

TÍTULO DEL ARTÍCULO: Implementación de las correlaciones para determinar las propiedades de viscosidad, índice y número de cetano, índice de refracción y contenido de azufre en las fracciones del petróleo.

AUTORES: Diana G. González Muñoz, Jenny E. Montoya Mejía, Juan E. Torres Macías.

CENTRO DE TRABAJO: Convenio ICP– FUA

NÚMEROS TELEFÓNICOS: (310)3178625 – (311)2008244 – (315)8268649

CORREOS ELECTRÓNICOS: digonmu@yahoo.com– jenninqui@yahoo.com– juestom@yahoo.es

IMPLEMENTACIÓN DE LAS CORRELACIONES PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DE VISCOSIDAD, ÍNDICE Y NÚMERO DE CETANO, ÍNDICE DE REFRACCIÓN Y CONTENIDO DE AZUFRE EN LAS FRACCIONES DEL PETRÓLEO.

IMPLEMENTATION OF CORRELATIONS TO DETERMINE THE PROPERTIES OF VISCOSITY, CETANE INDEX AND CETANE NUMBER, REFRACTIVE INDEX AND SULFUR CONTENT IN PETROLEUM FRACTIONS.

RESUMEN

La implementación de las correlaciones para determinar las propiedades de viscosidad, índice y número de cetano, índice de refracción y contenido de azufre en las fracciones del petróleo fue realizada a través de una revisión bibliográfica de las correlaciones publicadas en la literatura. Luego de analizar los datos experimentales se efectuó la respectiva selección y ajuste mediante el criterio estadístico *Curtosis*, con el fin de observar el comportamiento de las correlaciones. También se demostró su efectividad mediante una aplicación en MS-Excel. Finalmente se hizo la validación con la información suministrada por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

ABSTRACT

The implementation of correlations to determine the properties of viscosity, cetane index and cetane number, refractive index and sulfur content in the fractions of petroleum was made through a bibliographical revision of published correlations in Literature. After analyzing the experimental data, make the respective selection and fits by means of the statistical parameter Kurtosis with the purpose of observing the behavior of the correlations. Also its effectiveness by means of an application in MS-Excel was demonstrated. Finally make the validation with the information provided by the Colombian Petroleum Institute (ICP).

PALABRAS CLAVE: Contenido de Azufre, Índice de Cetano, Índice de Refracción, Viscosidad

KEYWORDS: Cetane Index, Refractive Index, Sulfur Content, Viscosity

INTRODUCCIÓN

Debido a la complejidad del petróleo y sus productos, estos deben ser sometidos a diversas pruebas para evaluar su calidad. Llevar a cabo este análisis experimentalmente resulta costoso para la compañía productora, por tal motivo es conveniente recurrir a correlaciones empíricas para estimar propiedades, que con un mínimo de información de entrada proporcionen resultados confiables.

Es así como este proyecto se fundamenta en la implementación de correlaciones para determinar las propiedades mencionadas. Para ello se realizó una revisión bibliográfica de las correlaciones publicadas en la literatura y se implementaron mediante una aplicación en MS-Excel.

Para el caso del índice de cetano se analizaron 22 ecuaciones (Ladommatos, 1995; ASTM D-4737) estas correlaciones no tienen una buena capacidad de predicción para combustibles diesel atípicos, tales como los que contienen aceites vegetales, alcohol y compuestos de hidrocarburos simples.

El índice de refracción es una propiedad fácilmente medible, sin embargo se estudiaron 6 correlaciones para su estimación (Riazi and Roomi, 2001).

Se encontró una expresión reportada en la literatura para determinar el contenido de azufre, a la cual se le hizo los respectivos ajustes (Riazi, Nasimi and Roomi, 1999).

