

Revista Científica y Tecnológica UPSE

Evaluación del efecto de la fase móvil sobre la eficiencia de separación de la fracción de hidrocarburos aromáticos, obtenida mediante la técnica de análisis SARA

Evaluation of the effect of the mobile phase on the separation efficiency of the aromatic hydrocarbon fraction, obtained by means of the sara analysis technique.



Génesis S. Chacón¹ <https://orcid.org/0000-0001-6187-421X>; Karla Quintero Bonilla¹ <https://orcid.org/0000-0002-0049-179X>

¹Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Resumen

Esta investigación muestra la influencia de la fase móvil, como variable cromatográfica, sobre la fracción de hidrocarburos aromáticos en una separación SARA, a modo de establecer su impacto en la optimización del proceso de separación. La metodología empleada consistió en realizar 32 separaciones cromatográficas a 32 sub-muestras de maltenos variando la fase móvil para eluir a los hidrocarburos aromáticos entre tolueno, benceno y una mezcla DCM/n-hexano (30:70 v/v). Los resultados obtenidos revelaron que la variación de fase móvil incide en el porcentaje de extracción de la fracción en estudio, en función de la naturaleza del disolvente. Cuando se utiliza tolueno y benceno como fase móvil los resultados son estadísticamente iguales y difieren del obtenido por la mezcla DCM/n-hexano, siendo el orden de extracción el siguiente: tolueno \geq benceno $>$ DCM/n-hexano; sin embargo, las fracciones de hidrocarburos aromáticos extraídas con la mezcla son extractos más claros que los obtenidas con el resto de los disolventes empleados.

Abstract

This research shows influence of mobile phase, as chromatographic variable, on the fraction of aromatic hydrocarbons in SARA separation, in order to establish impact on optimization of separation process. The methodology used was to perform 32 chromatographic separations to 32 maltene subsamples, varying the mobile phase to elute the aromatic hydrocarbons between toluene, benzene and a DCM / n-hexane mixture (30:70 v / v). The results obtained revealed that the mobile phase variation affects the extraction percentage of the fraction under study, depending on the nature of the solvent. When toluene and benzene are used as the mobile phase, the results are statistically the same and differ from that obtained by the DCM / n-hexane mixture, the extraction order being the following: toluene \geq benzene $>$ DCM / n-hexane; however, the fractions of aromatic hydrocarbons extracted with the mixture are clearer extracts than those obtained with the rest of the solvents used.

Palabras clave:

SARA,
aromáticos,
fase móvil,
disolventes,
hidrocarburos,
cromatografía

Keywords:

SARA,
aromatics,
mobile phase,
solvents,
hydrocarbons,
chromatography

Recibido: 5/05/2019

Aceptado: 11/09/2019

Publicado: 15/12/2019

Forma de citar: Chacón, G.; Quintero-Bonilla, K. (2019). Evaluación del efecto de la fase móvil sobre la eficiencia de separación de la fracción de hidrocarburos aromáticos, obtenida mediante la técnica de análisis SARA Revista Científica y Tecnológica UPSE, 6 (2) pág. 51-56. DOI: 10.26423/rctu.v6i2.456

* Autor para correspondencia: karlita.ven@gmail.com

1. Introducción

El análisis composicional del crudo es una herramienta que provee información esencial para establecer estrategias en las etapas de exploración, producción, transporte y refinación (Bissada et al., 2016). Para llevar a cabo este tipo de análisis, es necesario fraccionar, aislar y cuantificar los componentes principales del crudo mediante el análisis SARA (Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos) (Lesueur, 2009). La separación SARA está fundamentada en principios cromatográficos y ha permitido el desarrollo de estudios más detallados que han contribuido con grandes avances desde el punto de vista de la química y geoquímica del crudo (Ashoori et al., 2016; Bissada et al., 2016; Nie et al., 2018; Rudyk, 2018).

En la actualidad, existen numerosos ensayos basados en esta técnica, por lo que es común encontrar variaciones en la fase móvil, la fase estacionaria y el procedimiento, no existiendo una metodología universal para la separación SARA (Corbett, 1969; ASTM D-4124, Speight, 1999; 2004), haciendo posible obtener gran cantidad de posibilidades en cuanto a la eficiencia de separación, pues el fraccionamiento SARA es dependiente de la metodología a utilizar (Wallace et al., 1987; Fan y Buckley, 2002; Leal, 2009; Versan Kok y Gizem Gul, 2013).

