell R3, el cual cumple con las especificaciones y aprobaciones API CI-4. Se considera adecuado según el nivel de azufre de la mezcla. Pero se aconseja utilizar un aceite API CJ-4, el cuál supera los criterios de desempeño del API CI-4 y dado que los CJ-4 están compuestos para ser usados en aplicaciones con combustibles con rango de contenido de azufre hasta 500ppm (0.05% en peso), rango para el cual la mezcla B40 también aplica.

En la sección de “Metodología de validación de la mezcla al 40% de biodiesel en un motor encendido por compresión” del capítulo “VALIDACIÓN DEL USO DE BIOCOMBUSTIBLE (E10 Y B40)” de este trabajo se mencionaron algunas precauciones que es necesario tomar cuando se utiliza una mezcla de biodiesel como combustible, pero es de vital importancia mencionar que estas precauciones se indican para evitar cualquier tipo de inconveniente, más no hay un riesgo inminente de fallo. Esto se puede decir ya que luego del análisis de aceite realizado y de casi 40,000 km de recorrido del vehículo funcionando con distintas mezclas de biodiesel (a Octubre 2012 un B40) el vehículo no ha mostrado ningún tipo de falla, no ha sido necesario hacerle cambio de piezas, no se ha encontrado ningún tipo de corrosión anormal, hinchamiento en mangueras, depósitos en bomba de inyección, entre otros. En cuanto a las mangueras que se utilizan en el vehículo siguen siendo de caucho natural ya que no se ha tenido la necesidad de hacer un cambio por caucho sintético.

Si bien los resultados hasta el momento han sido satisfactorios, conforme el porcentaje de mezcla de biodiesel se vaya aumentando a 45%, 50%, 55% y así

consecutivamente, puede ser necesario tomar las medidas indicadas en la sección correspondiente en este trabajo. Esto queda fuera del alcance de este trabajo, y con los resultados obtenidos se puede indicar que para la mezcla B40 no ha sido necesaria ninguna modificación a un vehículo diesel convencional y el funcionamiento del mismo se encuentra dentro de los parámetros normales y aceptables desde el punto de vista mecánico.

XI. PROPUESTA DE USO DE BIOCOMBUSTIBLES PARA EL PARQUE VEHICULAR DE GUATEMALA

Con base en el respaldo teórico tanto del uso de biodiesel y etanol como mezclas de combustibles, análisis realizados sobre un vehículo experimental de biodiesel y la información recopilada de la experiencia de países como Brasil y Estados Unidos en el uso de biocombustibles.

Se proponen para su uso y comercialización en Guatemala las mezclas E10 y B40. A manera de profundizar es aconsejable hacer estudios de E10 sobre motocicletas y sobre vehículos de modelos antiguos, ya que estos dos rubros mencionados tienen un alto impacto en el parque vehicular guatemalteco.

Este trabajo únicamente cuenta con un análisis del uso de biodiesel, más el respaldo por experiencia para el E10 es Brasil, ya que estos tienen legalizada la distribución de mezclas de biocombustibles, y todos sus vehículos utilizan mezclas de biocombustibles. De igual forma Brasil es el mejor ejemplo aplicable a Guatemala ya que el potencial de producción de etanol de Guatemala es la caña, siendo esta la principal materia prima de producción de etanol de Brasil.

Con respecto al biodiesel es aconsejable avocarse al departamento de ingeniería química de la Universidad del Valle de Guatemala, ya que ellos producen el biodiesel y la mezcla B40 utilizada en el vehículo experimental, y los resultados de los análisis mecánicos realizados al vehículo han mostrado que la calidad de la mezcla utilizada ha permitido la operación satisfactoria del vehículo a la fecha (Octubre 2012), aunque es recomendable esperar a que el estudio sobre este vehículo experimental sea finalizado para poder concluir de forma certera la operación satisfactoria del vehículo experimental durante todo el estudio.

