

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA FORMACIÓN DE MICELAS DE DODECILSULFATO SÓDICO Y NONILFENOL ETOXILENADO CON DIFERENTES GRADOS DE ETOXILACIÓN

F.J. Carrión*

0.1. Resumen

Este trabajo es una contribución al estudio físico-químico de la formación de micelas mixtas en la mezcla de dodecilsulfato sódico con tensioactivos no-iónicos de nonilfenol oxietileno con 5, 10, 15, 20 y 30 m.O.E, en función de la temperatura. La variación de las concentraciones micelares se obtuvo a 25°C; 35°C y 45°C a partir de las tensiones superficiales, para diferentes mezclas, que fueron estudiadas a cada temperatura en función de la proporción de mezcla y de la longitud de cadena oxietileno. Cada mezcla fue caracterizada por un parámetro empírico que dio de forma cuantitativa la interacción molecular de la micela mixta y el efecto sinérgico de la misma.

Palabras clave: Micelas, dodecil sulfato sódico, nonilfenol oxietileno, tensión superficial, sinérgico, concentración micelar crítica.

0.2. Summary: INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE FORMATION OF SODIUM DODECYLSULPHATE AND NONYLPHENOL ETHOXYLATE MICELLES AT DIFFERENT DEGREES OF ETHOXYLATION

This paper is a contribution to the physico-chemical study of the formation of mixed micelles at different temperatures in a mix of sodium dodecylsulphate with non-ionic surfactants of nonylphenol oxyethylate at 5, 10, 15, 20 and 30 m.O.E at different temperatures. Variation of the micellar concentrations was obtained at 25°C, 35°C and 45°C from surface tension results for different mixtures, which were studied at each temperature as a function of the proportion of mixture and the length of the oxyethylate chain. Each mixture was characterised by an empirical parameter that provided a quantitative index of the molecular interaction of the mixed micelles and the synergistic effect of the reaction.

* Dr.Ing. Fco. Javier Carrión Fité, Catedrático de Universidad en el Departamento de Ingeniería Textil y Papelera (U.P.C.), Profesor a la EUETIT y a la ETSEIT, Jefe del Laboratorio de Tensioactivos y Detergencia del INTEXTER (U.P.C.) y Editor de este Boletín.

Key words: Micelles, sodium dodecylsulphate, nonylphenol ethoxylate, surface tension, synergistic, micellar concentration

0.3. Résumé: INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA FORMATION DE MICELLES DE DODÉCILSULFATE DE SODIUM ET DE NONIPHÉNOL ETHOXYLÉ À DIFFÉRENTS DEGRÉS D'ÉTHOXYLATION

Ce travail est une apportation à l'étude physico-chimique de la formation de micelles mixtes, à différentes températures, dans le mélange de dodécilsulfate de sodium avec des tensioactifs non ioniques de nonilphénol oxyéthylé à 5, 10, 15, 20 et 30 m.O.E. La variation des concentrations de micelles a été obtenue à 25°C, 35°C et 45°C à partir des tensions superficielles, pour différents mélanges, qui ont été étudiées pour chaque température en fonction de la proportion de mélange et de la longueur de chaîne oxyéthylée. Chaque mélange a été caractérisé par un paramètre empirique qui a défini de façon quantitative l'interaction moléculaire de la micelle mixte et l'effet synergétique de la même.

Mots clé: Micelles, docécilsulfate de sodium, nonilphénol oxyéthylé, tension superficielle, synergétique, concentrations de micelles.

1. INTRODUCCIÓN

Las soluciones acuosas formadas por dos diferentes tipos de tensioactivos presentan un cambio brusco en sus propiedades físicas en función de la concentración, entre las cuales se puede citar la tensión superficial o técnicas de luz difusa, esto es debido a la formación de micelas mixtas¹⁾.

En la formación de las micelas mixtas en soluciones acuosas a concentraciones superiores a la c.m.c. de los tensioactivos intervienen los componentes en equilibrio con sus especies monoméricas²⁾. Varias teorías han sido desarrolladas para la predicción de la c.m.c y de la tensión superficial e interfacial de las mezclas binarias de tensioactivos^{1,3,4,5,6,7 y 8)}.

Una teoría que trata de las micelas mixtas como una solución ideal de los dos tensioactivos y efectúan una predicción de la concentración micelar crítica (c.m.c), de la composición micelas y

de la concentración de los monómeros que fue indicada por Clint³⁾. Esta teoría aplicada a las mezclas de tensioactivos no-iónicos ha sido experimentalmente verificada en situaciones donde la mezcla ideal puede ser predicha, y también fue empleado en otro modelo debido a Lange⁴⁾.

