



Viscoelasticidad lineal de la fase líquido-cristalina laminar de un sistema tensioactivo no iónico/hidrocarburo/agua

Por F. Cordobés¹ and C. Gallegos²

¹ Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química. Universidad de Sevilla.
C/ Prof. García González s/n. Sevilla 41012.

² Departamento de Ingeniería Química. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Huelva.
21819 Palos de la Frontera (Huelva).

RESUMEN

Viscoelasticidad lineal de la fase líquido-cristalina laminar de un sistema tensioactivo no iónico/hidrocarburo/agua

En este estudio se ha caracterizado la respuesta viscoelástica lineal, en cizalla oscilatoria, de la fase líquido-cristalina laminar de sistemas alcohol polietoxilado/heptano/agua, estableciendo las influencias de los distintos componentes en la evolución de las funciones viscoelásticas dinámicas. De los resultados obtenidos puede concluirse que la fase líquido-cristalina laminar se caracteriza por presentar un pequeño intervalo viscoelástico lineal; su espectro de relajación muestra, fundamentalmente, dos regiones, la región de transición y la región plateau, siendo esta última característica de sistemas altamente estructurados; el módulo plateau presenta valores máximos para sistemas con concentraciones intermedias de tensioactivo y heptano dentro del intervalo de existencia de la fase laminar.

PALABRAS-CLAVE: Cristal líquido liotrópico - Hidrocarburo - Tensioactivo - Viscoelasticidad lineal.

SUMMARY

Linear viscoelasticity of the lamellar liquid crystalline phase for a heptane/nonionic surfactant/water system.

A linear viscoelastic characterization by small amplitude oscillatory shear tests was carried out for heptane/polyoxyethylene glycol nonylphenyl ether (EO_n=10)/water system exhibiting a lamellar liquid crystalline structure. The influence of composition on the dynamic functions was considered. The lamellar liquid crystalline phase shows a small linear viscoelastic range. The relaxation spectrum of the lamellar liquid crystalline phase presents two regions: the transition region and the plateau region, characteristic of highly structured systems. The maximum values of the plateau modulus correspond to the systems of intermediate compositions within the realm of existence of the lamellar mesophase.

KEY-WORDS: Hydrocarbon - Linear viscoelasticity - Lyotropic liquid crystal - Surfactant.

1. INTRODUCCIÓN

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

1995; Cordobés y col., 1997) y no acuosas (Friberg y col., 1984) pueden formar estructuras líquido-cristalinas liotrópicas resultantes de las interacciones existentes entre las unidades estructurales, o agregados micelares que existen en su seno. Estas fases poseen propiedades estáticas y dinámicas asociadas a la organización cristalina (orden translacional a larga distancia, elasticidad, etc.) y a la líquida (viscosidad, fluctuaciones de concentración, etc.). El conocimiento de las estructuras y propiedades de dichas fases es muy importante tanto desde el punto de vista fundamental como aplicado (Dimitrova y col., 1995). Así, sus campos de aplicación abarcan la industria de detergentes (Barnes, 1980), cosmética (Comelles y col., 1994), farmacéutica (Müller-Goymann, 1987; Engström, 1990), emulsiones y sistemas dispersos en general (Pilpel y Rabbani, 1987; Riego y Gómez Herrera, 1988, Friberg, 1990), etc.

Los diagramas de fases de los tensioactivos no iónicos polietoxilados presentan, en función de su balance hidrófilo-lipófilo, una sucesión de estructuras líquido-cristalinas liotrópicas (Tiddy, 1980). El tipo de estructura líquido-cristalina formada es función de la curvatura de la interfase entre el agregado y el disolvente que lo rodea (Israelachvili y col., 1976; Mitchell y Ninham, 1981; Tiddy y Walsh, 1983). Las más comunes son la fase cúbica, la fase hexagonal y la fase laminar. Esta última suele aparecer a concentraciones suficientemente elevadas de tensioactivo, cuando la interfase tiende a ser plana aunque el tipo de cadena hidrófoba del mismo puede favorecer su aparición a concentraciones suficientemente bajas. Las distintas estructuras líquido-cristalinas presentan características reológicas claramente diferenciadas. Desde el punto de vista industrial, por ejemplo en la industria de jabones/detergentes (Kilpatrick y col., 1994) o en la de emulsiones (Cordobés y col., 1997), es de extraordinaria importancia el conocimiento de las transiciones de fases en las que aparecen las fases líquido-cristalinas hexagonales o cúbicas, debido a las elevadas viscosidades de los productos resultantes.

