Rev. Cienc. Tecnol.
Año 16 / Nº 21 / 2014 / 47–52

Propiedades eléctricas de metilésteres obtenidos de aceites vegetales entre 20Hz y 2MHz

Electrical properties of FAME obtained from vegetable oils from 20Hz to 2MHz

Julián Corach[1,2,*], Patricio A. Sorichetti[3], Silvia D. Romano[1,2]

1- Grupo de Energías Renovales (GER), Facultad de Ingeniería (FI), Universidad de Buenos Aires (UBA), Av. Paseo Colón 850, 1063, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
2- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Av. Rivadavia 1917, 1033, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
3- Laboratorio de Sistemas Líquidos, Facultad de Ingeniería (FI), Universidad de Buenos Aires (UBA), Av. Paseo Colón 850, 1063, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
* E-mail: jcorach@fi.uba.ar

Resumen

Las mediciones de propiedades eléctricas han sido exitosamente utilizadas en trabajos anteriores para caracterizar mezclas de metilésteres de ácidos grasos (FAME - fatty acid methyl esters) obtenidas a partir de aceite de soja. En este trabajo se muestra que esta técnica puede ser también utilizada en FAME producido a partir de otros aceites vegetales. Esta generalización es relevante en el ámbito industrial, en mediciones de laboratorio, en control de calidad y para realizar medidas en línea en sistemas automáticos de producción.

En este trabajo se determinó la dependencia de la permitividad y la conductividad con la temperatura de mezclas de FAME obtenidos a partir de aceite de girasol, maíz, uva, chía, canola, jatropha, coco y algodón entre 300K y 343K, para frecuencias desde 20Hz hasta 2MHz. En todas las muestras estudiadas la permitividad presenta una dependencia lineal decreciente con la temperatura, en tanto la conductividad presenta una dependencia exponencial (modelo de Arrhenius), con energías de activación entre 0,20 eV y 0,25 eV.

Palabras clave: Permitividad; Conductividad; FAME; Biodiesel; Propiedades eléctricas.

Abstract

Electrical properties measurements have been successfully applied in previous works to characterize mixtures of fatty acid methyl esters (FAME) obtained from soybean oil.

In this work, it is shown that these techniques may be applied to FAME samples from other feedstocks. This generalization is relevant in industrial applications, as well as in laboratory measurements, quality control and "on line" production systems. Permittivity and conductivity dependences on temperature were determined between 303 K and 343 K in the frequency range 20 Hz to 2 MHz in FAME samples from sunflower, corn, grapeseed, chia, canola, jatropha, coconut and cottonseed oils. In all the samples analyzed permittivity decreases linearly with temperature, and an exponential (Arrhenius) function fits well the conductivity data, with activation energies between 0,20 eV and 0,25 eV.

Keywords: Permittivity; Conductivity; FAME; Biodiesel; Electrical properties.

Introducción

Las mezclas de metilésteres de ácidos grasos (FAME) se obtienen a partir de aceites vegetales mediante una reacción denominada transesterificación. En la misma, reacciona un alcohol (usualmente metanol) con un aceite de origen vegetal (éster) y se obtiene otro alcohol (glicerol) y otro éster (Figura 1) [1, 2, 3].

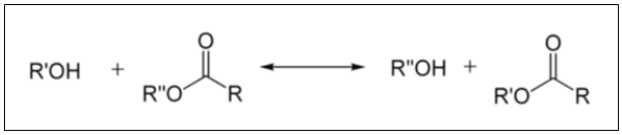

Figura 1: Esquema de la reacción de transesterificación. R'OH y R"OH representan químicamente los alcoholes, y los grupos con el doble enlace de oxígeno representan los ésteres.

En la práctica, la reacción es catalizada con hidróxido

de sodio. Además, normalmente se trabaja con exceso de alcohol, con el objetivo de que la reacción (de equilibrio) se desplace hacia los productos. Tanto el hidróxido de sodio como el alcohol en exceso son removidos mediante sucesivas etapas de lavado con agua, de modo de asegurar la calidad del producto final.