Sin embargo, cuando dos tensioactivos forman la micela mixta, y los mismos tienen diferentes grupos hidrofílicos, la c.m.c. puede no ser predicha por las teorías indicadas; como es el caso de las mezclas de tensioactivos aniónicos con no-iónicos los cuales presentan usualmente un comportamiento no ideal y solamente existen métodos aproximados para predecir el comportamiento micelar de estos sistemas 1,6,7,8 y 9).

En este trabajo se efectúa un estudio físico-químico sobre la formación de micelas mixtas en la mezcla de dodecilsulfato sódico y los tensioactivos no-iónicos oxietilenados de nonilfenol con 5, 10, 15, 20 y 30 moles de óxido de etileno, obtenidas a diferentes temperaturas.

El objeto de este trabajo es mostrar la formación de las micelas mixtas en solución acuosa de los indicados tensioactivos a diferentes temperaturas a través de los valores de la c.m.c. que resultan a partir de determinaciones de tensión superficial.

Igualmente, los valores de la interacción molecular mediante un parámetro característico entre los dos tensioactivos en la micela mixta y a partir del cual permite deducir el efecto sinérgico en la micela mixta.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Productos

El tensioactivo aniónico utilizado fue el dodecilsulfato sódico, reactivo puro para análisis de Merck, con una pureza superior al 99%, según fue constatado con el correspondiente análisis del contenido en materia activa aniónica⁶⁾.

Los tensioactivos no-iónicos utilizados fueron del tipo nonilfenol oxietilenados con 5, 10, 15, 20 y 30 moles de óxido de etileno, suministrados por Marchon (Barcelona). En estos productos fue extraída por desecación el agua, habiéndose encontrado un promedio entre productos del 0,8% en peso, en las muestras suministradas. La homogeneidad de estos compuestos fue constatada con las gráficas correspondientes entre la tensión superficial versus el logaritmo de la concentración habiéndose encontrado el cambio brusco de pendiente en el punto correspondiente a la c.m.c. La determinación yodométrica de los grupos de óxido de etileno fue determinada en estos productos no-iónicos⁷⁾, habiéndose obtenido como promedio de varias determinaciones los siguientes valores:

Nonilfenol + 5 m.EO, 52.18 %; Nonilfenol + 10 m.EO, 69.82%; nonilfenol + 15 m.EO, 75.73 %;

Nonilfenol + 20 m.EO 84.94 % y Nonilfenol + 30 m.EO, 92.1%.

El agua usada en las disoluciones fue bidestilada convenientemente en presencia de permanaganato potásico, resultando una tensión superficial de 72.09 mNm⁻¹ a 25° C.

2.2. Aparatos

Para la determinación de las tensiones superficiales se utilizó un tensiómetro automático marca Lauda con un registro gráfico de la tensión y control digital de la temperatura, habiéndose termostalizado convenientemente la solución a medir con una variación de $\pm 0,1^\circ \text{C}$ ⁸⁾.

2.3. Método experimental

La determinación de la concentración micelar crítica (c.m.c.) se realizó en el brusco cambio de pendiente producido en la gráfica entre la tensión superficial y el logaritmo de la concentración total de los tensioactivos utilizados.

La tensión superficial fue medida por el método de Wilhelmy⁹⁾ empleando una placa de platino con un perímetro total de 4 cm.

Las soluciones de tensioactivos fueron ensayadas en el equilibrio a partir de las 24 horas de la preparación de la mezcla, obtenida ésta a partir de las correspondientes soluciones de los componentes. Se efectuaron un mínimo de 10 determinaciones cada 4 minutos, y se vio la constancia de la tensión superficial con el tiempo en cada disolución que fue preparada.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Influencia de la relación molar y de la longitud de la cadena oxietilenada del tensioactivo no-iónico sobre la formación de la micela mixta

El examen de las mezclas de tensioactivos aniónicos con no-iónicos en solución acuosa prueba la existencia de micelas mixtas. Nakagawa y Inoue fueron los primeros autores que confirmaron su existencia mediante la técnica de electroforesis y valores de difusión de las micelas de estas mezclas¹⁴⁾. Más tarde Tokiwa¹⁵⁾ y Verezhnikov¹⁶⁾ utilizaron las mismas técnicas para el estudio de tales micelas mixtas. Otras técnicas fueron usadas para la caracterización de las micelas mixtas en sistemas de mezclas de los tensioactivos aniónico con no-iónico, tales como la luz difusa¹⁷⁾ y la solubilización de colorantes en las micelas¹⁸⁾.

Las micelas mixtas en las mezclas de tensioactivos estudiadas en este trabajo a diferentes temperaturas fueron caracterizadas mediante los valores de la c.m.c. Estas se determinaron mediante la gráfica que relaciona la tensión superficial y el logaritmo de la

concentración. Los resultados de la c.m.c (C_{12}^M) fueron mostrados en las Tablas desde la 1 a la 11. Cada mezcla fue caracterizada por la fracción molar (α) del tensioactivo aniónico en la concentración total de los tensioactivos.

