

Estudio para la elaboración a nivel industrial de biocombustible a partir del acopio de los residuos de aceite doméstico en la ciudad de Milagro

Miguel Ángel Reinoso^a, Juan Carlos San Martín^b, Johnny Masache Alonso^b

^a Docente de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Estatal de Milagro, Ciudadela Universitaria km 1½ vía Milagro – Parroquia Virgen de Fátima, Milagro, Ecuador
miguelreinoso@yahoo.es

^b Papelera Nacional S.A., Parroquia Marcelino Maridueña, Guayas, Ecuador
jsanmartin@panasa.com.ec, johnnymasache@yahoo.com

Resumen. El presente documento parte del reciclaje y procesamiento de desechos de aceite vegetal usado en los hogares, con la finalidad de analizar si es viable la implementación de un proceso de fabricación a nivel industrial de biodiesel en la ciudad de Milagro. Para el estudio, se tomó como punto de partida a los distintos hogares y locales de venta de comida (particularmente asaderos de pollos). En el caso de los hogares se empleó muestreo aleatorio simple y un censo para los locales de comida, seleccionando una muestra de 381 familias y 29 locales; a quienes se les aplicó una encuesta con el propósito de determinar un estimado de la cantidad de aceite doméstico desechado en la ciudad. En base al valor del estimador es posible establecer las dimensiones de la fábrica, proyectar la producción anual y calcular el costo de producción de cada galón de biodiesel. De los resultados obtenidos se concluye que el proyecto es viable, siempre y cuando no se considere el subsidio que da el Gobierno al diesel.

Palabras clave: Biodiesel, Aceite vegetal, dimensionamiento de una fábrica, costos de producción.

Abstract. This document considers the recycling and processing of waste vegetable oil used in homes, in order to analyze the feasibility of manufacturing biodiesel at an industrial level. The study focused on individual households and local food vendors (especially fried chicken). Simple random sampling was used to select 381 households and a census was applied to local food vendors with 29 selected. This selection was surveyed with the primary objective estimating the amount of domestic oil discarded in the Milagro city. Based on the value of the estimator it is possible to identify the size of the factory, the annual production and calculate the cost of producing each gallon of biodiesel. From the results obtained it is concluded that the project is viable as long as the subsidy given by the Government to diesel is not considered.

Keywords: Biodiesel, Vegetable Oil, sizing a factory, production costs

1 Introducción

La realidad económica y social de los países en vías de desarrollo gira en torno a la producción del petróleo, manteniéndose la tendencia al crecimiento de la demanda en los próximos 20 o 30 años. En la actualidad, existe la preocupación por establecer alternativas viables que sustituyan la extracción del petróleo como único medio para el desarrollo económico de los pueblos.

Una de estas alternativas es la generación de “biodiesel”; de entre los múltiples mecanismos planteados por investigadores del área, se ha tomado en particular, el método de transesterificación [1], donde intervienen el etanol, la sosa cáustica y los residuos de aceite vegetal; principalmente porque todos los hogares generan cada día restos de aceite vegetal y una vez que han perdido su utilidad culinaria, se vierten por los desagües domiciliarios terminando en el cauce público. El aceite comestible es difícilmente biodegradable y, si son desechados hacia los efluentes de las ciudades forman una película difícil de eliminar que afecta a su capacidad de intercambio de oxígeno y altera el ecosistema*.

En consecuencia, con la re-utilización del aceite doméstico se reduce la creciente contaminación de los ríos en beneficio del medio ambiente. El estudio va enfocado hacia la implementación de un proceso de fabricación a nivel industrial de biodiesel, determinar los costos de producción de cada galón y analizar si la propuesta es rentable.

2 Metodología de la investigación

Se plantea una exploración en torno a la realidad nuestra localidad, específicamente el área urbana de la ciudad de Milagro, provincia del Guayas.

