

## Estudio de mezclas de disolventes orgánicos y triglicéridos de aceite de linaza o los ácidos grasos libres. II.- Aplicación a la viscosidad de las ecuaciones de Andrade, Krone, McAllister e Hildebrand.

Por C. Mantell Serrano\*, M<sup>a</sup>.J. Muñoz Cueto, M. Galán Vallejo y M. Rodríguez Rodríguez.

Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Cádiz. Apdo. n<sup>o</sup> 40. Puerto Real. 11510 - Cádiz. España.

### RESUMEN

**Estudio de mezclas de disolventes orgánicos y triglicéridos de aceite de linaza o los ácidos grasos libres. II.- Aplicación a la viscosidad de las ecuaciones de Andrade, Krone, McAllister e Hildebrand.**

Se ha realizado el estudio de regresión de las ecuaciones de Andrade, Krone, McAllister e Hildebrand con datos experimentales de viscosidad de mezclas de triglicéridos o ácidos grasos libres con tricloroetileno, tetracloroetileno y hexano en el intervalo de temperaturas de 278 a 313 K cada 5 K.

Los resultados obtenidos indican que el mejor ajuste de los datos experimentales de viscosidad lo presenta la ecuación de Hildebrand, buscándose una función lineal o parabólica con la fracción molar de sus dos parámetros.

Las ecuaciones de Andrade y Krone presentan un ajuste aceptable para todas las mezclas estudiadas excepto para las de ácidos grasos en hexano y la ecuación de McAllister es únicamente aplicable a las mezclas con tetracloroetileno.

**PALABRAS-CLAVE:** Ecuación de Andrade — Ecuación de Hildebrand — Ecuación de Krone — Ecuación de McAllister — Mezcla de ácidos grasos — Mezcla de triglicéridos — Viscosidad.

### SUMMARY

**A study of mixtures of organic solvents and triglycerides of linseed oil or the free fatty acids. II.- Application to the viscosity of the Andrade, Krone, McAllister and Hildebrand equations.**

A regression study of Andrade, Krone, McAllister and Hildebrand equations with experimental data of viscosity of mixtures of triglycerides or free fatty acids and trichloroethylene, tetrachloroethylene and hexane was carried out. Temperature range studied was 278-313 K in steps of 5K.

The results showed that the Hildebrand equation presents the best fit for all the viscosity data of the mixtures studied, tending towards a lineal or parabolic function of its parameters.

Andrade and Krone equations presented acceptable fits for all mixtures studied except the fatty acids and hexane mixture. The McAllister equation was applicable only to mixtures with tetrachloroethylene.

**KEY-WORDS:** Andrade equation — Fatty acids mixture — Hildebrand equation — Krone equation — McAllister equation — Triglycerides mixture — Viscosity.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo, segundo de la serie (Mantell, 1995), se ha estudiado el ajuste que presentan los valores de viscosidad experimental de mezclas de disolventes orgánicos con triglicéridos, obtenidos de aceite de linaza por neutralización, o ácidos grasos libres obtenidos del mismo

aceite por un proceso de hidrólisis y destilación, a ecuaciones teóricas de viscosidad. A estas mezclas de triglicéridos o ácidos grasos, se las denominará con el término "mezcla soluto", al igual que se realizó en el primer trabajo de la serie. Las ecuaciones teóricas de viscosidad se han clasificado en dos tipos, en función de que estén basadas en un modelo de energía de activación o en un modelo de espacio vacío.

Las ecuaciones basadas en un modelo de energía de activación parten de los estudios de Eyring (1937) considerando la teoría de la velocidad de reacción química. Las ecuaciones estudiadas en el presente trabajo han sido las de Andrade (1934), Krone (1983) como más representativas, y la de McAllister (1960), por partir su estudio de un modelo de tres cuerpos en un plano, aplicado a mezclas binarias.

Los estudios publicados por Batschinnski (1913) sirven de base para un grupo de teorías basadas en el espacio vacío, de la que la ecuación de Hildebrand (1977) es quizás la más representativa y, por tanto, objeto de estudio en el presente trabajo.