A partir de las gráficas del logaritmo de la c.m.c (C_{12}^M) en función de la fracción molar de los tensioactivos a diferentes temperaturas (Figuras 1,2,3,4 y 5) nos muestran la transición desde el valor más elevado de la c.m.c del dodecilsulfato sódico al más bajo valor del tensioactivo nonilfenol etoxilado; esta variación no es directamente proporcional a la proporción de la mezcla, caracterizada por la fracción molar (α) del tensioactivo considerado. Este comportamiento encontrado, en el cual pequeñas cantidades del tensioactivo no-iónico provocan un descenso de la c.m.c. del tensioactivo aniónico, puede ser comprendido indicando que las cadenas oxietilenadas del tensioactivo no-iónico rodean al grupo polar del aniónico y reducen su fuerza electrostática repulsiva. Por consiguiente, este fenómeno beneficia la asociación de las cadenas hidrofóbicas del aniónico y se manifiestan unas c.m.c. más bajas en sus mezclas, tendiendo o bien al valor tope de la c.m.c. del correspondiente no-iónico o a mezclas que presentan una c.m.c. más baja que los componentes, presentándose una c.m.c. más baja que los componentes, presentándose por consiguiente sinergismo.

El grupo polar de los tensioactivos aniónicos son más importantes que los requerimientos estéricos producidos por la hidratación del óxido de etileno de los tensioactivos no-iónicos. Como resultado estas diferencias, las mezclas de dodecilsulfato sódico (tensioactivo aniónico) y nonilfenol etoxilado (tensioactivo no-iónico) muestra una c.m.c. la cual depende largamente de la proporción de mezcla y presente desviaciones en la c.m.c. de los componentes individuales.

En el rango de temperaturas estudiado, en general, la c.m.c. de todas las mezclas aumenta cuando la temperatura se incrementa, excepto en los casos en que las mezclas superiores a que α (no-iónico) = 0,75, especialmente para mezclas de nonilfenol de 15 m.O.E. ; 20 m.O.E. y 30 m.O.E. en las cuales la c.m.c. tiene menores valores a 45°C. El tensioactivo no-iónico separado muestra un comportamiento inverso al anterior dado que que las c.m.c. descienden cuando la temperatura aumenta.

El descenso de la c.m.c. de las mezclas a las temperaturas estudiadas es mayor en las proporciones de tensioactivo no-iónico debajo de $\alpha=0,1$. En este rango de concentraciones estudiado, las mezclas de nonilfenol de 5 m.O.E. muestran un marcado descenso de la c.m.c., y el tensioactivo de 30 m.O.E. presenta una más pequeña variación respecto a los otros. El comportamiento intermedio fue mostrado por las mezclas de nonilfenol con 10 m.E.O. y 20 m.E.O.

en este orden. Por tanto en este rango de concentraciones, el descenso de la c.m.c. es menor cuando aumenta la longitud de cadena oxietilenada.

El mencionado descenso de la c.m.c. en las mezclas a las temperaturas estudiadas es también perceptible desde α (no-iónico) = 0,1 hasta α (no-iónico) = 0,5 con más pequeñas variaciones que en el caso anterior. Las mezclas de nonilfenol de 5 m.O.E. muestra un marcado descenso de la c.m.c. en el rango de concentraciones, seguido del nonilfenol con 10 m.O.E., El comportamiento es similar entre el nonilfenol de 15 m.O.E., 20 m.O.E. y 30 m.O.E. y con menos diferencias que los anteriormente citados.

Para proporciones mayores que α (no-iónico) = 0,5 en la mezcla, algunos valores son bastante similares a la c.m.c. del tensioactivo no-iónico.

3.2 Interacción molecular en la micela mixta

Un parámetro empírico β fue establecido para estudiar la interacción molecular entre los componentes de la micela mixta, este parámetro incluye la suma de las energías de interacción entre las moléculas en la micela simple de los componentes y la diferencia de la energía de interacción entre los componentes y el resultado es multiplicado por dos.

Este parámetro fue deducido por Rosen⁶⁾ desde el punto de vista termodinámico obteniendo la ecuación siguiente:

$$\frac{x^2 \cdot \ln(C_{12}^M \cdot \alpha / C_1 \cdot x)}{(1-x)^2 \cdot \ln[C_{12}^M(1-\alpha) / C_2(1-x)]} = 1 \quad (1)$$

Donde, x = fracción molar del tensioactivo aniónico en la micela mixta, α = fracción molar del tensioactivo aniónico en la solución, C_1 = c.m.c. del tensioactivo aniónico, C_2 = c.m.c. del tensioactivo no-iónico y C_{12}^M = c.m.c. de la mezcla.