En primer lugar es necesario determinar la cantidad de aceites residuales que deja la preparación de alimentos, provenientes de los distintos hogares y locales de venta de comida dispuestos en el casco comercial. Para ello, se aplica una encuesta con preguntas de opción múltiple enfocadas a establecer el volumen de grasas saturadas que se consumen y como son eliminadas. Con la información proporcionada es posible estimar la cantidad de aceite desechado.

Al contar con tal estimador, se tiene el punto de partida para dimensionar la planta; determinar capacidades de los tanques de almacenamiento de materia prima, sosa caustica, metanol y de producto terminado; y analizar los costos de producción por cada galón de biodiesel.

Finalmente, para evidenciar el procesamiento del aceite de cocina usado (combustible de origen no fósil) se construye una máquina a escala, obteniendo muestras de biodiesel que son enviadas a un laboratorio certificado para someterlas a pruebas físico-químicas y comparar sus resultados con los estándares de calidad.

Por lo anteriormente expuesto, se establecen las siguientes etapas:

2.1 Determinación de la cantidad de aceite doméstico quemado

Para determinar la cantidad de aceite doméstico residual que deja la preparación de alimentos, se plantean dos grupos objetivo: los distintos hogares del cantón Milagro y locales de venta de comida (principalmente asaderos de pollos y picanterías) dispuestos en el área urbana.

* La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que al menos 25 mil personas mueren cada día en el mundo por causas derivadas del consumo de agua contaminada [2].

De acuerdo a los datos recabados por la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL), Regional Milagro, al año 2011, existen 46.480 familias en el cantón. Debido al gran número de familias y por la disponibilidad de recursos para la logística, se aplica muestreo aleatorio simple. El tamaño de la muestra, cuando la población es finita, está dado por [3]:

$$n = \frac{Npq}{\frac{(N-1)E^2}{z^2} + pq} \quad (1)$$

donde:

n: Tamaño de la muestra.

N: Tamaño de la población.

p: posibilidad de que ocurra un evento.

q: posibilidad de no ocurrencia de un evento.

E: Error, se considera el 5%; E = 0.05

Z: Nivel de confianza, que para el 95%, Z=1.9

Después de haber realizado un muestreo piloto, se tiene que el tamaño de la muestra es 381 familias. Y para el caso de los locales de venta de comida, en la zona urbana de la ciudad, se contabilizaron 29 locales, entre asaderos y picanterías.

El instrumento a aplicarse es de tipo cuestionario, conformado por 12 ítems con opciones múltiples, donde las variables sujeto de estudio son:

- Cantidad de aceite consumido
- Cantidad de aceite desechado
- Maneras como desechan el aceite

Cada una de las variables es estimada en base al cálculo de la media y su variabilidad en función de la desviación estándar de la muestra.

2.2 Dimensionamiento de la planta de reciclaje de Biodiesel y costos de producción

El tamaño de la planta de biocombustible puede entenderse como la capacidad instalada expresada en unidades de producción por año; y está condicionada a la cantidad de materia prima disponible.

Es necesario equipos como agitadores, caldera, tanques de almacenamiento, filtros, equipos de bombeo, entre otros.

2.3 Construcción de un modelo a escala y análisis de muestras

El prototipo está constituido principalmente por un conjunto de 4 reservorios destinados para el almacenamiento y mezcla de componentes necesarios para la fabricación de biocombustible. Son de acero inoxidable tipo 304 para garantizar la composición de los elementos que en ellos se almacenan (acorde a las recomendaciones dadas en el caso de la sosa cáustica y metanol). El dispositivo se encuentra conformado por las siguientes partes:

- Estructura metálica
- Tanque de mezcla
- Tanques de almacenamiento
- Agitador con motor eléctrico de ½ hp
- Mechero de Bunsen
- Tubo inoxidable de ½"
- Válvulas cierre rápido y accesorios inoxidable de ½"

3 Resultados

De los datos recabados se observa que cada familia milagreña compra semanalmente un promedio de 1 litro de aceite vegetal; pero lo re-utiliza al menos una vez en la cocción de sus alimentos, por ende la cantidad de aceite desechado a la semana es menor (330,6 ml).

