

128  
Res



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

DIAGRAMA DE FASES DEL SISTEMA  
BINARIO AGUA-ALCOHOL LAURICO  
CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO



EXAMEN DE INVESTIGACIÓN  
FAC. DE QUÍMICA

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO  
P R E S E N T A  
MARIA ELENA ROMERO GONZALEZ



MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO**

**PRESEIDENTE : Profra. TERESA UNDA CARBOTT**

**VOCAL : Profra. GLINDA IRAZOQUE PALAZUELOS**

**SECRETARIO : Prof. JESUS GRACIA FADRIQUE**

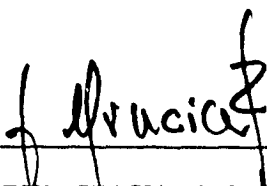
**1er. SUPLENTE: Profra. ALMA ROSA GARCIA CHARRETON**

**2do. SUPLENTE: Prof. LUIS MIGUEL TREJO CANDELAS**

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

**LABORATORIO DE TERMOFISICA, DEPARTAMENTO DE FISICA Y QUIMICA  
TEORICA, DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE  
QUIMICA, UNAM.**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. JESUS GRACIA FADRIQUE**

**SUSTENTANTE:**

  
\_\_\_\_\_  
**MARIA. ELENA ROMERO GONZALEZ**

## *G R A C I A S :*

### **A MI MAMA:**

Por todo el apoyo que me has brindado a lo largo de mi vida, por haberme inculcado el deseo de la superación y además de demostrarmelo día con día, hoy quiero brindarte este trabajo como muestra de mi cariño, ya que representa la terminación de una carrera que juntas comenzamos algún día.

### **A MIS ABUELITOS:**

Sr. Luis y Sra. Adela.

Por todo el cariño y ejemplo que siempre me han dado, hoy quiero decirles que los quiero mucho y gracias por todos los momentos dichosos que hemos compartido.

### **A MIS TIOS:**

Por la ayuda que me brindaron durante la realización de esta meta y ojalá muy pronto puedan sentir la felicidad de concluir un trabajo como este por parte de sus hijos.

### **A MIS PRIMOS:**

Por toda la ayuda que me ofrecieron en los momentos críticos por los que me toco pasar y gracias a ustedes fueron superados satisfactoriamente.

**AL ING. ALEJANDRO TRUJANO SALAZAR:**

**Por todos los momentos que nos toco vivir juntos durante éstos 5 años, de los cuales logramos salir siempre con éxito y ojalá muy pronto puedas concluir tu trabajo para satisfacción de tú familia.**

**A MI PADRE:**

**Por lo consejos que alguna vez me ofreció.**

**A MIS COMPAÑEROS:**

**Por todas las ocasiones en que nos toco trabajar en equipo y siempre salimos adelante.**

**AL SEMINARIO ACADEMICO " PASCUAL LARRAZA SMITH " :**

Patrocinado por Celanese Mexicana, S.A. de C.V. y muy especialmente al Dr. Francisco Barnes de Castro y al Ing. Federico Ortíz Álvarez; por el apoyo económico en la realización de este trabajo.

**A MI ASESOR:**

El Dr. JESUS GRACIA FADRIQUE, por su tiempo, conocimientos, amistad e incomparable ayuda que me brindo para la realización de este trabajo.

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO:**

Por todos los conocimientos y formación que me dió a lo largo de la carrera.

**MUY ESPECIALMENTE A LA FACULTAD DE QUIMICA.**

**MARIA ELENA ROMERO GONZALEZ.**

## INDICE

Introducción	I
1.- Capítulo Primero.	
1.1 Interfases de fases	2
1.2 Tensoactivos	2
1.3 Clasificación de tensoactivos	3
1.4 Tensión superficial	12
1.5 Potenciales temodinámicos	13
1.6 Curvatura y ecuación de Young-Laplace	15
1.7 Ecuación de Gibbs-Duhem	20
1.8 Isoterma de adsorción de Gibbs	23
2.- Capítulo Segundo.	
2.1 Propiedades de bulto de las disoluciones de tensoactivos	28
2.2 Propiedades de los compuestos etoxilados	29
2.3 Alcoholes etoxilados	30
2.4 Usos y aplicaciones de los productos etoxilados	31
2.5 Detergencia	33
2.6 Descripción de los diagramas de fases de los tensoactivos etoxilados	35
2.7 Regiones isotrópicas	37
2.8 Regiones anisotrópicas	38
2.9 Estructuras de cristales líquidos	38
2.10 Propiedades de bulto de las soluciones de tensoactivos	40
2.11 Formación y estructuras de micelas	41