XII. CONCLUSIONES

1. Guatemala cuenta con un parque vehicular antiguo, siendo el rango de modelos con mayor cantidad de vehículos el rango de 1,999 o menor, con un 50% del total de vehículos del país. El rango de modelos de 2007 a la fecha, en donde ya se pueden encontrar diversos vehículos Flex Fuel representa el 27% del parque vehicular guatemalteco.
2. Las motocicletas con el tipo de vehículo con mayor presencia en Guatemala, excediendo las 700,000 unidades. Dato importante para la incursión del E10 ya que las motocicletas utilizan gasolina como combustible. Seguido de las motocicletas se encuentran los automóviles (sedanes en su mayoría) con poco menos de 600,000 unidades, en donde tanto el E10 y el B40 pueden ser utilizados según sea el combustible de cada automóvil.
3. El combustible con mayor consumo en el parque vehicular de Guatemala es la gasolina con un 85% de participación dentro del parque, seguido del diesel con un 13% de participación. Esto indica de forma directa cuál es el mercado potencial tanto para E10 y B40 dentro del país.
4. Los más grandes fabricantes de vehículos a nivel mundial autorizan el uso de E10 sobre vehículos de gasolina comunes de sus respectivas marcas sin riesgo de pérdida de garantía de los vehículos. Dichos fabricantes indican que la mezcla es aceptable siempre y cuando la mezcla cumpla con los requisitos de octanaje de combustible que ellos indican, y algunos de ellos autorizan la mezcla E10 (10% de etanol en la mezcla) más no autorizan porcentajes mayores al 10% etanol a menos que los vehículos sean Flex Fuel.
5. Fabricantes de vehículos tales como General Motors, Ford Motors Company, Mercedes Benz, Nissan, Mazda, Toyota y Volkswagen ya cuentan con modelos de vehículos Flex Fuel en el mercado, los cuales pueden utilizar mezclas con porcentajes de etanol hasta del 85% (E85).

6. Algunos de los fabricantes de vehículos que autorizan la mezcla E10 para ser utilizada en sus vehículos y que al mismo tiempo sus marcas tienen fuerte presencia en Guatemala son por mencionar algunos: Honda, Hyundai, Isuzu, Kia, Land Rover, Mazda, Mercedes Benz, Mitsubishi, Nissan, Toyota, Volkswagen y Volvo. Por otro lado se encuentra Ford Motors y General Motors cuyos vehículos Flex Fuel ya se pueden encontrar en Guatemala.
7. Según el análisis realizado sobre el vehículo experimental B40 y según la experiencia de países como Brasil y Estados Unidos en el uso de E10, se pudo constatar que ambas mezclas no afectan la integridad de los vehículos, y ambas pueden ser utilizadas sin ninguna modificación necesaria sobre un vehículo común diesel y gasolina respectivamente. De igual forma, se dejaron planteados dentro del trabajo las precauciones que pueden ser tomadas en un mantenimiento preventivo al ser utilizadas estas mezclas.
8. No se encontraron normativas de parte de los fabricantes de vehículos sobre el uso de mezclas de biodiesel, pero si hay prueba que ya se utilizan mezclas de biodiesel en muchas partes del mundo, siendo la producción y consumo de biodiesel para el año 2009 de 16,439 litros. Y de igual manera, el vehículo experimental B40 analizado se encuentra en perfecto estado sin requerir ninguna modificación ni reparación especial a la fecha (Octubre 2012), lo cual permite afirmar que el uso de mezclas de biodiesel con un porcentaje de este biocombustible de hasta el 40% no es dañino para los vehículos y trae consigo un gran beneficio medioambiental en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
9. El etanol ha sido producido y consumido en países tales como Estados Unidos, Brasil, China, Canadá, India, Colombia, países de la Unión Europea, y otros, lográndose para el año 2009 una producción de 73,751 millones de litros de etanol, y por el consumo de mezclas de con etanol una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de 87.568 millones de toneladas. Siendo lo mencionado anteriormente una prueba de la aceptación que tienen las mezclas como el E10 propuesto en este trabajo en otras partes del mundo sin repercutir en daños a los vehículos que la utilizan y con un alto beneficio

medioambiental. Los programas más grandes y desarrollados de biodiesel son el Proalcohol en Brasil y el Gasohol en Estados Unidos.

10. El biodiesel ha sido producido y consumido en países tales como Estados Unidos, Brasil, Argentina, China, Tailandia, Colombia, Corea del Sur, Canadá, diversos países de centro, sur y norte América aparte de los ya mencionados, Taiwán, diversos países de Asia aparte de los ya mencionados, diversos países de Oceanía, y otros, lográndose para el año 2009 una producción de 16,439 millones de litros de biodiesel, y por el consumo de mezclas de biodiesel una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de 35.869 millones de toneladas. Siendo lo mencionado anteriormente una prueba de la aceptación que tienen las mezclas como el B40 propuesto en este trabajo de graduación alrededor del mundo sin causar daños a los vehículos que lo utilizan y con un alto beneficio medioambiental.
11. El uso de combustibles fósiles en los medios de transporte representa aproximadamente más del 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero en la gran mayoría de países. Una de las opciones que existe para reducir esta contaminación es la introducción de mezclas de combustibles con biocombustibles tales como el E10 y B40 las cuales permiten la reducción de emisiones sin requerir modificaciones al motor del vehículo que las utiliza. Prueba del beneficio ambiental es la reducción de emisiones para el año 2009 mostradas en este trabajo, las cuales indican que el uso de etanol redujo 87.568 millones de toneladas de emisiones y el biodiesel por su parte redujo 35.869 toneladas de emisiones. De igual forma, se ha demostrado que utilizando etanol producido a base de caña de azúcar se evitan emisiones equivalentes a 1.7kg CO₂ / litro de etanol producido y utilizado.