La influencia de las variables cromatográficas, condicionan la eficiencia del proceso de separación, por lo tanto, mejorar los aspectos involucrados en cada uno de los métodos existentes y establecer las condiciones óptimas para la implementación de esa técnica es un problema de interés (Lesueur, 2009). Diversos estudios se han enfocado en las variaciones de la fase estacionaria y en las modalidades que tiene lugar esta técnica (Leal, 2009; Kharrat et al., 2007; Bastow, 2007). En cuanto a la fase móvil, es común la utilización indistinta de solventes orgánicos para la separación de cada fracción constituyente del crudo, pues el criterio utilizado para su escogencia se basa principalmente en la polaridad del solvente (Speight, 1999; 2004).

Esta investigación se centra en evaluar la influencia que tiene la fase móvil, durante el proceso de separación, particularmente en la extracción de la fracción de hidrocarburos aromáticos, obtenida a través de la técnica de cromatografía en columna, haciendo uso de distintos solventes, seleccionados sobre la base de su poder de elución.

2. Metodología

La muestra de crudo empleada para los ensayos es del campo El Furrial (zona norte del estado Monagas, a 35 km al suroeste de la ciudad de Maturín), Cuenca Oriental de Venezuela, posee gravedad API de 24° determinada a través del método de densidad descrito

en la norma ASTM D 1298 -99. La misma fue desprovista de agua y sedimentos, para lo cual se mezcló con tolueno en una relación 2:1 v/v (200 mL crudo: 100 mL tolueno), con centrifugación durante 20 minutos a 5000 rpm (Durafuge 200), posteriormente se eliminó el solvente por evaporación a presión reducida.

2.1 Separación SARA

2.1.1 Precipitación de asfaltenos

Para la precipitación de los asfaltenos, se utilizó el procedimiento descrito en la norma ASTM D-3279-97 con modificaciones. Se pesaron aproximadamente 1,6500 g de crudo limpio en un beaker al cual le fue añadido n-heptano como solvente de precipitación, siguiendo la relación 1:40 (m/v crudo/n-heptano), el sistema se mantuvo en agitación constante por 3 horas, obteniendo 2 fracciones (asfaltenos y maltenos), las cuales fueron separadas mediante el proceso de filtración en un sistema millipore, la fracción de asfaltenos fue lavada repetidas veces con n-heptano frío hasta que la solución sobrenadante, contentiva de los maltenos, quedara totalmente incolora luego de este procedimiento, las fracciones fueron cuantificadas.

2.1.2 Separación SAR

A partir de la fracción de maltenos obtenida, se tomaron 32 sub-muestras con pesos entre 0,0200 y 0,0300 g, para realizar la separación de hidrocarburos saturados y aromáticos "SA" a través de la técnica de cromatografía de adsorción en columna según lo dispuesto en la norma ASTM D 4124 con modificaciones. Para ello, fueron utilizadas pipetas Pasteur (de 6 cm de largo por 0,5 cm de ancho) como columnas cromatográficas, con alúmina neutra y activada dispersa en n-hexano. Las sub-muestras fueron disueltas en n-hexano y sembradas en el tope de la columna. La elución de las distintas fracciones se realizó estableciendo el uso de un gradiente de 20 mL de cada solvente, con n-hexano se eluyeron los hidrocarburos saturados y para los hidrocarburos aromáticos fueron utilizados 3 sistemas de solventes: benceno, mezcla DCM/n-hexano (70:30 v/v) y tolueno, este último, al ser el solvente establecido por la norma ASTM D 4124, constituyó un patrón de referencia interno. La fracción de las resinas se dejó en el tope de la columna y su porcentaje en peso fue determinado por diferencia. Con fines estadísticos, la separación con cada uno de los solventes se realizó 10 veces.

2.2 Tratamiento estadístico

Con la finalidad de establecer la calidad del proceso analítico, fueron calculadas la media (\bar{x}), la desviación estándar (s) y la desviación estándar relativa o el coeficiente de variación (cv) para evaluar, comparar y validar los resultados obtenidos, y de esta manera establecer el error asociado a la medida, proporcionando un grado o nivel de confianza. Adicionalmente se realizó un análisis exploratorio de

datos con el paquete estadístico STATISTIC 8.0 y la herramienta Microsoft Office Excel 2010 a fin de detectar la presencia de datos anómalos, utilizando la prueba de contraste de Grubbs. Una vez descartados los valores anómalos, para evaluar las variaciones que existen entre los grupos experimentales y dentro cada grupo experimental se implementó una prueba de contraste de significancia (ANOVA o análisis de varianza).