Es un hecho conocido que de los tres tipos de fases líquido-cristalinas, de existencia común en los diagramas de fases de disoluciones acuosas de tensioactivos no iónicos polietoxilados, la de menor consistencia reológica suele ser la fase laminar (Muñoz y col., 1991; Franco y col., 1995). Ésta consta de cristales compuestos de capas alternativas de agua y bicapas de tensioactivo. No obstante, al igual que las otras fases, la laminar es policristalina, es decir, compuesta de microdominios que presentan un alineamiento al azar en reposo (Kilpatrick y col., 1994).

El comportamiento viscoso de la fase laminar, tanto en estado transitorio como estacionario, ha sido estudiado por diversos autores (Lockwood y col., 1987; Gallegos y col., 1987; Paasch y col., 1989; Roux y col., 1994). En dichas investigaciones se ha puesto de manifiesto la importancia de la inducción de defectos estructurales inducidos por la cizalla en la interpretación del comportamiento reológico característico de la fase laminar. En cambio, se posee menos información de las características viscoelásticas lineales de este tipo de estructura líquido-cristalina. Así, Kilpatrick y col. (1994) han estudiado comparativamente la respuesta viscoelástica de distintos tipos de fases líquido-cristalinas que contienen tetradecanoato de cesio; Robles-Vásquez y col. (1993) la respuesta viscoelástica de la fase laminar que aparece en sistemas acuosos de un sulfosuccinato de sodio; y Dimitrova y col. (1995) aportan algunos datos viscoelásticos lineales en relación con la sucesión de estructuras que aparecen en el diagrama de fases de un alcohol polietoxilado, con 7 moles de óxido de etileno. En todos los trabajos se constata la complejidad de la respuesta reológica de la fase laminar. No obstante, no existe un estudio generalizado de la variación de las características viscoelásticas lineales de la fase laminar en el dominio de existencia de esta fase líquido-cristalina, tanto de disoluciones acuosas de tensioactivos no iónicos polietoxilados como de sus sistemas ternarios conteniendo un hidrocarburo.

Consecuentemente, el objetivo principal de este trabajo ha sido el de caracterizar la respuesta viscoelástica lineal de la fase laminar de sistemas binarios y ternarios que contienen un alcohol polietoxilado de alto balance hidrófilo-lipófilo, estableciendo las influencias relativas de los distintos componentes. Especial énfasis se ha puesto en la caracterización de sus espectros de relajación lineal, como medio para la caracterización viscoelástica lineal y no lineal de este tipo de fase líquido-cristalina.

2. EXPERIMENTAL

Para la preparación de las muestras estudiadas se usaron un tensioactivo no iónico, polietilenglicol (EO=10) nonil fenil éter (NPFE-10, de nombre comercial Tritón N-101) de SIGMA (San Luis, EE.UU.);

un disolvente orgánico, n-heptano de PANREAC (Barcelona, España) de calidad analítica; y agua destilada. Los intervalos de concentraciones estudiados, centrados fundamentalmente en la fase líquido-cristalina laminar, estuvieron comprendidos entre 60 y 75% de tensioactivo para los sistemas binarios, y entre 50% y 75% (p/p) de tensioactivo como máximo para los sistemas ternarios, siendo 30% (p/p) la cantidad máxima de heptano solubilizado dependiendo de la zona de existencia de la fase laminar en el correspondiente diagrama de fases (Cordobés y col., 1997).

Para identificar las texturas características de la fase líquido-cristalina laminar, se realizó un estudio óptico con un microscopio con luz polarizada Carl-Zeiss modelo Standard 142 (Oberkochen, Alemania), provisto de analizador, polarizador y platina giratoria termostatable con termómetro incorporado, conectada a un termostato.