2.12 Espectro de absorción de infrarrojo	43
2.13 Cromatografía gas-líquido	44
<b>3.- Capítulo tercero.</b>	
3.1 Desarrollo experimental	46
3.2 Trabajo experimental	47
3.3 Cromatografía gas-líquido	48
3.4 Zona de puntos de enturbiamiento	60
3.5 Similitudes entre diagramas de fases de tensoactivos etoxilados+agua	62
3.6 Viscosidad	74
<b>4.- Capítulo cuarto.</b>	
4.1 Interpretación de resultados	78
<b>5.- Capítulo quinto.</b>	
5.1 Presentación de los cristales líquidos del diagrama de fases	81
<b>6.- Conclusiones.</b>	94
<b>7.- Apéndice A.</b>	95
<b>8.- Apéndice B.</b>	114
<b>9.- Bibliografía.</b>	128

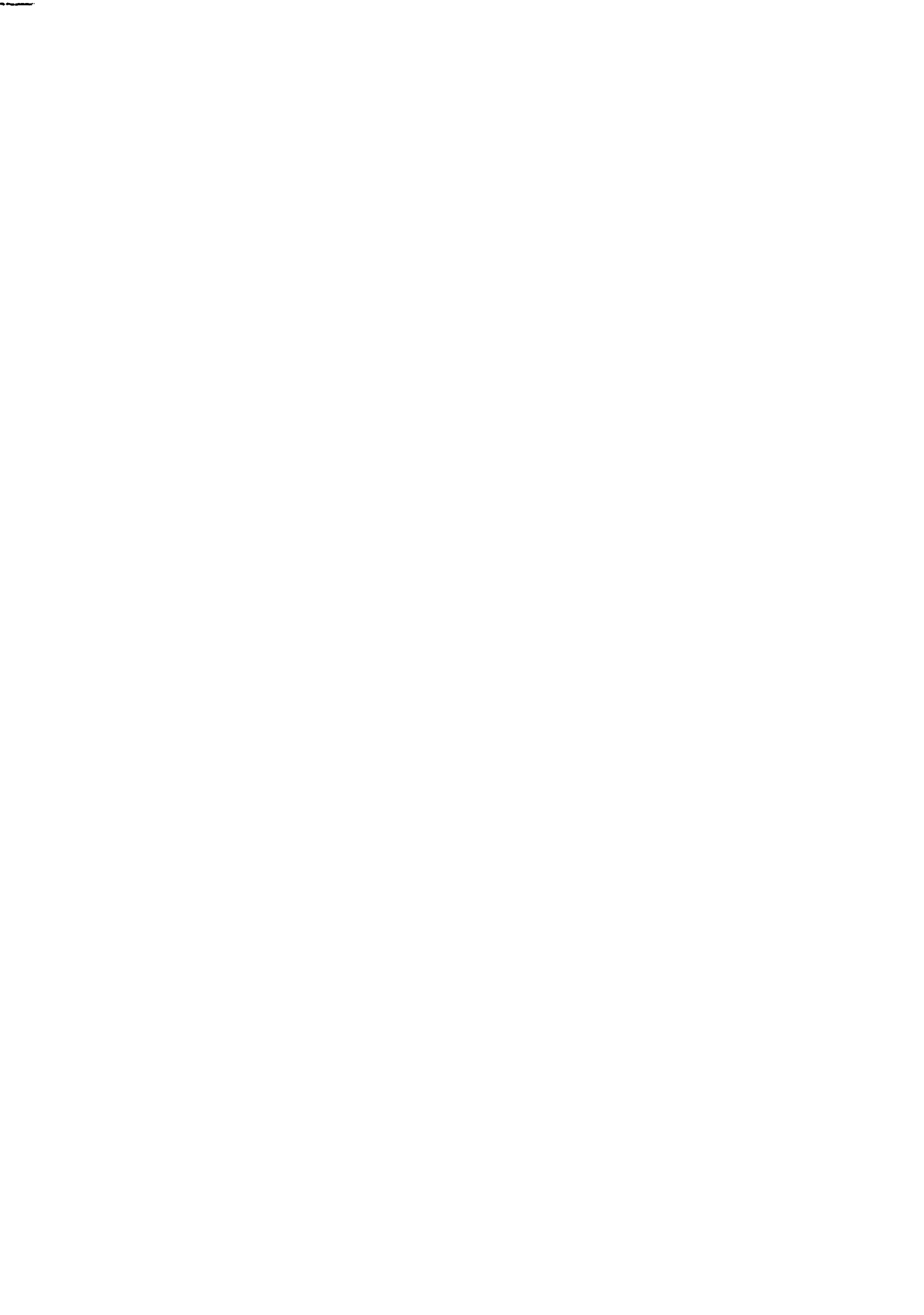


## INTRODUCCION

Los diagramas de equilibrio de fases en sistemas binarios con temperatura, del tipo tensoactivo-agua, constituyen uno de los encuentros más sorprendentes en la física de fluidos. En especial, cuando el tensoactivo es de carácter no iónico de la familia de los etoxilados, la variedad de regiones, topología y morfología de éstos diagramas, difieren de los sistemas convencionales líquido-líquido con puntos críticos de solubilidad superior. Los binomios agua-tensoactivo etoxilado, presentan puntos críticos de solubilidad inferiores con una elevada asimetría en composición, donde el componente mayoritario de las fases en coexistencia es el agua. En cuanto a la región superficial, se presentan abatimientos de tensión que guarda una relación directa con la estructura del tensoactivo que se organiza en agregados micelares a una concentración característica para evolucionar posteriormente en tamaño y forma.

Conforme progresa la composición total del sistema, y donde el aumento en la población micelar se traduce en la formación de agregados con variación en la geometría local y tipo de agregación. Estas estructuras complejas con efectos birrefringentes, se identifican con estructuras tipo cristalino y de aquí la nominación de regiones de cristales líquidos; estructuras sorprendentes en el universo de los líquidos que aún esperan la racionalización y explicación de las fuerzas intermoleculares responsables de este fenómeno. Este trabajo se encuentra destinado a la determinación del diagrama de equilibrio de fases (T-X) del alcohol láurico etoxilado con 10 moles de óxido de etileno y agua, no reportado hasta el momento de inicio de este trabajo. El nombre que la IUPAC le designa es: Poli(oxi-1,2-etanodiol) $\alpha$ -dodecil-w-hidroxi con número CAS 9000002-92-0.