XIII. RECOMENDACIONES

1. Si bien es cierto, Guatemala cuenta hasta el año 2012 con una capacidad instalada de producción de etanol de 250 millones de litros anuales, es recomendable tener al menos un cultivo más que permita producir etanol ya que la caña de azúcar utiliza el suelo los doce meses del año.
2. Se recomienda realizar pruebas de E10 sobre las marcas y modelos más comunes de motocicleta en el parque vehicular del país.
3. Se recomienda que se haga una propuesta a los importadores y distribuidores de vehículos del país, sobre la importación y venta de vehículos Flex Fuel en el país. Cada uno de estos puede tomar como referencia los modelos Flex Fuel disponibles para el año 2012 mostrados en este trabajo.
4. Se recomienda continuar con los análisis de aceite de motor sobre el vehículo experimental, para así determinar cuál es la tendencia de desgaste, contaminación y estado de lubricante, conforme el porcentaje de biodiesel se aumente.
5. Se recomienda apoyar al Departamento de Ingeniería Química de la UVG con el equipo necesario para poder aplicar el control de calidad a cabalidad sobre el biodiesel producido según la norma ASTM-D6751-06. Si bien, no fuera posible brindar el equipo completo, al menos debería brindárseles el equipo para realizar las pruebas sobre las cuales ya poseen los procedimientos, los cuales serían: Flash Point ASTM-D93, Copper Strip Corrosion ASTM-D130, Carbon Residue ASTM-D4530, Phosphorus Content ASTM-D4951 y Distillation ASTM-D1160.
6. Para desarrollar adecuadamente el mercado del bioetanol y potencializar sus ventajas, se recomienda que el Estado asuma responsabilidades tales como definir especificaciones del bioetanol y concentraciones mínimas obligatorias de mezcla en la gasolina, así como establecer un marco tributario equilibrado en el mercado de los combustibles.

XIV. BIBLIOGRAFÍA

1. (S&T)² Consultants Inc. 2009. *GHG Emission Reductions From World Biofuel Production and Use*. Canada. Obtenido de <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/ethanol.pdf> el 07 de octubre, 2012.
2. Asociación de Importadores y Distribuidores de Vehículos Automotores. *Integrantes*. Guatemala. Obtenido de http://www.aidva.org/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=28 el 26 de agosto, 2012.
3. Biocombustibles de Guatemala, S.A. 2012. *Biodiesel en Guatemala*. Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica. Obtenido de http://ceur.usac.edu.gt/Biocombustibles/69_BIODISEL_EN_GUATEMALA_Ricardo_Asturias.pdf el 29 de julio 2012.
4. BiodiSol. *Los Biocombustibles*. 2012. Obtenido de <http://www.biodisol.com/que-son-los-biocombustibles-historia-produccion-noticias-y-articulos-biodiesel-energias-renovables/> el 29 de julio 2012.
5. Camps, M. y Marcos, F. 2008. *Los Biocombustibles*. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 384pp.
6. E85 Vehículos. 2012. *E85 Vehículos con Combustible Flex para 2012*. Obtenido de <http://e85vehiculos.com/> el 07 de octubre, 2012.
7. Energy API. American Petroleum Institute. 2010. *Guía para Aceite de Motores*. Obtenido de http://www.api.org/certification-programs/engine-oil-diesel-exhaust-fluid/~media/files/certification/engine-oil-diesel/publications/engine-oil-guide_spanish-2010.ashx el 14 de octubre, 2012.

