

# Estudio de la dilución de FAMES para eliminar la contaminación de Jet-Fuel y biodiesel en un poliducto latinoamericano

## Study of FAMES dilution for avoiding the contamination of Jet-Fuel and biodiesel in a latinamerican pipeline

Juliana Puello Méndez<sup>1</sup>, Yeimmy Peralta-Ruiz<sup>2</sup>, Ángel Darío González-Delgado<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doctora en Ingeniería Química, <sup>2</sup> Magister en Ingeniería Química. <sup>1,2</sup> Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño, Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena, Grupo de Investigación de las Ciencias de las Ingenierías. Cartagena, Colombia.

<sup>3</sup> Doctor en Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.

E-mail: agonzalezd1@unicartagena.edu.co

Recibido 05/06/2015  
Aceptado 30/10/2015

Cite this article as: J. Puello, Y. Peralta, Á. González, "Study of FAMES dilution for avoiding the contamination of Jet-Fuel and biodiesel in a latinamerican pipeline", Prospect, Vol 14, N° 1, 54-60, 2016.

### RESUMEN

La utilización de biocombustibles producidos a partir de aceites naturales provenientes de plantas y animales es ventajosa desde el punto de vista ambiental debido a que al ser mezclados con combustibles de origen fósil, disminuyen en proporciones considerables los porcentajes de azufre emitidos a la atmósfera producto de su combustión. Sin embargo, por razones operativas, en algunos países latinoamericanos se utiliza la misma infraestructura para el transporte de biodiesel y Jet-Fuel, lo cual produce contaminación de este último, afectando la calidad, las propiedades del turbo combustible y alterando variables críticas de operación de los aviones en que se utiliza el Jet-Fuel como el punto de congelación.

En este estudio, se presenta el desarrollo de una metodología para eliminar la contaminación de Jet-Fuel y biodiesel en el transporte por poliducto con miras a minimizar la presencia de componentes indeseados en el producto final, el análisis de la concentración de biodiesel en el turbocombustible se realizó mediante cromatografía de gases para varias purgas en el sistema. La aplicación de la metodología mostró factibilidad en la dilución de mezclas biodiesel-turbocombustible en poliducto por medio de un barrido y se pudo concluir que el flujo óptimo de dilución para obtener un turbocombustible con especificaciones requeridas es de 800 barriles con un intervalo permisible de operación entre 600 y 1200 barriles de Jet-Fuel.

**Palabras claves:** Biodiesel; Jet-Fuel; Cromatografía; Contaminación; Transporte por poliducto.

### ABSTRACT

The use of biofuels produced from natural oils is advantageous from the environmental point of view because when they are mixed with fossil fuels, percentage of sulfur emitted to the atmosphere by fuel combustion is diminished. However, for operational reasons, in some Latin American countries the same infrastructure is used to transport biodiesel and Jet-fuel, resulting in contamination of both fuels affecting the quality, performance for the case of Jet-Fuel and altering critical operating variables of its use in aircrafts as freezing point.

In this study, the development of a methodology for avoiding contamination of Jet-Fuel and biodiesel in the transport by pipeline in order to minimize the presence of unwanted components in the final product, the analysis of the concentration of biodiesel in jet fuel occurs was performed by gas chromatography for several purges of the system. The application of the methodology showed the feasibility of the dilution of biodiesel-Jet Fuel mixtures through a pipeline and it could be concluded that the optimum dilution flow was 800 barrels with a confidence operation interval between 600 to 1200 barrels of Jet-Fuel.

**Key words:** Biodiesel; Jet-Fuel; Chromatography; Contamination; Transportation by pipeline.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el reemplazo parcial y total de los combustibles derivados del petróleo por biocombustibles de origen vegetal ha cobrado importancia en la industria por varias razones fundamentales a favor, tales como el hecho de que provienen de una fuente renovable [1]; este importante aspecto los convierte en un instrumento de lucha contra el deterioro medioambiental atribuido a la explotación y refinación de fuentes fósiles [2], además de ser un factor de desarrollo de la agricultura e industrias dependientes de esta, y que a futuro contribuirán tanto a la satisfacción de la demanda energética mundial como a la calidad del aire, entre otros beneficios [3].