El análisis de la varianza permitió evaluar el efecto que tiene la fase móvil en el porcentaje de rendimiento de los hidrocarburos aromáticos, para ello se establecieron dos hipótesis tomando en consideración un nivel de confianza del 95%, a partir de este análisis se obtuvo el estadístico de prueba “f” (f práctico) y además una probabilidad asociada “p” para determinar si se aprueban o rechazan las hipótesis planteadas. Posteriormente se realizó una prueba a posteriori denominada prueba DMS (diferencia mínima significativa) a fin de determinar las diferencias entre los tres grupos experimentales establecidos.

2.3 Análisis de marcadores aromáticos

Con la finalidad de obtener los marcadores aromáticos 3 extractos de hidrocarburos aromáticos de cada grupo de solventes, fueron sometidos a un análisis de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (CG/EM), haciendo uso de un cromatógrafo de gases marca Agilent modelo 6890N acoplado a un espectrómetro de masas marca Agilent 5973. Se utilizó una columna cromatográfica DB-5 (60 m-0,25 mm-0,25 mm) para los hidrocarburos aromáticos. El detector de masas fue operado bajo el modo de iones monitoreados para analizar fenantreno, metilfenantrenos, dibenzotiofenos y metildibenzotiofenos ($m/z=178, 192, 184$ y 198 respectivamente).

3. Presentación y discusión de resultados

3.1 Efecto del solvente en el proceso de separación de los hidrocarburos aromáticos

Para evaluar la capacidad de separación de los hidrocarburos aromáticos, fueron utilizados tres sistemas de solventes. Los resultados del porcentaje de recuperación de hidrocarburos aromáticos obtenidos se presentan en la tabla 1.

Al comparar los porcentajes promedio de extracción obtenidos se evidencia que con la mezcla DCM/n-hexano (30:70) se obtiene el menor porcentaje en peso lo que es atribuido a la diferencia de polaridad que existe entre los solventes y con ello, el poder eluyente de los mismos.

Tabla 1. Porcentaje promedio de recuperación de hidrocarburos aromáticos obtenidos.

	Hidrocarburos aromáticos (%)	Poder eluyente (E°)*
Tolueno	18,4 ± 1,2	0,3
Benceno	18,1 ± 1,7	0,3
DCM/n-hexano (30/70)	14,5 ± 0,6	0,4 (DCM) - 0,01 (n-hexano)

(* Poder eluyente de disolventes orgánicos, para la fase estacionaria: alúmina. Tomado de Snyder (1968).

El poder eluyente (E°) calculado por Snyder (1968) para los solventes benceno y tolueno es muy similar (0,30 y 0,29 respectivamente) siendo estos valores además acordes a la polaridad (Durst y Gokel, 1985). En función de ello, se logra explicar la similitud entre los resultados obtenidos respecto al porcentaje de extracción de la fracción de hidrocarburos aromáticos (tabla 1). Adicionalmente, el poder eluyente de estos solventes es equivalente dentro de las series eulotrópicas de solventes orgánicos (Pickering, 1976). Por lo cual, se puede establecer que el uso de uno u otro solvente como fase móvil de extracción es indiferente, ya que los resultados obtenidos serían análogos, pues cabría esperar que presenten coeficientes de distribución muy similares.

En el caso de la mezcla de solventes utilizada, es evidente que la proporción empleada (30:70 v/v), disminuye el poder eluyente de la misma, afectando el factor de retención y distribución de los componentes, debido a la competencia que se desarrolla por el soluto (muestra de crudo) entre la fase móvil (solventes) y la fase estacionaria (alúmina). Esta última, constituye una superficie altamente polar, donde la diferencia de polaridades entre las fases involucradas (móvil y estacionaria) permite que los distintos solutos que componen la muestra se repartan de acuerdo a sus coeficientes de distribución, presentando entonces variaciones en función de la naturaleza de las mismas, afectando el porcentaje en peso obtenido de las distintas fracciones, en este caso, los hidrocarburos aromáticos (Skoog *et al.*, 2001).