En el primer capítulo serán expuestos los fundamentos termodinámicos que permitan sustentar la discusión de los resultados experimentales obtenidos, en los siguientes capítulos se presentan las propiedades de bulbo de las disoluciones de tensoactivos, la descripción de las regiones de los diagramas de fases, los usos de los tensoactivos de tipo no iónico, los resultados experimentales con sus respectivas gráficas, el análisis de éstos y las conclusiones.



## **CAPITULO PRIMERO**

### **TERMODINAMICA DE SUPERFICIES Y TENSOACTIVOS**

#### **INTERFASES DE FASES:**

Una interfase es la frontera entre dos ó más fases homogéneas, las interfases se clasifican en: sólido-gas, sólido-sólido, sólido-líquido, líquido-gas y líquido-líquido.

Las interfases líquido-líquido presentan especial importancia para el estudio de los materiales que abaten la tensión superficial del disolvente (agua generalmente); como la tensión interfacial que varía drásticamente cuando se presentan cambios en composición.

#### **TENSOACTIVOS:**

Los tensoactivos son materiales, que en disolución presentan una concentración mayor en la superficie de contacto en relación a la que tienen en el bulto. Estos solutos aún en concentraciones bajas son capaces de alterar drásticamente la energía interfacial del disolvente. Estos materiales presentan una estructura físicamente identificable en relación a su función, una parte hidrofóbica ó no polar (cadena hidrocarbonada), que es repulsiva al agua y otra parte hidrofílica ó polar que es atractiva al agua.

## **CLASIFICACION DE LOS TENSOACTIVOS:**

Los tensoactivos se han dividido o clasificado de acuerdo a su uso y a la naturaleza de la carga del grupo hidrofílico.

Ambas clasificaciones son simples, la segunda proporciona mayor información sobre su estructura y, por lo tanto, sobre sus propiedades. La primera clasificación es:

a) Por su uso.

a.1 Agentes humectantes.- Son sustancias que incrementan el extendimiento de los líquidos sobre una superficie repelente.

a.2 Agentes penetrantes.- Son agentes que efectúan más rápidamente el paso del líquido dentro del sólido poroso.

a.3 Agentes dispersantes.- Estos se emplean para compuestos que se agregan a suspensiones o dispersiones con el propósito de impedir la formación de flóculos.

a.4 Detergentes.- Se emplean principalmente para retirar impurezas de las fibras.