Los biocombustibles se producen mediante un proceso químico llamado transesterificación, por medio de la cual se reemplaza la molécula de glicerol de los acilglicérols (alcohol trivalente) por un alcohol monovalente, casi siempre metanol o etanol, creando moléculas más pequeñas (ésteres mono alquílicos o FAMES) con una viscosidad parecida a la del combustible diésel derivado del petróleo [4, 5]. La tabla 1 muestra una comparación entre las principales características entre el aceite de palma, biodiésel a partir de palma y diésel de origen fósil.

Muchos países han definido políticas puntuales para la producción y utilización de biocombustibles, en Estados Unidos, las mezclas biocombustible-combustible fósil son definidas por la Renewable Fuel Standard [6], en Brasil, las políticas vigentes establecen un porcentaje obligatorio del 5% de biodiésel en mezcla con Diésel

fósil [7], en la Unión Europea, se tiene proyectado para 2020 la utilización de un 10% de energía renovable en el transporte, particularmente en Polonia, esta política esta acoplada con el reemplazo del 80% de los turbogeneradores acoplados con calentadores de vapor [8]. En industrias de refinación y petroquímica, donde políticas locales estimulan o imponen mezclas de diésel de origen fósil con su similar de origen renovable, es común utilizar la infraestructura existente para el transporte de hidrocarburos en el transporte de biodiésel. Es importante conocer con anterioridad la composición y propiedades de cada fluido que se desea mezclar con el Diésel, y que va a ser transportado por el sistema de ductos con el que se cuenta, pues esto permite predecir y controlar fenómenos como la corrosión y otras afectaciones del material del banco de tuberías [9]. En la refinería estudiada, el transporte de combustibles líquidos como gasolina, diésel y turbo combustibles se realiza por medio de bombeo a través de un mismo ducto, esto conlleva a que entre cada despacho de algunos de los combustibles anteriormente mencionados a lo largo de la línea de ventas, aparezcan residuos acumulados del producto transportado por última vez, y estos, al entrar en contacto con el siguiente combustible en despacho, se produce una mezcla, alterando las propiedades fisicoquímicas y de calidad de los fluidos.

Conocida la necesidad de abastecer la zona de influencia de la refinería con el fin de satisfacer la demanda energética local; en algunos momentos se debe maniobrar con restricciones en la operación del transporte del combustible, pero a la vez se deben cumplir las especificaciones de calidad y los lineamientos medioam-

**Tabla 1.** Propiedades del aceite y diésel de origen fósil y renovable.

**Table 1.** Properties of fossil and renewable oil and diesel fuel.

Propiedad	Aceite de palma	Biodiésel de palma	Diésel fuel
Densidad a 15°C (kg/m <sup>3</sup> )	918	871,6	859,3
Viscosidad a 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	39,6	4,73	4,3
Punto de Nube (°C)	-	16	-3
Numero de Cetano	42,0	62	46
% Residuo carbonoso	-	0,02-0,22	0,15
% Azufre	0,02	0,04	0,29
Punto de Ignición (°C)	267	155-174	60
Acidez (Mg KOH/g)	0,022	0,036	Máx 0,5

bientales estipulados a nivel de pactos mundiales para su preservación. Una de las variables críticas que se afectan al mezclar biodiesel con Jet-Fuel, es el punto de congelación de este último, el cual disminuye cuando se produce la contaminación anteriormente mencionada, y tiene efectos catastróficos potenciales en caso que un avión opere a bajas temperaturas con combustible contaminado [10].

Teniendo en cuenta lo anterior, el propósito de este estudio es diseñar un plan de acción para eliminar la contaminación ocurrida en el transporte de combustibles líquidos por poliductos en una refinería latinoamericana y así contribuir con la satisfacción demanda energética por medio de combustibles líquidos en un contexto local.

