

## Viscoelasticidad lineal de estructuras líquido-cristalinas de un sistema tensioactivo no iónico nonilfenol etoxilado/agua

By F.Cordobés<sup>1\*</sup>, J.E.Moros<sup>1</sup>, J.M.Franco<sup>2</sup>, y C.Gallegos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Ingeniería Química. Facultad de Química. Universidad de Sevilla. C/. Prof. García González s/n. Sevilla 41012.

<sup>2</sup> Dpto. Ingeniería Química. Escuela Politécnica Superior. Carretera Palos de la Frontera La Rábida. Palos de la Frontera, La Rábida. (Huelva) 21819.

### RESUMEN

#### Viscoelasticidad lineal de estructuras líquido-cristalinas de un sistema tensioactivo no iónico nonilfenol etoxilado/agua.

En el presente trabajo se ha estudiado el comportamiento viscoelástico lineal de las fases micelares y líquido-cristalinas presentes en el diagrama de fases del sistema aducto de nonilfenol con diez moles de óxido de etileno (NPFE-10) y agua. Con este propósito se efectuaron ensayos en cizalla oscilatoria no destructivos dentro del intervalo de viscoelasticidad lineal. Las funciones viscoelásticas obtenidas para las fases micelar y hexagonal pueden describirse satisfactoriamente mediante modelos de Maxwell simple y generalizado, respectivamente. El comportamiento viscoelástico lineal de la fase laminar es el típico de fluidos altamente estructurados, obteniéndose una zona plateau en el intervalo de frecuencias estudiado. Por otra parte, de los resultados experimentales se deduce que los ensayos viscoelásticos lineales constituyen un método eficaz a la hora de determinar las transiciones de fases micelares y/o líquido-cristalinas.

*PALABRAS-CLAVE: Cristal líquido liotrópico - Modelo de Maxwell - Nonilfenol etoxilado - Tensioactivo no iónico - Viscoelasticidad lineal.*

### SUMMARY

#### Linear viscoelasticity of liquid crystalline phases for a ethoxylated nonylphenol nonionic surfactant/water system.

In this work the linear viscoelastic behaviour of micellar and liquid-crystalline phases in a polyoxy-ethylene glycol nonylphenyl ether (EO<sub>n</sub>=10)/water system was studied. A linear viscoelastic characterization using small amplitude oscillatory tests was carried out. The Maxwell and Generalized Maxwell models fit the linear viscoelastic functions of micellar and hexagonal phases respectively, fairly well. On the other hand, the lamellar phase shows a plateau region characteristic of highly structured systems. As may be deduced from the experimental results, dynamic measurements constitute an effective method to study the structural changes occurring in phase diagrams.

*KEY-WORDS: Ethoxylated nonylphenol - Linear viscoelasticity - Lyotropic liquid crystal - Maxwell model - Nonionic surfactant.*

### 1. INTRODUCCION

Los tensioactivos en disoluciones acuosas (Diat y col., 1993; Robles-Vásquez y col., 1993; Dimitrova y

col., 1995) y no acuosas (Friberg y col., 1984) pueden formar disoluciones micelares y estructuras líquido-cristalinas liotrópicas resultantes de las interacciones existentes entre las unidades estructurales, o agregados micelares, que existen en su seno. El conocimiento de las estructuras y el comportamiento reológico de dichas fases micelares y liotrópicas es muy importante tanto desde el punto de vista fundamental como del aplicado (Dimitrova y col., 1995), debido a su amplio grado de aplicación en diversos sectores como la fabricación de detergentes, cosmética, emulsiones y sistemas dispersos en general (Friberg, 1990).

