

## Estudio teórico de algunas propiedades termodinámicas de los ácidos grasos obtenidos como destilados en la desodorización de aceites comestibles

Por M. M. Prieto<sup>1</sup>, J. C. Bada Gancedo<sup>2</sup>, M. I. Lombardía Prendes<sup>2</sup> y E. Graciani<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Energía, ETS de Ingenieros Industriales de Gijón. Universidad de Oviedo. Edificio de Energía. Campus de Viesques. Ctra. Villaviciosa, s/n. 33204 Gijón. Asturias. España.

<sup>2</sup>Instituto de Productos Lácteos de Asturias. CSIC. Ctra. de Infiesto, s/n. 33300 Villaviciosa. Asturias. España.

<sup>3</sup>Instituto de la Grasa de Sevilla. CSIC. Avda. Padre García Tejero, 4. 41012 Sevilla. España.

### RESUMEN

#### Estudio teórico de algunas propiedades termodinámicas de los ácidos grasos obtenidos como destilados en la desodorización de aceites comestibles

Actualmente se investiga la viabilidad de un cambio en la tecnología de la desodorización de aceites comestibles que afecta a la composición de los destilados que se obtienen en el proceso y al tratamiento de los mismos. El diseño de los equipos que conlleva este cambio de tecnología requiere el estudio de propiedades físicas de los destilados. Se han estudiado algunas propiedades termodinámicas de los ácidos palmítico, esteárico, oleico y linoleico, componentes mayoritarios resultantes del proceso de desodorización.

Las propiedades estudiadas han sido las correspondientes al punto crítico (temperatura, presión y volumen críticos), las curvas de presión de vapor en función de la temperatura y el calor latente de vaporización.

Se han recogido distintos métodos de estimación de las mencionadas propiedades y algunos datos experimentales, y se han comparado los resultados obtenidos.

**PALABRAS-CLAVE:** Ácidos grasos — Calor latente de vaporización — Curvas de presión de vapor — Propiedades termodinámicas (estimación) — Punto crítico.

### SUMMARY

#### Theoretical study of some thermodynamic properties of the fatty acids obtained as distillates coming from the deodorization of vegetable oils

Nowadays the feasibility of a change of technology in the deodorization stage of edible vegetable oil refining is being investigated. The proposed technology involves a modification in the composition of the distillates coming from the deodorization stage and their further treatment. To design the apparatus which are required by the proposed technology it is necessary to study the physical properties of the distillates. The thermodynamic properties of the fatty acids: palmitic, stearic, oleic and linoleic, which are the principal components produced at the deodorization stage have been studied.

The properties that have been studied were those corresponding to the critical point (critical temperature, pressure and volume), the vapour pressure-temperature relation and the latent heat of vaporisation.

Different methods to estimate the above mentioned properties and some experimental published data have been compared.

**KEY-WORDS:** Critical point — Fatty acids — Latent vaporisation heat — Thermodynamic properties (estimation) — Vapour pressure-temperature relation.

### 1. INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de desodorización se eliminan ciertas sustancias volátiles, algunas de las cuales dan al aceite olores y sabores desagradables. Estas sustancias son: ácidos grasos libres, algunos hidrocarburos, aldehídos y cetonas, peróxidos, pigmentos, etc. También se eliminan parcialmente, sin que sea deseable, algunos componentes que confieren al aceite parte de sus cualidades, como son esteroides y tocoferoles.

La desodorización se efectúa sometiendo al aceite neutro a un arrastre con vapor de agua saturado seco, bajo condiciones de presión y temperatura que dependen del tipo de aceite y de la procedencia de las semillas. La presión de desodorización suele estar comprendida entre 3 y 6 mm Hg y se consigue utilizando termocompresores y eyectores con chorro de vapor. Los destilados de la desodorización, inicialmente en fase gas, se recuperan utilizando condensadores barométricos de contacto directo.

Actualmente se estudian cambios en la tecnología anteriormente descrita que afectan al modo de arrastre de los destilados de la desodorización, a la recuperación de los mismos y al gas utilizado en la desodorización. Estas modificaciones repercuten esencialmente en el consumo de agua, que se disminuye, y en una mayor recuperación y facilidad de separación de los destilados recogidos.