Existen varias correlaciones disponibles para el cálculo de la viscosidad, éstas fueron evaluadas para escoger la que mejor se adapta a las condiciones reales (Al-Syabi et al., 2001; ASTM D-445-96; Amin and Maddox, 1980; Baltatu, 1982; Dizechi and Marschall, 1982; Ely and Hanley, 1981; Fang and Lei, 1999; Goletz and Tassios, 1977; Hashim and Hassaballah, 2003; Korsten, 2001; Latif, Seoud and Moharam, 1999; Mcketta, 1990; Mehrotra, 1990; Moharam and Fahim, 1995 a, 1995 b; Monnery, Svrcek and Mehrotra, 1996; Özdogan and Gürbüz, 2000, 2001; Puttagunta, Miadonye and Singh, 1992; Riazi and Al-Otaibi, 2001; Shanshol and Hashim, 2001; Singh, Miadonye and Puttagunta, 1993; Twu, 1984, 1986; Werner et al., 1998).

Es importante que haya continuidad en este tipo de investigaciones puesto que de una u otra forma estos estudios, básicamente teóricos son la base fundamental para la creación de nuevas correlaciones las cuales producen avances científicos, y se podrían generalizar para crudos y productos de otras partes del mundo.

METODOLOGÍA

Esta investigación está basada en la recopilación bibliográfica de correlaciones para determinar las propiedades objeto de estudio, a partir de las cuales se hace el análisis y selección de las que mejor ajustan los datos experimentales proporcionados por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

Las correlaciones se aplicaron a tres los productos, ACPM, Jet-A y Nafta del estudio de la casa de bombas 5 del Complejo Industrial de Barrancabermeja (CIB). La información se obtuvo a partir de la base de datos RIS de Ecopetrol S.A.

Con el fin de observar el comportamiento de los datos experimentales en comparación con la tendencia de las correlaciones utilizadas se utilizó el parámetro estadístico *Curtosis*. Éste permite medir qué tan puntiaguda es una distribución teniendo como referencia la curva normal. En este caso se toma como curva "normal" la distribución de los datos reales, y se emplea *Curtosis* para escoger una función que se adapte a la tendencia o forma a esos valores. Una vez son seleccionadas las correlaciones se procede a realizar un ajuste por regresión no lineal, mediante el complemento *Solver* de MS-Excel. También se obtuvo la *desviación estándar* de los errores para tener una base de qué tan alejados están los resultados obtenidos de la realidad.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Índice de cetano. Esta propiedad es un valor calculado a partir de propiedades físicas de los combustibles destilados medios y estima el número de cetano.

El número de cetano es el porcentaje de cetano puro en una mezcla de cetano y alfa metilnaftaleno que tiene la misma calidad de ignición que una muestra de combustible diesel o ACPM (aceite combustible para motores) y se lleva a cabo experimentalmente. Por esta razón las correlaciones calculan el índice de cetano.

Para esta propiedad se seleccionaron 19 ecuaciones (Ladommatos et al, 1995). El punto de anilina es una de las propiedades más requeridas para estimar el índice de cetano, sin embargo no fue posible obtener los valores experimentales, por ello se utilizó la correlación propuesta por Riazi et al (2003). Esta expresión tiene como parámetros de entrada la gravedad API (G) y la temperatura de ebullición (T_b) en [R].

$$AP(^{\circ}F) = 0,4 \cdot (API) \cdot (T_b^{1/3}) + 0,317 \cdot (T_b) - 298 \quad (1)$$

Para el caso del ACPM se compararon los resultados con los valores experimentales y se escogió la siguiente correlación para ajustar los datos por presentar la *Curtosis* más cercana a la experimental y una desviación estándar de errores de 3,464.

$$CI = 9,6493 + (0,11381 \cdot APP) + (0,000927 \cdot APP^2) \quad (2)$$

Ajustando la correlación (2) a los datos experimentales se obtiene la siguiente expresión.

$$CI = 9,51304 + (0,0459 \cdot APP) + (0,00132 \cdot AAP^2) \quad (3)$$

FIGURA 1.