Los diagramas de fases de los tensioactivos no iónicos polietoxilados presentan generalmente, en función de su balance hidrófilo-lipófilo, una sucesión de fases micelares y estructuras líquido-cristalinas liotrópicas (Tiddy, 1980; Moros, 1998). La fase micelar está constituida por agregados coloidales termodinámicamente estables denominados micelas, estando la formación de dichos agregados relacionada con un determinado valor de concentración de tensioactivo conocido como concentración micelar crítica (CMC) (Tanford, 1972). La forma de las micelas puede ser de diversa naturaleza: globulares, cilíndricas y de disco. A la fase micelar en diagramas de fases de alcoholes polietoxilados, le sigue por lo general, una sucesión de diferentes fases líquido-cristalinas siendo las más comunes las fases hexagonal y laminar. La estructura de la fase hexagonal consiste en agrupaciones cilíndricas paralelas entre sí y con una disposición hexagonal. Esta mesofase es policristalina (Barnes, 1980; Kilpatrick, y col., 1994) estando los agregados cilíndricos de tensioactivos orientados en un empaquetamiento compacto de dominios microscópicos. La fase laminar está formada por cristales compuestos de capas alternativas de agua y bicapas de tensioactivo, estando compuesta por microdominios que presentan un alineamiento al azar en reposo (Kilpatrick y col., 1994).

Desde un punto de vista estructural, han sido bastantes los estudios realizados sobre los diagramas de fases de los sistemas formados por un alquilfenol polietoxilado y agua como componentes

(Ekwall, 1975; Soltero y col., 1995; Muñoz y col., 1991; Montalvo y col., 1995). Sin embargo, pocos estudios se han realizado sobre el comportamiento reológico de dichos sistemas, tan importante en multitud de fenómenos físicos y de interés industrial. Los estudios existentes se han centrado por lo general en el flujo viscoso de fases micelares y líquido-cristalinas. Así, las fases micelares, incluso a altas concentraciones de tensioactivo, muestran un comportamiento newtoniano cuando su forma es esférica, apareciendo comportamientos más complejos al producirse cambios en la forma micelar. Un mayor esfuerzo se ha dedicado al flujo estacionario de la fase hexagonal. Así, Gallegos y col. (1987) encontraron un comportamiento tipo plástico, y Linemann y col. (1995) diferentes orientaciones de la fase hexagonal al estudiar su flujo viscoso. Sin embargo, el comportamiento de flujo estacionario de la fase laminar ha sido el más estudiado (Gallegos y col., 1987; Lockwood y col., 1987; Franco y col., 1995). En dichas investigaciones se ha puesto de manifiesto la importancia de la creación de defectos estructurales inducidos por la cizalla en la interpretación del comportamiento reológico. En cambio, se posee mucha menos información sobre las características viscoelásticas lineales de estos sistemas. Los estudios realizados sobre el comportamiento viscoelástico lineal de fases hexagonales y laminares revelan, no obstante, un comportamiento complejo de dichos sistemas, presentando características de sistemas altamente estructurados (Rovles-Vásquez y col., 1993; Dimitrova y col., 1993; Kilpatrick y col., 1994).

El objetivo del presente trabajo ha sido el de caracterizar el comportamiento viscoelástico lineal, en cizalla oscilatoria, de las fases micelares y líquido-cristalinas presentes en un sistema del tipo nonilfenol polietoxilado de alto balance hidrófilo-lipófilo/agua, así como abordar la modelización de dicho comportamiento.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Se ha utilizado un tensioactivo no iónico, polietilenglicol (EO=10) nonil-fenil-éter (NPFE-10), de SIGMA (E.E.UU.). Los sistemas estudiados se prepararon mezclando dicho tensioactivo con agua destilada, calentando a 55°C durante dos días para favorecer la homogeneización del sistema. El intervalo de concentraciones estudiado ha sido el comprendido entre 22 y 90% (m/m) de tensioactivo, en el cual aparecen las fases micelar y líquido-cristalinas objeto de estudio. Previo a los ensayos reológicos se identificaron las fases micelares y estructuras líquido-cristalinas en el diagrama de fases del sistema NPFE-10/agua, ya estudiado anteriormente por otros autores (Franco y col., 1995). Con el fin de identificar las texturas características de las fases líquido-cristalinas, se ha realizado un estudio óptico en un microscopio de luz polarizada. Se ha utilizado

para ello un microscopio Carl-Zeiss (Reino Unido), modelo Standard 142, provisto de analizador, polarizador y platina giratoria con regulación de temperatura y termómetro incorporado, conectada a un termostato.