Si bien la principal aplicación de FAME es como biocombustible (biodiesel), tanto puro como en mezclas con Diesel, es importante señalar que también se utiliza en muchas otras aplicaciones, tales como aislante líquido de transformadores de distribución y de potencia [4], en la industria cosmética, y en la fabricación de pinturas, barnices, tintas, etc. [5].

Para que una muestra de FAME pueda ser considerada biodiesel, los valores de ciertas propiedades (por ejemplo la viscosidad, el índice de acidez y la densidad) deben estar dentro de los rangos establecidos por las normas internacionales. Si en una muestra dada se miden todas las propiedades establecidas en las normas internacionales, y al menos una propiedad toma valores fuera de los rangos permitidos, entonces tal muestra no puede ser considerada como biodiesel.

Existen dos propiedades eléctricas que, si bien hasta el presente no están contempladas en las normas internacionales de calidad de biodiesel, brindan información útil sobre las muestras de FAME. Estas propiedades son la permitividad y la conductividad, y pueden ser medidas mediante espectroscopía dieléctrica. Esta técnica es rápida, no destructiva, económica y adecuada tanto en laboratorio como en aplicaciones industriales, incluyendo sistemas automáticos de control "en línea" [6, 7, 8].

Las mediciones de conductividad y permitividad permiten detectar la presencia de contaminantes polares como agua, hidróxido de sodio y alcohol, que afecta de forma negativa la calidad de la materia prima y del producto final [9, 10, 11]. Además, posibilitan diferenciar entre muestras de aceite vegetal y de FAME.

El Grupo de Energías Renovables (GER) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires ha estado produciendo y caracterizando FAME durante muchos años, a partir de aceites vegetales. El GER también estudia técnicas de producción automática en la planta piloto. La caracterización de FAME para su uso en motores Diesel se lleva adelante mediante la medición de propiedades requeridas en normas internacionales [12,13] y de propiedades eléctricas.

Cabe destacar que el GER publicó anteriormente estudios de FAME obtenidos a partir de aceite de soja en las distintas etapas de producción [8,14]. Dado que en la actualidad se utiliza una amplia variedad de aceites vegetales para la producción de FAME en diferentes países [15], en este trabajo se extendió a otros aceites vegetales la investigación realizada con el aceite de soja [14].

Materiales y métodos

Se analizaron muestras de FAME obtenidas a partir de ocho aceites vegetales, tanto comestibles (girasol, maíz, uva, chía y canola) como no comestibles (coco, algodón y jatropha). Las muestras fueron producidas mediante la transesterificación entre cada aceite y metanol. La relación aceite-alcohol fue 25% (V/V). La reacción se llevó a cabo con agitación continua a 60°C utilizando hidróxido de sodio como catalizador. El FAME así obtenido fue purificado mediante etapas de lavado y secado para eliminar impurezas. Los aceites vegetales comestibles fueron adquiridos en envases comerciales, mientras que los aceites no comestibles fueron donados por productores argentinos.

La permitividad relativa compleja ε_r de una sustancia es una propiedad vinculada a la acumulación y disipación de energía debidas a la acción de campos eléctricos externos; en este trabajo se supone que los campos tienen variación temporal armónica con frecuencia angular ω ($\omega = 2\pi f$, y f es la frecuencia del campo expresada en Hz).