8. Food and Agriculture Organization of The United Nations, 2012. Comisión Económica para América Latina, Centro de Gestión y Estudios Estratégicos de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil y Banco Nacional del Desarrollo de Brasil. *Bioetanol*. Bioetanol de Caña de Azúcar. Energía para el Desarrollo Sostenible. Obtenido de <http://www.bioetanoldecana.org/> el 07 de octubre, 2012.
9. Gilardi, J. 1985. *Motores de Combustión Interna*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. Editorial IICA. San José, Costa Rica.
10. Herman & Associates. 2003. *Automobile Manufacturer Fuel Recommendations*. Vehicle Owner's Manual Statements.
11. Herman & Associates. 2006. *Automobile Manufacturer Fuel Recommendations Model Year 2006*. Renewable Fuels Association. Vehicle Owners Manual Statements.
12. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2007. *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas*. San José, Costa Rica. 181pp.
13. Larosa, R. 2012. *Proceso para la producción de Biodiesel*. Refinación de glicerina. Obtenido de <http://www.biodiesel-uruguay.com/articulos/Biod-rev2.pdf> el 07 de octubre, 2012.
14. Ministerio de Energía y Minas. 2007. *Biocombustibles en Guatemala*. República de Guatemala. Obtenido de <http://www.olade.org/biocombustibles2008/Documents/ponencias/d%C3%ADa3/Sesion11-Dia3/JorgeGarc%C3%ADa.pdf> el 29 de julio 2012.
15. Nelson, K. ASTM International. 2009. Standards Worldwide. Standardization News. *ASTM establece las normas para el biodiesel*. Obtenido de http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJF09/nelson_spjf09.html el 26 de agosto, 2012.

16. Pantaleon. Productos y Exportaciones. 2012. *Alcohol*. Obtenido de <http://www.pantaleon.com/alcohol> el 16 de septiembre, 2012.
17. Pokus, A. y Pennington, R. 2011. Ministerio de Energía y Minas. *Nómina de productos petroleros con sus respectivas denominaciones, características y especificaciones de calidad*. Guatemala.
18. Pulkrabek, W. 2011. *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. 2nd Edition. University of Wisconsin-Platteville. PHI Learning Private Limited. New Delhi. 478pp.
19. Santamaría, S. 2011. *Ajustes en Propiedades de Gasolinas Básicas para Mezclas con Etanol*. Gasolinas Motor. Presentación Universidad Rafael Landivar, año 2012.
20. SAT. Estadísticas Tributarias. Indicadores Tributarios. Específicos. 2012. *Composición del Parque Vehicular*. Obtenido de <http://portal.sat.gob.gt/sitio/index.php/esat/estadisticas/47-estadisticas-tributarias/336-indicadores-tributarios.html> el 26 de agosto, 2012.
21. Shell. Shell Lubricants. 2012. *Interpretación de Análisis de Aceite*. Unopetrol Guatemala.
22. Volkswagen. Comunidad Volkswagen. 2012. Innovation. Glosario Técnico. *Metiléster Vegetal*. Obtenido de http://www.volkswagen.com.py/vwcms/master_public/virtualmaster/es_py/comunidad_vw/innovacion/glosariotecnico/pflanzen-methyl-ester.index.html el 16 de septiembre, 2012.
23. Widman, R. 2012. *Interpretando el Reporte de Análisis de Aceite*. Widman International SRL. Bolivia. Obtenido de <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/w46.pdf> el 27 de noviembre, 2012.

XV. APÉNDICES

Tabla 13: Propiedades de combustibles

Fuel	Molecular Weight	Heating Value		Stoichiometric		Octane Number		Heat of Vaporization (kJ/kg)	Cetane Number	
		HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)	(AF) _s	(FA) _s	MON	RON			
gasoline	C ₈ H ₁₅	111	47300	43000	14.6	0.068	80-91	92-99	307	
light diesel	C _{12.3} H _{22.2}	170	44800	42500	14.5	0.069			270	40-55
heavy diesel	C _{14.8} H _{24.8}	200	43800	41400	14.5	0.069			230	35-50
isooctane	C ₈ H ₁₈	114	47810	44300	15.1	0.066	100	100	290	
methanol	CH ₃ OH	32	22540	20050	6.5	0.155	92	106	1147	
ethanol	C ₂ H ₅ OH	46	29710	26950	9.0	0.111	89	107	873	
methane	CH ₄	16	55260	49770	17.2	0.058	120	120	509	
propane	C ₃ H ₈	44	50180	46190	15.7	0.064	97	112	426	
nitromethane	CH ₃ NO ₂	61	12000	10920	1.7	0.588			623	
heptane	C ₇ H ₁₆	100	48070	44560	15.2	0.066	0	0	316	
cetane	C ₁₆ H ₃₄	226	47280	43980	15.0	0.066			292	100
heptamethylnonane	C ₁₂ H ₃₄	178			15.9	0.063				15
<i>α</i> -methyl-naphthalene	C ₁₁ H ₁₀	142			13.1	0.076				0
carbon monoxide	CO	28	10100	10100	2.5	0.405				
coal (carbon)	C	12	33800	33800	11.5	0.087				
butene-1	C ₄ H ₈	56	48210	45040	14.8	0.068	80	99	390	
triptane	C ₇ H ₁₆	100	47950	44440	15.2	0.066	101	112	288	
isodecane	C ₁₀ H ₂₂	142	47590	44220	15.1	0.066	92	113		
toluene	C ₇ H ₈	92	42500	40600	13.5	0.074	109	120	412	
hydrogen	H ₂	2	141800	120000	34.5	0.029		90		