Con los valores de β obtenidos para cada mezcla, a las temperaturas de 35°C y 45°C son mostrados en las Tablas 1 a la 10. Debido a la tendencia similar de en las diferentes mezclas de cada tensioactivo no-iónico utilizado, se han calculado los promedios como resultado representativo de cada sistema aniónico con no-iónico, (β^M), mostrados en las citadas Tablas y también en la Tabla 11 para la temperatura de 25 °C. De estos resultados se puede apreciar que los parámetros de interacción molecular son menos negativos cuando la temperatura aumenta, de este hecho se deduce una interacción molecular mayor cuando aumenta la temperatura, especialmente desde 25°C a 35°C.

El parámetro de interacción molecular (β^M) para cada par de tensioactivos (aniónico / no-iónico) no varía apreciablemente cuando varía la

longitud de la cadena oxietilenada del tensioactivo no-iónico.

3.3 Sinergismo en la formación de la micela mixta

De acuerdo a X.Y. Hua y M.J.Rosen el sinergismo en la formación de la micela depende de estas condiciones siguientes: a) β^M debe ser negativo, b) $[\ln(C_1/C_2) < \beta^M]$. Aplicando estas condiciones a las mezclas de tensioactivos a diferentes temperaturas, podemos deducir que no hay efecto de sinergismo a 35°C y 45°C, excepto en el caso de las mezclas de nonilfenol de 20 m.O.E. y 30 m.O.E. con un ligero efecto de sinergismo a 25 °C⁹⁾.

3.4. Efecto de la mezcla en la reducción de la tensión superficial del agua debido a la micela mixta

La tensión superficial correspondiente a las micelas mixtas que se forman en la c.m.c. para cada tipo de mezcla estudiada, es mostrada en las Tablas 1 a 10. De estos resultados se puede apreciar que los valores de la tensión superficial

de cada mezcla estudiada, decrecen ligeramente al aumentar la temperatura. La tensión superficial aumenta al aumentar la longitud de la cadena oxietilenada de nonilfenol esto también ocurre en el caso de utilizar separadamente de tensioactivos no-iónicos.

El tensioactivo no-iónico en la mezcla aumenta la tensión superficial del tensioactivo aniónico separadamente, esta influencia es también perceptible para pequeñas proporciones de tensioactivo no-iónico, como es el caso de la mezcla de α (no-iónico) = 0.02 excepto en el caso de mezclas de nonilfenol de 5 m.O.E.

TABLA 1

(α) Fracción molar del aniónico en la mezcla, (C_{12}^M) c.m.c., (T_s) Tensión superficial en la c.m.c., (X^M) Fracción molar del aniónico en la micela mixta y (β^M) Parámetro de interacción molecular, para el par de tensioactivos $C_{12}OSO_3Na/C_9H_{19}C_6H_4(OC_2H_4)_5OH$, a 35°C

α (anion.)	$(C_{12}^M) \times 10^6$ (mol.dm ⁻³)	T_s (mN.m ⁻¹)	X^M	β
1,00	7440,0	30,5		
0,98	1202,0	29,9	0,345	-1,82
0,95	549,0	29,4	0,272	-2,57
0,90	316,0	29,8	0,214	-2,79
0,80	194,0	29,4	0,121	-2,28
0,50	72,4	29,2	0,137	-4,49
0,40	51,8	29,8	0,176	-6,12
0,25	42,1	29,3	0,165	-6,84
0,10	39,8	29,5	0,124	-7,11
0,00	45,7	29,0		
Promedio $\beta^M =$				-4,25

TABLA 2

Idem a la anterior para $C_{12}OSO_3Na/C_9H_{19}C_6H_4(OC_2H_4)_5OH$, a 45 °C

α (anion.)	$(C_{12}^M) \times 10^6$ (mol.dm ⁻³)	T_s (mN.m ⁻¹)	X^M	β
1,00	7960,0	30,1		
0,98	1230,0	29,0	0,319	-1,61
0,95	630,0	28,2	0,207	-1,61
0,90	338,0	28,4	0,162	-2,06
0,50	79,4	28,6	0,082	-3,37
0,40	64,5	28,1	0,073	-3,63
0,25	44,6	28,3	0,130	-5,99
0,10	42,1	28,2	0,078	-5,87
0,00	42,6	29,8		
Promedio $\beta^M =$				-3,44