Para la muestra de Jet-A no fue posible contar con los datos experimentales del índice de cetano, y a productos como la Nafta no se le determina esta propiedad.

Índice de Refracción. En los datos suministrados no está disponible como valor experimental el índice de refracción, por lo tanto se comparó solamente entre los resultados obtenidos por las correlaciones reportadas en la literatura (Riazi et al, 2001 a), con ellas se calcula el parámetro de índice de refracción (I). La siguiente ecuación determina el índice de refracción (n) a partir de I.

$$n = \left(\frac{1+2 \cdot I}{1-I} \right)^{1/2} \quad (4)$$

Contenido de Azufre. En la literatura hay muy poca información acerca de la estimación del contenido de azufre en las fracciones del petróleo. Por esta razón, solamente una correlación está disponible para este fin (Riazi et al, 1999) la cual requiere entre otras propiedades, el índice de refracción y la densidad a 20°C pero no se tienen disponibles experimentalmente. En el parámetro *m* el valor numérico representa un índice de refracción.

$$\begin{aligned} & \text{para fracciones con } M < 200 \\ S\% &= 177.4482 - 170.9463 \cdot RI + 0.2258 \cdot m + 4.054 \cdot SG \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \text{para fracciones con } M > 200 \\ S\% &= -58.02 + 38.4628 \cdot RI - 0.0229 \cdot m + 22.4 \cdot SG \end{aligned} \quad (6)$$

Donde

$$m = M(n - 1,475) \quad (7)$$

$$RI = n - \frac{r}{2} \quad (8)$$

Para el caso del índice de refracción requerido, se tomaron los valores obtenidos por este mismo estudio.

La densidad a 20°C se determinó a partir de la siguiente expresión, propuesta por Riazi et al (1999).

$$r_{20^{\circ}\text{C}} = 0,98372 \cdot T_b^{0,02269} \cdot SG^{1,0055} \quad (9)$$

Donde T_b está en [K], ρ es la densidad a 20°C en [g/cm³].

Para el análisis de esta propiedad se utilizó el parámetro estadístico Curtosis y se obtuvo una desviación estándar de errores de 0,044 . De esta manera se obtuvo la siguiente modificación de la ecuación 7 para la muestra de ACPM con $M > 200$.

$$S\% = -55,4609 + 34,1648 \cdot RI - 0,1237 \cdot m + 23,3822 \cdot SG \quad (10)$$

Los términos RI y m son los mismos planteados por Riazi et al (1999) .

Para esta modificación se utilizó la siguiente expresión de índice de refracción (API Technical Data Book, 1982).

$$I_{20} = 3,587 \times 10^{-3} \cdot \overline{BP}^{1,0848} \left(\frac{M}{r} \right)^{-0,4439} \quad (11)$$

Donde, M es el peso molecular del corte, ρ es la densidad a 20°C y 1 atm en [kg/dm³] y \overline{BP} es el punto de ebullición promedio medio en [K].

FIGURA 2.

La ecuación a modificar para la muestra de Jet-A con $M < 200$ es la (5), obteniendo la expresión (12):

$$S\% = -2,0862 + 0,1524 \cdot RI - 0,0009 \cdot m + 2,6610 \cdot SG \quad (12)$$

El término RI es el mismo planteado por Riazi et al, y m fue modificado a la siguiente expresión.

$$m = M(n - 0,08743) \quad (13)$$

Donde M es el peso molecular del corte y n es el índice de refracción.

Al ajustar el parámetro m se pierde el sentido físico del valor numérico, por lo tanto solo es aplicable a la muestra estudiada.

La desviación estándar de los errores para este caso fue de 0,010.