En las Figuras 1 y 2, se muestra la distribución de aceite desechado por familia y por locales de comida respectivamente.

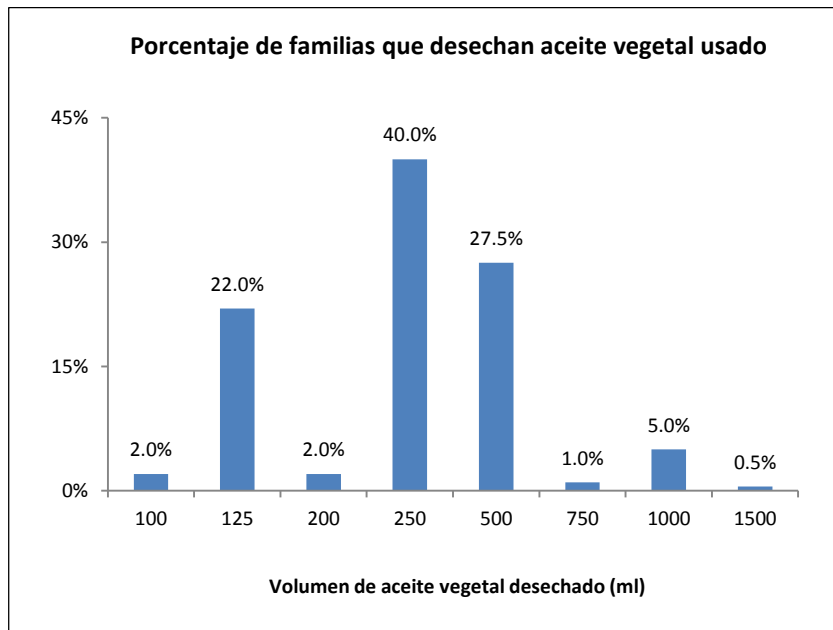


Figura 1. Porcentaje de familias que desechan aceite vegetal usado.

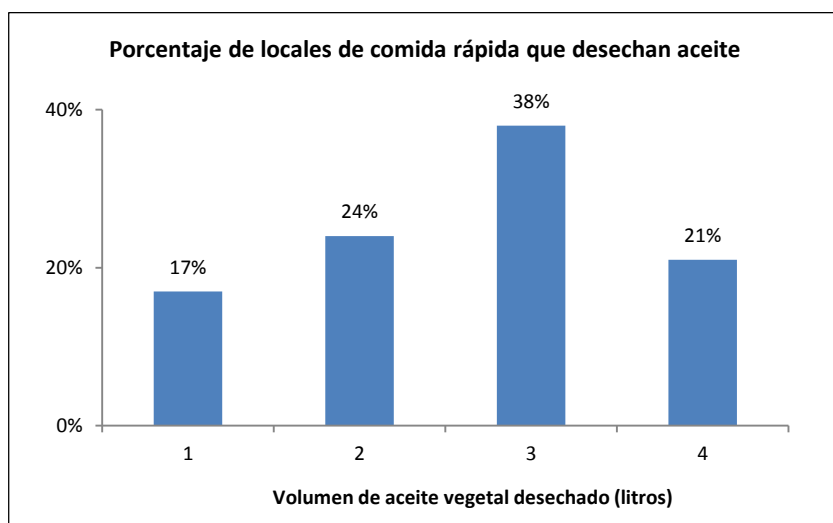


Figura 2. Porcentaje de locales de comida rápida que desechan aceite.

Recordando que existen 46.480 familias en la ciudad de Milagro, y la cantidad promedio de aceite desechada por cada una de ellas es $(330,6 \pm 221,6)$ ml a la semana, el desecho anual es de 352.640 galones hacia nuestros efluentes. Mientras que el desecho producido por los locales de venta de comidas es de 23.105 galones al año.

Sumando los dos aportes, al año se produce un total estimado de 375.745 galones (376.000 gal aproximadamente). Ver Tabla 1.