Las medidas reológicas se llevaron a cabo en un reómetro de esfuerzo controlado, RS-100 de la firma HAAKE (Karlsruhe, Alemania). Se usó un sistema sensor de tipo cono-placa (60 mm, 4°). Sobre el sistema sensor se colocó una campana de vidrio sellada con heptano para evitar las pérdidas de disolvente durante el ensayo. Todas las muestras fueron sometidas a la misma historia termorreológica. Se realizaron al menos dos replicados de cada medida. La caracterización viscoelástica lineal fue llevada a cabo mediante el siguiente protocolo: a) ensayos de barridos del par de torsión o de esfuerzo de cizalla, aunque la presentación de resultados se realiza en función de la deformación, para delimitar el intervalo viscoelástico lineal, y b) ensayos de barridos de frecuencia realizados a una deformación comprendida dentro del intervalo de viscoelasticidad lineal. La temperatura a la que se realizaron las medidas reológicas fue 25°C.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer ensayo realizado sobre todas las muestras estudiadas consistió en la determinación de su intervalo viscoelástico lineal. Con este fin, se realizó un barrido de deformaciones a una frecuencia fija de 1 Hz obteniéndose los valores de la deformación crítica, γ_c , que definen la extensión máxima de la región viscoelástica lineal. Valores de deformación menores a γ_c , permiten el estudio reológico de la estructura no alterada del cristal líquido, mientras que valores superiores producen destrucción estructural de la fase líquido-cristalina. Las funciones viscoelásticas elegidas para la determinación del intervalo lineal fueron los módulos de almacenamiento y pérdidas, ya que los valores de γ_c para estas funciones pueden ser distintos. En la figura 1 se muestra la variación de los módulos de almacenamiento y pérdidas con la deforma-

ción para sistemas laminares que contienen un 5% (p/p) de heptano, en función de la concentración de tensioactivo, desde el límite con la región líquido-cristalina hexagonal (55% en peso) hasta el límite de la región isotrópica rica en tensioactivo (75% (p/p)). En la figura 2 se muestra la variación de los módulos de almacenamiento y pérdidas en función de la deformación impuesta para sistemas que contienen 60% (p/p) de NPFE-10. Los valores de las deformaciones críticas tanto para el módulo de almacenamiento como el de pérdidas para estos sistemas se presentan en las tablas I y II, donde puede observarse que los valores de γ_c , correspondientes al módulo de almacenamiento son superiores a los del módulo de pérdidas. La aplicación de una deformación superior a este valor crítico produce evoluciones distintas de los módulos de almacenamiento y pérdidas. La aplicación de una deformación superior a este valor crítico produce evoluciones distintas de ambos módulos en la región viscoelástica no lineal. Así, en el caso del módulo de almacenamiento se observa un descenso continuo de sus valores a medida que la deformación aumenta; mientras que el módulo de pérdidas presenta un aumento inicial de sus valores, seguido de un descenso que se alcanza, o no, dependiendo del intervalo de deformación aplicado. No obstante es de resaltar que dicho aumento es función de la frecuencia aplicada durante el ensayo de barrido de deformación. Así, para frecuencias del orden de 10 Hz se comprueba que el módulo de pérdidas desciende continuamente con el aumento de la deformación (resultados no presentados). Esto puede explicarse teniendo en cuenta que a frecuencias cercanas a 1 Hz la respuesta de G'' corresponde a la zona de entrelazamientos del espectro, que desaparece a medida que aumenta la deformación tras alcanzarse el valor crítico de ésta.

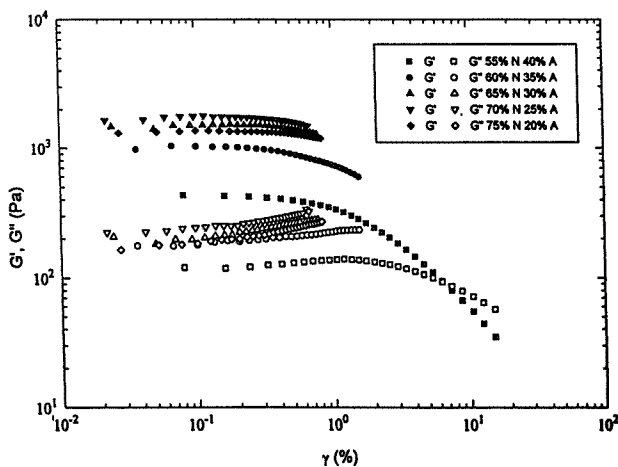


Figura 1

Variación de los módulos de almacenamiento y pérdidas en función de la deformación para sistemas que contienen 5% de heptano.