Es posible obtener la permitividad relativa $\varepsilon_r(\omega, T)$ relativa de una sustancia mediante mediciones de capacidad eléctrica. La capacidad en vacío C_o de una celda de medición dieléctrica (análoga a un capacitor de placas paralelas) puede suponerse independiente de la frecuencia y de la temperatura y con resistencia e inductancia despreciables en el rango de frecuencias estudiado en este trabajo. Cuando se introduce un dieléctrico en la celda, en general la capacidad depende de la temperatura y, si las pérdidas del dieléctrico no son despreciables, la capacidad pasa a representarse mediante un número complejo, como se muestra en la Ec. 1

$$C(\omega,T) = C'(\omega,T) - iC''(\omega,T) \quad \text{(Ec. 1)}$$

donde $C'(\omega,T)$ representa los efectos de acumulación de energía y $C''(\omega,T)$ representa los efectos de disipación de energía. El cociente entre la capacidad $C(\omega,T)$ de la celda llena con la muestra en estudio y la capacidad en vacío C_o es la permitividad relativa compleja ε_r de la muestra a la frecuencia angular ω y a la temperatura T, como se indica en la Ec. 2

$$\frac{C(\omega,T)}{C_o} = \varepsilon_r(\omega,T) = \varepsilon_r'(\omega,T) - i\varepsilon_r''(\omega,T) \quad \text{(Ec.2)}$$

donde ω es la frecuencia angular del campo externo, T es la temperatura de la muestra expresada en grados Kelvin, y $\varepsilon_r'(\omega,T)$ y $\varepsilon_r''(\omega,T)$ son, respectivamente, las partes real e imaginaria de la permitividad relativa compleja.

El sistema de medición de propiedades eléctricas utilizado [16, 17] se esquematiza en la Figura 2.

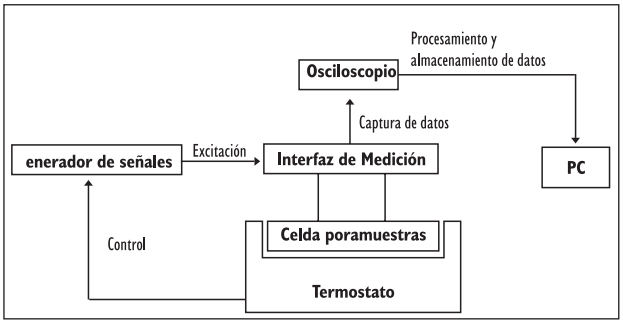

Figura 2: Esquema del sistema de medición.

El generador de señales produce un barrido de frecuencias desde 20Hz hasta 2MHz. Las señales excitan la celda termostatizada - que contiene la muestra de la sustancia en estudio- a través de la interfaz de medición. Un capacitor de referencia de valor conocido se encuentra conectado a la interfaz y también es excitado por las señales emitidas por el generador. Las señales de la celda bajo estudio y del capacitor de referencia son captadas por el osciloscopio digital, comparadas en módulo y fase y enviadas a la computadora personal (PC), donde son almacenados los datos; las mediciones son controladas por la PC. La comparación en módulo y fase de las señales de la celda portamuestras y del capacitor de referencia permite conocer el valor de la capacidad de la muestra y posteriormente, como se indicó con anterioridad, obtener los valores de la permitividad relativa compleja.

A cada temperatura, las partes real e imaginaria de la permitividad relativa compleja fueron descriptas como funciones de la frecuencia mediante las Ecs. 3 y 4 de la Sección Resultados y Discusión. Para determinar los parámetros se empleó un algoritmo no-lineal de cuadrados mínimos (Leventhal-Marquardt) a fin de minimizar el error cuadrático medio del ajuste.

Resultados y Discusión

A partir de las mediciones realizadas, se obtuvieron los espectros dieléctricos de las ocho muestras de FAME medidas, para frecuencias entre 20Hz y 2MHz y temperaturas entre 300K y 343K con una precisión de ± 0,1K. Como ejemplo, las Figuras 3 y 4 muestran los valores de las partes real e imaginaria de la permitividad relativa compleja en función de la frecuencia. Se trata de una muestra de FAME obtenida a partir de aceite de chía, medida a una temperatura de 343K.