Si se considera que de este total, el 44.5% contamina directamente nuestros efluentes según las costumbres registradas; se estaría contaminando en promedio 12.178 m^3 de agua a la semana [4]; 48.712 m^3 de agua al mes y 633.256 m^3 al año, valores que alcanzan relevancia al tomar en cuenta la degradación de la flora y fauna.

Tabla 1. Consumo y desecho de aceite vegetal: Familias y Locales.

	Media Aritmética (x)
Desecho semanal Aceite por familia (l/semana)	0,330
Desecho semanal Aceite por local (l/semana)	4,96
Desecho anual Aceite en Milagro, por familia (gal)	352.640
Desecho anual Aceite por locales del casco comercial (gal)	23.105
Total desecho anual de aceite (gal)	375.745

Tomando en cuenta que por cada galón de aceite en conjunto con el metanol y la soda, se obtiene 0,76 galones de biocombustible, se obtendría una producción anual en una planta de este tipo que podría alcanzar los 285.760 galones.

3.1 Planta de Producción de Biodiesel

En las Figura 3 y 4, se muestra el esquema del proceso de producción de biodiesel, mediante el método de transesterificación; y el diseño de la planta, respectivamente.

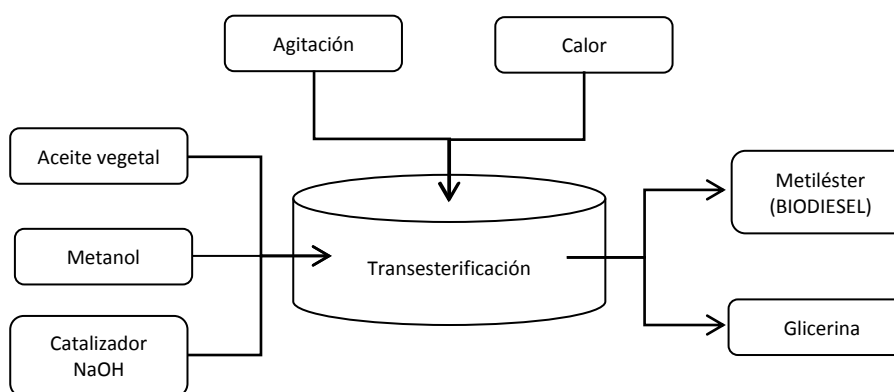


Figura 3. Proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel.

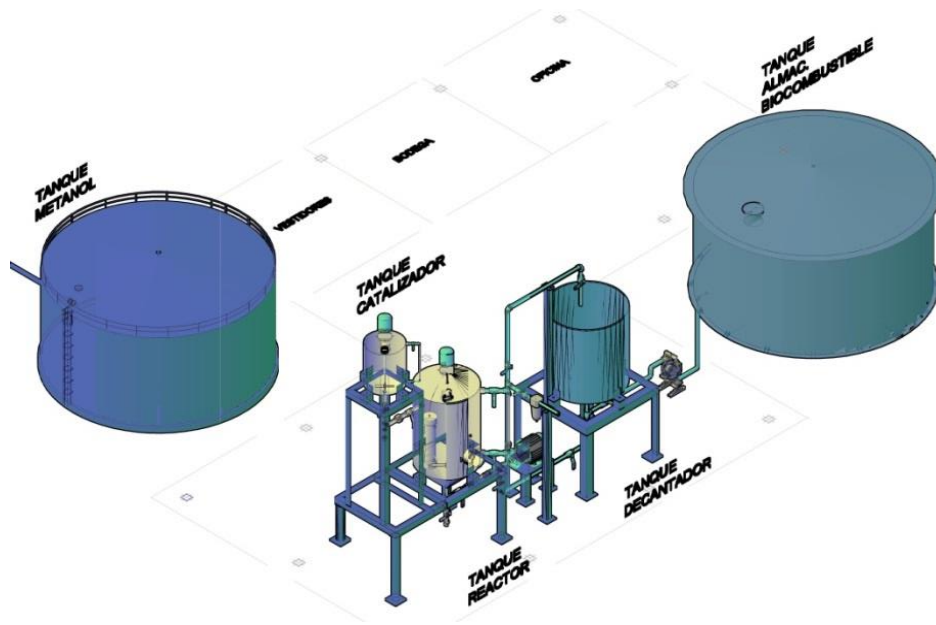


Figura 4. Planta de producción de biodiesel.