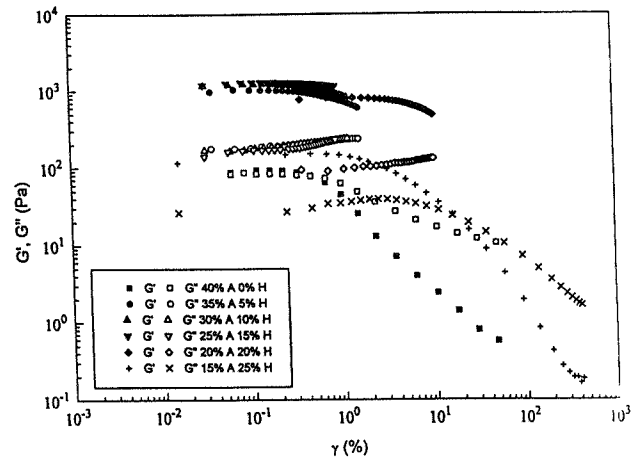


Figura 2

Variación de los módulos de almacenamiento y pérdidas en función de la deformación para sistemas que contienen 60% de tensioactivo.

Una vez determinado el intervalo viscoelástico lineal se realizó un barrido de frecuencias a una deformación incluida dentro de dicho intervalo. La variación de G' y G'' es en todos los casos cualitativamente similar (como puede observarse en las figuras 3 y 4), con valores constantes de G' y un mínimo muy pronunciado en G'' , correspondientes a la existencia de una región «plateau» en el espectro de relajación relacionada con la formación de un entramado elástico debido a interacciones entre dominios líquido-cristalinos (Kilpatrick y col., 1994). Similares resultados a éstos han sido obtenidos para un sistema análogo al estudiado en este trabajo pero utilizando como disolvente orgánico tolueno (Muñoz y col., 1998). Los valores de G' son siempre superiores a los de G'' en el intervalo de frecuencias estudiado, existiendo sólo un punto de cruce entre ambas funciones viscoelásticas en el sistema hexagonal más próximo a la zona de existencia de la fase laminar (50% (p/p) NPFE-10 y 5% (p/p) C_7H_{10}), que muestra

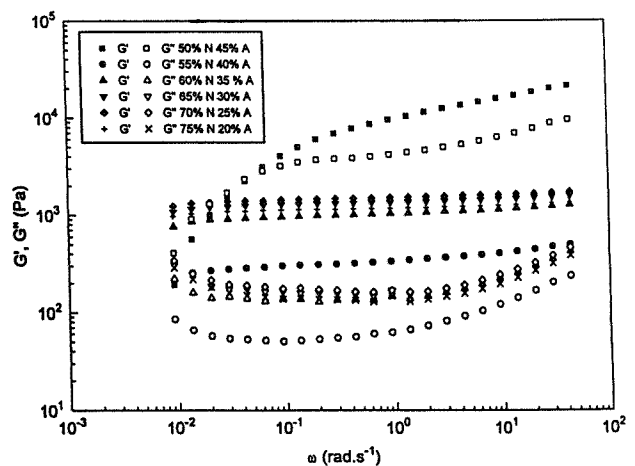


Figura 3

Variación de los módulos de almacenamiento y pérdidas en función de la frecuencia para sistemas que contienen 5% de heptano.

Tabla I
Valores de las deformaciones críticas para sistemas que contienen un 5% de heptano

%(p/p) tensioactivo	%(p/p) agua	γ_c en G'	γ_c en G''
55	40	0,3	0,15
60	35	0,19	0,07
65	30	0,3	0,1
70	25	0,27	0,04
75	20	0,44	0,08

Tabla II
Valores de las deformaciones críticas para sistemas que contienen 60% de tensioactivo

%(p/p) agua	%(p/p) heptano	γ_c en G' (%)	γ_c en G'' (%)
40	0	0,29	0,42
35	5	0,19	0,07
30	10	0,14	0,07
25	15	0,3	0,23
20	20	0,35	0,09
15	25	1,11	0,2

también valores máximos de ambas funciones viscoelásticas. Por consiguiente, la respuesta viscoelástica lineal en cizalla oscilatoria de la fase líquido-cristalina hexagonal se caracteriza por la aparición de una región viscosa o terminal a bajas frecuencias, como puede observarse en la figura 3 para el sistema con un 50% (p/p) de tensioactivo.