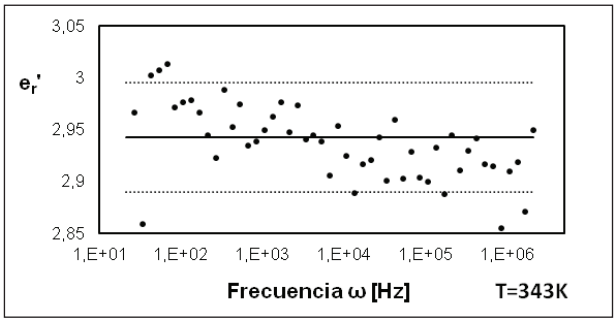

Figura 3: Parte real de la permitividad relativa compleja en función de la frecuencia.

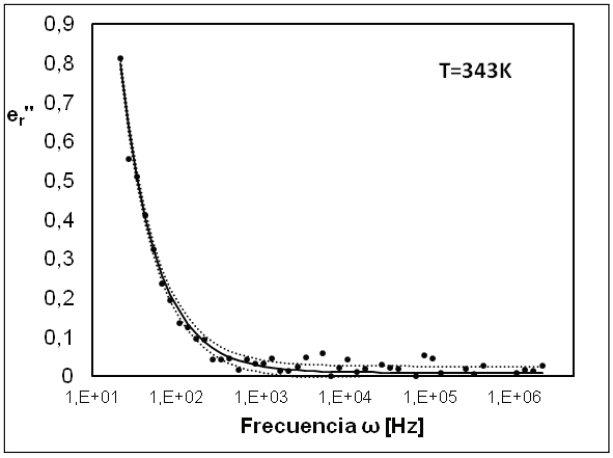

Figura 4: Parte imaginaria de la permitividad relativa compleja en función de la frecuencia.

En cada figura, los valores experimentales están representados con puntos, el ajuste con línea continua y los límites de las bandas de incertidumbre con líneas punteadas. El ancho de cada banda de incertidumbre corresponde a dos veces el error cuadrático medio del ajuste. Cabe destacar que todas las muestras de FAME presentadas en este trabajo, en todo el intervalo de temperaturas estudiado, presentan dependencias cualitativamente similares.

En el rango de frecuencias estudiado, la parte real de la permitividad relativa $\varepsilon_r^{'}$ de las sustancias medidas resultó independiente de la frecuencia, como muestra la Ec. 3

$$\varepsilon_r^{'}(\omega,T)=\varepsilon_r^{'}(T) \qquad \text{(Ec. 3)}$$

donde T es la temperatura expresada en K.

Por otro lado, la disipación de energía se debe principalmente al movimiento de portadores de carga, los cuales aparecen tanto por la presencia de contaminantes como por efectos térmicos, ya que los efectos de relajación se producen a frecuencias mucho mayores que la máxima frecuencia de medición de este trabajo $\left(\varepsilon_{pol}^{"} \rightarrow 0\right)$. Entonces, la parte imaginaria $\varepsilon_r^{"}$ puede escribirse del siguiente modo

$$\varepsilon_r^{"}(\omega,T)=\frac{\sigma(T)}{\varepsilon_o \omega} \qquad \text{(Ec. 4)}$$

donde ε_o es la permitividad del vacío 8,85 x 10^{-12} F/m y σ es la conductividad de la sustancia en estudio expresada en S/m. La expresión resultante de la permitividad relativa compleja para este caso, se indica en la Ec. 5.

$$\varepsilon_r(\omega,T)=\varepsilon_r'(T)-i\frac{\sigma(T)}{\varepsilon_o\omega} \qquad \text{(Ec.5)}$$