## 2. ESTUDIO DE REGRESIÓN

Se ha realizado un estudio de regresión con los valores experimentales de viscosidad obtenidos en el primer trabajo de la serie (Mantell, 1995), de mezclas de triglicéridos, obtenidos de aceite de linaza por neutralización, con los disolventes orgánicos, tricloroetileno, tetracloroetileno, y hexano, y mezclas de ácidos grasos obtenidos del mismo aceite por un método de hidrólisis y destilación con los mismos disolventes orgánicos. Todos los estudios se realizaron en el intervalo de temperaturas desde 278 a 313 K, cada 5 K, y las fracciones molares comprendidas entre 0.1 y 0.9.

### 2.1. Ecuación de Andrade

Considerando que la interacción entre moléculas que oscilan respecto a una posición de equilibrio conduce a la transferencia de energía entre ellas, Andrade obtuvo la ecuación

$$\eta = A \exp\left(\frac{B}{RT}\right) \quad [1]$$

que linealizada y tomando la temperatura de 303 K de referencia para minimizar errores queda de la forma:

$$\ln \eta = \ln A + \frac{B}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{303} \right) \quad [2]$$

donde A debe de coincidir con el valor de la viscosidad experimental a la temperatura de referencia y B, la energía activación de flujo viscoso. Los coeficientes de correlación encontrados son superiores a 0.99 para todas las mezclas estudiadas.

Se comprueba que los valores del parámetro A entran dentro del intervalo de error de la viscosidad experimental a la temperatura de referencia de 303 K publicados en el primer trabajo de la serie (Mantell, 1995), y los valores de la energía de activación de flujo viscoso, presentan unos porcentajes de error máximo, para una probabilidad del 95%, inferiores al 15% para todas las mezclas estudiadas excepto para las mezclas de ácidos grasos y hexano en las que aparecen porcentajes de error muy elevados, superiores al 20%. Ambos parámetros aparecen recogidos en la tabla I.

Debido a que la bondad del ajuste obtenido en la ecuación de Andrade no era del todo aceptable, se propuso el estudio de una ecuación similar pero con la incorporación de un parámetro más como es la ecuación de Krone.

## 2.2. Ecuación de Krone

Considerando que el transporte de cantidad de movimiento entre las capas adyacentes en movimiento relativo de un fluido es debido a una interacción entre las moléculas de dichas capas, Krone propone la ecuación

$$\ln\left(\frac{\eta}{T - T_0}\right) = \ln \beta + \frac{E}{RT} \quad [3]$$

donde  $\beta$  es un parámetro que depende del peso molecular del fluido,  $E$  es la denominada energía de activación y  $T_0$  es aquel valor de la temperatura que multiplicado por la constante de Boltzman, indica la energía térmica media que no se utiliza en aumentar la frecuencia de las interacciones con moléculas de capas adyacentes. Para el cálculo de  $T_0$  se sigue el criterio de hacer mínima la suma de los errores al cuadrado definido por la expresión

$$\sigma = \sum \frac{(\eta_0 - \eta_c)^2}{\eta_0} \quad [4]$$

donde  $\eta_0$  es el valor de la viscosidad experimental y  $\eta_c$  el valor de la viscosidad calculada por un método iterativo, aplicando la ecuación de Krone, para un valor arbitrario de  $T_0$ .

Tabla I  
Valores del parámetro B (kJ/mol) de la ecuación [2]

f. m.	Triglicéridos de linaza			Ácidos grasos de linaza		
	Tricloro.	Tetracl.	Hexano	Tricloro.	Tetracl.	Hexano
0.00	6.43	6.99	8.96	6.43	6.99	9.0
0.10	8.24	9.37	6.23	10.8	9.36	8.1
0.20	11.0	11.6	9.07	9.61	11.2	9.0
0.30	11.2	13.7	10.2	13.0	14.0	13
0.40	13.4	15.8	10.5	15.7	15.9	13
0.50	15.2	17.7	12.1	16.6	19.7	15
0.60	17.4	20.0	13.5	19.3	19.0	19
0.70	19.6	22.1	16.8	20.2	21.1	18
0.80	22.4	24.5	19.1	19.2	20.8	21
0.90	25.3	26.4	23.0	23.5	23.0	21
1.00	29.4	29.4	29.4	22.6	22.6	23

f. m.: fracción molar de la mezcla de solutos.