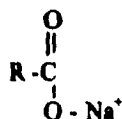
a.5 Agentes emulsificantes.- Son compuestos que estabilizan la dispersión de líquidos inmiscibles.

a.6 Agentes espumantes.- Son aquellos que producen una estabilidad temporal de las fases aire-liquido.

La clasificación que a continuación se da está basada en la naturaleza de la carga del grupo hidrofílico.

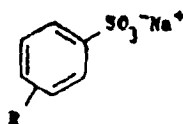
b.1 Aniónicos; se caracterizan por tener en su molécula cationes orgánicos e inorgánicos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ , etc.) y una parte hidrofílica que contiene los grupos aniónicos ( $-\text{COO}^-$ ,  $-\text{SO}_3^-$ ,  $-\text{O}-\text{PO}_3^{2-}$ , etc.) unidos a la fracción orgánica.

- Sales de ácidos carboxílicos (productos obtenidos por saponificación de grasas). Los compuestos más representativos de este grupo son los jabones, cuya estructura química general es:



- Sales del ácido sulfónico, esta clase está integrada principalmente por los siguientes compuestos:

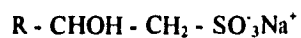
Alquilbencensulfonatos.



Sulfonatos de parafinas secundarias.

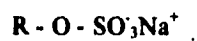


Sulfonatos de alfa olefinas.

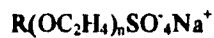


-Tipo sulfato:

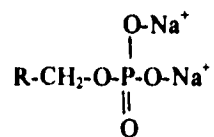
Alquilsulfatos.



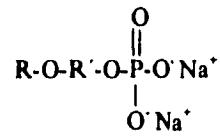
Alquil éter sulfatos.



Alquilfosfato de sodio.

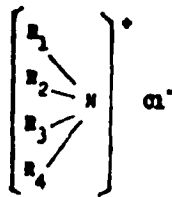


Alquiléter fosfato de sodio.



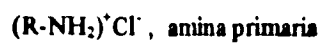
b.2 Catiónicos:

Estos compuestos se caracterizan por estar constituidos de una parte hidrocarbonada unida a un átomo de nitrógeno (el cual dá el carácter catiónico (+) a la molécula). Su fórmula es:



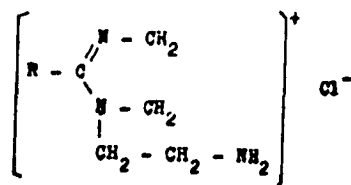
Ejemplos de diferentes tipos de tensoactivos que pertenecen a este grupo son:

Sales de amina de cadena larga.

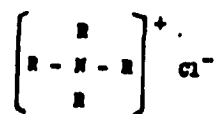




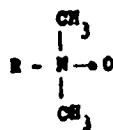
Sales de diaminas y poliamidas.



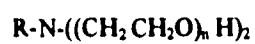
Sales de amonio cuaternario.



Oxidos de amina.



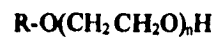
Aminas con cadena larga polioxi-etilena.



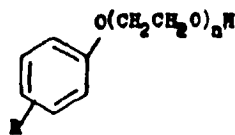
### b.3 No iónicos:

Los tensoactivos no iónicos son principalmente derivados polioxietilenados o polioxipropilenados, también se incluyen en esta categoría los derivados de anhídridos de sorbitán, etc. Los tensoactivos no iónicos tienen la ventaja de que son estables frente a la mayoría de los productos químicos, en las concentraciones usuales de empleo. Al no ionizarse en agua no forman sales con los iones metálicos y son igualmente efectivos en aguas blandas y duras. Algunos ejemplos de tensoactivos no iónicos son:

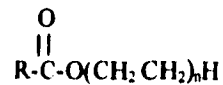
Alcoholes grasos polioxietilenados.



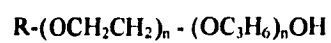
Compuestos alquilfenol polioxietilenados.



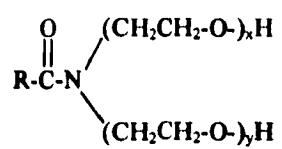
Acidos grasos polioxietilenados.