TABLA 3

Idem a la anterior para
C₁₂OSO₃Na/C₉H₁₉C₆H₄(OC₂H₄)₁₀OH, a 35 °C

α (anion.)	(C ₁₂ ^M)x10 ⁶ (mol.dm ⁻³)	T _s (mN.m ⁻¹)	X ^M	β
1,00	7440,0	30,4		
0,98	1230,0	34,0	0,423	-2,96
0,90	398,1	33,8	0,275	-3,32
0,75	199,5	33,5	0,194	-3,50
0,50	117,0	32,7	0,124	-3,60
0,40	91,2	32,3	0,145	-4,64
0,25	74,9	32,8	0,130	-5,23
0,10	72,4	32,2	0,061	-4,71
0,00	70,7	32,6		
Promedio β ^M				-3,99

TABLA 6

Idem a la anterior para
C₁₂OSO₃Na/C₉H₁₉C₆H₄(OC₂H₄)₁₅OH, a 45 °C

α (anion.)	(C ₁₂ ^M)x10 ⁶ (mol.dm ⁻³)	T _s (mN.m ⁻¹)	X ^M	β
1,00	7960	30,1		
0,98	1071	36,0	0,446	-3,99
0,95	812	35,8	0,340	-2,88
0,90	467	35,5	0,286	-3,32
0,75	242	35,5	0,197	-3,35
0,50	142	35,4	0,126	-3,48
0,40	117	35,8	0,127	-4,04
0,25	105	35,5	0,068	-3,50
0,10	89	34,8	0,055	-4,38
0,00	86	37,8		
Promedio β ^M				-3,61

TABLA 4

Idem a la anterior para
C₁₂OSO₃Na/C₉H₁₉C₆H₄(OC₂H₄)₁₀OH, a 45 °C

α (anion.)	(C ₁₂ ^M)x10 ⁶ (mol.dm ⁻³)	T _s (mN.m ⁻¹)	X ^M	β
1,00	7960,0	30,1		
0,98	1318,0	31,8	0,404	-2,58
0,90	426,6	31,8	0,247	-2,88
0,75	213,8	31,2	0,154	-2,84
0,50	107,2	30,8	0,140	-4,10
0,40	99,0	31,8	0,093	-3,57
0,25	75,2	30,6	0,112	-4,90
0,10	66,1	30,8	0,085	-5,53
0,00	67,6	32,8		
Promedio β ^M				-3,77

TABLA 7

Idem a la anterior para
C₁₂OSO₃Na/C₉H₁₉C₆H₄(OC₂H₄)₂₀OH, a 35 °C

α (anion.)	(C ₁₂ ^M)x10 ⁶ (mol.dm ⁻³)	T _s (mN.m ⁻¹)	X ^M	β
1,00	7440,0	30,4		
0,98	1122,0	39,8	0,479	-4,35
0,95	851,0	39,6	0,389	-3,43
0,90	575,0	39,2	0,318	-3,27
0,60	213,8	40,0	0,182	-3,52
0,50	195,0	39,2	0,128	-3,00
0,40	149,0	38,6	0,156	-5,28
0,25	123,0	39,5	0,139	-4,74
0,10	119,0	38,5	0,069	-4,35
0,00	117,5	38,8		
Promedio β ^M				-3,88

TABLA 5

Idem a la anterior para
C₁₂OSO₃Na/C₉H₁₉C₆H₄(OC₂H₄)₁₅OH, a 35 °C

α (anion.)	(C ₁₂ ^M)x10 ⁶ (mol.dm ⁻³)	T _s (mN.m ⁻¹)	X ^M	β
1,00	7440,0	30,4		
0,98	1047,0	37,8	0,464	-4,23
0,95	575,0	37,3	0,395	-4,60
0,90	426,0	37,0	0,326	-4,07
0,75	204,0	36,6	0,267	-4,76
0,50	138,0	36,4	0,182	-4,44
0,40	107,0	36,0	0,194	-5,41
0,25	104,0	36,2	0,131	-4,81
0,10	98,0	36,2	0,073	-4,69
0,00	97,7	37,4		
Promedio β ^M				-4,62

TABLA 8

Idem a la anterior para
C₁₂OSO₃Na/C₉H₁₉C₆H₄(OC₂H₄)₂₀OH, a 45 °C

α (anion.)	(C ₁₂ ^M)x10 ⁶ (mol.dm ⁻³)	T _s (mN.m ⁻¹)	X ^M	β
1,00	7960,0	30,1		
0,98	1230,0	37,8	0,046	-3,85
0,95	851,0	37,6	0,367	-3,21
0,90	436,0	37,5	0,331	-4,25
0,75	263,0	37,4	0,229	-4,42
0,60	216,0	38,0	0,129	-2,74
0,50	177,0	37,0	0,114	-4,04
0,40	157,0	37,8	0,078	-3,50
0,25	127,0	37,9	0,069	-3,29
0,10	107,0	37,3	0,059	-4,29
0,00	104,0	38,6		
Promedio β ^M				-3,45