3.2 ANOVA de un factor

A fin de conocer si las diferencias observadas son estadísticamente significativas y el efecto que tienen los solventes utilizados para la extracción de la fracción de hidrocarburos aromáticos como variable independiente, sobre los porcentajes de rendimiento obtenidos (variable dependiente), se aplicó al conjunto de datos el análisis de varianza (ANOVA), o proceso de comparación múltiple.

La tabla 2, muestra el análisis de la varianza de los datos de porcentaje de rendimiento de hidrocarburos aromáticos realizados para establecer si existen o no diferencias significativas entre los tres grupos

experimentales. En este caso, el estadístico de prueba “F” (el cual es calculado a partir del cociente del error sistemático y el error aleatorio), tuvo un valor de 38,8731, valor que representa el F práctico, con una probabilidad “p” menor a 0,05 ($p=2,9670 \times 10^{-8}$), por lo que se acepta la hipótesis alternativa (H1), la cual establece que al menos una de las medias de los grupos experimentales es diferente en comparación con el resto, con un nivel de confianza del 95% previamente establecido.

Tabla 2. Análisis de la varianza de los datos de porcentaje de rendimiento de hidrocarburos aromáticos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Tratamiento (Diferentes solventes)	82,5361	2	41,2680	38,8731	2,9670 $\times 10^{-8}$
Error	25,4786	24	1,0616		

Debido al resultado obtenido por con el análisis de varianza, se planteó una prueba adicional a posteriori, que permitió realizar comparaciones entre las medias de los grupos experimentales para establecer las diferencias mínimas significativas entre los tratamientos. Los resultados obtenidos en esta prueba se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Prueba a posteriori DMS: determinación de las diferencias mínimas significativas.

	Mezcla DCM/hexano	Benceno
Tolueno	0,00061	0,9685
Benceno	0,00055	----

Los resultados obtenidos a partir de las comparaciones entre las medias de cada uno de los grupos experimentales permitieron obtener una probabilidad asociada a cada comparación realizada, en donde si esta última es menor a 0,05 se establece que las medias son significativamente diferentes. Por el contrario, al ser el valor de *p* mayor a 0,05 las medias comparadas son estadísticamente iguales.

Al comparar el resultado obtenido para el tolueno se observó que la media es estadísticamente igual a la media del benceno y viceversa. Este resultado sugiere que existe la posibilidad de que al realizar la extracción o separación de la fracción de hidrocarburos aromáticos utilizando tolueno y benceno como fase móvil, los resultados obtenidos serán iguales. Por lo que se afirmar

nuevamente, que es indiferente desde el punto de vista cuantitativo a la hora de separar la fracción de hidrocarburos aromáticos la utilización de dichos solventes, y se les es atribuido al grado de polaridad y poder eluyente tan similar que presentan.

Ahora bien, al comparar el grupo experimental mezcla DCM/n-hexano (30:70) con el resto de los solventes, se obtuvo una probabilidad “p” menor a 0,05. Por lo tanto, dicho grupo experimental es significativamente diferente del resto, desde el punto de vista estadístico.

Siguiendo ese sentido, la utilización de los solventes debe ser un factor a considerar a la hora de analizar el porcentaje recuperado de hidrocarburos aromáticos, pues afectará durante el proceso de extracción. De modo que el uso de benceno y tolueno generará una mayor cantidad de fracción de hidrocarburos aromáticos, que el uso de la mezcla, lo cual fue atribuido con anterioridad a las diferencias de polaridad y fuerza de elución existente entre dichos solventes. Por consiguiente, las diferencias obtenidas no están asociadas al método, sino a la naturaleza química de los solventes utilizados.

Sin embargo, experimentalmente se encontró que los extractos obtenidos con benceno y tolueno eran de color amarillo oscuro mientras que los extraídos con DCM/n-hexano (70:30 v/v) eran amarillo claro, además la columna cromatográfica quedaba de color marrón con benceno y tolueno como solventes y blanca con DCM/n-hexano, estos datos representan una evidencia experimental de la pureza de la fracción de hidrocarburos aromáticos extraídos, debido a la posibilidad de que el alto poder eluyente del benceno y el tolueno este ocasionando la remoción de algunos compuestos del grupo de las resinas en la fracción de hidrocarburos aromáticos, tal y como fue previamente reportado por Islas-Flores et al. (2005). La posible presencia de compuestos del grupo de las resinas, restaría pureza y aumentaría el porcentaje de extracción. Mientras que, con DCM/n-hexano la separación de las fracciones de hidrocarburos aromáticos y resinas es más eficiente, a pesar del menor porcentaje de extracción y las resinas permanecen en el tope de la columna mientras los hidrocarburos aromáticos descienden.