Tabla I (Cont)  
Valores del parámetro A (mPa.s) de la ecuación [2]

f. m.	Triglicéridos de linaza			Ácidos grasos de linaza		
	Tricloro.	Tetracl.	Hexano	Tricloro.	Tetracl.	Hexano
0.00	0.57	0.89	0.37	0.57	0.89	0.37
0.10	1.00	1.43	0.42	1.25	1.81	0.67
0.20	1.66	2.22	0.58	2.34	2.41	1.29
0.30	2.19	3.36	0.82	2.83	3.71	2.11
0.40	3.26	4.90	1.14	4.11	4.79	2.48
0.50	4.76	6.92	1.45	5.39	6.20	3.46
0.60	6.98	9.72	2.49	6.85	8.39	5.29
0.70	10.3	13.3	4.26	8.60	9.55	7.30
0.80	14.7	18.0	7.27	10.8	11.3	9.82
0.90	22.2	24.8	14.7	12.8	13.5	12.6
1.00	34.0	34.0	34.0	16.0	16.0	16.0

f. m.: fracción molar de la mezcla de solutos.

En la mayoría de los casos, el valor de  $T_0$  que minimiza el valor de  $\sigma$  es igual a cero, con lo que sustituyendo en la ecuación [3], linealizando y tomando la temperatura de referencia de 303 K se obtiene del ajuste unos coeficientes de correlación superiores a 0.99. Los valores de los parámetros de la ecuación de Krone aparecen recogidos en la tabla II observándose que siguen la misma secuencia que aparecía en el estudio de la ecuación de Andrade. Los porcentajes máximos de error en el parámetro  $E$ , para una probabilidad del 95%, son inferiores al 13% para todas las mezclas estudiadas, excepto para las de ácidos grasos con hexano.

Tabla II  
Valores de los parámetros de la ecuación [3]  
 $\beta$ (mPa.s.K<sup>-1</sup>) y E(KJ.mol<sup>-1</sup>) para las mezclas de  
triglicéridos de linaza

f.m.	Tricloroetileno		Tetracloroetileno		Hexano	
	$\beta \cdot 10^3$	E	$\beta \cdot 10^3$	E	$\beta \cdot 10^3$	E
0.0	1.89	8.88	2.95	9.44	1.23	11.39
0.1	3.32	10.69	4.73	11.82	1.39	8.68
0.2	5.49	13.46	7.33	14.02	1.90	11.52
0.3	7.22	13.67	11.09	16.17	2.71	12.70
0.4	10.76	15.89	16.18	18.29	3.77	12.96
0.5	15.69	17.70	22.82	20.14	4.80	14.52
0.6	23.03	19.83	32.08	22.41	8.21	15.93
0.7	34.05	22.04	43.90	24.55	14.05	19.21
0.8	48.62	24.81	59.47	26.96	23.99	21.51
0.9	73.15	27.72	81.85	28.87	48.40	25.43
1.0	112.25	31.82	112.25	31.82	112.25	31.82

f.m.: fracción molar de la mezcla de triglicéridos de linaza.

Tabla II (Cont)  
Valores de los parámetros de la ecuación [3]  
 $\beta$ (mPa.s.K<sup>-1</sup>) y E(KJ.mol<sup>-1</sup>) para las mezclas de ácidos  
grasos de linaza

f.m.	Tricloroetileno		Tetracloroetileno		Hexano	
	$\beta \cdot 10^3$	E	$\beta \cdot 10^3$	E	$\beta \cdot 10^3$	E
0.0	1.89	8.88	2.95	9.44	1.23	11.39
0.1	4.13	13.22	5.97	11.81	2.21	10.53
0.2	7.72	12.06	7.95	13.64	4.26	11.46
0.3	9.33	15.49	12.25	16.50	6.95	15.15
0.4	13.54	18.19	15.78	20.14	8.18	15.49
0.5	17.79	19.05	20.44	22.16	11.37	17.15
0.6	22.59	21.81	27.68	21.46	17.46	21.98
0.7	28.39	22.67	31.50	23.59	24.10	20.31
0.8	35.81	21.74	37.16	23.29	32.18	21.80
0.9	42.27	25.99	44.45	25.53	41.56	23.64
1.0	52.88	25.10	52.88	25.10	52.88	25.10

f.m.: fracción molar de la mezcla de ácidos grasos de linaza.