TABLA 9
Idem a la anterior para
C₁₂OSO₃Na/C₉H₁₉C₆H₄(OC₂H₄)₃₀OH, a 35 °C

α (anion.)	$(C_{12}^M) \times 10^6$ (mol.dm ⁻³)	T _s (mN.m ⁻¹)	X ^M	β
1,00	7440	30,4		
0,98	1737	41,0	0,490	-2,83
0,95	977	40,9	0,411	-3,44
0,90	660	41,0	0,325	-3,03
0,75	338	41,5	0,240	-3,34
0,60	251	41,8	0,177	-3,17
0,50	206	41,6	0,163	-3,48
0,40	151	42,0	0,194	-4,84
0,25	132	41,8	0,161	-5,08
0,10	115	41,6	0,138	-6,02
0,00	135	42,0		
Promedio β^M				-3,91

TABLA 10
Idem a la anterior para
C₁₂OSO₃Na/C₉H₁₉C₆H₄(OC₂H₄)₃₀OH, a 45 °C

α (anion.)	$(C_{12}^M) \times 10^6$ (mol.dm ⁻³)	T _s (mN.m ⁻¹)	X ^M	β
1,00	7960	30,1		
0,98	1819	40,0	0,458	-2,43
0,95	1023	39,8	0,359	-2,62
0,90	543	39,6	0,314	-3,48
0,75	345	40,4	0,172	-2,43
0,60	245	40,8	0,104	-2,15
0,50	200	40,6	0,089	-2,37
0,40	163	40,8	0,009	-2,37
0,25	120	41,4	0,130	-4,68
0,10	107,	40,9	0,096	-5,24
0,00	112	42,4		
Promedio β^M				-3,16

TABLA 11
Idem a la anterior para
C₁₂OSO₃Na/C₉H₁₉C₆H₄(OC₂H₄)_nOH, a 25 °C

α (anion.)	longitud cadena oxietilenada				
	5 m.EO	10 m.EO	15 m.EO	20 m.EO	30 m.EO
$(C_{12}^M) \times 10^6$ (mol.dm ⁻³)					
1,00	7240,0	7240,0	7240	7240,0	7240,0
0,98	794,0	1174,0	1010	955,0	1589,0
0,95	407,0	849,0	442,0	501,0	851,0
0,90	295,0	280,0	295,0	292,0	384,5
0,75	158,0	165,0	218,0	239,0	263,0
0,60				200,0	240,0
0,50	66,8	104,0	129,0	147,0	190,5
0,40	58,2	97,7	117,0	128,0	138,0
0,25	41,7	73,2	97,0	115,0	123,0
0,10	50,1	54,9	100,0	125,0	125,0
0,00	55	75,8	107,0	132,0	173,0
	$\beta^M =$ -5,33	$\beta^M =$ -4,81	$\beta^M =$ -5,36	$\beta^M =$ -5,44	$\beta^M =$ -5,47

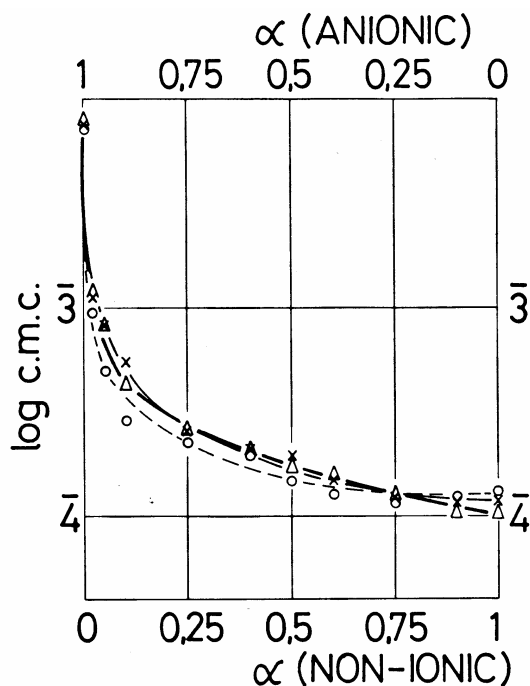


FIGURA 1: Variación del log. c.m.c. en función de α fracción molar del tensioactivo aniónico y no-iónico en la mezcla de C₁₂OSO₃Na/C₉H₁₉C₆H₄(OC₂H₄)₅OH, a las temperatura de 25 °C (---).35 °C (—) y 45 °C (—)