Una cuantificación de la influencia de la concentración de tensioactivo sobre las funciones viscoelásticas lineales puede realizarse también a partir de la estimación del espectro de relajación de los distintos sistemas estudiados. Así, el espectro de relajación, $H(\lambda)$, se relaciona con las funciones viscoelásticas dinámicas por medio de ecuaciones de Fredholm de primera especie:

$$G'(\omega) = G_e + \int_{-\infty}^{\infty} H(\lambda) \frac{\omega^2 \lambda^2}{1 + \omega^2 \lambda^2} d(\ln(\lambda)) \quad (1)$$

$$G''(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} H(\lambda) \frac{\omega \lambda}{1 + \omega^2 \lambda^2} d(\ln(\lambda)) \quad (2)$$

Recientemente, estas ecuaciones han sido resueltas mediante la aplicación del método de regula-

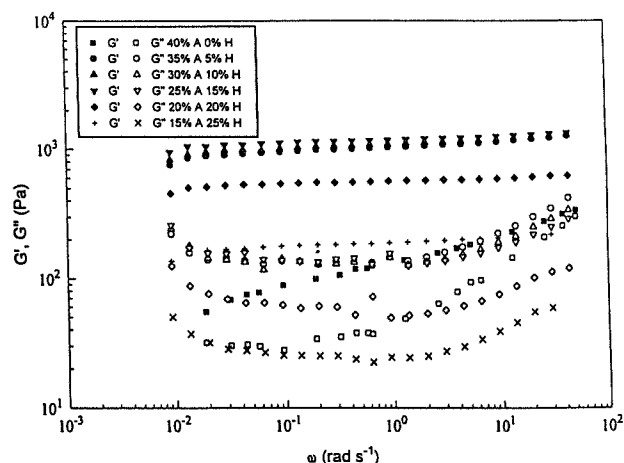


Figura 4
Variación de los módulos de almacenamiento y pérdidas en función de la frecuencia para sistemas que contienen 60% de tensioactivo.

rización de Tikhonov (Madiedo, 1996). En este caso los espectros de relajación han sido calculados (a partir del módulo de pérdidas), usando la primera aproximación de Tschoegl (Tschoegl, 1989) definida por la siguiente ecuación:

$$H(\lambda) = \frac{2}{\pi} \left(G''(\omega) - \frac{dG''(\omega)}{d \ln \omega} \right)_{\omega = \frac{\sqrt{3}}{\lambda}} \quad (3)$$

La figura 5 presenta las curvas del espectro de relajación para concentraciones de NPFE-10 comprendidas entre el 50% y el 75% en peso, y con un contenido fijo en heptano del 5%. La figura 6 muestra dichos espectros en función de la concentración de heptano, para un contenido fijo del 60% (p/p) en tensioactivo. Una vez más se demuestra la diferencia de comportamientos entre la fase hexagonal y la fase laminar. Así, el sistema con un 50% en peso de tensioactivo presenta tres regiones diferenciadas en el espectro: una inicial, para bajos tiempos de relajación (región de transición), una intermedia o región «plateau» de pendiente cercana a cero; y una última, para altos tiempos de relajación, o terminal (Ferry, 1980).

En el caso de sistemas líquido-cristalinos laminares sólo aparecen la región de transición y la región «plateau». Esta última presenta una clara pendiente positiva, indicativa de la proliferación de interacciones entre dominios líquido-cristalinos.

Influencia de la concentración de tensioactivo

La fase líquido-cristalina laminar se caracteriza por la pequeña extensión del intervalo viscoelástico lineal (figura 1), como ha sido anteriormente com-

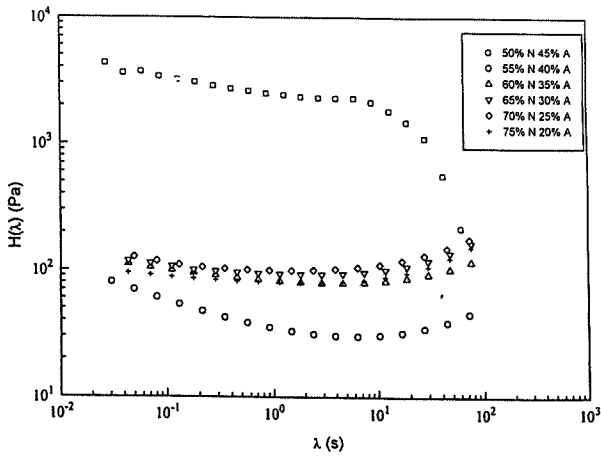


Figura 5
Espectros de relajación para sistemas que contienen un 5% de heptano.