### 2.3. Ecuación de McAllister

McAllister parte de los estudios realizados por Eyring de la ecuación de Andrade utilizando la *viscosidad cinemática*. Esta ecuación está aplicada a mezclas líquidas en las que aparecen moléculas de dos tipos que interactúan entre sí, según el modelo de tres cuerpos en un plano, obteniendo una ecuación de la forma

$$y = \ln \frac{v_{12}}{v_{21}} + \left( \frac{1}{x} \right) \ln v_{21} \quad [5]$$

siendo  $x$  la fracción molar del disolvente e y la expresión:

$$y = \frac{\ln v - x^3 \ln v_1 - (1-x)^3 \ln v_2 - r}{3x^2(1-x)} \quad [6]$$

donde

$$r = (1-x)^3 \ln \frac{M_2}{M_1} + 3x(1-x)^2 \ln \frac{M_1 + 2M_2}{3M_1} - \ln \left[ x + (1-x) \frac{M_2}{M_1} \right] \quad [7]$$

siendo  $M_1$  y  $M_2$  los valores de las masas moleculares de disolvente y mezcla soluto, respectivamente.

Los valores de los parámetros de la ecuación de McAllister aparecen recogidos en la tabla III y los coeficientes de correlación son superiores en todos los casos a 0.99.

Para comprobar la bondad del ajuste se estudia la viscosidad cinemática en exceso definida como

$$\frac{v_E}{v_R} = \frac{v_0 - v_c}{v_0} \quad [8]$$

donde  $v_0$  es la viscosidad cinemática experimental y  $v_c$  la viscosidad cinemática calculada por la ecuación de McAllister. La representación gráfica de los valores de viscosidad cinemática en exceso a 303 K aparecen recogidos en las gráficas 1 y 2, donde se observa que, exceptuando las mezclas de triglicéridos y ácidos grasos de linaza con tetracloroetileno que entran dentro del margen de error, la ecuación de McAllister no es apropiada para las mezclas. Este hecho puede ser atribuido a que en el resto de las mezclas, el modelo de tres cuerpos en un plano sea insuficiente para estudiar las interacciones que aparecen entre las moléculas, debido a la gran diferencia de tamaño que presentan éstas y a que, realmente, no se trata de mezclas binarias sino de una mezcla de triglicéridos o ácidos grasos de diferentes longitudes y grado de insaturación.

### 2.4. Ecuación de Hildebrand

Hildebrand relaciona la fluidez  $\phi$ , inversa de la viscosidad, con el volumen molar a una misma temperatura  $V$  de la forma

$$\phi = B \frac{V - V_0}{V_0} \quad [9]$$

donde los parámetros  $V_0$  y  $B$  son constantes características del fluido y representan el volumen límite, que es el

volumen que ocupa un mol en el que las moléculas están tan agrupadas que se impide el flujo viscoso y la autodifusión, y la capacidad de las moléculas para absorber energía de los choques intermoleculares, respectivamente.

Tabla III  
Parámetros de la ecuación [5]  
para los triglicéridos de linaza

Temp.	Tricloroetileno		Tetracloroetileno		Hexano	
	$v_{12}$	$v_{21}$	$v_{12}$	$v_{21}$	$v_{12}$	$v_{21}$
278 K	20.14	12.23	22.40	21.62	12.34	2.35
283 K	18.79	10.73	19.07	18.61	10.79	2.46
288 K	16.03	9.99	16.88	16.75	10.82	2.28
293 K	14.35	9.37	14.57	14.82	9.88	2.27
298 K	13.55	8.10	13.19	12.75	8.89	2.12
303 K	12.77	7.22	12.28	10.87	8.53	1.98
308 K	11.81	6.59	10.93	9.98	7.47	2.02
313 K	9.96	6.42	10.26	8.96	3.69	2.11