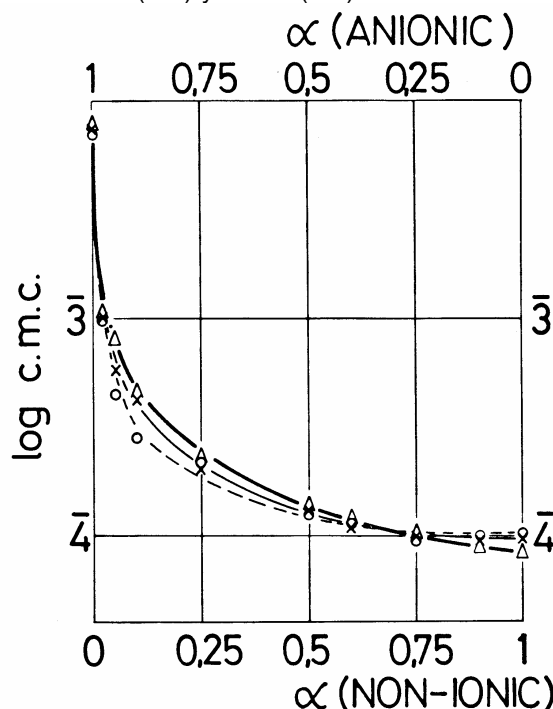


FIGURA 2: Variación del log. c.m.c. en función de α fracción molar del tensioactivo aniónico y no-iónico en la mezcla de C₁₂OSO₃Na/C₉H₁₉C₆H₄(OC₂H₄)₁₀OH, a la temperatura de (---)25 °C., (—) 35 y 45 °C (—).

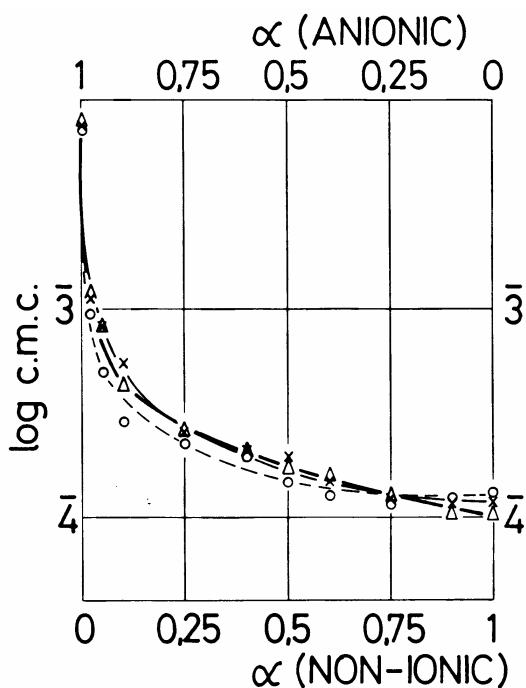


FIGURA 3: Idem a la anterior figura, para la mezcla de $C_{12}OSO_3Na/C_9H_{19}C_6H_4(OC_2H_4)_{15}OH$, a la temperatura de (---) 25 °C., (—) 35 y 45 °C (—).

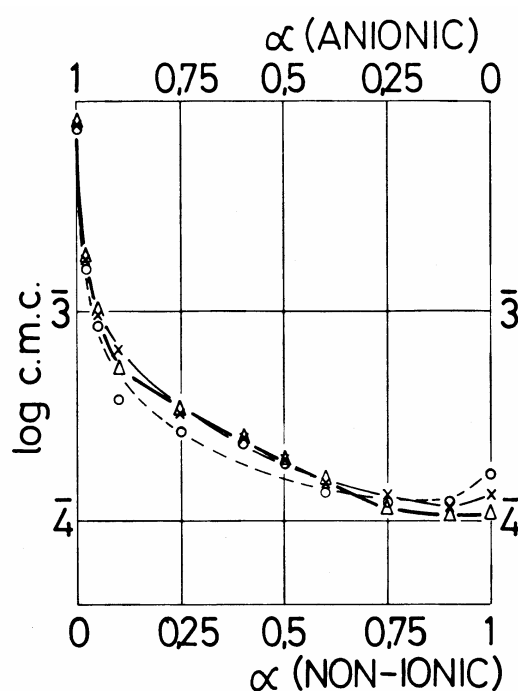


FIGURA 5: Idem a la anterior figura, para la mezcla de $C_{12}OSO_3Na/C_9H_{19}C_6H_4(OC_2H_4)_{30}OH$, a la temperatura de (---) 25 °C., (—) 35 y 45 °C (—).