Respecto al arrastre de los destilados de desodorización, se sustituyen los eyectores por bombas de vacío. En cuanto a la recuperación de destilados, se sustituye la condensación de vapores en condensadores barométricos por la congelación de los mismos en congeladores de carcasa y tubos. La utilización de esta tecnología es posible utilizando como gas de arrastre vapor de agua saturado o nitrógeno. La utilización del nitrógeno como gas de arrastre ha sido investigada recientemente por Huesa *et al.* (1990), Graciani *et al.* (1994), Ruiz *et al.* (1996) y Dobarganes *et al.* (1996).

En los trabajos previos sobre la tecnología propuesta se destaca su viabilidad en cuanto a rendimiento en la recuperación de destilados y a la calidad de los mismos. No obstante, es preciso abordar el diseño de los congeladores y del sistema de arrastre, a fin de garantizar unas condiciones óptimas en el proceso de desodorización de aquellas plantas de tratamiento de aceite que vayan a utilizar esta tecnología. Para proceder al diseño es necesario conocer previamente la composición de los destilados y, posteriormente, las propiedades físicas de las sustancias que forman los mismos y que afectan a la transferencia de calor y masa.

En el estudio de los componentes mayoritarios presentes en los destilados realizado por Ruiz *et al.* (1995), utilizando aceites de oliva, soja y girasol, se pone de manifiesto la importante presencia de los ácidos grasos palmítico (16:0), esteárico (18:0), oleico (18:1) y linoleico (18:2).

El objetivo del presente trabajo es la realización de un estudio bibliográfico para conocer algunas de las principales propiedades termodinámicas de los ácidos grasos. El estudio se ha centrado en los ácidos palmítico (16:0), esteárico (18:0), oleico (18:1) y linoleico (18:2). Las propiedades termodinámicas objeto de estudio son: las propiedades críticas (temperatura, presión y volumen críticos), la relación de presión de vapor - temperatura y el calor latente de vaporización en función de la presión de trabajo.

## 2. PROPIEDADES CRÍTICAS

Las propiedades críticas se usan en muchas técnicas de estimación de otras propiedades a través del concepto de estados correspondientes. Como los ácidos grasos se degradan térmicamente, las propiedades en el punto crítico deben ser estimadas.

### Temperatura crítica

Se ha estimado la temperatura crítica de estos compuestos utilizando tres métodos:

- El propuesto por Lydersen, citado por Reid y Sherwood (1968), que relaciona la temperatura crítica con la temperatura normal de ebullición y la estructura molecular del compuesto en cuestión.
- El método propuesto por Forman y Thodos, citado por Reid y Sherwood (1968), que relaciona las propiedades del punto crítico con los parámetros de la ecuación de Van der Waals

(fuertemente correlacionados con la estructura molecular).

- El método de Ambrose, citado por Reid *et al.* (1987), también basado en la estructura molecular del compuesto. Es más reciente que los anteriores y el recomendado cuando se conoce la temperatura de ebullición normal.

Como ya se ha mencionado, los métodos de Lydersen y de Ambrose precisan del conocimiento de la temperatura de ebullición normal. Para la determinación de la temperatura de ebullición normal de los ácidos palmítico, esteárico y oleico, se ha tomado la que se obtiene a partir de la relación presión de vapor - temperatura propuesta por Schlessinger, citado en CRC Handbook of Chemistry and Physics (1972-1973).

Para el ácido linoleico no se ha encontrado ninguna relación presión de vapor - temperatura, disponiéndose solamente de pares de valores a presiones muy diferentes de la atmosférica. Por ello, para estimar la temperatura de ebullición normal, se ha tenido en cuenta que los ácidos grasos insaturados presentan puntos de ebullición inferiores a los saturados correspondientes con el mismo número de átomos de carbono (Martinenghi, 1950), y que los valores discretos disponibles se sitúan entre los correspondientes a los ácidos palmítico y oleico. Se ha tomado como temperatura de ebullición normal una situada entre las de los dos ácidos grasos anteriores.

### Presión crítica

Se han probado otros tres métodos: el de Forman y Thodos, citado por Reid y Sherwood (1968); el de Ambrose, citado por Reid y Prausnitz (1987); y el de Riedel, citado por Reid y Sherwood (1968). En todos estos métodos la presión crítica es función de la estructura molecular y el peso molecular del compuesto.

### Volumen crítico

Sólo se ha estimado según el método de Ambrose, citado por Reid y Prausnitz (1987), por ser más moderno y tener menor error porcentual medio frente a otros métodos.