La correlación que se utiliza en este caso para hallar el índice de refracción es la que se muestra a continuación.

$$\begin{aligned} & \text{para } M \leq 300 \\ I_{20} &= 0,12399 \exp(3,4622 \times 10^{-4} \cdot M + 0,90389 \cdot SG \\ & \quad - 6,0955 \times 10^{-4} \cdot M \cdot SG) \cdot M^{0,02264} \cdot SG^{0,22423} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} & \text{para } M > 300 \\ I_{20} &= 0,01102 \exp(-8,61126 \times 10^{-4} \cdot M + 3,22861 \cdot SG \\ & \quad + 9,07171 \times 10^{-4} \cdot M \cdot SG) \cdot M^{0,02426} \cdot SG^{-2,25051} \end{aligned} \quad (15)$$

FIGURA 3.

Al igual que sucede con el Jet-A, la muestra de Nafta presentó un peso molecular inferior a 200, por lo tanto la ecuación a modificar es la (5).

$$S\% = 87,0233 - 63,677352 \cdot RI + 0,5709 \cdot m - 27,2247 \cdot SG \quad (16)$$

El término RI es el mismo planteado por Riazi et al, y m fue modificado a la siguiente expresión:

$$m = M(n - 1,4178) \quad (17)$$

Donde M es el peso molecular y n es el índice de refracción calculado con la correlación (14).

El ajuste de este parámetro se aplica únicamente a la muestra analizada.

La desviación estándar obtenida fue de 0,006.

FIGURA 4.

Viscosidad. Al contrario de lo que sucede con el contenido de azufre, la viscosidad es una de las propiedades físicas que más se reporta en la literatura. En este estudio se han escogido 32. El análisis también se hizo con base en la *Curtosis* y de esta manera se escogieron las correlaciones

que mejor ajustan, excepto para la muestra de Nafta, ya que no hay datos experimentales disponibles.

Para el caso del ACPM, la ecuación a modificar es la siguiente, teniendo en cuenta que los datos experimentales están disponibles para una temperatura de 40°C.

$$h = 3,141 \times 10^{10} \cdot (1,8 \cdot T - 460)^{-3,444} \cdot [\log(G)]^a \quad (18)$$

Donde

$$a = 10,313 \cdot [\log(1,8 \cdot T - 460)] - 36,447 \quad (19)$$

La correlación ajustada con el criterio de *Curtosis* a los datos experimentales tiene la siguiente forma.

$$h = 3,106880 \cdot (1,8 \cdot T - 460)^{0,9532} \cdot [\log(G)]^a \quad (20)$$

$$a = -0,50986 \cdot [\log(1,8 \cdot T - 460)] - 9,390615 \quad (21)$$

La desviación estándar de los errores para esta expresión es de 0,278.

FIGURA 5.

Para la muestra de jet-a la ecuación que se modificó fue la **(22)**, para una temperatura de -20°C

$$\ln(n) = A \exp \left[\left(\frac{T_b 50}{T} \right) \cdot SG^B \right] + C \quad (22)$$

Donde

$$A = 1,0185 \quad (23)$$

$$B = (T_b 50 / 305,078) - 0,55526 \quad (24)$$

$$C = -3,2421 \quad (25)$$

La expresión (22) no tuvo cambios, pero las ecuaciones (23), (24) y (25) si fueron ajustadas, obteniendo los siguientes resultados, con una desviación estándar de los errores de 0,483.

$$A = 2,4179 \quad (27)$$

$$B = (T_b,50/301,3069) - 2,3855 \quad (28)$$

$$C = -3,18467 \quad (29)$$

FIGURA 6.

APLICACIÓN

Las correlaciones estudiadas en esta investigación están disponibles en una aplicación realizada en MS-Excel la cual tiene como nombre **Correlaciones 1.0**. En ella se puede utilizar cada una de las correlaciones reportadas en la literatura por medio de formularios. Estos se usan según los datos de entrada que tenga disponible el usuario. Además, los resultados obtenidos quedan impresos en una hoja de cálculo, junto con el error reportado por el autor y el calculado si se tienen datos experimentales. También es posible agregar nuevas correlaciones y visualizarlas en la misma aplicación. Para mayor comprensión, existe un archivo de ayuda que explica el uso de **Correlaciones 1.0**.