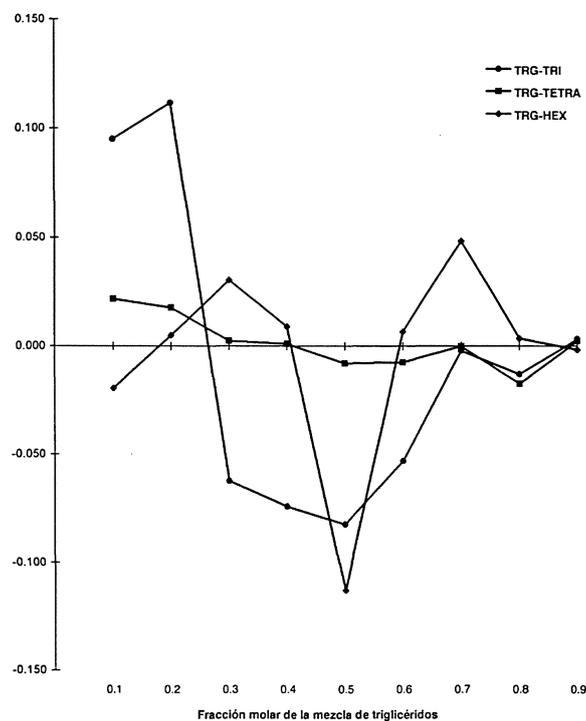
Tabla III (Cont.)  
Parámetros de la ecuación [5]  
para los ácidos grasos de linaza

Temp.	Tricloroetileno		Tetracloroetileno		Hexano	
	$v_{12}$	$v_{21}$	$v_{12}$	$v_{21}$	$v_{12}$	$v_{21}$
278 K	42.16	2.10	17.39	30.92	8.44	45.92
283 K	21.72	18.80	11.41	48.40	8.47	33.85
288 K	6.80	135.48	5.05	179.80	1.11	931.28
293 K	12.09	10.46	9.87	12.31	8.77	9.84
298 K	11.97	8.39	9.67	9.66	7.55	9.23
303 K	10.81	7.17	7.96	9.33	5.28	11.46
308 K	9.96	6.68	7.11	8.20	6.30	7.72
313 K	9.84	5.34	7.86	6.07	3.36	6.69

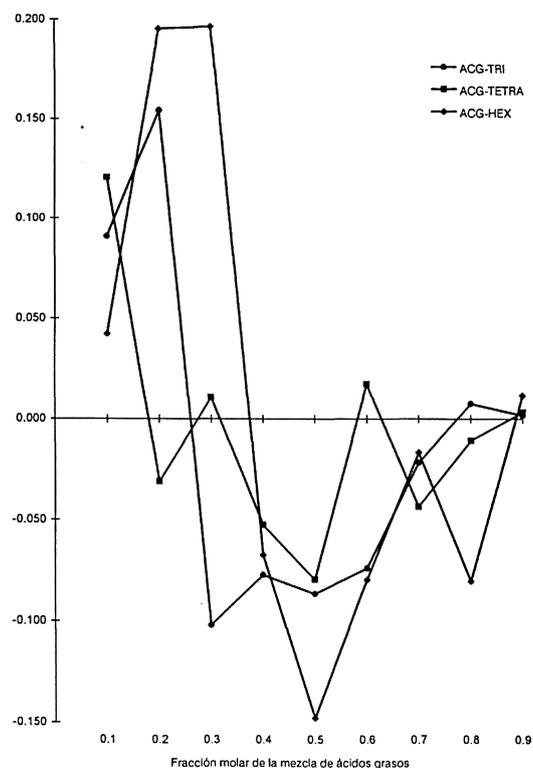
Esta ecuación ha sido aplicada con éxito a mezclas de ácidos grasos con disolventes orgánicos por Flores Luque (1979 a, b).

Tras el ajuste lineal se obtienen los parámetros de la ecuación de Hildebrand recogidos en la tabla IV, con unos coeficientes de correlación superiores a 0.99 y unos porcentajes de error inferiores al 10%.

Es de gran interés el estudio de la evolución de la relación entre los espacios vacíos que hay en un mol de mezcla y el volumen límite de este mol,  $(V-V_0)/V_0$  representado en la gráfica 3 frente a la fracción molar de soluto. Se deduce, que dicha relación disminuye al aumentar la fracción molar de mezcla soluto, lo que nos indica que al retirarse moléculas de disolvente del medio, las moléculas de la mezcla soluto se agrupan de forma más compacta, aumentando por tanto las interacciones y, como consecuencia, la viscosidad.