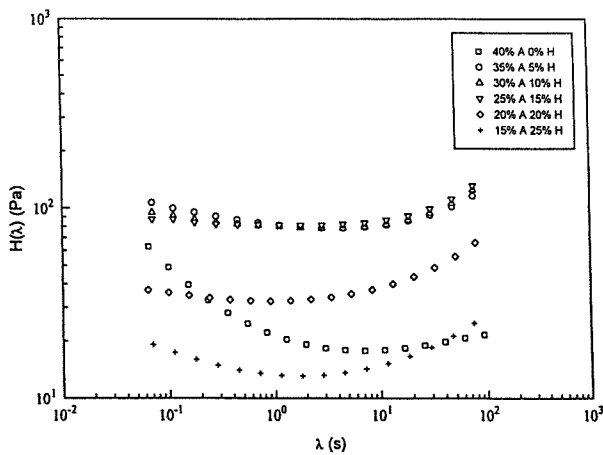


Figura 6
Espectros de relajación para sistemas que contienen un 60% de tensioactivo.

probado por otros autores (Robles-Vázquez y col., 1993; Robles-Vázquez y col., 1994). Los valores de deformación crítica no siguen nunca una clara tendencia con el aumento de la concentración de NPFE-10, para un determinado contenido en heptano.

En relación con la evolución de las funciones viscoelásticas con la frecuencia, un aumento de la concentración de NPFE-10 en la región laminar da lugar a valores máximos de las funciones viscoelásticas dinámicas a una concentración del 70% en peso, como puede observarse en la figura 3. Dichos valores de las funciones viscoelásticas tienden a desplazarse hacia concentraciones inferiores de NPFE-10 al aumentar el contenido de heptano y encontrarse más próxima la zona de transición de fases (Cordobés, 1998), pudiendo observarse más claramente

mediante el cálculo de los valores del módulo «plateau», G_N^0 , calculado de forma aproximada como el valor de G' para el que aparece un mínimo en la tangente de pérdidas (Wu, 1989). Como puede observarse en la figura 7, los sistemas con concentraciones intermedias de tensioactivo son los que presentan valores más altos del módulo «plateau», ya que la estructura de la fase líquido-cristalina laminar se encuentra más desarrollada, lo que coincide con valores mínimos de la tangente de pérdidas (relación entre la componente viscosa y elástica), lo que implica un mayor carácter elástico de la fase líquido-cristalina. La proximidad a la zona de la fase hexagonal se caracteriza por valores mínimos del módulo «plateau», encontrándose valores inferiores según aumenta la cantidad de heptano solubilizado en el seno de la fase líquido-cristalina (Cordobés, 1998).

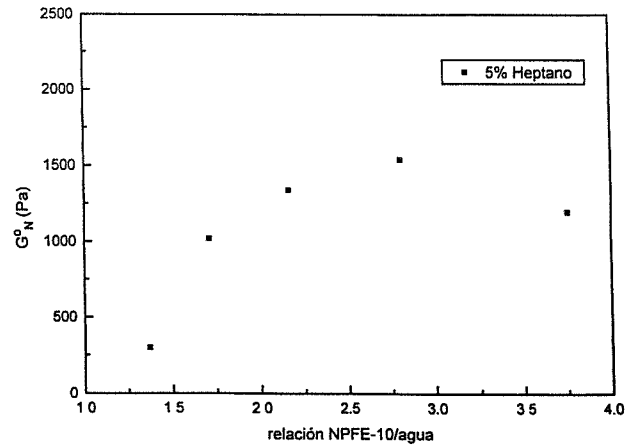


Figura 7
Variación del módulo «plateau» en función de la relación tensioactivo/agua para sistemas que contienen 5% de heptano.

Conclusiones similares pueden obtenerse del análisis de los espectros de relajación de dichos sistemas. Los valores máximos corresponden a una concentración del 70% (p/p) de tensioactivo, lo que coincide con un valor mínimo del tiempo de relajación para el que comienza la región «plateau» del espectro.