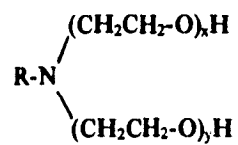
Condensados de óxido de etileno y óxido de propileno.



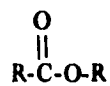
Amidas de ácidos grasos polioxietilenados.



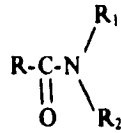
Aminas grasas polioxietilenadas.



Esteres de ácidos grasos.



Alcanolamidas.

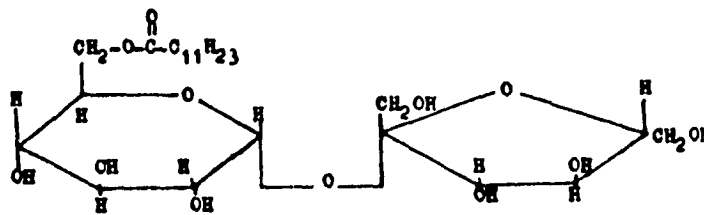


$\text{R}_1$  y  $\text{R}_2$  son alcoholes.

Esteres de ácidos grasos derivados del sorbitol.



Derivados del azúcar.

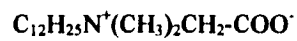


b.4 Anfotéricos.

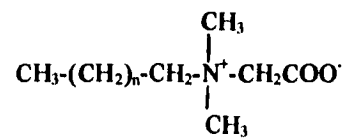
Este grupo se caracteriza por presentar en su molécula grupos aniónicos y catiónicos, en general están constituidos por una cadena grasa y un nitrógeno cuaternario. Los

tensoactivos anfotéricos han sido conocidos durante muchos años, pero sólo hasta fechas recientes han tenidos utilidad comercial. Algunos ejemplos de tensoactivos anfotéricos son:

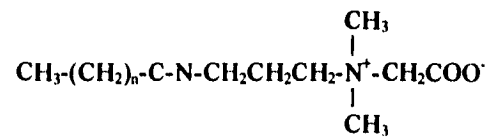
-N-dodecil-N:N dimetil betaina.



Alquil dimetil betainas.

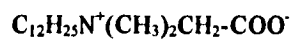


Alquil amida propil dimetil betaina.

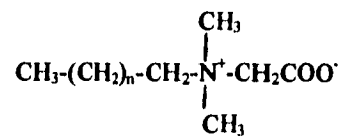


tensoactivos anfotéricos han sido conocidos durante muchos años, pero sólo hasta fechas recientes han tenidos utilidad comercial. Algunos ejemplos de tensoactivos anfotéricos son:

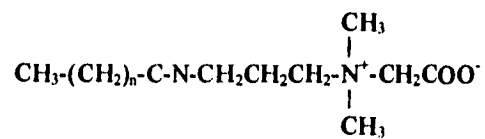
-N-dodecil-N,N dimetil betaína.



Alquil dimetil betaínas.



Alquil amida propil dimetil betaína.



**TENSION SUPERFICIAL:**

La tensión superficial es la fuerza por unidad de área en una película; es la tensión superficial del líquido, la cual actúa como una fuerza que se opone al aumento de área. Otra forma de definir la tensión superficial es como la energía en exceso de una región inhomogénea (o heterogénea) de un líquido con su vapor. La tensión interfacial es la energía en exceso de un líquido con otro líquido. La tensión superficial ( $\gamma$ ) se expresa en dinas/cm y es numéricamente igual a la razón de aumento de la energía superficial con el área y también se expresa en erg/cm<sup>2</sup>.

A una mayor relación de superficie-volumen, es mayor la energía superficial; si la relación disminuye se puede ignorar su presencia para análisis termodinámicos. En la práctica, los efectos de superficie son significativos para partículas con diámetros menores de  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$ .

En 1805, Thomas Young demostró que las propiedades mecánicas de una superficie podían ser relacionadas con las de una membrana hipotética bajo tensión. La tensión superficial se contempla como una expresión negativa o fuerza por unidad de longitud.

Una interfase que separa dos fases A y B es una región de espesor pequeño pero finito, del orden de aproximadamente  $1\eta\text{m}$ , donde existe un cambio drástico de las propiedades de las fases A y B. La aportación de Young se basó en demostrar que la región interfacial puede reemplazarse por el modelo de una membrana estirada de espesor diferencial, con

referencia a sus propiedades mecánicas; este plano que separa las dos fases recibe el nombre de superficie de tensión.