Para el diseño de los tanques de almacenamiento, cilindros, agitadores, turbinas, serpentines, tolvas, entre otras, se toma como referencia las Normas ASME [5]. Puede verse en la Tabla 2 algunas especificaciones del diseño de los tanques.

Tabla 2. Dimensiones de los tanques de la planta.

Dimensiones	Tanque materia prima	Tanque de Metanol	Tanque Reactor	Tanque Decantador	Tanque de Biodiesel
Capacidad (m ³)	20	29	5,1	5,1	30
Diámetro (m)	2,5	3	1,5	1,5	3
Altura (m)	3,7	4,2	2,8	2,8	3,8

En los costos de la planta de biodiesel se considera:

- Costo de la construcción e instalación de los equipos y accesorios de la planta. Ver Tabla 3.
- Costo de producción del biodiesel. Ver Tabla 4.

Tabla 3. Costo por construcción e instalación de la planta.

Costo Total de la Planta	
Detalle	Valor (\$)
Requerimientos de Maquinarias y Equipos	221.322,00
Costos de Hormigón Armado	10.930,17
Costos de la Estructura Metálica	11.830,29
Costos Eléctricos	7.648,98
Costos de Hidrosanitarios	1.296,17
	253.027,61
Imprevistos	10%
Sub-total	25.302,76
TOTAL	\$ 278.330,37

Tabla 4. Costo operativo anual de la planta.

INSUMOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
Metanol, gal	75.200	2,92	219.584,00
Hidróxido de sodio, gal	2.475	4,84	11.979,00
Costo Laboral, personas	5	6.500,00	32.500,00
Aportes al seguro social	5	975,00	4.875,00
Energía, kwh	35.000	0,04	1.400,00
Vapor, ton	10.378	10,00	103.780,00
Agua refrigerante			6.200,00
Mantenimiento			6.151,70
Seguros			9.432,59
Total Costos operativos			\$ 395.902,29

Unificando ambos valores y tomando en cuenta interés por un préstamo para la construcción de la planta, e impuestos se obtiene el costo total para la producción de biodiesel, ver Tabla 5.

Tabla 5. Costo de producción de biodiesel.

Descripción	Valor (\$)
Amortización 10 años	27.833,03
Interés sobre capital	47.316,16
Costo Operativo	395.902,29
Impuestos	108.548,82
Logística	115.000,00
Costo Total de Producción	\$ 694.600,30

Finalmente, el costo neto por galón de biodiesel es de \$2,43. En la Tabla 6 aparece el resumen general de costos vs las ganancias por concepto de ventas de biodiesel.

Tabla 6. Resumen general costos vs ventas de biodiesel.

Concepto	Valor
Costo de producción anual	\$694.600,30
Producción anual biodiesel (gal)	286.000
Costo neto/galón de biodiesel	\$ 2,43
Ganancia al 25% de galón biodiesel	\$ 3,04
Ventas anuales de biodiesel	\$ 868.296,00
Renta anual de ventas	\$ 173.695,70
Costo/galón de diesel fósil	\$ 0,90
Margen pérdidas biodiesel vs diesel	\$ 436.914,30
Costo/galón diesel sector/naviero	\$ 4,36

3.2 Análisis Físico Químico del Biodiesel obtenido en el prototipo

El prototipo es una unidad fabricada para producir, a baja escala, biocombustible utilizando aceite de cocina quemado; se encuentra fabricado en acero inoxidable tipo 304, y está conformado por:

- Sistema de alimentación de soda en grano,
- Sistema de alimentación de metanol,
- Sistema de mezcla y decantación, y
- Sistema de descarga de biocombustible.