3.3 Efecto de la variación de la fase móvil en las interpretaciones geoquímicas a partir del uso de marcadores aromáticos

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos para algunas relaciones entre marcadores aromáticos para la muestra de crudo Furrrial. De acuerdo a los valores presentados, desde el punto de vista de las interpretaciones de carácter geoquímico, no existen diferencias significativas al utilizar distintos solventes para la extracción de la fracción de hidrocarburos aromáticos a través del método de cromatografía líquida de absorción en columna. Pues fueron identificados los mismos picos

en cada fragmentograma, destacando además la reproducibilidad obtenida en cuanto a la utilización de los tres solventes planteados (tolueno, benceno, DCM/n-hexano 30:70 v/v), aunque con diferencias en cuanto a la abundancia relativa de los picos. Sin embargo, al calcular las relaciones de marcadores aromáticos, se mantiene una relación lineal, arrojando entonces la misma interpretación.

Tabla 4. Relaciones de marcadores aromáticos para el crudo Furrial.

	TAS ¹	IMeD BT ²	DBT/F	MF-1 ³	% Rc ⁴
Tolueno	0,53±0 ,02	2,26±0 ,16	0,72±0 ,04	0,72±0 ,02	0,83±0 ,01
Benceno	0,54±0 ,03	2,39±0 ,10	0,74±0 ,02	0,74±0 ,08	0,84±0 ,05
DCM/n- hexano	0,55±0 ,01	2,34±0 ,13	0,76±0 ,03	0,76±0 ,02	0,86±0 ,02

$${}^1TAS = \frac{TASI}{(TASI+TASII)}$$

$${}^2IMeDBT = \frac{4MeDBT}{1-MeDBT}$$

$${}^3MF_1 = \frac{1,5(2-Metilfenantreno+3-Metilfenantreno)}{(Fenantreno+1-Metilfenantreno+9-Metilfenantreno)}$$

$${}^4\%Rc = 0,60(IMF - 1) + 0,40 \text{ para } \%Rm < 1,35$$

Los resultados obtenidos se atribuyen a que las relaciones de marcadores aromáticos se basan en la abundancia que tiene un compuesto particular y sus homólogos. Por lo que, al variar el solvente de elución, el rendimiento de extracción de moléculas distintas es afectado, pero la relación con la que son extraídas se mantiene; pues la gran cantidad de moléculas que componen dicha fracción se ven influenciadas de la misma manera durante el proceso de separación cromatográfico.

La influencia viene dada por las características de solubilidad y propiedades de adsorción de cada molécula, en función de los grupos funcionales, los efectos inductivos y resonantes presentes en su estructura y las distintas interacciones intermoleculares que se produzcan entre cada molécula y las fases en competencia. Se tiene entonces que las moléculas se “repartirán” entre las dos fases (móvil y estacionaria) en función de la afinidad química que tengan por cada fase, dando lugar a múltiples equilibrios adsorción-desorción durante su desplazamiento por la columna cromatográfica, encontrándose una relación a razón constante de distribución de los hidrocarburos aromáticos entre las dos fases. Esta última representa

una constante independientemente del valor individual de las concentraciones, y la razón dependerá de las características químicas de los hidrocarburos aromáticos (Walton y Reyes, 1979; Skoog *et al.*, 2001).

4. Conclusiones

- La variación de fase móvil incide en el porcentaje de recuperación obtenido de la fracción de hidrocarburos aromáticos en función del poder eluyente de la misma, obteniendo un incremento en la extracción en el siguiente orden: tolueno ≥ benceno > DCM/n-hexano.
- El porcentaje de extracción obtenido haciendo uso de tolueno y benceno como fase móvil es estadísticamente igual y difiere del obtenido por la mezcla DCM/n-hexano de forma significativa de acuerdo al análisis de la varianza realizado mediante el ANOVA de un factor. Por lo tanto, el uso de benceno o tolueno como fase móvil es indiferente, pues existe la probabilidad de que se obtenga el mismo porcentaje de extracción de la fracción haciendo uso de los mismos.
- Se determinó que la fase móvil en cromatografía en columna, no tiene incidencia significativa sobre la información geoquímica que se pudiera obtener a través de la utilización de marcadores aromáticos.