Tabla 14: Clasificación de los biocombustibles en función de su origen

ORIGEN DEL BIOCOMBUSTIBLE		ESPECIE O PROCEDENCIA
Cultivos energéticos	Agrícolas	Cardo, sorgo, miscanto, girasol, soja, maíz, trigo, cebada, remolacha, etc.
	Forestales	Chopos, sauces, eucaliptos, robinias, acacias, etc.
Restos de cultivos agrícolas	Cultivos herbáceos	Paja, restos de cereales y otras especies herbáceas.
	Cultivos leñosos	Olivo, vid, frutales de hueso, frutales de pepita y otras especies leñosas.
Restos de tratamientos selvícolas	Podas, claras, clareos, restos de cortas finales	Especies forestales de los montes.
Restos de industrias forestales	Industria de primera transformación de la madera	Especies de madera española o importada utilizadas por estas industrias
	Industrias de segunda transformación de la madera	Especies de madera española o importada utilizadas por estas industrias
Restos de industrias agro-alimentarias		Especies vegetales usadas en la industria de la alimentación
Restos de explotaciones ganaderas		Animales de granja, etc.
Restos de actividades humanas		Todo tipo de biomásas sólidas urbanas.

Tabla 15: Clasificación de los biocombustibles según su aspecto físico

ASPECTO FÍSICO	BIOCOMBUSTIBLE
Sólidos	Leñas y astillas Paja de cereales y biomasa de cardo, miscanthus Biocombustibles sólidos densificados (pelets y briquetas) Carbón vegetal
Líquidos	Líquido piroleñoso Líquido de hidrólisis Bioetanol y bioalcoholes Aditivos oxigenados Aceite vegetal Metiléster
Gases	Biogás de origen muy diverso

Tabla 16: Características físicas, químicas y físico-químicas de los biocombustibles y sus unidades de medida.

Físicas	1. Forma	---
	2. Aspecto	---
	3. Densidades	kg/dm ³
	4. Peso del estéreo	kg/estéreo
	5. Humedades	%
	6. Superficie específica*	cm ² /dm ³
	7. Porcentaje de corteza**	%
	8. Friabilidad	Índices
	9. Resistencia a la compresión	kg/cm ²
	10. Viscosidad***	Poise
	11. Índice de Kuop	Índice Kuop
	12. Temperatura de ebullición	°C
	13. Otros índices físicos exclusivos de combustibles líquidos y gaseosos	Índices
Químicas	1. Composición química elemental	%
	2. Composición química por compuestos	%
	3. Composición química de cenizas	%
	4. Composición química de gases de escape	%
	5. Poderes caloríficos	kJ/kg, kcal/kg
	6. Índice de yodo***	Índice de yodo
	7. Índices de octano y cetano***	Índices
	8. Otros índices químicos exclusivos de combustibles líquidos y gaseosos	Índices
Físico-químicas	1. Coeficiente de conductividad térmica	W/m*s
	2. Combustibilidad: temperaturas y tiempos de combustión	°C, s
	3. Inflamabilidad: temperatura y tiempo de inflamación. Temperatura máxima de llama	°C, s, °C
	4. Potencia calorífica	W/s
	5. Densidad energética y energía de estéreo*	kJ/dm ³ , kJ/est
*Sólo en biocombustibles sólidos		
**Sólo en leñas, podría emplearse en biocombustibles sólidos densificados		
***Sólo en biocombustibles líquidos		

Tabla 17: Resultados obtenidos análisis biodiesel girasol en comparación con especificaciones Unión Europea, 1995.

Propiedades del biodiesel de girasol	Unidades	Método	Muestra Biogirasol OP01	Especificaciones UE
Densidad a 15 °C	g/cm ³	ASTM D-1298/85	0.8851	0.86-0.90
Viscosidad a 40 °C	mm ² /s	ASTM D-445/88	5.4	3.5-5.0
Flash Point	°C	ASTM D 93/90	162.3	>100
Punto de obturación de filtro frío (POOF)	°C	IP 309/83	-5	<0
Azufre	% m/m	ISO 8756	<0.01	<0.01
Residuo carbonoso Conradson (sobre 10% final destilación)	% m/m	ASTM D-189	0.29	<0.3
Número de cetano	Calculado según fórmula	ASTM D-976/91	50	<49
Cenizas	% m/m	ASTM D-48	<0.001	<0.01
Partículas	g/m ³	DIN 51419	9	<20
Agua	mg/kg	ASTM D-95	<500	<500
Corrosión al cobre	---	ASTM D-130/88	1b	<1
Estabilidad a la oxidación	g/m ³	ASTM D-2274	25.4	<25

Tabla 18: Resultados obtenidos análisis biodiesel girasol. BIVA, 1995.