Para la obtención de biodiesel se prepara, por un lado: 1 litro de aceite vegetal de cocina (si se desea acelerar el proceso, se lo puede calentar hasta los 48°C); y por el otro: una mezcla de 200ml de metanol con 3,5g de hidróxido de sodio (1/4 de cucharada de sosa cáustica), en ella hay que procurar que todos los grumos o escamas desaparezcan, debe ser ligeramente nublosa y se denomina "metóxido sódico".

En el dispositivo, ver Figura 5.a, se vierte el aceite y se le añade el metóxido sódico; la mezcla se agita en el tanque reactor durante 30 minutos, transcurrido este tiempo, el biodiesel aparece en la parte superior y como subproducto se obtiene también cierta cantidad de glicerina.

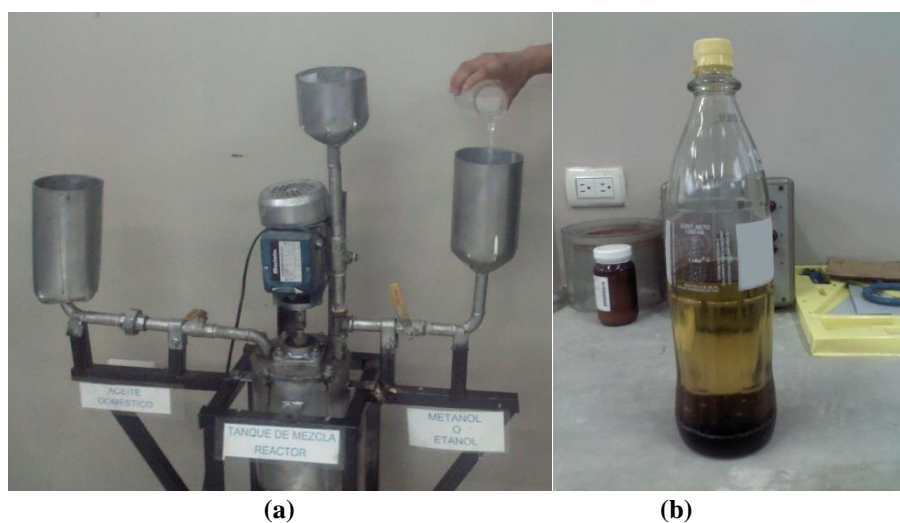


Figura 5. (a) Prototipo para fabricación de biocombustible, (b) Muestra de biodiesel.

Sin importar la materia prima empleada, el biodiesel debe cumplir con normas de calidad; en la Tabla 7 se detallan las Normas ASTM D 6751-03 [6].

Tabla 7. Especificaciones estándar para biodiesel. Norma ASTM D6751-03.

PROPIEDADES	MÉTODO ASTM	LÍMITES	UNIDAD
1. Punto de inflamación	D 93	130,0 min.	°C
2. Agua y sedimentos	D 1796	0.050 máx.	% volumen
3. Viscosidad Cinemática, 40°C	D 445	1.9 – 6.0	mm ² /s
4. Ceniza Sulfatadas	D 874	0.020 máx.	% masa
6. Sulfuro Total (S15)	D 5453	15 máx.	ppm
7. Corrosión del cobre	D 130	# 3 máx.	-
8. Número de Cetano	D 613	47 min.	-
9. Punto de Humo	D 2500	Reportado	°C
10. Residuo de Carbón	D 189	0.050 máx.	% masa
11. Número de Acidez	D 664	0.80 máx.	mg KOH/g
12. Glicerina Libre	D 6584	0.020 máx.	% masa
13. Total de Glicerina	D 6584	0.240 máx.	% masa
14. Fósforo	D 4951	0.001 máx.	% masa
15. Destilación, ETA 90%	D 1160	360 máx.	°C

Para el análisis físico químico de las muestras de biodiesel obtenidas en el prototipo, se utilizan los servicios del laboratorio certificado del Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales (ICQA) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), pero únicamente se pueden evaluar 5 de las 15 características exigidas.