Gráfica 1  
Viscosidad cinemática en exceso relativa a 303 K



Gráfica 2  
Viscosidad cinemática en exceso relativa a 303 K

Tabla IV  
Parámetros B (1/mPa·s) y V<sub>0</sub> (cm<sup>3</sup>/mol) de la ecuación [9] para los triglicéridos de linaza

f. m.	Tricloroetileno		Tetracloroetileno		Hexano	
	V <sub>0</sub>	B	V <sub>0</sub>	B	V <sub>0</sub>	B
0.00	79.9	13.078	92.1	9.320	119.0	24.830
0.10	134.3	8.656	144.8	7.696	206.2	12.740
0.20	198.9	7.650	205.0	6.481	315.0	15.761
0.30	265.9	6.148	271.2	5.118	408.0	12.804
0.40	341.6	5.135	344.9	4.249	494.7	9.804
0.50	422.9	4.238	424.7	3.480	580.9	9.391
0.60	510.2	3.290	510.5	2.730	657.3	6.440
0.70	603.3	2.500	603.6	2.290	733.1	4.903
0.80	702.8	2.060	702.4	2.470	802.0	3.505
0.90	809.7	1.600	808.0	1.480	863.0	2.110
1.00	920.5	1.183	920.5	1.183	920.5	1.183

f. m.: fracción molar de la mezcla de triglicéridos de linaza.

Tabla IV (Cont.)  
Parámetros B (1/mPa·s) y V<sub>0</sub> (cm<sup>3</sup>/mol) de la ecuación [9] para los ácidos grasos de linaza

f. m.	Tricloroetileno		Tetracloroetileno		Hexano	
	V <sub>0</sub>	B	V <sub>0</sub>	B	V <sub>0</sub>	B
0.00	79.9	13.078	92.1	9.325	119.0	24.830
0.10	104.9	10.742	113.9	6.678	134.8	14.437
0.20	125.5	5.946	134.3	6.506	153.3	9.510
0.30	148.7	7.020	157.1	5.370	173.5	8.403
0.40	170.9	6.202	177.8	5.220	191.4	8.374
0.50	191.8	4.857	198.4	4.553	210.6	6.357
0.60	213.8	4.428	220.2	4.322	229.3	5.777
0.70	235.0	3.535	240.3	3.837	246.6	4.201
0.80	256.6	2.848	260.0	3.201	263.9	3.242
0.90	278.3	2.709	281.0	2.868	282.8	3.020
1.00	301.5	2.884	301.4	2.854	301.4	2.854

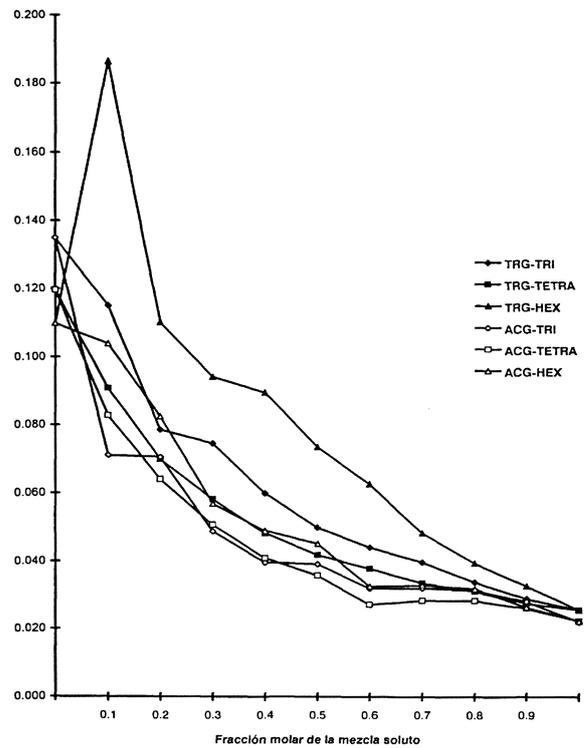
f. m.: fracción molar de la mezcla de ácidos grasos de linaza.