Las medidas reológicas se han efectuado en un reómetro de esfuerzo controlado, de la firma HAAKE (Alemania), RS-100. Se han utilizado sensores del tipo cono-placa de diferentes diámetros (60 y 20 mm, 4°) dependiendo de la consistencia reológica de la muestra. Sobre el sistema sensor se colocó una campana de vidrio, que recubre al conjunto sistema sensor-fase líquido-cristalina, a la cual se añadió agua sobre la superficie exterior para evitar así las pérdidas del disolvente. Todas las medidas fueron realizadas a 25°C.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Ensayos oscilatorios

El intervalo viscoelástico lineal de los sistemas estudiados se obtuvo estudiando la dependencia de los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y de pérdidas ( $G''$ ), componentes elástica y viscosa del módulo de cizalla complejo, respectivamente, en función del esfuerzo sinusoidal aplicado. En la Tabla I se muestran los valores del esfuerzo crítico ( $\sigma_c$ ) a partir del cual las funciones viscoelásticas dependen del esfuerzo aplicado y se produce la salida del intervalo viscoelástico lineal, en función del tipo de estructura y de la composición. Estos valores fueron calculados mediante la intersección de dos líneas:  $G', G'' = \text{constante}$  (para bajos valores de esfuerzo) y  $G', G'' = f(\sigma^n)$  (para altos valores del esfuerzo) donde "n" indica el valor de la pendiente de la zona de descenso potencial.

Como puede observarse en la Tabla I, los sistemas micelares presentan una respuesta lineal en todo el intervalo viscoelástico estudiado, exceptuando aquellos sistemas cercanos a la zona de transición de fases con la fase hexagonal. Por lo que respecta a la fase líquido-cristalina hexagonal, ésta muestra valores del esfuerzo crítico superiores para el sistema de composición intermedia (45% (p/p) NPFE-10), lo que parece indicar que la estructura líquido-cristalina hexagonal es menos resistente a la cizalla en las cercanías de la fase micelar, que aparece a concentraciones cercanas a las de los otros sistemas estudiados. Por otra parte, la fase líquido-cristalina laminar presenta valores de esfuerzo críticos muy inferiores a los de la fase hexagonal, así como un intervalo viscoelástico lineal relativamente pequeño, como ya ha sido comprobado previamente por otros autores (Lockwood y col., 1987; Robles-Vásquez y col., 1994). En la Tabla I puede observarse como para esta estructura no se observan diferencias entre los valores de esfuerzos críticos

Tabla I  
Valores de los esfuerzos críticos para los sistemas estudiados

% (m/m) NPFE-10	Estructura de agregación	$\sigma_c$ G' (Pa)	$\sigma_c$ G'' (Pa)
22	Micelar	—	—
25		—	—
28		—	—
31		<0,06	<0,06
34	Hexagonal	0,20±0,08	0,30±0,08
40		24±1,2	28±1,2
45		41±1,7	44±1,7
50		22±1,25	23±1,25
60	Laminar	0,40±0,04	0,33±0,04
65		1,45±0,6	1,30±0,6
70		1,75±0,45	1,30±0,45
75		2,20±0,45	1,30±0,45

para el módulo de pérdidas, existiendo un ligero aumento para el modulo de almacenamiento. En ambos casos, para el sistema con menor contenido en tensioactivo, se produce un descenso significativo en los valores de esfuerzo crítico, debido a su cercanía a una zona de transición de fases.

Una vez determinado el intervalo viscoelástico lineal se obtuvo la evolución de las funciones viscoelásticas dinámicas con la frecuencia para cada sistema. Como puede observarse en la figura 1, en el caso de sistemas micelares, los valores de G'' son siempre superiores a los de G', mostrando una evolución característica de la zona viscoelástica terminal o de flujo. Se observa una tendencia a un punto de cruce entre ambas funciones viscoelásticas a altas frecuencias, a partir del cual G' puede adquirir un valor más elevado que G''. Un aumento en la concentración de tensioactivo para sistemas micelares no modifica sustancialmente los valores de G', aun-

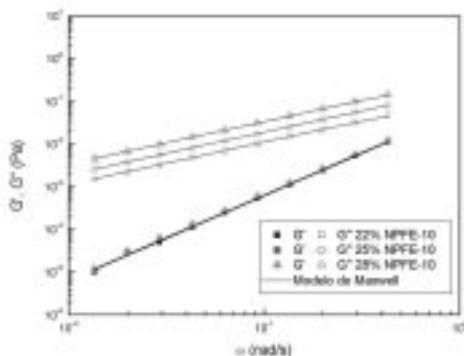


Figura 1  
Variación de los módulos de almacenamiento y pérdidas con la frecuencia y ajustes al modelo de Maxwell para sistemas micelares.