## 2.2. METODOLOGÍA

La toma de muestra se realizó al Jet-Fuel transportado en el ducto común para hidrocarburos y biodiesel. Para la toma de muestras, se utilizó una sonda de muestro tipo A de orificio cerrado, situada de manera perpendicular al flujo del fluido y con el orificio ubicado a contracorriente, se recolectaron 36 muestras de 1 litro en botellas ámbar, el tiempo de muestreo utilizado fue proporcional al flujo de combustible transportado por el poliducto con el fin de garantizar la representatividad de la muestra, los puntos de muestreo fueron distintos tramos de las unidades de bombeo, y el toma muestra final del poliducto, la velocidad de flujo dentro de la tubería permitió asegurar que existiese flujo turbulento durante el muestreo. Las muestras se rotularon, sellaron y almacenaron en un cuarto de retención a una temperatura de 22°C hasta su análisis. La toma de muestra se realizó bajos los estándares estipulados que se encuentran en la norma ASTM D 4057 Práctica Estándar para Muestreo Manual de Petróleo y Productos de Petróleo [11].

La cuantificación de los FAMES presentes en la corriente de Jet-Fuel se realizó bajo la norma IP 585, de acuerdo a lo reportado en la literatura para pruebas analíticas en mezclas FAME-Jet Fuel [12], para lo cual se utilizó un cromatógrafo de gases marca Agilent 7890 A GC, acoplado con un espectrómetro de masas con fuente de ionización por electrones inertes marca Agilent 5795C MSD, producido por Agilent Technologies (figura 1.), dotado con un auto-muestreador de líquido Agilent 7693 A ALS, la columna de cromatografía utilizada fue una HP-INNOWAX con una longitud de 50 metros y un diámetro interno de 0.2 milímetros, la temperatura de entrada fue ajustada en 250 °C, con el fin de garantizar las condiciones requeridas para el análisis y se utilizó como gas de arrastre helio a un flujo volumétrico constante de 1 mL/min. La fuente de ionización del espectrómetro de masas se ajustó en 70 eV, con un delay de 20 minutos y un rango de exploración de 33 a 320 AMU. La programación del horno se realizó de

la siguiente manera: una temperatura inicial de 150 °C por 5 minutos y una rampa de 10 minutos a 12 °C por minuto. Una vez realizado el análisis de % contenido de FAME en Jet-Fuel a las muestras recolectadas, se analizaron los cromatogramas emitidos por el software y se comparó la similitud esperada en los % de FAMES entre las dos muestras, se calculó la pureza esperada y las características de calidad en el Jet-Fuel.

**Figura 1.** Cromatógrafo de gases utilizado para la parte experimental del trabajo.

**Figure 1.** Gas chromatograph used in experimental part of research.



## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el primer paso del diseño metodológico, se tuvieron en cuenta parámetros como el tiempo de implementación de la solución, los costos fijos y operativos, y la calidad del producto final después de implementada la solución, entre otros. Se consideraron opciones como la instalación de una tubería paralela para el despacho exclusivo de cada producto, sin embargo desde el punto de vista económico, no resultó rentable esta alternativa. Con el fin de optimizar recursos, se decidió depurar las herramientas a aquellas que pudiesen ser implementadas con la infraestructura existente, y teniendo en cuenta las propiedades de los productos se recurrió a la dilución del contaminante mediante el transporte de un fluido que contribuyera a disminuir la concentración detectada de ácidos grasos a lo largo de la tubería, previo a cada despacho de producto.

La tabla 2 muestra las especificaciones de calidad para la venta del turbocombustible, de todos los parámetros vistos, las variables que se tuvieron en cuenta fueron el contenido de FAMES y el punto de congelación. Cuando se tienen estas variables deseadas dentro de los parámetros de operación, se procede a dar inicio al despacho mediante el poliducto de los productos de refinación, como la medición de los parámetros es un procedimiento protocolario, como siguiente paso de la metodología se aprovechó esta acción y se incorporó al protocolo de purificación del poliducto.