Las propiedades críticas que se van a utilizar más adelante son las que proporciona el método de Ambrose, que es el más reciente y el que se recomienda en la bibliografía por estimar con un menor error. Los resultados de la aplicación de los diversos métodos se muestran en la tabla 1.

Tabla I  
Estimación de las propiedades críticas

Ácido	T <sub>c</sub> (K)			P <sub>c</sub> x 10 <sup>5</sup> (Pa)			V <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> /kg)
	Lydersen	Forman-T.	Ambrose	Forman-T.	Ambrose	Riedel	Ambrose
Palmitico	777.05	779.05	785.15	15.76	14.68	15.12	0.003691
Esteárico	790.55	795.65	795.35	13.96	13.26	13.63	0.003715
Oleico	777.05	785.15	783.15	16.35	13.55	13.88	0.003670
Linoleico	774.25	774.25	781.45				0.003625

### 3. RELACIÓN DE PRESIÓN DE VAPOR - TEMPERATURA

Se han utilizado relaciones de presión de vapor - temperatura procedentes de cuatro fuentes distintas:

- Los datos en forma de tabla propuestos por Pool y Ralston, citados por Formo *et al.* (1979), que relacionan la presión de vapor con la temperatura para los ácidos grasos saturados palmítico y esteárico, para presiones de vapor desde 1 mm Hg hasta 760 mm Hg.
- Los datos en forma de tabla propuestos por Jordan, citados por Gunstone *et al.* (1986), que relacionan presión de vapor - temperatura para los ácidos palmítico, esteárico y oleico, para presiones de vapor desde 1 mm Hg hasta 760 mm Hg.
- La relación obtenida por Lederer, citado por Markley (1947), expresada por la ecuación 1:

$$\ln P = -\frac{\lambda_0}{RT} + 1.75 \ln T - \frac{\varepsilon T}{R} + C \ln 10 \quad (1)$$

donde  $P$  es la presión de vapor (mm Hg),  $T$  es la temperatura (K),  $R$  es la constante de los gases (1.985 cal/mol K),  $\lambda_0$  es el calor molar de vaporización a la temperatura del cero absoluto (cal/mol),  $\varepsilon$  es el coeficiente de temperatura de la diferencia entre el calor específico en los estados líquido y gaseoso y  $C$  es una constante química convencional.

La ecuación es válida para los ácidos grasos saturados, pero, como puede verse en la tabla II, también se incluyen las constantes correspondientes al ácido oleico, que es insaturado.

Tabla II  
Valor de las constantes de la ecuación 1

Constante	Ácido		
	Palmitico	Esteárico	Oleico
$\lambda_0$	26050	27280	26660
$\varepsilon$	0.0326	0.0317	0.0304
$C$	11.568	11.636	11.340

- La expresión propuesta por Schlessinger, citado en CRC Handbook of Chemistry and Physics (1972-1973), que utiliza dos constantes específicas para cada compuesto ( $A$  y  $B$ ):

$$\log P = -0.2185 \frac{A}{T} + B \quad (2)$$

dónde  $P$  es la presión de saturación (mm Hg),  $A$  es el calor molar de vaporización (cal/mol) y  $B$  es una constante específica para cada compuesto. En la tabla III se muestran los valores de  $A$  y  $B$  para los ácidos palmítico, esteárico y oleico, así como los intervalos de temperatura en los que son válidas las ecuaciones resultantes.

Las tablas IV, V, VI y VII recogen los resultados de la aplicación de las diferentes relaciones presión de vapor - temperatura para los ácidos grasos palmítico, esteárico, oleico y linoleico, respectivamente. En la tabla del ácido oleico no figuran los resultados de la aplicación de la relación propuesta por Pool y Ralston, ya que el método se recomienda sólo para los ácidos grasos saturados.

Para el ácido linoleico se ha encontrado menos información que para los otros ácidos grasos, habiéndose obtenido tan sólo los dos pares de valores presión de vapor - temperatura que se muestran en la tabla VII, citados en The Merks Index (1989) y en CRC Handbook of Chemistry and Physics (1991-1992). La relación presión de vapor - temperatura suele utilizarse para estimar propiedades como el calor latente de vaporización, por lo que es conveniente disponer de una ecuación que exprese matemáticamente dicha relación también para este ácido. Se propone utilizar una expresión de la forma recomendada por Schlessinger y hacerla pasar por el punto de presión de vapor - temperatura  $P = 16$  mm Hg,  $T = 230$  °C. Los valores de las constantes que resultan son:  $A = 19429,9$  y  $B = 9,65$ .