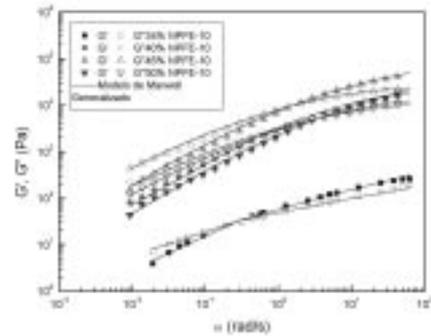


Figura 2  
Variación de los módulos de almacenamiento y pérdidas con la frecuencia y ajustes al modelo de Maxwell generalizado para sistemas líquido-cristalinos hexagonales.

que si lo hace en el caso de G'', por lo que puede deducirse que un aumento de la concentración de tensioactivo sólo provoca un aumento de la viscosidad de la fase micelar.

En la figura 2 se presenta la evolución de las funciones viscoelásticas con la frecuencia para sistemas pertenecientes a la zona de existencia de la fase líquido-cristalina hexagonal. Los bajos valores detectados en ambas funciones viscoelásticas para el sistema menos concentrado son debidos a su cercanía a una transición de fases donde, probablemente, la fase hexagonal coexiste con núcleos de estructura micelar (Dimitrova y col., 1995). Como puede observarse los valores de G'' suelen ser superiores a los de G' a bajas frecuencias, aunque ambas funciones se cruzan a una frecuencia que depende de la composición del sistema. Posteriormente a la frecuencia de cruce se detecta, por lo general, una región con tendencia a una zona de valores constantes en G'', acompañada de una disminución de la pendiente de G'. Esta zona "plateau", correspondiente a la zona de entrelazamientos en reología de polímeros, ha sido encontrada en fases hexagonales por otros autores (Kilpatrick y col., 1994) y está relacionada con la formación de un entramado tridimensional elástico. Un aumento de la concentración de tensioactivo en sistemas hexagonales produce un desplazamiento del punto de cruce entre G' y G'', encontrándose a frecuencias mayores y, por tanto, obteniéndose un descenso del tiempo de relajación característico para el comienzo de la región terminal.

Por lo que respecta a la fase laminar (figura 3), se obtiene un espectro mecánico caracterizado por una zona de valores constantes de G' y un mínimo bastante pronunciado en G'', correspondiente a la existencia de una zona "plateau" bien desarrollada en todo el intervalo de frecuencias estudiado, que nuevamente ha sido relacionada con la formación de un entramado elástico debido a las interacciones entre los diferentes dominios estructurales líquido-cristali-

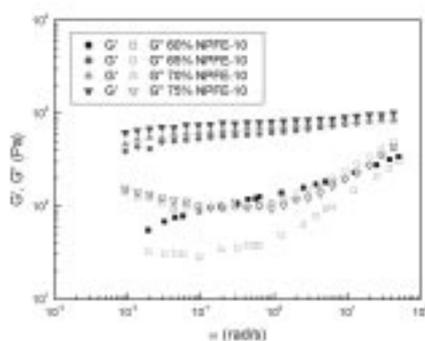


Figura 3

Variación de los módulos de almacenamiento y pérdidas con la frecuencia para sistemas líquido-cristalinos laminares.

nos (Kilpatrick y col., 1994). En este caso, un aumento de la concentración de tensioactivo produce un incremento de los valores de  $G'$ . Por el contrario, los valores de  $G''$  son similares a excepción del sistema menos concentrado. Además, el sistema con menor contenido en tensioactivo (60% (m/m) NPFE-10) presenta una mayor tendencia a un punto de cruce entre ambas funciones viscoelásticas, tanto a bajas como a altas frecuencias, así como un menor desarrollo de la zona plateau. Este efecto puede deberse a la proliferación de defectos en la estructura líquido-cristalina, debido a su mayor contenido en agua y a la proximidad de una zona de transición de fases (Franco y col., 1995; Laüger y col., 1996). Por otra parte, el aumento de los valores de las funciones viscoelásticas lineales puede ser debido a un mayor desarrollo del entramado tridimensional elástico al aumentar el contenido en tensioactivo (Goldszal y col., 1996).