**Tabla 2.** Especificaciones de calidad del Jet-Fuel.  
**Table 2.** Quality specifications of Jet-Fuel.

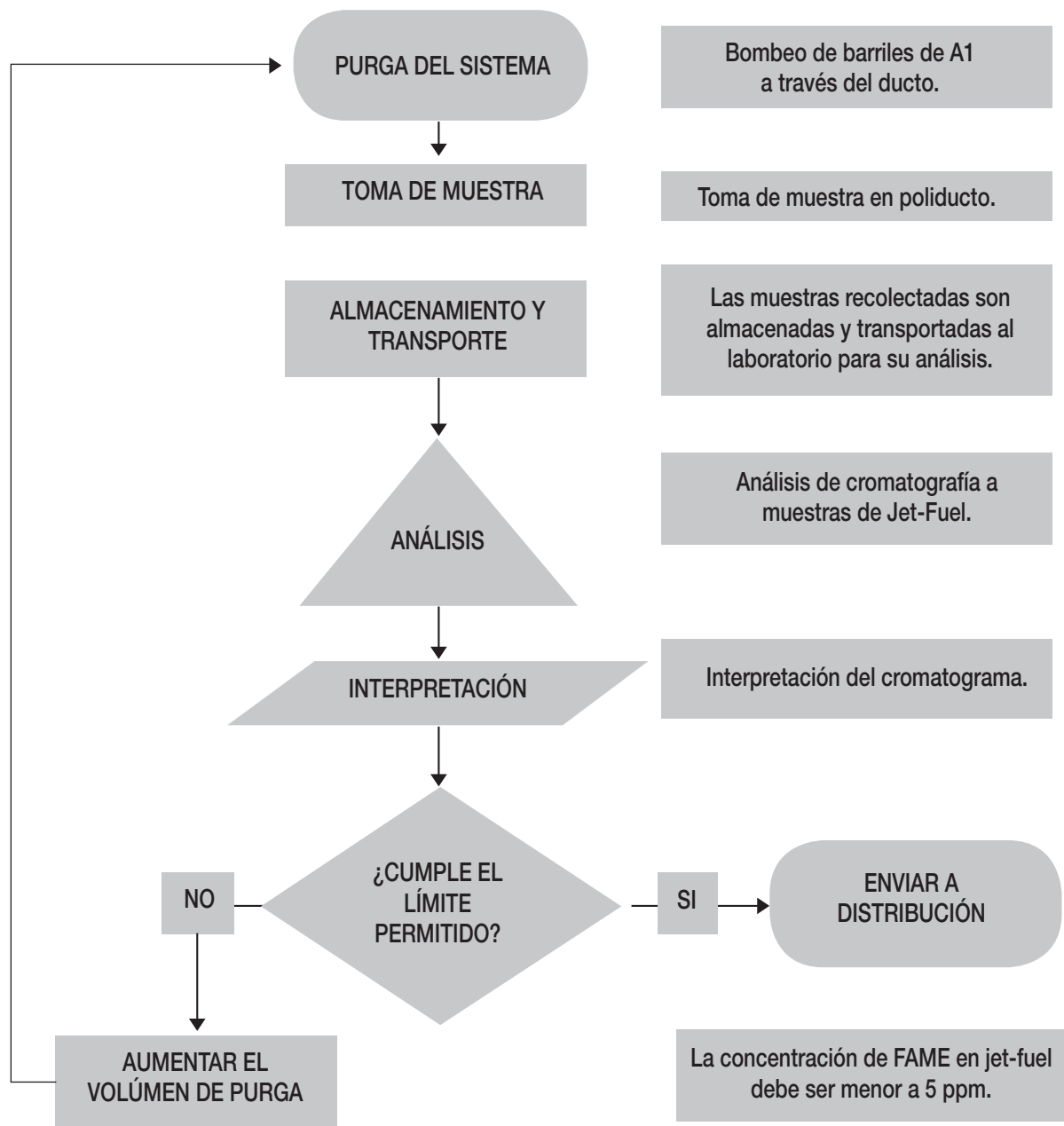
GRADO	JET A1 - COMBUSTIBLE DE AVIACIÓN		
CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÍNIMO	MÁXIMO
Acidez	mg KOH/g		0,1
Aromáticos	mL/100 mL		25
Azufre Mercaptano	g/100 g		0,003
Calor neto de combustión	MJ/kg	42,8	
Apariencia		Clara y Brillante	
Color Saybolt		No aplica	
Corrosión al Cobre, 2 h a 100 °C	Clasificación		1 (4)
Densidad a 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	775	840
Estabilidad Térmica:			
Caída de presión en el filtro	kPa(mm Hg)		3.3 (25)
Depósitos en el tubo			
Destilación :			
Punto Inicial de Ebullición	°C	no aplica	
10 % de recobrado	°C		205
50 % de recobrado	°C	No aplica	
90 % de recobrado	°C	No aplica	
Punto Final de Ebullición	°C		300
Residuo de destilación	mL/100 mL		1,5
Pérdidas de destilación	mL/100 mL		1,5
Goma existente	mg/100 mL		7
Punto de Inflamación	°C	38	
Punto de Congelación	°C		-47
Propiedades de Combustión:			
Punto de humo	mm	18	
Naftalenos	mL/100 mL		3
Viscosidad a - 20 °C	mm <sup>2</sup> /s		8
Índice de separación de agua	-		
Sin aditivo de conductividad eléctrica		85	
Con aditivo de conductividad eléctrica		70	
Contenido FAME	ppm		5