Propiedades del biodiesel girasol		Método	BIVA	UE	Norma Italia	Norma Francia
Acidez total	mg KOH/g	ISO 660	0.35	<0.5	<0.5	<1
Metanol	% m/m	DIN41413.1	<0.02	<0.3	<0.2	<0.1
Monoglicéridos	% m/m	GLC	<0.2	<0.8	<0.8	<0.8
Diglicéridos	% m/m	GLC	<0.1	<0.2		
Triglicéridos	% m/m	GCL	<0.1	<0.2		
Glicerina libre	% m/m	GCL	0.02	<0.03		
Glicerina total	% m/m	HPLC	0.1	<0.25		
Índice de yodo	---	Cálculo	119	<115		
Fósforo	mg/kg	DIN 53241	<2	<10	<10	<3
Agua	mg/kg		<500	<500	<700	<200
Metiléster total	% peso		98		>98	>96.5
Densidad 15 °C	g/l		885.1	860-900	860-900	
Viscosidad	mm ² /s		5.4	3.5-5.0	3.5-5.0	
Azufre	% m/m		<0.01	<0.01	<0.1	
Poder calorífico inferior	J/kg		9500			

Tabla 19: Propiedades del diesel y biodiesel

Principales características	Valores	
Densidad a 15 °C, g/ml	860-900	ISO 36875
Viscosidad 40 °C, cst	3.5-5.5	ISO 3104
Azufre, % peso	0.01 MAX	ISO 8754/DIN EN 41
POFF, °C	Verano 0 MAX. Invierno -15 MAX.	EN 116
Punto de inflamación, °C	100 MIN	ISO 2719
Número de cetano	49 MIN	ISO 5165/DIN 51773
Acidez en mg, KOH/g	0.5 MAX	ISO 660
Destilación	Indicado**	
5% volumen evaporado (°C)		
90% del volumen evaporado (°C)		
Residuo carbonoso conradson (10% de residuo de volumen de destilación a presión reducida)(% en peso)	0.30 MAX	ISO 10370
Contenido de cenizas	0.01 MAX	EN 26245
Contenido de agua (Karl Fischer), mg/kg	500 MAX	ISO 6296
Corrosión por cobre (3h/50 °C)	1 MAX	ISO 2160
Estabilidad de oxidación, g/m3	25 MAX	
Propiedades específicas para el biodiesel		
Acidez en mg, KOH/g	0.5 MAX	ISO 660
Contenido en metanol, % peso	0.3 MAX	DIN 51413, I
Monoglicéridos, % peso	0.8 MAX	GLC***
Diglicéridos, % peso	---	GLC
Triglicéridos, % peso	---	GLC
Límite de glicerina, % peso	0.2 MAX	Cálculo
Glicerina libre, % peso	0.03 MAX	GLC
Total de glicerina, % peso	0.25 MAX	Cálculo
Contenido de fosfatos	115 MAX	DIN 53241/lp 84/81
Índice de yodo, mg/kg	10 MAX	DGF C-VI****
<p>**De acuerdo con EN 590 y considerando el comportamiento en cuanto a la evaporación del biodiesel de aceite vegetal. Los resultados finales de estos valores dependen de los resultados del laboratorio.</p> <p>***Cromatografía de gases.</p> <p>****DGF-Deutsche Gesellschaft für Tettchemie - Finneitsmethoden - Abteilung C - Felte.</p>		

Tabla 20: Principales especificaciones de la mezcla de biodiesel, B100

Parámetro	Especificación	Método ASTM
Viscosidad cinemática @ 37.78°C, mín. - máx.	1.90 - 6.0 mm ² /s ó cSt	D445
Corrosión en la tira de cobre, 3 hrs. @ 50°C, máx.	3	D130
Índice de cetano, mín.	47	D613
Punto de inflamabilidad, mín.	130°C	D93
Contenido de agua y sedimento, máx.	0.05% Vol.	D2709
Contenido de azufre, máx.	0.05% masa	D5453
Cenizas, máx.	0.02% masa	D874
Número de ácido, máx.	0.80mg hidróxido de potasio (KOH)/gm	D664
Glicerina libre, máx.	0.02% masa	D6584
Glicerina total, máx.	0.24% masa	D6584
Contenido de fósforo, máx.	0.001% masa	D4951
Destilación, temperatura al recuperar el 90%, máx.	360°C	D1160

Tabla 21: Alcohol producido por Ingenio Pantaleón, Guatemala.