Cuando se amplía el área superficial, el trabajo que se lleva a cabo sobre el sistema es:

$$dW = \gamma da \quad \dots (1)$$

donde  $W$  es el trabajo,  $a$  es el área y  $\gamma$  es la tensión superficial o interfacial.

### **POTENCIALES TERMODINAMICOS:**

Los potenciales químicos para la región superficial, han sido definidos en base a la energía interna ( $U$ ), entalpía ( $H$ ), energía libre de Helmholtz ( $A$ ) y energía libre de Gibbs ( $G$ ) son de la forma:

Para sistemas tomando en cuenta la superficie, son:

$$dU_s = TdS_s - PdV_s + \sigma da + \sum \mu_i dn_{iS} \quad \dots (2)$$

$$dH_s = TdS_s + VdP_s + \sigma da + \sum \mu_i dn_{iS} \quad \dots (3)$$



$$dA = -SdT - PdV_s + \sigma da + \sum \mu_i dn_i \dots (4)$$

$$dG = -SdT + V_s dP + \sigma da + \sum \mu_i dn_i \dots (5)$$

donde  $\sigma$  es la tensión interfacial,  $H$  es la entalpía,  $T$  temperatura absoluta,  $S$  entropía,  $V$  volumen,  $\mu_i$  es el potencial químico del componente  $i$  y  $n_i$  es el número de moles del componente  $i$ .

En presencia de varias fases, las expresiones anteriores toma la forma:

$$dU = \sum_{\phi} TdS - \sum_{\phi} PdV + \sigma da + \sum_{\phi} \sum_i \mu_i dn_i \dots (6)$$

$$dH = \sum_{\phi} TdS + \sum_{\phi} PdV + \sigma da + \sum_{\phi} \sum_i \mu_i dn_i \dots (7)$$

$$dA = - \sum_{\phi} SdT - \sum_{\phi} PdV + \sigma da + \sum_{\phi} \sum_i \mu_i dn_i \dots (8)$$

$$dG = - \sum_{\phi} SdT + \sum_{\phi} PdV + \sigma da + \sum_{\phi} \sum_i \mu_i dn_i \dots (9)$$

donde  $i$  representa el componente que estamos trabajando y  $\phi$  la fase en la que se encuentra el componente.

En sistemas en donde varía curvatura y posición, son:

$$dU = \sum_{\phi} TdS - \sum_{\phi} PdV + \sigma da + \lambda_1 dc_1 + \lambda_2 dc_2 + \sum_{\phi} \sum_i \mu_i dn_i \dots (10)$$

$$dH = \sum_{\phi} TdS + \sum_{\phi} VdP + \sigma da + \lambda_1 dc_1 + \lambda_2 dc_2 + \sum_{\phi} \sum_i \mu_i dn_i \dots (11)$$

$$dA = - \sum_{\phi} SdT - \sum_{\phi} PdV + \sigma da + \lambda_1 dc_1 + \lambda_2 dc_2 + \sum_{\phi} \sum_i \mu_i dn_i \dots (12)$$

$$dG = - \sum_{\phi} SdT + \sum_{\phi} VdP + \sigma da + \lambda_1 dc_1 + \lambda_2 dc_2 + \sum_{\phi} \sum_i \mu_i dn_i \dots (13)$$

donde  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  son las posiciones iniciales en relación a los radios principales de curvatura,  $c_1$  y  $c_2$  representan las curvaturas máximas.

#### **CURVATURA Y ECUACION DE YOUNG-LAPLACE:**

Cualquier superficie curva requiere al menos de 2 radios de curvatura para ser descrita; si el sistema presenta superficie plana se desprecian los efectos de curvatura ( $\lambda_1 dc_1$  y  $\lambda_2 dc_2$ , éstos parámetros se hacen presentes en las ecuaciones 10, 11, 12, 13).

Si realizamos un análisis termodinámico y tomamos como base la expresión del potencial químico de la energía libre de Helmholtz:

$$dA = - SdT - PdV + \sigma da + \sum \mu_i dn_i \dots (14)$$

donde A es la energía libre de Helmholtz, S la entropía, T la temperatura absoluta, P la presión, V el volumen,  $\sigma$  es la tensión superficial, a el área,  $\mu_i$  el potencial químico y  $n_i$  el número de moles del componente i.