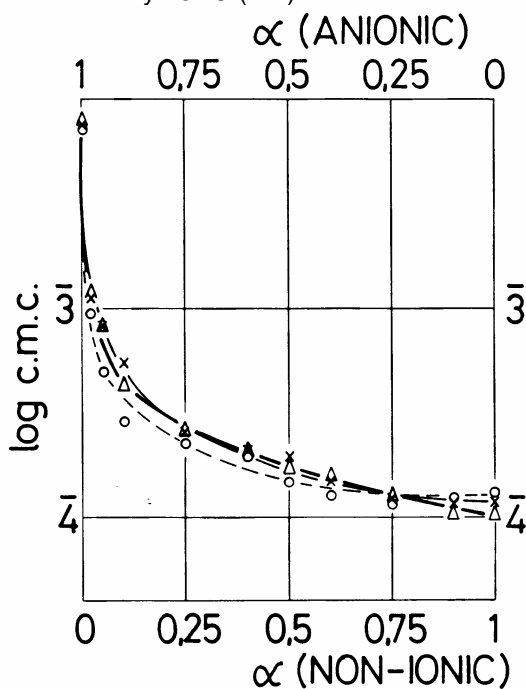


FIGURA 4: Idem a la anterior figura, para la mezcla de $C_{12}OSO_3Na/C_9H_{19}C_6H_4(OC_2H_4)_{20}OH$, a la temperatura de (---) 25 °C., (—) 35 y 45 °C (—).

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones generales son las siguientes:

4.1. Las mezclas de dodecilsulfato sódico (tensoactivo aniónico) y tensoactivo no-iónico de nonilfenol etoxilenado (no-iónico) muestra una c.m.c. que depende en gran medida de la proporción de mezcla y de las desviaciones existentes con la c.m.c. de los componentes individuales.

4.2. En el rango de temperaturas estudiado, en general, la c.m.c. de todas las mezclas aumenta cuando aumenta la temperatura. El tensoactivo no-iónico por sí solo por el contrario muestra un efecto contrario la c.m.c. decrece cuando la temperatura aumenta.

4.3. El parámetro de interacción molecular β resulta menos negativo cuando la temperatura aumenta; esto implica una mayor interacción molecular cuando aumenta la temperatura especialmente desde 25°C a 35°C.

4.4. El parámetro de interacción molecular β^M para cada par de tensoactivos no varía apreciablemente al variar la longitud de la cadena oxietilenada del tensoactivo no-iónico.

4.5. Para proporciones más elevadas que α (no iónico) = 0.5, en la mezcla, algunos valores son bastante similares a la c.m.c. del tensoactivo no-iónico, sin el efecto del sinergismo, excepto en el caso de mezclas de nonilfenol con 20 m.O.E. y 30 m.O.E. con un ligero perceptible sinergismo a 25°C.

4.6. La tensión superficial de la mezcla de tensioactivos estudiada, decreció ligeramente al aumentar la temperatura.

4.7. El tensioactivo no-iónico en la mezcla aumenta la tensión superficial en el tensioactivo aniónico y resulta ligeramente perceptible en pequeñas proporciones de tensioactivo no-iónico.

5. AGRADECIMIENTOS

El autor de este trabajo desea expresar su agradecimiento a: M.J. López por su asistencia en la parte experimental y Profa. Dra. M. Pepió por el programa de cálculo en las ecuaciones matemáticas y a Marcho (Barcelona) por el suministro de los tensioactivos no-iónicos.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Rubingh D.N. Solution Chemistry of Surfactants Volumen I editado por K.L. Kittall. Ed. Plenum. New York 337-354 (1979).
2. Nakagawa T. And H. Inoue. Nippon Kagaku Zasshi, 78, 636 (1957).
3. Clint J.H., J.C.S. Faraday I, 71, 1327 (1975).
4. Lange H. y K.H. Beck, Kolloid Z. U Z. Polymere, 251, 424 (1973).
5. Moroi Y., M. Nishikido, M. Saito y R. Matsuura, J. Colloid Interface Sci. 52, 56 (1975).
6. Rosen M.J. and X.Y. Hua, Journal of Colloid and Interface Science, 86, 1, 164-172 (1982)
7. Rosen M.J. and X.Y. Hua, J.A.O.C.S. 59,12, 168-171 (1982).
8. Hua X.Y. and M.J. Rosen, Journal of Colloid and Interface Science, 90, 1, 212-219 (1982).
9. Carrión, F.J., Tenside Detergents, 22, 5, 225-229 (1985).
10. Norma UNE 55-520-75.
11. Norma UNE 55-518-75.
12. Heusch R., Tenside Detergents, 12,2,81 (1975).
13. Paddy J.F. Surface and Colloid Science. Volumen I; Matijevic, Wiley Inters. New York (1969).
14. Nakagawa T. and T. Inoue, Nippon Kagaku Zasshi 78, 636 (1957).
15. Tokiwa, F., J. Coll. Int. Sci. 28, 1, 145 (1968).
16. Verezhnikov V.N., Kolloid -Z, 35, 3, 531 (1973).
17. Soleveyeva T.S., Kolloid Z, 31, 2, 285 (1969).
18. Fukuda K., Taniyama Y., Sci. Repts. Saitama Univ., 3^a, 27 (1958).

Trabajo presentado en: 2000.02.07.

Aceptado en: 2000.05.25.