CONCLUSIONES

La propiedad objeto de estudio que más precisión tuvo al implementarse las correlaciones fue el *índice de cetano*. Aunque la desviación calculada entre valores estimados y experimentales llegó a mostrar diferencias, estas son significativamente bajas lo cual indica que las correlaciones son bastantes convenientes y demuestran una buena capacidad de predicción.

La propiedad más importante para determinar la índice de cetano de los combustibles Diesel es el punto de anilina.

El modelo propuesto por Riazi et. al. para determinar el porcentaje de azufre en una muestra tiene una buena tendencia, sin embargo es necesario hacer ajustes en sus parámetros ya que se presenta una desviación con respecto a los datos reales.

En las fracciones del petróleo el contenido de azufre debe ser bajo, por tal razón no se puede generalizar las correlaciones determinadas para cada uno de los cortes estudiados, ya que al ser el intervalo tan pequeño, es susceptible a cualquier cambio. Por lo tanto las correlaciones modificadas son válidas únicamente para los productos analizados en este documento.

Con base en el análisis hecho para el contenido de azufre, se puede deducir que la ecuación que mejor se adapta a las condiciones reales de índice de refracción es **(14)**, aunque no se cuenta con datos experimentales de esta propiedad.

La ecuación identificada como **(22)** es la que mejor ajusta los datos reales de ACPM, Jet-A y Nafta. Sin embargo, las modificaciones realizadas para el cálculo de la viscosidad, no se pueden generalizar.

Las expresiones en las cuales se involucra el peso molecular o la densidad ajustan bien los datos.

Las propiedades más importantes para el cálculo de la viscosidad son la temperatura y la temperatura de ebullición promedio. Sin embargo, la ecuación **(20)** no es aplicable a bajas temperaturas. Por otro lado, la presión no es un factor influyente en la determinación de la viscosidad.

Las correlaciones ajustadas para las propiedades que fueron objeto de estudio en este proyecto no se pueden generalizar, esto quiere decir que son aplicables únicamente a los cortes analizados.

De acuerdo a los datos obtenidos en la validación de la aplicación en MS-Excel desarrollada, puede concluirse que garantiza un buen alcance; pues se ha concebido teniendo en cuenta la utilización de correlaciones muy estudiadas y adicionalmente la aproximación lograda en los cálculos ofrece una buena confiabilidad, especialmente para el índice de cetano.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con estudios como este, donde se recopilen las correlaciones desarrolladas para estimar propiedades físicas de las fracciones del petróleo, ya que es necesario tener un buen informe de propiedades y así facilitar la obtención de productos.

Aunque se escogieron las correlaciones más pertinentes para las propiedades objeto de estudio, es posible ampliar este trabajo para otras correlaciones de este tipo e incluso implementarlo para otras propiedades de interés.

Entre las propiedades que se recomiendan para seguir con esta clase de estudios está el punto de anilina, el índice de octano, el punto de nube, el punto de humo, el punto de inflamación, entre otras.

El presente proyecto sirve de impulso a otros investigadores a ampliar su campo de acción a nuevos tópicos que aun están en desarrollo y son de gran importancia como lo es el tema de mezclas. Por ello se recomienda aplicar y desarrollar correlaciones que involucren mezclas de fracciones del petróleo.

Es necesario probar las correlaciones modificadas en este estudio, en otros cortes y de esta manera observar su comportamiento y decidir si es posible generalizarlas o no.

La viscosidad es la propiedad que tuvo mayor variabilidad en su estimación; por lo tanto es importante revisarlas a otras temperaturas diferentes de 40°C y -20°C.

Se recomienda facilitar el cálculo de las propiedades estudiadas mediante el uso de la aplicación desarrollada en MS-Excel, *Correlaciones 1.0* asegurando una mayor rapidez, versatilidad y economía a la hora de caracterizar fracciones del petróleo.