Se deduce igualmente que las moléculas de las mezclas con hexano se agrupan de forma menos compacta que las de tricloroetileno y tetracloroetileno. Estos resultados concuerdan con la expansión del volumen molar que presentan estas mezclas (Mantell, 1995).

Visto el alto grado de correlación que presenta esta ecuación, y considerando el significado de los parámetros, es de gran interés la realización de un estudio de predicción de los parámetros V<sub>0</sub> y B para obtener una base de datos de gran utilidad a la hora del diseño ingenieril.

a) Parámetro V<sub>0</sub>

Se ha realizado la regresión lineal de los resultados de V<sub>0</sub> obtenidos con la fracción molar de la mezcla soluto de la forma



Gráfica 3  
Volumen libre relativo

$$V_0 = V_{01} + (V_{02} - V_{01}) \times [10]$$

donde V<sub>01</sub> y V<sub>02</sub> son los valores de los volúmenes límites de disolvente y mezcla soluto, respectivamente.

Al realizar la regresión de los datos de volumen límite se obtienen coeficientes de correlación superiores a 0.9999 para las mezclas de ácidos grasos de linaza y a 0.996 para las mezclas de triglicéridos. Los valores de los parámetros se muestran en la tabla V y, para comprobar la bondad del ajuste, se realiza un estudio de la variación del volumen límite en exceso relativo frente a la fracción molar, para la temperatura de 303 K, que se recoge en la gráfica 4. Los resultados obtenidos de dicha gráfica indican que únicamente las mezclas de ácidos grasos de linaza cumplen la ecuación [10]. Por otro lado, las mezclas de triglicéridos de linaza con los disolventes tricloroetileno y tetracloroetileno presentan contracciones del volumen límite y las mezclas de triglicéridos de linaza con hexano, una fuerte expansión. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos en el anterior trabajo de la serie (Mantell, 1995).

b) Parámetro B

Se ha estudiado una relación entre el valor del inverso del parámetro B y la fracción molar de la mezcla soluto x recogida de la bibliografía (Flores Luque, 1979 a,b) de la forma

$$\frac{1}{B} = a + bx + cx^2 \quad [11]$$

los valores del coeficiente de correlación son superiores a 0.90 y los valores de los parámetros del ajuste se muestran en la tabla VI.

Tabla V  
Valores de los parámetros de la ecuación [10]

MEZCLA	$V_{01}$	$V_{02}$
Triglicérido-tricloroetileno	14.9	864.7
Triglicérido-tetracloroetileno	31.5	860.7
Triglicérido-hexano	153.8	970.7
Acidos grasos- tricloroetileno	83.2	300.2
Acidos grasos-tetracloroetileno	93.6	302.6
Acidos grasos-hexano	117.2	301.9

Tabla VI  
Valores de los parámetros de la ecuación [11]

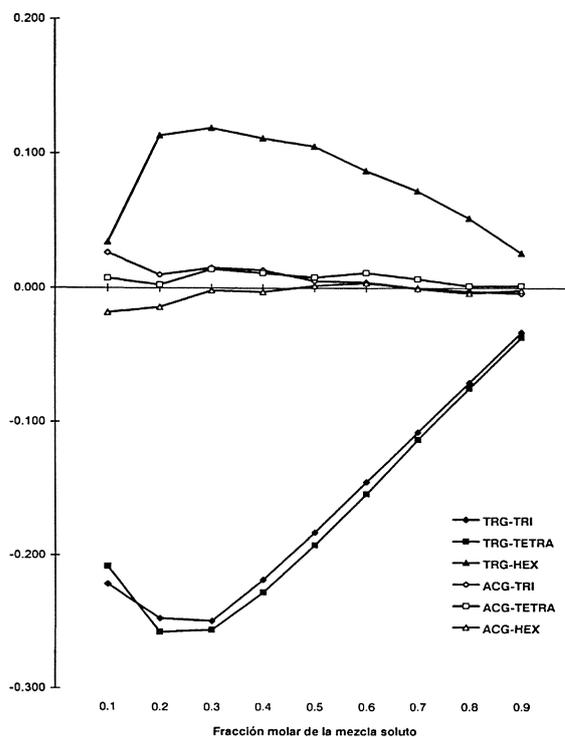
MEZCLA	$a$	$b$	$c$
Triglicéridos-tricloroetileno	0.13	-0.18	0.79
Triglicérido-tetracloroetileno	0.13	0.005	0.58
Triglicérido-hexano	0.14	-0.56	0.99
Acidos grasos-tricloroetileno	0.10	0.061	0.27
Acidos grasos-tetracloroetileno	0.15	0.022	0.22
Acidos grasos-hexano	0.08	-0.013	0.34