Producto	Descripción	Grado alcohólico en volumen a 20°C mínimo
Carburante	Alcohol deshidratado, fabricado a partir de melaza de caña	99.9% v/v
Hidratado	Alcohol neutro, fabricado a partir de melaza de caña	96% v/v

Tabla 22: Producción global de etanol. Años 2008 y 2009.

PRODUCCIÓN GLOBAL DE ETANOL			
País o región	2008	2009	Materia prima primaria
	Millones de litros		
EE.UU.	34,968	39,700	Maíz
Brasil	24,200	24,900	Caña de azúcar
Unión Europea	2,803	3,935	Remolacha / granos
China	1,900	2,050	Maíz
Canadá	950	1,100	Maíz
Otro	436	936	Caña de azúcar
Tailandia	322	450	Caña de azúcar
Colombia	258	315	Caña de azúcar
Australia	131	215	Caña de azúcar / granos
India	60	150	Caña de azúcar
TOTAL	66,028	73,751	

Tabla 23: Producción global de biodiesel hasta el año 2009.

PRODUCCIÓN GLOBAL DE BIODIESEL		
Región	Millones de litros	Materia prima
Unión Europea	9,848	Colza (50%), aceite de soya (40%), palma (5%) y sebo (5%)
EE.UU.	1,682	Soya (40%), sebo (20%), canola (20%) y palma (20%)
Brasil	1,386	Soya (80%), sebo (10%) y otros aceites vegetales (10%)
Argentina	1,250	Soya
Tailandia	614	Palma
Malasia	284	Palma
Colombia	205	Palma
China	191	Desechos de aceites vegetales
Corea del Sur	182	Palma (33%), soya (33%) y desechos de aceites vegetales (33%)
Indonesia	170	Palma
Singapur	124	Palma
Filipinas	108	Coco
Canadá	102	Sebo
Otros Sur América	63	Palma
Otros Europa	58	Colza
Australia	57	Sebo
Taiwán	43	Palma (33%), soya (33%) y desechos de aceites vegetales (33%)
Otros Norte y Centro América	38	Palma
India	23	Desechos de aceites vegetales
Otros Oceanía	6	Desechos de aceites vegetales
Otros Asia	5	Desechos de aceites vegetales
TOTAL	16,439	

Tabla 24: Resultados análisis del aceite de motor. Realizado por Unopetrol

Cliente Nombre	Fecha toma muestra	Id Evaluación	Unidad	Componente	División	Marca	Lubricante	Kms/Hrs Equipo	Kms/Hrs Aceite					
UVG	27/09/2012	31	Experimental Diesel	Motor		Nissan	Shell R3 15W40	39360	4110					
DESGASTE														
Fe	Cr	Pb	Cu	Sn	Al	Si	Na	RESULTADO						
17	0	0	3	0	0	0	0	NORMAL						
CONTAMINACIÓN														
B	Na	Si	V	Fuel	Water	Glyc	Soot	Soot	RESULTADO					
7	10	10	0	0	0	0	0.22		NORMAL					
ESTADO DE LUBRICANTE														
Ba	Ca	Mg	P	Zn	Mo	Ti	S	Oxi	Nit	Sul	Viscosidad	Vi	TBN	RESULTADO
0	3072	45	1063	1281	6	0	4619	0.631	2.843	4.731	15		11.52	NORMAL

Tabla 25: Parque vehicular guatemalteco según tipo de vehículos

TIPO DE VEHICULO	dic-06	dic-07	dic-08	dic-09	dic-10	dic-11	12-jul
MOTOCICLETAS	259,541	358,005	447,068	508,999	575,645	656,590	712,394
AUTOMOVILES	384,366	438,687	476,739	505,782	532,032	555,785	569,801
PICK-UP	319,912	369,343	404,830	433,183	459,650	484,090	498,448
CAMIONETAS, CAMIONETILLAS Y PANELES	146,663	171,442	190,860	209,100	227,135	244,918	256,342
CAMIONES, CABEZALES Y TRANSPORTE DE CARGA	83,676	97,465	107,992	114,946	121,995	127,659	131,331
AUTOBUSES, BUSES, MICROBUSES	70,418	80,235	86,124	90,526	94,697	97,748	99,574
JEEP	15,961	17,657	18,662	19,388	20,027	20,417	20,694
GRÚAS	307	398	449	511	553	624	682
TOTAL	1,280,844	1,533,232	1,732,724	1,882,435	2,031,734	2,187,831	2,289,266