Si se representa gráficamente la relación presión de vapor - temperatura a baja presión para los ácidos palmítico, esteárico y oleico, se obtienen curvas que no difieren sensiblemente para los diferentes métodos de estimación. Para los cálculos sucesivos se ha optado por la utilización de una expresión numérica para la relación presión de vapor - temperatura, prefiriéndose la recomendada por Schlessinger (ecuación 2), por ser la más actual.

Tabla III  
Valor de las constantes de la ecuación 2

Constante	Ácido		
	Palmítico	Estéarico	Oleico
A (H <sub>v</sub> , cal/mol)	17603.6	19306.6	20326.7
B	9.032695	9.457471	9.930301
T (intervalo validez °C)	153.6-353.8	173.7-370.0	176.5-360.0

Tabla IV  
Relación presión de vapor - temperatura para el ácido palmítico

Presión (mm Hg)	Temperatura (°C)			
	Pool y Ralston	Jordan	Lederer	Schlessinger
1	167.4	153.6	162.63	152.68
2	179.0		175.31	167.36
4	192.2		188.97	183.09
5		188.1	193.61	188.39
8	206.1		203.76	199.98
10		205.8	208.80	205.69
15			218.32	216.42
16	221.5		219.89	218.18
20		223.8	225.40	224.33
32	238.4		237.58	237.82
40		244.4	243.66	244.49
60		256.0	255.25	257.05
64	257.1		257.16	259.11
100		271.5	270.97	273.78
128	278.7		279.08	282.25
200		298.7	294.71	298.24
256	303.6		303.97	307.48
400		329.0	321.98	324.98
512	332.6		332.77	335.13
760	351.5	353.8	351.50	352.09

Tabla V  
Relación presión de vapor - temperatura para el ácido esteárico

Presión (mm Hg)	Temperatura (°C)			
	Pool y Ralston	Jordan	Lederer	Schlessinger
1	183.6	173.7	181.24	172.90
2	195.9		194.45	187.56
4	209.2		208.68	203.22
5		209.0	213.50	208.50
8	224.1		224.10	219.99
10		225.0	229.34	225.64
15			239.27	236.24
16	240.0		240.90	237.97
20		243.4	246.64	244.05
32	257.1		259.34	257.32
40		263.3	265.68	263.87
60		275.5	277.77	276.18
64	276.8		279.76	278.19
100		291.0	294.18	292.52
128	299.7		302.64	300.77
200		316.5	318.97	316.32
256	324.8		328.64	325.28
400		343.0	347.47	342.20
512	355.2		358.76	351.98
760	376.1	370.0	378.38	368.28

Tabla VI  
Relación presión de vapor - temperatura para el ácido oleico

Presión (mm Hg)	Temperatura (°C)		
	Jordan	Lederer	Schlessinger
1	176.5	175.69	174.11
1.2		179.00	177.70
2		188.67	188.09
4		202.67	202.97
5	208.5	207.41	207.97
8		217.80	218.85
10	223.0	222.94	224.19
15		232.67	234.19
15.2		232.99	234.53
16		234.26	235.82
20	240.0	239.88	241.54
29.5		250.00	251.81
30.0		250.54	252.26
32		252.29	254.01
40	257.2	258.47	260.14
49		264.40	265.85
50		264.87	266.42
60	269.8	270.25	271.76
64		272.19	273.54
100	286.0	286.19	286.90
128		294.39	294.58
200	309.8	310.16	309.00
256		319.47	317.30
400	334.7	337.54	332.91
512		348.31	341.91
760	360.0	366.92	356.88

Tabla VII  
Relación presión de vapor - temperatura para el ácido linoleico

Presión (mm Hg)	Temperatura (°C)	
	Merks Index Ed. 89	CRC Handbook Ed. 91-92
1.4	202	
16	230	229-230