NOMENCLATURA

AP: punto de anilina [°C]

APP: punto de anilina [°F]

CI: índice de cetano

CIB: complejo industrial de Barrancabermeja

CN: número de cetano

Correlaciones 1.0: aplicación creada por las autoras

cSt: centi stoke [mm^2/s]

G: gravedad API [°API]

I: parámetro de índice de refracción

M: peso molecular de la fracción

$\overline{\text{BP}}$: punto de ebullición promedio medio
n: índice de refracción
SG: gravedad específica o densidad relativa
t: temperatura [°C]
T: temperatura [K]
T10: temperatura al 10% de destilado [°C]
T50: temperatura al 50% de destilado [°C]
T90: temperatura al 90% de destilado [°C]
TBP: punto de ebullición verdadero
TT10: temperatura al 10% de destilado [°F]
TT50: temperatura al 50% de destilado [°F]
TT90: temperatura al 90% de destilado [°F]
 $T_{b,50}$: temperatura al 50% de destilado [K]
%S: contenido de azufre

Letras Griegas

η : viscosidad dinámica
v: viscosidad cinemática
 ρ : densidad [kg/l] ó [g/cm³]

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albahr, T.A; Riazi, M.R and Alqattan, A.A. (2003). Analysis of quality of the petroleum fuels. *Energy & Fuels*, 1, 689-693.

Al-Syabi, Z. et al. (2001).A residual viscosity correlation for predicting the viscosity of petroleum reservoir fluids over wide ranges of pressure and temperature. *Chemical Engineering Science*, 56, 6997-7006.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. (1982).Technical data book: Petroleum refining. Pennsylvania: API.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2000). Standard test methods for calculated cetane index of distillate fuels. Annual Book of ASTM standards. Philadelphia: ASTM, (Method D-976-91)

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2000). Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids (the calculation of dynamic viscosity). Annual Book of ASTM standards. Philadelphia: ASTM, (Method D-445-96)

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2004). Standard test method for calculated cetane index by four variable equation. Annual Book of ASTM standards. Philadelphia: ASTM, (Method D-4737-03)

Amin, M.B and Maddox, R.N. (1980). Estimate viscosity vs. temp. *Hydrocarbon Processing*, 55(12), 131-136.

Baltatu, M. (1982). Prediction of the liquid viscosity for petroleum fractions. *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, 21(1), 192-195.

Dizechi, M and Marschall, E. (1982). Correlation for viscosity data of liquid mixtures. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 21, 282-289.

Ely, J and Hanley, H. J. (1981). Prediction of transport properties: 1. Viscosity of Fluids and Mixtures. *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, 20(4), 323-332.

Fang, W and Lei, Q. (1999). Generalized correlation for predicting the kinematic viscosity of liquid petroleum fractions. *Fluid Phase Equilibria.*, 166, 125-139.

Goletz, E and Tassios, D. (1977). An Antoine type equation for liquid viscosity dependency to temperature. *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, 16(1), 75-79.

Hara, H; Itoh, Y and Henein, N. (1999). Effect of cetane number with and without additive on cold startability and white smoke emissions in a diesel engine. *Society of Automotive Engineers, Inc.* 858-872.

Hashim, E and Hassaballah, A. (2003). An improved viscosity- temperature correlation for crude oils. *Petroleum Science and Technology.*, 21(11/12), 1625-1630.

Hashimoto, K and Ohta, H. (2002). Evaluation of ignition quality of LPG with cetane number improver. *Society of Automotive Engineers, Inc.*, 1462-1466.

İçingür, Y and Duran, A. (2003). Effect of fuel cetane number and injection pressure on a diesel engine performance and emissions. *Energy conversion and management*, 44, 389-397.

Korsten, H. (2001). Viscosity of liquid hydrocarbons and their mixtures. *AIChE Journal*, 47(2), 453-462.