Teniendo en cuenta lo anterior, se concibió como plan de acción un bombeo previo a cada despacho solicitado por medio del poliducto, de una cantidad considerable de barriles de Jet-Fuel con el fin de disolver los residuos de FAME presentes en el poliducto, a manera de purga, con el fin de desalojar cualquier traza de biodiesel a lo largo de la tubería, y garantizar la ausencia de agentes contaminantes que alteren la calidad del producto. Concibiendo como límite óptimo de purga, la cantidad de barriles necesarios para obtener una concentración de FAMEs igual a la mostrada en la tabla 2. La figura 2 muestra en detalle la metodología desarrollada como plan de acción, la cual, teniendo en cuenta las condiciones de la refinería latinoamericana, es factible de llevar

a cabo en la operación, como se aprecia en los bloques inferiores del diseño metodológico, cuando el producto (Jet Fuel) cumple con los parámetros de calidad exigidos por la especificación, se procede al despacho de la cantidad solicitada por el cliente; en caso contrario se repite el procedimiento de purgar el sistema. El Jet-Fuel de sacrificio para la limpieza del sistema puede ser aprovechado para su consumo y/o venta bajo niveles de calidad de Diesel.

**Figura 2.** Protocolo desarrollado para la eliminación de la contaminación de Jet-Fuel con biodiesel.

**Figure 2.** Protocol developed for the elimination of the contamination of Jet-Fuel with biodiesel.



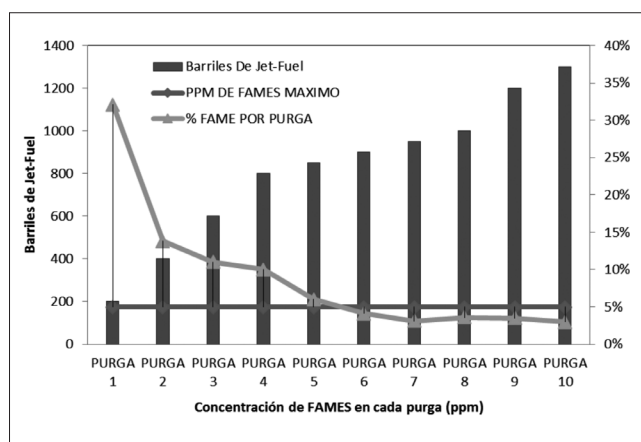


### 3.1 Implementación del plan de acción

La figura 3, muestra el efecto del flujo de barriles de purga sobre la concentración de FAMES en el poliducto; el máximo permitido del contenido de FAMES presentes en el Jet-Fuel se señala por medio de la recta paralela al eje X, y por medio de los triángulos se señalan las concentraciones en ppm de FAME's presentes en el Jet-Fuel posterior a la purga del sistema por donde es transportado el fluido, en la cual se puede evidenciar que mediante el plan de acción realizado y descrito en la figura 2, se logró mantener bajo control los parámetros establecidos del contenido de FAMES permitidos en Jet-Fuel, llegando hasta 3.1 ppm de FAME, garantizando así la confiable realización de la operación del bombeo del Jet-Fuel a través del poliducto. También se observa en la figura 3, que entre 800 y 1000 barriles de Jet Fuel de purga son suficientes para lograr la concentración especificada de FAME.