Es de interés comentar que los valores del parámetro  $B$  calculados a partir de la ecuación [11] para mezcla soluto y disolvente no entran dentro del margen de error de los obtenidos con la ecuación de Hildebrand, si bien esta diferencia en las mezclas con ácidos grasos no es tan significativa como en las de triglicéridos de linaza, deduciéndose que las interacciones que tienen lugar entre las moléculas intervienen decisivamente en los valores del parámetro  $B$ .

Dada la importancia de obtener una correlación que relacione el valor de  $B$  con la fracción molar de la mezcla soluto, se ha realizado un estudio del ajuste de los datos del parámetro  $B$  a diferentes tipos de ecuaciones, polinómicas y exponenciales, fundamentalmente. Sin embargo, no se han obtenido en ningún caso buenos coeficientes de correlación para las mezclas estudiadas, debido, principalmente, a las fluctuaciones en los valores de dicho parámetro.

### 3. CONCLUSIONES

El conocimiento de los valores de viscosidad es de gran importancia para la resolución de problemas de transmisión de calor y flujo de fluidos, así como para el estudio de procesos ingenieriles. Del estudio realizado, se puede concluir que únicamente la ecuación de fluidez de Hildebrand presenta resultados plenamente satisfactorios



Gráfica 4  
Volumen límite en exceso relativo a 303 K

en el ajuste de los datos experimentales. Las restantes ecuaciones sólo son aplicables a algunas mezclas y, concretamente, la ecuación de McAllister es únicamente aplicable a un tipo de mezclas en el que las interacciones son menores que en las restantes.

### BIBLIOGRAFIA

- Andrade, E.N. (1934).- "A Theory of Viscosity of Liquids".- *da C., Phil. Mag.* **17**, 497-511.
- Batschinnski, A.J. (1913).- "Untersuchungen über die innere Reibung der Flüssigkeiten".- *Z. Physik. Chem.* **84**, 643-706.
- Eyring, H. y Ewell, R.H. (1937).- "Theory of the viscosity of liquids as a function of temperature and pressure".- *J. Chem. Phys.* **5**, 726-736.
- Flores Luque, V., Gómez, C. y Cabrera, J. (1979).- "Estudio físico-químico de «mezclas» de aceites vegetales. V. Aplicación de la ecuación de fluidez de Hildebrand a mezclas de ácido oleico en hexano o ciclohexano".- *Grasas y Aceites* **30**, 1-3.
- Flores Luque, V., Galán, M., Cantero, D. y Quiroga, J.M. (1979).- "Estudio físico-químico de «mezclas» de aceites vegetales. VI. Volúmenes molares parciales, índices de refracción y viscosidades de disoluciones de ácido láurico u oleico en tricloroetileno o tetracloroetileno. Aplicación de la ecuación de fluidez de Hildebrand".- *Grasas y Aceites* **30**, 75-81.
- Hildebrand, J.H. (1977).- "Viscosity and Diffusivity".- John Wiley and Sons. INC., N.Y.
- Krone, R.B. (1983).- "A Viscosity-Temperature relation for newtonian liquids".- *Chem. Eng. Commun.* **22**, 161-180.
- Mantell, C., Muñoz M<sup>a</sup> J., Galán M. y Rodríguez M. (1995).- "Estudio de mezclas de disolventes orgánicos y triglicéridos de aceite de linaza o los ácidos grasos libres. I.- Volumen molar, Refracción molar y Viscosidad dinámica".- *Grasas y Aceites* **46**, 183-195.
- McAllister, R.A. (1960).- "The Viscosity of binary mixtures".- *AIChE J.* **6**, 427-431.

Recibido: Junio 1995  
Aceptado: Julio 1995