Si la temperatura es constante y se tiene sólo un componente la expresión anterior se escribe como:

$$dA = - PdV + \sigma da \dots (15)$$

En el equilibrio la energía libre de Helmholtz es igual a cero:

$$dA = 0 \dots (16)$$

Por lo tanto:

$$0 = - P dV + \sigma da \quad \dots (17)$$

Para dos fases, la expresión anterior toma la forma:

$$-p^A dV^A - p^B dV^B + \sigma da = 0 \quad \dots (18)$$

Las diferenciales del volumen serán iguales a:

$$dV = dV^A = -dV^B \quad \dots (19)$$

El incremento o decremento en el volumen de una fase es igual al incremento o decremento del volumen en la otra fase.

De la ec. 18 y 19:

$$-p^A dV + p^B dV + \sigma da = 0 \quad \dots (20)$$

O:

$$(-p^A + p^B)dV + \sigma da = 0 \quad \dots (21)$$

Donde:

$$\Delta p = p^B - p^A \quad \dots (22)$$

La consideración que se utiliza es que la presión de la fase A es mucho mayor que la de la fase B, entonces:

$$-\Delta p dV + \sigma da = 0 \quad \dots (24)$$

Las expresiones de las diferenciales de volumen y de área para una esfera, al ser

sustituídas en la ecuación anterior, obtenemos:

$$-\Delta P(4 \pi r^2) + \sigma (8 \pi r) = 0 \dots (25)$$

Al despejar la diferencia de presiones:

$$\Delta P = \frac{-\pi 8 r \sigma}{-\pi 4 r^2} \dots (26)$$

$$\Delta P = 2 \sigma / r \dots (27)$$

La expresión anterior corresponde a la ecuación de Young-Laplace para una esfera; la expresión general para cualquier figura que se presente donde los radios no son iguales la ecuación de Young-Laplace es:

$$\Delta P = \sigma [ 1/R_1 + 1/R_2 ] \dots (28)$$

### ECUACION DE GIBBS-DUHEM:

En un sistema multicomponente, el potencial químico de cada componente es igual en cada fase y en la interfase, entonces la variación de la energía total del sistema (tomando como referencia el potencial termodinámico de la energía libre de Gibbs), se expresa como:

$$dG = -SdT + VdP + \sigma dA + \sum \mu_i dn_i \dots (29)$$

donde  $G$  es la energía libre de Gibbs,  $S$  es la entropía,  $T$  es la temperatura absoluta,  $V$  es el volumen,  $P$  es la presión,  $\gamma$  es la tensión superficial,  $A$  es el área,  $\mu_i$  es el potencial químico del componente  $i$ ,  $n_i$  es el número de moles del componente  $i$ .

donde  $\gamma A$  es igual al aumento de la energía libre del sistema, con respecto a una variación de área.

Para un sistema formado por dos fases, los cambios de la energía libre de cada fase son:

$$dG_l = -S_l dT + V_l dP + \sum \mu_i dn_i \dots (30)$$

$$dG_2 = -S_2dT + V_2dP + \sum \mu_i dn_i \dots (31)$$

Si restamos las dos ecuaciones anteriores, de la ecuación del cambio total de la energía libre ecuación (29):

$$d(G-G_1-G_2) = -(S-S_1-S_2)dT + (V-V_1-V_2)dP + \sigma dA + d(n_i-n_i^{(1)}-n_i^{(2)}) \dots (32)$$

Si la interfase no produjera ningún efecto físico, entonces la diferencia entre la energía total (G) y la suma de las energías libres de las fases internas (G<sub>1</sub>+G<sub>2</sub>) sería igual a cero, pero como sí produce efectos físicos, entonces la diferencia: G-(G<sub>1</sub>+G<sub>2</sub>), es atribuida a la presencia de la superficie y se denomina energía libre superficial (G<sub>s</sub>):

$$G_s = G - G_1 - G_2 \dots(33)$$

$$S_s = S - S_1 - S_2 \dots (34)$$

$$n_i^{(s)} = n_i - n_i^{(1)} - n_i^{(2)} \dots (35)$$



donde  $G_s$  es la energía libre superficial,  $S_s$  entropía superficial y  $n_i^{(s)}$  número de moles superficiales del componente  $i$ .