**Figura 3.** Efecto del volumen de descarga de Jet Fuel sobre el contenido de FAMES en al corriente de purga.

**Figure 3.** Effect of discharge volume of Jet Fuel on FAME content in the purge stream.



## 4. CONCLUSIONES

- En este trabajo realizado, de tipo investigativo en campo, se recolectó la información necesaria para conocer los diferentes aspectos que impactaban negativamente en la contaminación del Jet-Fuel al ser transportado por poliducto; para esto fue necesario estudiar las características de composición de cada uno de los combustibles que fluían a través de este ducto, con el fin de correlacionar en qué momento y con efecto de qué otro producto estaban siendo alteradas las características de calidad más críticas del combustible usado para aviación. Con el fin de corregir este aspecto, se diseñó e implementó una metodología a manera plan de acción para disminuir la contaminación presentada hasta los límites permisibles por la norma, sin cambiar la infraestructura existente. La metodología comprende ensayos reversibles y no destructivos en la cadena de producción, consistente en un sistema de dilución de

mezclas por medio de un barrido o purga con una cantidad establecida entre 600 a 1200 barriles de Jet-Fuel con la calidad deseada a entregar. Previamente al envío del despacho al cliente, se realiza un monitoreo de la cantidad en ppm de FAME al punto de no exceder los 5 ppm máximos permitidos. Para el caso de estudio se encontró un flujo óptimo de 800 barriles.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Cartagena y a la Universidad de San Buenaventura por permitir la utilización de sus bases de datos, equipos y software para la realización del presente trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] D. P. Ho, H. H. Ngo, and W. Guo, "A mini review on renewable sources for biofuel", *Bioresource Technology*, 169, 742–749, 2014
- [2] L. Jinzhong, G. Wenlong, W. Bojun, W. Yongbin, and H. Jihong, "Feasibility Study of In Situ Combustion Huff and Puff for EOR in Super Deep Heavy Oil Reservoir," in *IPTC 2013: International Petroleum Technology Conference*, 2013.
- [3] L. Panichelli and E. Gnansounou, "Impact of agricultural-based biofuel production on greenhouse gas emissions from land-use change: Key modelling choices", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 42, 344–360, 2015.
- [4] M. Guo, W. Song, and J. Buhain, "Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 42, 712–725, 2015.
- [5] M. Kumar and M. P. Sharma, "Assessment of potential of oils for biodiesel production", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 44, 814–823, 2015.
- [6] W. E. Tyner, *Bioenergy*. Elsevier, 2015.
- [7] M. Brondani, R. Hoffmann, F. D. Mayer, and J. S. Kleinert, "Environmental and energy analysis of biodiesel production in Rio Grande do Sul, Brazil", *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(1), 129–143, 2014.
- [8] B. Igliński, G. Piechota, and R. Buczkowski, "Development of biomass in polish energy sector: an overview", *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17 (2), 317–329, 2015.
- [9] R. Singh, *Pipeline Integrity Handbook: Risk Management and Evaluation*. Gulf Professional Publishing, 2013.

[10] A. L. Lown, L. Peereboom, S. A. Mueller, J. E. Anderson, D. J. Miller, and C. T. Lira, "Cold flow properties for blends of biofuels with diesel and jet fuels", *Fuel*, 117, 544–551, 2014.

[11] "ASTM D4057-06 Standard Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products." [Online]. Available: <http://infostore.saiglobal.com/store/>

[details.aspx?ProductID=218596](#). [Accessed: 14-October-2015].

[12] AFC Meeting 25 MARCH\_ 2010 Measurement of FAME in AVTUR - update by dfsiopmhy6. [Online]. Available: [http://www.docstoc.com/docs/71741152/AFC-Meeting-25-MARCH\\_-2010-Measurement-of-FAME-in-AVTUR---update-](http://www.docstoc.com/docs/71741152/AFC-Meeting-25-MARCH_-2010-Measurement-of-FAME-in-AVTUR---update-). [Accessed: 14-October-2015].