Al aplicar un campo externo a una sustancia dieléctrica, como las muestras estudiadas en este trabajo, los momentos dipolares moleculares tienden a alinearse con el campo externo. Por un lado el movimiento debido a la agitación térmica se opone al ordenamiento de los mismos; por otro lado la densidad molecular disminuye debido a la dilatación del fluido por el incremento de temperatura. Se comprende así que $\varepsilon_r'(T)$ tienda a decrecer a medida que la temperatura aumenta. En el rango de temperaturas estudiado en este trabajo, es posible ajustar la dependencia de ε_r' mediante una función lineal, como se indica en la Ec. 6

$$\varepsilon_r'(T)=\varepsilon_r'(T_o)+\frac{d\varepsilon_r'}{dT}(T-T_o) \qquad \text{(Ec.6)}$$

donde $\varepsilon_r'(T_o)$ es la parte real de la permitividad relativa a la temperatura de referencia $T_o=318K$ y $\frac{d\varepsilon_r'}{dT}$ es el coeficiente de temperatura a la temperatura de referencia, expresado en $1/K$.

Por otra parte, el valor de la conductividad $\sigma(T)$ aumenta rápidamente a medida que aumenta la temperatura, y puede ser ajustado como se indica en la Ec. 7

$$\sigma(T)=A\exp(B\,T) \qquad \text{(Ec.7)}$$

donde las constantes A y B son mayores que cero y T es la temperatura expresada en K.

La Figura 5 muestra mediante símbolos los valores de ε_r' en función de $T-T_o$ (con $T_o=318K$) y con líneas continuas los ajustes lineales para cada una de las muestras de FAME medidas.

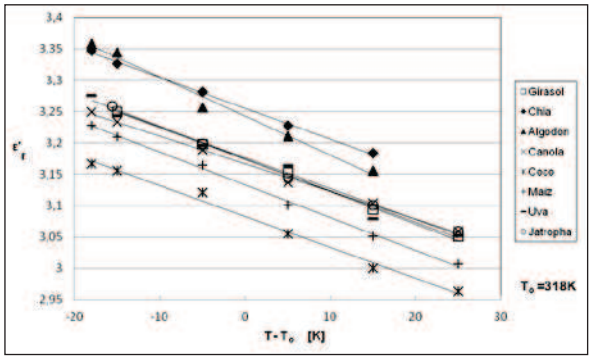

Figura 5: Parte real de la permitividad en función de la temperatura de muestras de FAME obtenidas a partir de aceites vegetales.

En todos los casos, el valor de ε_r' se ajustó bien a una función lineal decreciente con la temperatura, con coeficientes de correlación R^2 comprendidos entre 0,985 y 0,998.

Los parámetros de ajuste de la Ec. 6 y sus incertezas fueron obtenidos a partir de los valores experimentales. Los valores de $\varepsilon_r'(T_o)$ y $\frac{d\varepsilon_r'}{dT}$ para $T_o=318K$ para cada muestra de FAME estudiada se muestran en la Figura 6. En todos los casos las bandas de incerteza corresponden a dos desvíos estándar.

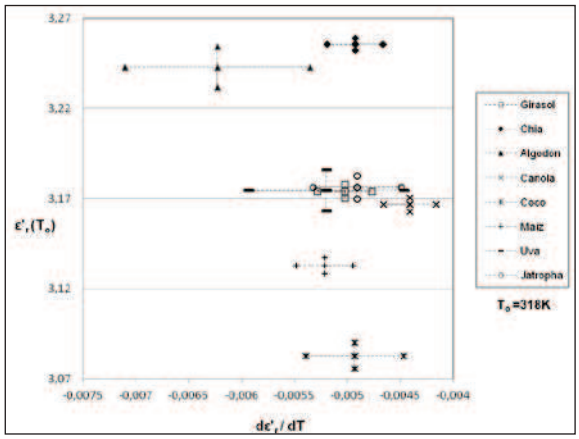

Figura 6: Parámetros de ajuste de la parte real de la permitividad para FAME producidos a partir de diferentes aceites vegetales.