#### 4. CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN

Para obtener la relación calor latente de vaporización - temperatura, Markley (1947) propone la utilización de la ecuación de Clapeyron combinada con la relación presión de vapor - temperatura propuesta por Lederer. Markley también sugiere utilizar para todos los ácidos grasos una presión crítica entre 30 y 40 atm. Estos valores no concuerdan con los estimados en el presente trabajo, ni con los estimados por otros autores. Esta cuestión, en condiciones de baja presión como las que se dan en la desodorización (4-6 mm Hg), tiene una importancia secundaria, al tender a cero la relación  $P/P_c$ . En este trabajo se ha considerado una presión crítica para los ácidos grasos de 35 atm. El resultado que se obtiene al tener en cuenta la recomendación de Markley se expresa en la ecuación 3:

$$\lambda = (\lambda_0 + 1.75 RT - \varepsilon T^2) \left( 1 - \frac{P}{P_c} \right) \quad (3)$$

donde  $\lambda$  es el calor molar de vaporización a la temperatura considerada (cal/mol),  $T$  es la temperatura considerada (K),  $P$  es la presión de saturación a la temperatura considerada (mm Hg),  $P_c$  es la presión crítica (mm Hg),  $\lambda_0$  es el calor molar de vaporización a la temperatura del cero absoluto (cal/mol),  $\varepsilon$  es el coeficiente de temperatura de la diferencia entre el calor específico en los estados líquido y gaseoso y  $R$  es la constante de los gases (1.985 cal/mol K).

Otro método es el propuesto por Watson, citado por Reid *et al.* (1987), que expresa el calor latente de vaporización en función de la temperatura reducida y de un dato conocido de temperatura reducida - calor latente de vaporización. La expresión de la correlación de Watson se recoge en la ecuación 4:

$$H_v = H_{v1} \left( \frac{1 - T_r}{1 - T_{r1}} \right)^n \quad (4)$$

donde  $H_v$  es el calor latente de vaporización a la temperatura reducida  $T_r$ ,  $H_{v1}$  es el calor latente de vaporización conocido a determinada temperatura reducida  $T_{r1}$  y  $n$  es una constante de la ecuación (se recomienda  $n = 0.38$ ).

En este trabajo se ha aplicado el método de Watson al ácido palmítico y al ácido esteárico, tomando como datos del calor latente de vaporización en función de la temperatura los propuestos por Cramer, citado por Markley (1947), que se reproducen en la tabla VIII. Para el ácido palmítico se ha tomado como conocido el valor del calor latente de vaporización para la temperatura de 244 °C.

No se dispone de mucha información sobre el calor latente de vaporización en función de la temperatura para los ácidos oleico y linoleico, por lo que se ha buscado un método de estimación. La ecuación de Riedel-Plank-Miller, citado por Reid *et al.* (1987), y expresado por la ecuación 5, estima el calor latente de vaporización en el punto de ebullición normal, con un error aproximado de 1.52% para los compuestos orgánicos:

$$H_{vb} = 2.303 G R T_c \left( 1 - \frac{0.96}{P_c T_{br}} \right)^{[1+T_{br}^2+k(1+2T_{br})]} \quad (5)$$

donde

$$G = 0.2471 + 0.1965 a \quad (6)$$

$$k = \frac{a}{2.303 G} - (1 + T_{br}) \quad (7)$$

$$a = \frac{T_{br} \ln P_c}{1 - T_{br}} \quad (8)$$

siendo  $H_{vb}$  el calor latente de vaporización a la temperatura de ebullición normal (cal/mol);  $R$ , la constante de los gases (1.985 cal/mol K);  $T_c$ , la temperatura crítica (K);  $T_{br}$ , la temperatura de ebullición normal (K); y  $P_c$ , la presión crítica (atm).

Tabla VIII  
Relación calor latente de vaporización - temperatura, según Cramer

Ácido	T (°C)	$H_v$ (cal/g)
Palmítico	202	84
	244	76
Esteárico	242	67

Esta ecuación tiene como parámetros la presión, la temperatura y el volumen críticos, además de la temperatura de ebullición normal. Teniendo en cuenta las temperaturas normales de ebullición utilizadas en la estimación de la temperatura crítica, así como

los valores de temperatura y presión críticas estimadas por el método de Ambrose, se obtiene el calor latente de vaporización estimado para todos los ácidos grasos, según se muestra en la tabla IX.

Los resultados del estudio comparativo de los métodos de Markley y Watson se muestran en las tablas X, XI y XII. La tabla X presenta los resultados para el ácido oleico, que también son válidos para el linoleico. Para estos últimos ácidos, en la aplicación del método de Watson se ha estimado el calor latente de vaporización a la temperatura de ebullición normal mediante la ecuación de Riedel-Plank-Miller.