Influencia de la concentración de heptano

Como puede observarse en la figura 2 y en la tabla II los valores de deformación crítica correspondientes a G' para una determinada concentración de NPFE-10 pasan por un mínimo al aumentar la concentración de heptano. Dicho mínimo se desplaza a menores concentraciones de heptano a medida que aumenta la concentración de NPFE-10. Además, los sistemas con una alta concentración de heptano se caracterizan por un incremento muy importante de la pendiente de las funciones viscoelásticas frente a la

deformación en la región viscoelástica no lineal, lo que puede atribuirse a una destrucción significativa de la estructura de la fase líquido-cristalina.

La figura 4 muestra la evolución de los módulos de almacenamiento y pérdidas en función de la frecuencia para una concentración de 60% de NPFE-10 y distintas concentraciones de heptano. Puede observarse que la solubilización de heptano provoca un aumento de los valores de las funciones viscoelásticas excepto para contenidos en heptano inferiores o iguales al 20%. A partir de este valor se produce un descenso, probablemente debido a la proliferación de defectos cristalinos en la estructura del cristal líquido, acompañado por una pérdida de características elásticas. Así, dichos sistemas son los que presentan una mayor tendencia a un cruce de los módulos de almacenamiento y pérdidas, menor desarrollo de la zona «plateau» y mayores valores de la pendiente de G' . En la Figura 8 se presenta la evolución del módulo «plateau» con la relación NPFE-10/agua, alcanzándose un máximo para una concentración del 10% de heptano, indicativo del mayor desarrollo del entramado tridimensional elástico. Este máximo depende de la concentración de NPFE-10, apareciendo a contenidos menores en heptano según aumenta aquélla.

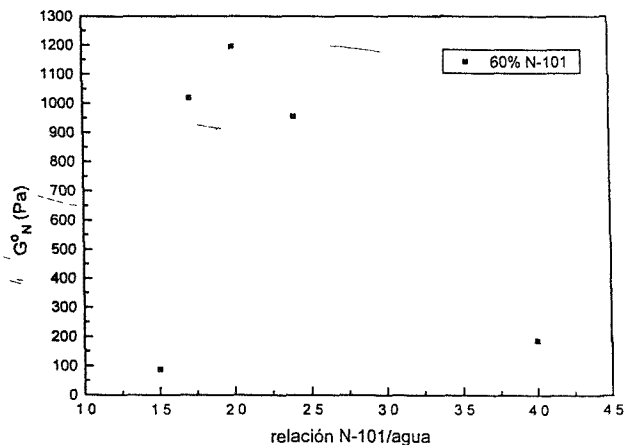


Figura 8
Variación del módulo «plateau» en función de la relación tensioactivo/agua para sistemas que contienen 60% de tensioactivo.

Como puede observarse en la figura 6, la incorporación de heptano en la mesofase laminar produce un incremento inicial de los valores de $H(\lambda)$, siguiendo los valores del mínimo del espectro una tendencia similar a la observada por el módulo «plateau». Por lo general, la solubilización de heptano en el seno del cristal líquido disminuye los valores del tiempo de relajación al que aparece dicho mínimo, aumentando la extensión de la zona «plateau» salvo cuando el contenido en heptano es tal que el sistema está cercano a una zona de transición de fases. Por

lo que respecta a los valores de la pendiente de la región «plateau», del espectro, ésta alcanza un máximo para un contenido del 10% (p/p) de heptano, indicativo nuevamente de un mayor desarrollo del entramado elástico.

4. CONCLUSIONES

Todos los sistemas líquido-cristalinos estudiados presentan marcadas características viscoelásticas. La fase líquido-cristalina laminar se caracteriza por un pequeño intervalo viscoelástico lineal, presentando mucha menor consistencia reológica que la fase líquido-cristalina hexagonal.

En el intervalo de frecuencias estudiado, la fase laminar es predominantemente elástica. Se alcanzan valores máximos del módulo «plateau» para los sistemas con concentraciones intermedias de tensioactivo y heptano, dentro del intervalo de existencia de la fase líquido-cristalina, y mínimos para los sistemas más concentrados en heptano y más próximos a la zona de existencia de la fase hexagonal.

El espectro de relajación de la fase laminar presenta dos regiones: la región «plateau», caracterizada por los valores positivos de la pendiente de la representación doblemente logarítmica del espectro de relajación con el tiempo, y relacionada con la existencia de un entramado elástico como consecuencia de las interacciones entre dominios líquido-cristalinos; y la región de transición, que aparece a bajos tiempos de relajación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación subvencionado por la CICYT, España (proyecto PB92-0664). Los autores agradecen la concesión de esta ayuda.