Como puede deducirse, los ensayos viscoelásticos lineales pueden ser utilizados como ensayos complementarios a la hora de la determinación de diagramas de fases ya que son muy sensibles a cualquier cambio estructural en el sistema. Así, puede observarse en la figura 4a el efecto que produce el aumento de la concentración de tensioactivo (a una temperatura constante de 25°C) en los valores de las funciones viscoelásticas,  $G'$  y  $G''$  a 0,1 Hz. Ambas funciones viscoelásticas aumentan al hacerlo la concentración de tensioactivo existiendo un punto de cruce como consecuencia de la transición de fases micelar-hexagonal. Posteriormente se alcanza un máximo ( $\approx 45\%$ ) como consecuencia de la alta consistencia reológica de la fase hexagonal (Cordobés y col., 1996) seguido de un mínimo bastante acusado ( $\approx 55\%$ ) y una nueva inversión a los valores del módulo de almacenamiento y pérdidas. Dicho mínimo es consecuencia de la transición de fases hexagonal-micelar en la que se forma una fase de baja viscosidad previa a la formación de la fase laminar. Debido a la aparición de dicha mesofase laminar se

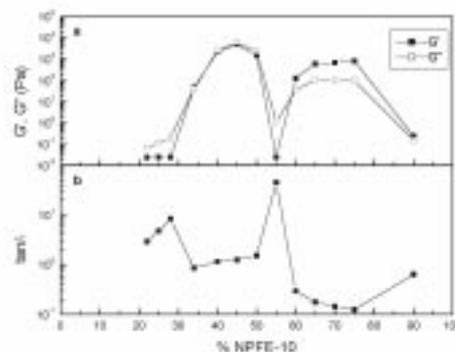


Figura 4

Variación de a) los módulos de almacenamiento y pérdidas y b) de la tangente de pérdidas con la concentración de tensioactivo a una frecuencia de 0,1 Hz.

alcanza de nuevo un máximo que da paso finalmente a una fase isotrópica rica en tensioactivo de baja viscosidad a concentraciones superiores al 80% (m/m) de tensioactivo (Moros, 1998). Un comportamiento similar ha sido obtenido por otros autores utilizando como tensioactivo un alcohol polietoxilado de grado de etoxilación 7 (Dimitrova y col., 1995).

De forma complementaria, la variación de la tangente de pérdidas a una frecuencia fija (0,1 Hz) aporta gran información sobre la elasticidad de las diferentes estructuras líquido-cristalinas (figura 4b). Así, al pasar de una fase micelar a una hexagonal se produce una disminución drástica de los valores de la tangente de pérdidas lo que indica una alta elasticidad de la fase hexagonal, aunque bastante menor que la mostrada por la fase laminar. Esta alta elasticidad de la fase laminar en comparación con la hexagonal, puede atribuirse a las estructuras de dichas mesofases, siendo mayor la movilidad de las capas de tensioactivo en la estructura de la fase laminar (Dimitrova y col., 1995).

### 3.2. Modelo de Maxwell

El comportamiento descrito anteriormente para la fase micelar se ajusta de forma satisfactoria ( $R=0,999$ ) a un modelo de Maxwell simple, es decir, con un único valor de tiempo de relajación (figura 1). En la Tabla II se presentan los valores de dicho tiempo de relajación, y puede observarse como éste disminuye al aumentar la concentración de tensioactivo como consecuencia del aumento en  $G''$  observado. Este fenómeno ha sido observado también en fases micelares de tensioactivos iónicos/agua (Soltero y col., 1995).

En el caso de fases líquido-cristalinas hexagonales el comportamiento viscoelástico puede ser descrito satisfactoriamente por el modelo de Maxwell Generalizado (figura 2). En la figura 5 se representan los espectros discretos de tiempos de relajación

Tabla II  
Valores del coeficiente de relajación y tiempo de relajación para los sistemas micelares estudiados

% (m/m) NPFE-10	$\lambda$ (s)	$G^0$ (Pa)
22	0,56	0,20
25	0,33	0,60
28	0,20	2

para los sistemas hexagonales estudiados. El comportamiento viscoelástico lineal puede describirse en todos los casos por cuatro elementos de Maxwell, disminuyendo continuamente los valores de los coeficientes de relajación con el aumento de los valores de  $\lambda_i$ . Los valores de los módulos de relajación son muy superiores a los encontrados en las fases micelares, indicativo de la mayor consistencia de la fase hexagonal.