Tabla 26: Parque vehicular guatemalteco según modelo

MODELO	dic-06	dic-07	dic-08	dic-09	dic-10	dic-11	jul-12
2013	-	-	-	-	-	-	4,305
2012	-	-	-	-	-	30,557	90,961
2011	-	-	-	-	16,072	77,608	86,270
2010	-	-	-	6,850	53,516	67,120	68,344
2009	-	-	13,968	62,924	81,361	84,046	84,384
2008	-	21,976	97,445	119,286	123,543	124,821	125,314
2007	31,702	122,385	146,463	150,887	152,765	153,583	154,159
2006	111,083	128,219	131,853	134,051	135,654	136,665	136,583
2005	83,293	85,080	86,888	88,696	90,286	91,753	92,607
2004	60,762	62,909	64,975	67,467	70,168	72,255	73,648
2003	45,405	48,433	51,390	55,177	58,890	62,261	64,468
2002	32,034	36,125	40,544	45,022	49,621	53,758	56,235
2001	32,229	37,130	42,040	46,797	51,382	55,328	57,781
2000	34,356	40,775	46,816	52,550	57,552	62,383	65,071
1999	39,803	48,616	54,126	58,501	62,756	66,348	68,456
1998	43,940	52,770	57,904	62,450	66,358	69,356	71,082
1997	37,987	44,186	49,332	53,485	56,823	59,423	60,941
1996	38,734	44,669	49,006	52,266	55,084	57,100	58,194
1995	50,529	58,165	63,918	68,095	71,554	73,900	75,152
1994	50,595	58,705	65,179	70,070	74,231	77,699	79,733
1993	46,417	53,008	57,671	60,909	63,745	65,923	67,168
1992	37,902	43,376	47,048	49,723	51,863	53,500	54,532
1991	34,467	39,756	43,083	45,556	47,490	48,999	49,885
1990	36,444	41,373	44,296	46,144	47,798	48,917	49,535
1989	41,661	46,677	49,585	51,584	53,219	54,484	55,175
1988	46,907	51,417	53,583	55,005	56,202	56,763	57,081
1987	51,072	56,040	58,356	59,815	61,192	61,849	62,156
1986	50,824	56,030	58,736	60,413	62,006	62,848	63,230
1985 o menor	264,126	280,325	285,808	288,746	292,904	292,935	292,201
TOTAL	1,302,272	1,558,145	1,760,013	1,912,469	2,064,035	2,222,182	2,324,651

Tabla 27: Parque vehicular guatemalteco según tipo de combustible

COMBUSTIBLE	dic-06	dic-07	dic-08	dic-09	dic-10	dic-11	jul-12
Gasolina	1,084,094	1,304,565	1,481,346	1,615,251	1,747,732	1,889,340	1,981,879
Diesel	194,535	226,932	250,382	266,932	284,308	299,509	308,832
Otro	23,643	26,648	28,285	30,286	31,995	33,333	33,940
TOTAL	1,302,272	1,558,145	1,760,013	1,912,469	2,064,035	2,222,182	2,324,651

Imagen 6: Dispensador mezcla biodiesel-diesel. Depto. Ingeniería Química UVG.



Tabla 28: Norma ASTM-D6751-06 para control de calidad de biodiesel producido

Property	ASTM	Limits	Units
Flash Point	D93	130 Min	Degrees C
Water and Sediment	D2709	0.050 Mx.	% Volume
Kinematic Viscosity	D445	1.9 - 6.0	mm ² /sec
Sulfated Ash	D874	0.020 Max.	% Mass
Sulfur	D5453		
S15		15 Max.	ppm
S500		500 Max.	ppm
Copper Strip Corrosion	D130	No. 3 Max.	
Cetane	D613	46 Min.	
Cloud Point	D2500	Report	Degrees C
Carbon Residue	D4530	0.050 Max.	% Mass
Acid Number	D664	0.50 Max	mg KOH/mg
Free Glycerin	D6584	0.020 Max.	% Mass
Total Glycerin	D6584	0.240 Max	% Mass
Phosphorus Content	D4951	0.001 Max	% Mass
Distillation	D1160	360 Max.	Degrees C
Sodium/Potassium	UOP391	5 Max Combined	ppm

*Amarillo: Análisis que la UVG puede realizar a la fecha (Octubre 2012)

*Normas con las que cuenta el Depto. de Ingeniería Química UVG