Los resultados obtenidos del análisis se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis comparativo de resultados obtenidos de biodiesel.

Parámetros	Unidad	Método de Análisis	Resultado ICQA-ESPOL	Norma ASTM Biodiesel
1. Viscosidad a 40°C	mm ² /s	INEN 810	3,34	1,9 – 6,0
2. Residuo Carbonoso	% masa	INEN 1491	2,25	0,050 max
3. Corrosión al cobre 3H-50°C	-	INEN 927	2C	3C
4. Cenizas sulfatadas (%)	% masa	ASTM D 874	0,11	0,020 max
5. Agua y sedimentos (ppm)	% vol.	INEN 1494	0,05	0,050 max

4 Discusión

Es notorio, que existe una desventaja competitiva dentro del sector automotriz y eléctrico, debido al subsidio dado sobre el valor del diesel por el Gobierno. Pero a pesar de ello, al considerar los efectos que produce sobre el medio ambiente el impulso de las tecnologías que involucren el desarrollo de este tipo de combustibles, el Gobierno podría colaborar impulsando campañas de concientización que promuevan su consumo tal como sucedió con la gasolina ECOPAIS. No obstante, cabe recalcar que el precio obtenido para el biodiesel es 0.70 veces menor al del diesel sin ningún subsidio de por medio.

En vista del costo planteado para la consecución del metanol y las cantidades necesarias requeridas del producto para sostener el proceso productivo, es necesaria la implantación dentro del sistema de una etapa de recuperación de la sustancia, en la fase de almacenamiento y después del proceso de decantación. En el almacenamiento, debido a las condiciones de presión y temperatura, parte del metanol almacenado se volatizará, en el caso de la fase de decantación se tendría que separar de la emulsión resultante los restos de metanol que no hayan reaccionado en el proceso.

De lo tabulado en el análisis de la muestra de Biodiesel se infiere que: los valores de viscosidad, corrosión al cobre, contenido de agua y sedimentos de la muestra analizada; se encuentran dentro de los rangos esperados para un combustible de este tipo, las condiciones bajo las cuales esta fue concebida no estarían sujetas a cambio. Sin embargo, los valores para el residuo carbonoso y cenizas sulfatadas no están dentro de los parámetros, por cuanto sobre las muestras no se realizó un tratamiento de blanqueamiento posterior a su obtención. En consecuencia, el combustible procesado requiere un proceso de filtrado antes de ser utilizado en los motores, a fin de evitar los inconvenientes que causaría el biodiesel por acumulación de impurezas.

Referencias bibliográficas

- [1] Espinoza, A. y Palmay, P.: *Diseño y construcción de un reactor baht para la obtención por transesterificación de biodiesel a partir de aceite de cocina reciclado*, Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Químico, Escuela de Ingeniería Química, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, (2009).
- [2] Reynolds, K.: *De la Llave: Desinfección con Cloro y Riesgos de los Productos Derivados de la Desinfección*, julio/agosto (2002): Volumen 2, Numero 4: tomado del sitio:
<http://www.agualatinoamerica.com/NewsView.cfm?ID=54>
- [3] Anderson, D., Sweeney, D. y Williams, T.: *Estadística para administración y economía*, volumen II, International Thomson Editores, México, (2001), pp. 28-29.
- [4] Instituto Nacional de Tecnología Industrial: Encuentro Primavera INTI 2010, tomado del sitio:
http://www.inti.gov.ar/encuentros_10/libroElectronico.pdf
- [5] Norma ASME Sección VIII, División 1, ADD (2003).
- [6] Castillo, A.: *Diseño del proceso para la producción de 60 toneladas diarias de Biodiesel a partir de aceite de Palma Refinado*, Tesis de grado para optar al título de Ingeniera Mecánica, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, (2007)