Ladommatos, N and Goacher, J. (1995). Equations for predicting the cetane number of diesel fuels from their physical properties. *Fuel*, 74(7), 1083-1093 .

Latif, A, Seoud, A and Moharam, H.M. (1999). A generalized viscosity correlation for undefined petroleum fractions. *Chemical Engineering Journal*, 72, 253-256.

McKetta, J. (1990). Encyclopedia of chemical processing and design. New York: Marcel Dekker Inc, Tomos 35 y 63.

Mehrotra, A. (1990). Development of mixing rules for predicting the viscosity of bitumen and its fractions blended with toluene. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 68, 839-848.

Moharam, H.M and Fahim, M.A. (1995). New correlation for predicting the viscosity of heavy petroleum fractions. *Fuel*, 74(12), 1776-1779.

Moharam, H.M and Fahim, M.A. (1995). Prediction of viscosity of heavy petroleum fractions and crude oils using a corresponding states method. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 34, 4140-4144.

Monnery, W; Svrcek, and Mehrotra, A. (1996). A review of practical calculation methods for the viscosity of liquid hydrocarbons and their mixtures. *Fluid Phase Equilibria*, 117, 344-355.

Özdoğan, S and Gürbüz, H. (2000). Correlations towards prediction of petroleum fraction viscosities: a semi-theoretical approach. *Fuel*, 79, 1209-1214.

Özdoğan, S and Gürbüz, H. (2001). Correlations towards prediction of petroleum fraction viscosities: an empirical approach. *Fuel*, 80, 447-449.

- Pande, S and Hardy, D. (1989). Cetane number predictions of a trial index based on compositional analysis. *Energy & Fuels*, 3, 308-312.
- Phipps, J. (2002). Cetane number and cetane index relationship. *Petroleum Review*, 32-33.
- Puttagunta, V.R; Miadonye, A and Singh, B. (1992). Viscosity-temperature correlation for prediction of kinematic viscosity of conventional petroleum liquid. *Trans IchemE*, 70, 627-631.
- Riazi, M.R; Albahri, T.A. and Alqattan, A.A. (2003). Analysis of quality of the petroleum fuel. *Energy & Fuels*, 17, 689-693.
- Riazi, M. and Daubert, T.E. (1987). Characterization parameters for petroleum fractions. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 26, 755-759.
- Riazi, M and Roomi, Y. (2001). Use of the refractive index in the estimation of thermophysical properties of hydrocarbons and petroleum mixtures. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40, 1975-1984.
- Riazi, M and Al-Otaibi, G.N. (2001). Estimation of viscosity of liquid hydrocarbon systems. *Fuel*, 80, 27-32.
- Riazi, M; Nasimi, N and Roomi, Y. (1999). Estimation of sulfur content of petroleum products and crude oils. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 38, 4507-4512.
- Shanshol, J and Hashim, E. (2001). Kinematic viscosity-temperature correlation for undefined petroleum fraction of a wide boiling range. *Petroleum Science and Technology*, 19(3/4), 257-268.
- SIMCI Pro/II V. 6.1. (1994). Manual de Usuario.
- Singh, B; Miadonye, A and Puttagunta, V. (1993). Modeling the viscosity of middle east oil mixtures. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 32, 2183-2186.
- Twu, C. (1984). An internally consistent correlation for predicting the critical properties and molecular weights of petroleum and coal-tar liquids. *Fluid Phase Equilibria*, 16, 137-150.
- Twu, C. (1986). Generalized method for predicting viscosities of petroleum fractions. *AIChE Journal*, 32(12), 2091-2094.

Werner, A. et al. (1998). Viscosity and phase behaviour of petroleum fluids with high asphaltene contents. *Fluid Phase Equilibria*, 147, 343-356.

Yang, H et al. (2002). Neural network prediction of cetane number and density of diesel fuel from its chemical composition determined by LC and GC-MS. *Fuel*, 81, 65-74.