Las figuras 1, 2 y 3 muestran gráficamente la comparación de resultados de la aplicación de los métodos a baja presión. La forma de las ecuaciones obtenidas mediante ambos métodos es prácticamente la misma. El método propuesto por Markley proporciona valores inferiores a los obtenidos por el método de Watson-Cramer para el ácido palmítico y para los ácidos oleico y linoleico. Sin embargo, para el ácido esteárico los valores estimados según el método propuesto por Markley son superiores a los obtenidos por el método de Watson-Cramer.

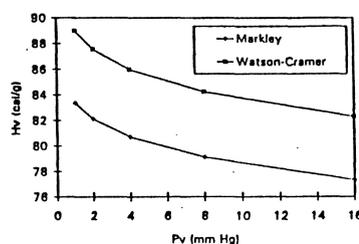


Figura 1  
Calor latente de vaporización para el ácido palmítico

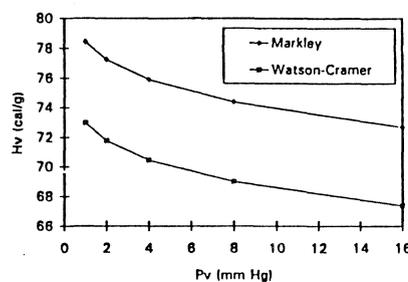


Figura 2  
Calor latente de vaporización para el ácido esteárico

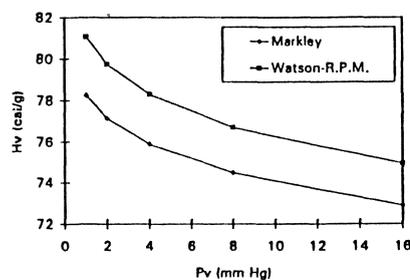


Figura 3  
Calor latente de vaporización para el ácido oleico

Tabla IX  
Estimación del calor latente de vaporización, según Riedel-Plank-Miller

Parámetro	Tipo de ácido			
	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico
$PM$ (g/mol)	256.42	284.47	282.40	280.44
$P_c$ (atm)	14.92	13.45	13.73	13.95
$T_c$ (K)	777.88	790.55	777.08	775.20
$T_{br}$ (K)	625.20	641.40	630.03	627.00
$H_{vb}$ (cal/mol)	16755.10	17031.48	16838.07	16722.12

Tabla X  
Calor latente de vaporización para el ácido palmítico

Presión (mm Hg)	Temperatura (°C)	Calor latente (cal/g)	
		Markley	Watson-Cramer
1	162.63	83.85	88.97
2	175.31	82.09	87.55
4	188.97	80.69	85.97
8	203.76	79.11	84.23
16	219.89	77.32	82.28
32	237.58	75.26	80.09
64	257.16	72.85	77.60
128	279.08	69.96	74.74
256	303.97	66.42	71.40
760	351.50	58.72	64.78

Tabla XI  
Calor latente de vaporización para el ácido esteárico

Presión (mm Hg)	Temperatura (°C)	Calor latente (cal/g)	
		Markley	Watson-Cramer
1	181.24	78.43	72.96
2	194.45	77.24	71.77
4	208.68	75.90	70.45
8	224.10	74.39	69.00
16	240.90	72.69	67.38
32	259.34	70.72	65.57
64	279.76	68.42	63.52
128	302.64	65.67	61.17
256	328.64	62.69	58.45
760	378.38	54.93	53.09

Tabla XII  
Calor latente de vaporización para el ácido oleico

Presión (mm Hg)	Temperatura (°C)	Calor latente (cal/g)	
		Markley	Watson-RPM
1	175.69	78.24	81.06
2	188.67	77.12	79.74
4	202.67	75.87	78.29
8	217.80	74.48	76.69
16	234.26	72.89	74.93
32	252.29	71.06	72.96
64	272.19	68.93	70.73
128	294.39	66.39	68.21
256	319.47	63.27	65.30
760	366.92	56.51	59.65

## 5. CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio de algunas propiedades termodinámicas de los ácidos grasos mayoritarios de los destilados de desodorización, y entre ellos, se han escogido para el estudio el palmítico, esteárico, oleico y linoleico.