Por lo que respecta a la fase laminar su comportamiento no puede ser descrito por un modelo de Maxwell simple o generalizado debido a la complejidad de su espectro mecánico, necesiándose para su modelización la obtención de espectros continuos de relajación (infinitos valores de tiempos de relajación) y la estimación de un tiempo de relajación terminal característico no observado experimentalmente (Cordobés y Gallegos, 2000; Muñoz y col., 1998).

#### 4. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y de su posterior análisis puede concluirse que:

1) En los sistemas líquido-cristalinos existe un esfuerzo crítico que determina el límite de la región viscoelástica lineal. Este esfuerzo sinusoidal, necesario para provocar una destrucción estructural, en la fase hexagonal disminuye a medida que se produ-

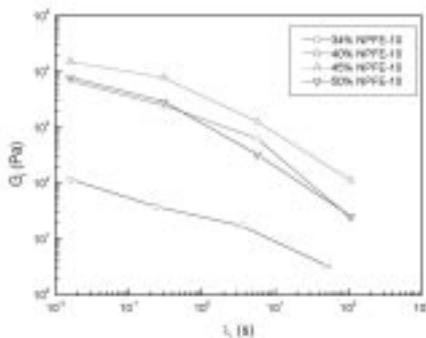


Figura 5

Espectro discreto de tiempos de relajación para sistemas líquido-cristalinos hexagonales.

ce un acercamiento a la transición fase hexagonal/fase micelar. En cambio para la fase laminar no existe una evolución significativa de este esfuerzo crítico con la composición.

2) La respuesta viscoelástica lineal de la fase micelar es la de un líquido viscoelástico, pudiendo describirse por un modelo de Maxwell simple. El tiempo de relajación característico desciende al aumentar la concentración de tensioactivo debido a un aumento de viscosidad.

3) La respuesta viscoelástica lineal de la fase hexagonal puede ser descrita satisfactoriamente por el modelo de Maxwell Generalizado con cuatro tiempos de relajación característicos.

4) La respuesta viscoelástica de la fase laminar es predominantemente elástica, siendo la característica de fluidos altamente estructurados.

5) Los ensayos viscoelásticos lineales constituyen un método eficaz para la determinación de transiciones de fases en diagrama de fases de cristales líquidos liotrópicos.

#### BIBLIOGRAFIA

- Barnes, H.A. (1980). Detergents en *Rheometry Industrial Applications*, p.33-110, K. Walters (Ed.), John Wiley&Sons, Nueva York.
- Cordobés, F. y Gallegos, C. (2000). Viscoelasticidad lineal de la fase líquido-cristalina laminar de un sistema tensioactivo no iónico/hidrocarburo/agua. *Grasas y Aceites*, **51**, 254-260.
- Cordobés, F., Muñoz, J. y Gallegos, C. (1996). Viscoelasticidad lineal de la fase líquido-cristalina hexagonal de un sistema tensioactivo no iónico/hidrocarburo/agua. *Afinidad*, **53**, (464), 255-261.
- Diat, O., Roux, D. y Nallet, F. (1993). Effect of shear on a lyotropic lamellar phase. *J. Phys. II France*, **3**, 1427-1452.
- Dimitrova, G.T., Tadros, Th.F. y Luckman, P.F. (1995). Investigations of the phase changes of nonionic surfactants using microscopy, differential calorimetry, and rheology. 1. Synperonic A7, a C<sub>13</sub>/C<sub>15</sub> alcohol with 7 mol of ethylene oxide. *Langmuir*, **11**, 1101-1111.
- Ekwall, P. (1975). Composition, properties and structures of liquid crystalline phases in systems of amphiphilic compounds en *Advances in Liquid Crystals*, p.1-139, G.H. Brown (Ed.), Academic Press, Nueva York.
- Franco, J.M., Muñoz, J. y Gallegos, C. (1995). Transient and steady flow of a lamellar liquid crystalline surfactant/water system. *Langmuir*, **11**, 669-673.
- Friberg, S.E. (1990). Applications of amphiphilic association structures. *Adv. Colloid Interface Sci.* **32**, 167-182.
- Friberg, S.E., Liang, P., Lockwood, F.E. y Tadros, M. (1984). Single compound forming a lyotropic liquid crystal at room temperature. *J. Phys. Chem.* **88**, 1045.
- Gallegos, C., Muñoz, J. y Flores, V. (1987). Estudio reológico de diagramas de fases de sistemas alcohol graso polietoxilado/agua I. *Jorn. Com. Esp. Deterg.* **18**, 357-373.
- Goldszal, A., Jamieson, A.M., Mann, J.A., Polak, J. y Rosenblatt, C. (1996). Rheology, optical microscopy, and electron microscopy of cationic surfactant gels. *J. Colloid Interface Sci.* **180**, 261-268.