5. Agradecimientos

Las autoras agradecen el financiamiento otorgado a través del proyecto PEI-2011001346.

6. Referencia

- [1] American Society for Testing and Materials. ASTM D-4124 (2001). Test Methods for Separation of Asphalt Into Four Fractions. Philadelphia.
- [2] American Society for Testing and Materials. ASTM D-1298-99 (2005). Standart Test Methods for Density, Relative Density (Specific Gravity), or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method. Philadelphia.
- [3] Ashoori, S., Sharifi, M., Masoumi, M., Salehi, M. (2017). The relationship between SARA fractions and crude oil stability. Egyptian Journal of Petroleum 26, 209-213.
- [4] Bastow, T., van Aarssen, B., y Lang, D. (2007). Rapid small-scale separation of saturate, aromatic and polar components in petroleum. Organic Geochemistry 38(8), 1235-1250.
- [5] Bissada, K., Tan, J., Szymczyk, E., Darnell, M., Mei, M. (2016). Group-type characterization of crude oil and bitumen. Part I: Enhanced separation and quantification of saturates, aromatics, resins and asphaltenes (SARA). Organic Geochemistry 95, 21-28

- [6] Camin, D., y Raymond, A. (1973). Chromatography in the Petroleum Industry. *Journal of Chromatographic Science* 11(12), 625-638.
- [7] Corbett, L. (1969). Composition of asphalt based on generic fractionation, using solvent deasphalting, elution-adsorption chromatography, and densimetric characterization. *Analytical Chemistry* 41(4), 576-579.
- [8] Durst, H., y Gokel, G. (1985). *Experimental organic chemistry*. McGraw Hill Book Company. Second edition, 600p.
- [9] Fan, T., y Buckley, J. (2002). Rapid and accurate SARA analysis of medium gravity crude oils. *Energy & Fuels* 16(6), 1571-1575.
- [10] Faraj, M., Knidsen, T.S., Y Nytoft, H. (2016). Organic geochemistry of crude oils from the Intisar oil field (East Sirte Basin, Libya). *Journal of Petroleum Science and Engineering* 147, 605-616
- [11] Galagovsky, L. (1999). *Química Orgánica: Fundamentos teórico-prácticos para el laboratorio*. Buenos Aires: Eudeba. First edition, 246p.
- [12] Islas - Flores C. A., Buenrostro-Gonzalez E., Lira-Galeana C. (2005) Comparisons between Open Column Chromatography and HPLC SARA Fractionations in Petroleum, *Energy Fuels* 2005 195 2080-2088
- [13] Jewell, D., Weber, J., Bunger, J., Plancher, H., y Latham, D. (1972). Ion-exchange, coordination, and adsorption chromatographic separation of heavy-end petroleum distillates. *Analytical Chemistry* 44(8), 1391-1395
- [14] Leal, B. (2009). Evaluación de las variantes de la separación SARA en muestras de crudo para la elución eficiente de los compuestos aromáticos. Trabajo de especialización de grado. Universidad Central de Venezuela. 42p.
- [15] Nie, F., He, D., Guan, J., Li, X., Zhang, Q. (2018). Oil sand pyrolysis: Evolution of volatiles and contributions from mineral, bitumen, maltene, and SARA fractions. *Fuel* 224, 726-739.
- [16] Rudyk, S. (2018). Relationships between SARA fractions of conventional oil, heavy oil, natural bitumen and residues. *Fuel* 216, 330-340.
- [17] Skoog, D., Holler, F., Nieman, T., y Martinez Gomez, M. (2001). *Principios de análisis instrumental*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana. Primera edición, 1028p.
- [18] Speight, J.G. (1999). *The Chemistry and Technology of Petroleum*. 3rd. Ed. New-York. Marcel Dekker.
- [19] Speight, J.G. (2004). Petroleum asphaltenes. Part 1. Asphaltenes, resins and the structure of petroleum. *Oil Gas Science Technology* 59, 467-477.
- [20] STATISTICA (Version 8.0) [Programa disponible en DC]. (2007). Disponible en: www.statsoft.com.
- [21] Versan, M., Kiyemet, K., Gul G. (2013). Thermal characteristics and kinetics of crude oils and SARA fractions. *Thermochimica Acta* 569, 66-70.
- [22] Wallace, D., Henry, D., Pongar, K., y Zimmerman, D. (1987). Evaluation of some open column chromatographic methods for separation of bitumen components. *Fuel* 66(1), 44-50.