La estimación de propiedades críticas por diversos métodos conduce a valores muy parecidos, y se propone el empleo del método de Ambrose como el más conveniente, por ser el correspondiente a una fuente más actual y basarse, además, en el dato experimental de la temperatura normal de ebullición, y no sólo en la estructura molecular del compuesto en cuestión.

Para las relaciones de presión de vapor - temperatura, se propone la utilización de la ecuación de Schlessinger, por ser la más actual, además de sencilla y de no presentar divergencias importantes con los valores presentados a través de tablas. Además, permite usar una expresión única para todos los ácidos, sin más que cambiar las constantes correspondientes.

En el caso del calor latente de vaporización, también se han obtenido valores similares en todas las fuentes consultadas, y se recomienda utilizar la expresión de Watson, por ser sencilla y permitir usar una expresión única para todos los ácidos grasos, sin más que cambiar el dato de partida del calor latente a una determinada temperatura para cada compuesto.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores hacen constar su agradecimiento a:

- La Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, por las ayudas recibidas para la realización de este trabajo: ALI 91 0720, PTR 93 0061, ALI 94 0716 y ALI 95 0517.
- Las empresas Carbueros Metálicos, S.A. y Busch Ibérica, S.A., por la colaboración y la tecnología prestada.
- Las empresas Aceprosa y Aceites Toledo, por los aceites suministrados.

- La American Soybean Association.
- Cuantos compañeros han hecho posible este trabajo.

## REFERENCIAS

- «CRC Handbook of Chemistry and Physics».— Ed. 53 (1972-1973).
- «CRC Handbook of Chemistry and Physics».— Ed. 72 (1991-1992). Chemical Rubber Co.
- Dobarganes García, M<sup>a</sup> C.; Pérez Camino, M<sup>a</sup> C.; Márquez Ruiz, G.; Ruiz Méndez, M<sup>a</sup> V.— «Comparative Performance of Steam and Nitrogen as stripping Gas in Physical Refining of Edible Oils».— *Journal of Am. Oil Chem. Soc.* 72 (1996).
- Formo; Jungermann; Norris; Sonntag.— «Bailey's Industrial Oil and Fat Products».— Vol. 1, 4th Ed., Edited by Daniel Swern, 1979.
- Graciani Constante, E.; Bada Gancedo, J. C.; Rodríguez Berbel F. C.; Ruiz Méndez, M<sup>a</sup> V.— «Physical refining of oils using nitrogen as stripping gas. Process optimization».— *Grasas y Aceites* 45 (1994), 132-146.
- Gunstone, F. D.; Harwood, J. L.; Padley, F. B.— «The Lipid Handbook».— Chapman and Hall Ltd., 1986.
- Huesa Lope, J.; Dobarganes García, M<sup>a</sup> C.— Patente N<sup>o</sup> 2013206 (1990).— *Chem. Abstr.* 113 (1990) 174464 w.
- Markley K. S.— «Fatty Acids».— Interscience Publisher, Inc., New York, 1947.
- Martinenghi, B.— «Aceites, Grasas y Derivados».— Traducción de 1950 de la 2<sup>a</sup> edición en italiano.
- Reid R. C.; Sherwood T. K.— «Propiedades de los Gases y Líquidos. Su Estimación y Correlación».— Traducción de la 2<sup>a</sup> edición de la versión inglesa editada por McGraw-Hill, UTHEA, 1968.
- Reid R. C.; Prausnitz J. M.; Poling B. E.— «The Properties of Gases & Liquids».— 4th Ed., McGraw-Hill, New York, 1987.
- Ruiz Méndez, M<sup>a</sup> V.; Márquez Ruiz; Dobarganes García, M<sup>a</sup> C.— «Determinación Cuantitativa de Componentes Mayoritarios Presentes en los Destilados Obtenidos en la Desodorización de Aceites y Grasas».— *Grasas y Aceites* 46 (1995), 21-15.
- Ruiz Méndez, M<sup>a</sup> V.; Garrido Fernández A.; Rodríguez Berbel F. C.; Graciani Constante, E.— «Relationships among the Variables Involved in the Physical Refining of Olive Oil Using Nitrogen as Stripping Gas».— *Fat/Lipid* 98 (1996), 121-125.
- «The Merks Index».— 11th Ed., 1989.

Recibido: Junio 1997  
Aceptado: Febrero 1998