- Kilpatrick, P.K., Khan, S.A., Tayal, A. y Blackburn, J.C. (1994). Rheological study of polycrystalline lyotropic mesophases in the cesium *n*-tetradecanoate/water system en *Structure and Flow in Surfactants Solutions*, p.229-238, C.A. Herb y R.K. Prud'homme, (Eds.), A.C.S. Symposium Series 578, Washington D.C..
- Läuger, J., Weigel, R., Berger, K., Hiltrop, K. y Richtering, W. (1996). Rheo-small-angle-light scattering investigation of shear induced structural changes in a lyotropic lamellar phase. *J. Colloid Interface Sci.* **181**, 521-529.
- Linemann, R., Läuger, J., Schmidt, G., Kratzat, K. y Richtering, W. (1995). Linear and non linear rheology of micellar solutions in the isotropic, cubic and hexagonal phase probed by rheo-small-angle-light scattering. *Rheol. Acta*, **34**, 440-449.
- Lockwood, F.E., Benchaita, M.T. y Friberg, S.E. (1987). Study of lyotropic liquid crystals in viscometric flow and elastohydrodynamic contact. *Asle Transactions*, **30**, 539-548.
- Montalvo, G., Valiente, M. y Ródenas, E. (1995). Study of the phase diagram of the CTAB/benzyl alcohol/water system. *J. Colloid Interface Sci.* **172**, 494-501.
- Moros, J., Franco, J.M. y Gallegos, C. Evolución de las características viscoelásticas de sistemas alcohol polietoxilado/agua ricos en tensioactivo. 3ª Reunión Nacional del Grupo de Coloides e Interfases. 1ª Reunión Nacional sobre el Estado líquido, Aguadulce (Almería), 1998.
- Muñoz, J., Alfaro, M.C. y Guerrero, A. (1998). Relaxation and retardation spectra of lamellar liquid crystals in a toluene/nonionic surfactant/water system en *Progress and Trends in Rheology V*, p.533-535, I. Emri y R. Cvelbar, (Eds.), Steinkopff, Darmstadt.
- Muñoz, J., Gallegos, C. y Flores, V. (1991). Structure and rheology in surfactant systems. *Tenside Surf. Det.* **28** (3), 204-207.
- Robles-Vásquez, O., Corona-Galván, S., Soltero, J.F., Puig, J.E., Tripodi, S.B., Vallés, E. y Manero, O. (1993). Rheology of lyotropic liquid crystals of Aerosol OT. *J. Colloid Interface Sci.* **160**, 65-71.
- Robles-Vásquez, O., Soltero, J.F.A., Puig, J.E. y Manero, O. (1994). Rheology of lyotropic liquid crystals of aerosol OT. III. Effects of salts and hydrocarbons. *J. Colloid Interface Sci.* **163**, 432-436.
- Soltero, J.F.A., Puig, J.E., Manero, O. y Schulz, P.C. (1995). Rheology of cetyltrimethylammonium tosilate-water system. 1. Relation to phase behaviour. *Langmuir*, **11**, 3337-3346.
- Tanford, C. (1972). Micelle shape and size. *J. Phys. Chem.* **76**, 3020-3024.
- Tiddy, G.J.T. (1980). Surfactant-water liquid crystal phases. *Physics Reports*, **57**, 1-46.

Recibido: Diciembre 2000  
Aceptado: Julio 2001