BIBLIOGRAFÍA

- Barnes, H.A. (1980) en *Rheometry Industrial Applications*, p. 31, K. Walters, (Ed.), Wiley, Nueva York.
- Comelles, F., Caelles, J., Pascual, A. y Sánchez Leal, J., 18th International I.F.S.C.C. Congress, Venecia, 1994.
- Cordobés, F. (1998).—Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.
- Cordobés, F., Muñoz, J. y Gallegos, C. (1997). *J. Colloid Interface Sci.*, **187**, 401-417.
- Diat, O., Roux, D. y Nallet, F. (1993). *J. Phys. II France*, **3**, 1427.
- Dimitrova, G.T., Thadros, Th.F. y Luckman, P.F. (1995) *Langmuir*, **11**, 1101.
- Engström, S. (1990). *Lipid Technol.* **2**, 42.
- Ferry, J.D. (1980).—«Viscoelastic Properties of Polymers».—John Wiley & Sons, Nueva York.

- Franco, J.M., Muñoz, J. y Gallegos, C. (1995). *Langmuir*, **11**, 669-673.
- Friberg, S.E. (1990). *Adv. Colloid Interface Sci*, **32**, 167.
- Friberg, S.E., Liang, P., Lockwood, F.E. y Tadros, M. (1984) *J. Phys. Chem.*, **88**, 1045.
- Gallegos, C., Muñoz, J. y Flores, V. (1987). *Jorn. Com. Esp. Deterg.* **18**, 204.
- Israelachvili, J.N., Mitchell, D.J. y Ninham, B. W. (1976) *J. Chem. Soc. Faraday Trans. 2*, **72**, 1525-1568.
- Kilpatrick, P.K., Khan, S.A., Tayal, A. y Blackburn, J.C. (1994).—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.
- Lockwood, F.E., Benchaita, M.T. y Friberg, S.E. (1987). *Asle Transactions*, **30**, 539.
- Madiedo, J.M. (1996).—«Tesis Doctoral».—Universidad de Sevilla.
- Mitchell, D.J. y Ninham, B.W. (1981) *J. Chem. Soc. Faraday Trans. 2*, **77**, 601-629.
- Müller-Goymann, C.C. (1987) *Acta Pharm. Technol.*, **33**, 167.
- Muñoz, J., Alfaro, M.C. y Guerrero, A. (1998).—«Progress and Trends in Rheology V», p. 533, I. Emri y R.V. Cvelbar (Eds.), Steinkopff, Darmstadt.
- Muñoz, J., Gallegos, C. y Flores, V. (1991). *Tenside Surfactant Deterg.*, **28**, 204-207.
- Paash, S., Schambil, F. y Schuwuger, M.J. (1989) *Langmuir*, **5**, 1344.
- Pilpel, N. y Rabbani, M.E. (1987) *J. Colloid Interface Sci.*, **119**, 550.
- Riego, M.B. y Gómez Herrera, C. (1988). *Grasas y Aceites*, **39**, 111.
- Robles-Vásquez, O., Corona-Galván, S., Soltero, J.F.A., Puig, J.E., Tripodi, S.B., Vallés, E. y Manero, O. (1993) *J. Colloid Interface Sci.*, **160**, 65-71.
- Robles-Vásquez, O., Soltero, J.F.A., Puig, J.E. y Manero, O. (1993) *J. Colloid Interface Sci.*, **163**, 432.
- Roux, D., Nallet, F. y Diat, O. (1994) en *Structure and Flow in Surfactants Solutions*, p. 300-305, C.A. Herb y R.K. Prud'homme, (Eds.), A.C.S. Symposium Series 578, Washington D.C.
- Tiddy, G.J.T. (1980). *Physics Reports*, **57**, 1-46.
- Tiddy, G.J.T., Walsh, M.F. (1983). *Aggregation Processes in Solution*, p. 151, E. Wyn-Jones y J. Gormally, (Eds.) Elsevier, Nueva York.
- Tschoegl, N.N. (1989).—«The Phenomenological Theory of Linear Viscoelastic Behaviour».—Springer-Verlag, Berlín.
- Wu, S. (1989) *J. Polym. Sci.*, **27**, 723 -741.

Recibido: Marzo 1999
Aceptado: Julio 1999