Los valores de $\varepsilon_r'(T=318K)$ de las muestras de FAME obtenidos a partir de distintos aceites vegetales estuvieron comprendidos entre 3,08 (coco) y 3,26 (chía). En todos los casos, la incertidumbre relativa fue menor al 0,35%. Los valores de $\frac{d\varepsilon_r'}{dT}$ estuvieron comprendidos entre $-4{,}4\text{x}10^{-3}$ (FAME obtenido a partir de aceite de canola) y $-6{,}2\text{x}10^{-3}$ (FAME obtenido a partir de aceite de algodón). La incertidumbre relativa para este parámetro estuvo comprendida entre 5% y 14%.

Los resultados expuestos indican que los valores de la parte real de la permitividad de las muestras de FAME estudiadas no dependen apreciablemente del origen del aceite vegetal utilizado. Esto es debido a que la estructura molecular de los FAME varía poco al utilizar para su producción aceites vegetales de distintos orígenes [9,14]. Esta independencia respecto al origen del FAME se observa también en otras propiedades físicas y químicas especificadas en normas internacionales, las cuales toman valores contenidos en intervalos estrechos. La correlación entre algunas de esas propiedades y las propiedades eléctricas de FAME fue reportada en aceite de soja [9,18]. Así, las mediciones de la parte real de la permitividad pueden ser utilizadas para detectar la presencia de contaminantes, como restos de metanol o aceite no transesterificado (es decir, aceite que no reacciona con el metanol).

La conductividad en función de la temperatura de las muestras de FAME estudiadas se grafica en la Figura 7, en escala semi logarítmica. Los símbolos indican los valores

de $\sigma(T)$ obtenidos para las muestras de FAME a distintas temperaturas, a partir del ajuste de la Ec. 4, y las líneas representan los ajustes como se indica en la Ec. 7.

La dependencia exponencial permite analizar los resultados experimentales con un enfoque diferente. En lugar de describir la dependencia de la conductividad con la temperatura mediante la Ec. 7, es posible ajustarla con una función de tipo Arrhenius como indica la Ec. 8:

$$\sigma(T) = \sigma_o \exp\left(\frac{d}{T}\right) \qquad \text{(Ec.8)}$$

donde el parámetro d puede considerarse proporcional a una energía de activación ΔE expresada en J, siendo $d = \frac{\Delta E}{kT}$, k es la constante de Boltzmann (1,3806503 x 10^{-23} JK^{-1}) y σ_o es el factor pre-exponencial expresado en S/m.

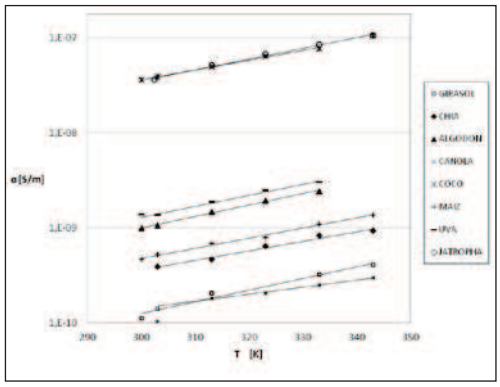

Figura 7: Conductividad en función de la temperatura para FAME producidos a partir de diferentes aceites vegetales.

La Ec. 8 permite calcular la energía de activación de la conductividad eléctrica, la cual indica la rapidez de variación de la conductividad al variar la temperatura. Los valores de energía de activación ΔE así obtenidos estuvieron comprendidos entre 0,20 eV (FAME obtenido a partir de aceite de algodón) y 0,25 eV (FAME obtenido a partir de aceite de girasol) y tuvieron, en todos los casos, incertidumbres relativas menores al 12%, con coeficientes de correlación R^2 mayores que 0,980 indicando que la correlación estadísticamente significativa (Tabla 1).

Tabla 1: Parámetros de ajuste: factor pre-exponencial σ_o, energía de activación ΔE y coeficiente de correlación R2 para FAME producidos a partir de diferentes aceites vegetales.

Materia prima	σ_o [S/m]	ΔE [eV]	R^2
Girasol	2,06E-06	0,25 ± 0,02	0,980
Chía	1,04E-06	0,20 ± 0,01	0,984
Algodón	1,02E-05	0,24 ± 0,01	0,999
Canola	1,00E-06	0,23 ± 0,02	0,983
Coco	8,73E-05	0,20 ± 0,01	0,999
Maíz	2,06E-06	0,21 ± 0,01	0,991
Uva	1,04E-05	0,23 ± 0,01	0,994
Jatropha	2,92E-04	0,23 ± 0,01	0,996

Los valores obtenidos son comparables a los reportados en muestras de FAME producidas a partir de soja (aproximadamente 0,21eV) [14].

Es importante destacar que el factor pre-exponencial σ_o no es una propiedad intrínseca de las muestras, debido a que depende fuertemente de la presencia de humedad y otros contaminantes [9,10]. Dado que la energía de activación es una propiedad intrínseca, es posible realizar mediciones de la conductividad $\sigma(T)$ a diferentes temperaturas y, a través de la dependencia de Arrhenius, referirlas a una temperatura común. De esta manera es posible comparar cuantitativamente el grado de contaminación de las muestras de FAME (relacionado con σ_o con independencia de la temperatura (por ejemplo, en las distintas etapas de producción, almacenamiento y transporte).

Conclusiones

Se obtuvieron los espectros dieléctricos de muestras de FAME obtenidas a partir de distintos aceites vegetales, para frecuencias entre 20Hz y 2MHz, y a temperaturas comprendidas entre 300K y 343K. Las muestras fueron producidas a partir de aceite de girasol, maíz, uva, chía, canola, jatropha, coco y algodón.

En todos los casos, el valor de la parte real de la permitividad de las muestras de FAME decrece a medida que aumenta la temperatura de la misma; además, se obtuvo un ajuste de los valores experimentales con una función lineal con coeficientes de correlación R2 mayores a 0,985 en todos los casos.

Los parámetros de ajuste de todas las muestras toman valores contenidos en un intervalo estrecho, como era de esperar dado que la estructura molecular de todas las muestras de FAME es similar. De la misma manera que sucede con otras propiedades físicas y químicas, cuyos valores deben estar acotados dentro de determinados límites establecidos por normas internacionales, los valores de la parte real de la permitividad resultaron prácticamente independientes del origen de las muestras de FAME. En consecuencia, las mediciones de la parte real de la permitividad pueden utilizarse para determinar la presencia de contaminantes, como restos de metanol o aceite vegetal no transesterificado.

El incremento de la conductividad de las muestras de FAME a medida que aumenta la temperatura se modela en forma exponencial (dependencia de tipo Arrhenius) con coeficientes de correlación mayores a 0,980 en todos los casos. Los valores de energía de activación de las muestras estudiadas estuvieron comprendidos entre 0,20 eV y 0,25 eV. Debido a que la conductividad de los FAME depende de la presencia de contaminantes, los resultados obtenidos posibilitan utilizar las mediciones de conductividad para comparar cuantitativamente el nivel de contaminación de FAME a diferentes temperaturas, por ejemplo, en las distintas etapas del proceso de producción y también durante el almacenamiento y transporte del producto final.

En resumen, los resultados presentados en este trabajo muestran que las mediciones de propiedades eléctricas, que ya fueron aplicadas a muestras de FAME obtenido a partir de aceite de soja, también pueden ser utilizadas en

muestras obtenidas a partir de diferentes aceites vegetales. La generalización de estos resultados es relevante para la caracterización de muestras tanto en ámbitos industriales como en laboratorios, para control de calidad, y para su aplicación "en línea" en sistemas de producción automáticos.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Proyecto UBACyT "Investigación y desarrollo en biocombustibles líquidos" (UBACyT 2010 - 2013), de la Universidad de Buenos Aires.

Referencias

1. **Ma F, Hanna MA**. *Biodiesel production: a review. Bioresour Technol*, 70(1):1–15, 1999.
2. **Knothe, G.; Van Gerpen, J.; Krahl, J.** *The Biodiesel Handbook*. 1st ed. Illinois: AOCS Press, EEUU, 1–12, 2005.
3. **Romano, S.D.** *Biodiesel. In: Romano SD*, González Suárez E, Laborde MA, editores. Combustibles Alternativos. 1ª ed, Argentina, Ediciones Cooperativas, p. 11–88, 2006.
4. **Keshavamurthy, H.C.; Sridhar, S.** *Novel capacitor fluid from vegetable oil*. IEEE Inter Symp Electr Insul, 452-5, 1998.
5. **Gunstone, F.D.** *Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses*. Blackwell Publishing, EEUU, p. 318, 2002.
6. **Field, R.F.** *Dielectric measurement techniques*. In: von Hippel AR, editor. Dielectric Materials and Applications, Cambridge MA: The MIT Press, EEUU, p. 47-62, 1966.
7. **Kremer F, Schönhals A**. *Broadband dielectric spectroscopy*.1st ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, Alemania, 2003.
8. **Sorichetti, P.A.; Romano, S.D.** *Physico - chemical and electrical properties for the production and characterization of Biodiesel*. Phys Chem Liq, 43(1):37-48, 2005.
9. **Romano, S.D.; Sorichetti, P.A.** *Dielectric Spectroscopy in the Production and Characterization of Biodiesel*.1st ed. London: Springer-Verlag, Reino Unido, 2010.
10. **Romano, S. D.; Sorichetti, P. A.** *Estimation of methanol content in biodiesel by measurements of electrical properties and flash point determination*. In: Lee WH, Cho VG, editors. Handbook of sustainable energy, New York: NOVA Science Publishers Inc, EEUU, p. 679–691, 2011.
11. **Romano, S.D.; Sorichetti, P.A.; Buesa Pueyo, I.** *Methanol content in biodiesel estimated by flash point and electrical properties*. In: Erbaum JB, editor. Bioethanol: Production, benefits and economics, New York: NOVA Science Publishers Inc, EEUU, p. 135–146, 2009.
12. **ASTM D 6751- 03 (American Standard of Biodiesel)**: *Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock* (B100) for Middle Distillate Fuels, 2003.
13. **EN 14214 (European Standard of Biodiesel)**: *Automotive Fuels, Fatty Acid Methyl Esters* (FAME) for Diesel Engines, Requirements and Test Methods.
14. **Gonzalez Prieto, L.E.; Sorichetti, P.A.; Romano, S.D.** *Electric properties of biodiesel in the range from 20 Hz to 20 MHz*. Comparison with diesel fossil fuel, International Journal of Hydrogen Energy, Elsevier, Vol. 33, p. 3531-3537, 2008.
15. **Romano, S.D.; Pereira, N. Jr.** *Materias primas para la producción de combustibles líquidos*. In: Romano SD, González Suárez E, editors. Biocombustibles líquidos en Iberoamérica. Ediciones Cooperativas, Argentina, p. 11-29, 2009.
16. **Schenkel, C.D.; Sorichetti, P.A.; Romano, S.D.** *Electrodos Intercambiables para Medir Propiedades Eléctricas en Líquidos*. Anales de la Asociación Física Argentina, 17: 283-7, 2005.
17. **Sorichetti, P.A.; Matteo, C.L.** *Low-frequency dielectric measurements of complex fluids using high-frequency coaxial sample cells*. Measurement, 40(4):437-49, 2007.
18. **Romano, S.D.; Sorichetti, P.A.** *Correlation between electrical properties and flash point with methanol content in biodiesel*. Chem Phys Res J, 3 (2/3):259-68, 2009.

Recibido: 16/04/2013
Aprobado: 31/07/2013