La interfase no afecta la exigencia geométrica, según lo cual:

$$V = V_1 + V_2 \dots (36)$$

entonces la ecuación 32 se reduce a:

$$dG_s = -S_s dT + \sigma dA + \sum \mu_i dn_i^{(s)} \dots (37)$$

si se integra la ecuación anterior:

$$\int_0^{G_s} dG_s = \sigma \int_0^A dA + \sum \mu_i \int_0^{n_i^{(s)}} dn_i^{(s)} \dots (38)$$

$$G_s = \sigma A + \sum \mu_i n_i^{(s)} \dots (39)$$

si diferenciamos la ecuación anterior:

$$dG_s = \sigma dA + Ad \sigma + \sum \mu_i dn_i^{(s)} + \sum n_i^{(s)} d\mu_i \dots (40)$$

Al restar la ecuación 37 de la ecuación 40, obtenemos:

$$0 = SdT + Ad \sigma + \sum n_i^{(s)} d\mu_i \dots (41)$$

La ecuación anterior es la ecuación de Gibbs-Duhem en términos de superficies.

#### **ISOTERMA DE ADSORCION DE GIBBS:**

Tomando como base la ecuación de Gibbs-Duhem, se deduce la Isoterma de Adsorción de Gibbs, para lo cual es necesario definir la concentración superficial por unidad de área que es:

$$\Gamma_i = \frac{n_i^{(s)}}{A} \dots (42)$$

entonces la ecuación de Gibbs-Duhem, se expresa como:

$$d\gamma = -\sigma dT - \sum \Gamma_i d\mu_i \dots (43)$$

a T constante:

$$d\gamma = -(\Gamma_1 d\mu_1 + \Gamma_2 d\mu_2 + \dots) \dots (44)$$

está ecuación relaciona el cambio de la tensión superficial ( $\gamma$ ), con la variación del potencial químico.

Según Gibbs, la posición de la superficie de referencia de uno de los componentes se hace igual a cero, este componente generalmente se escoge como disolvente y se designa como componente número 1, entonces:

$$\Gamma_1 = 0 \dots (45)$$

Por lo general la posición de la superficie de referencia no dá valores igual a cero para los excesos de superficie de los otros componentes. Para un sistema de dos componentes tenemos:

$$-d\gamma = \Gamma_2 d\mu_2 \dots (46)$$

En una disolución diluida el potencial químico se obtiene con la expresión:

$$\mu_2 = \mu_2^0 + RT \ln X_2 \dots (47)$$

donde  $\mu_2$  es el potencial químico que se desea conocer,  $\mu_2^0$  es el potencial químico estándar o de referencia, R es la constante de los gases ideales, T es la temperatura absoluta y  $X_2$  es la fracción mol soluto.

Si se diferencia la ec. anterior:

$$d\mu_2 = RT \left( \frac{dX_2}{X_2} \right) \dots (48)$$

$$\Gamma_2 = \frac{-dy}{d\mu_2} \dots (49)$$

$$-\left( \frac{dy}{dX_2} \right)_T = \Gamma_2 \frac{RT}{X_2} \dots (50)$$

$$\Gamma_2 = -\frac{1}{RT} \left( \frac{dy}{d \ln X_2} \right)_T \dots (51)$$

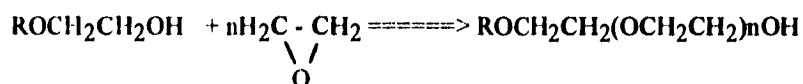
$$\Gamma_2 = -\frac{X}{RT} \left( \frac{d\gamma}{dX} \right)_T \dots (52)$$

La ecuación anterior representa la forma más común de la isoterma de adsorción de Gibbs.

## CAPITULO SEGUNDO

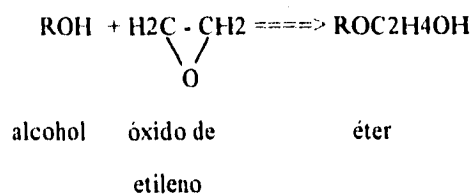
### PROPIEDADES DE BULTO DE LAS DISOLUCIONES DE TENSOACTIVOS

Los primeros tensoactivos no iónicos etoxilados los preparó BASF en 1930, a partir de los ácidos oleico y esteárico, por C. Schöller, a partir de aquí los tensoactivos han evolucionado y hoy forman una base importante de la producción total de tensoactivos. Los tensoactivos no iónicos son preparados mediante la adición de óxido de etileno a alcoholes grasos, ácidos grasos, alquilfenoles, mercaptanos grasos, aminas grasas, amidas grasas y polioles; el óxido de etileno se adiciona al radical hidroxilo al momento en que se rompe el anillo y regenerarse el grupo hidroxilo, la reacción es:

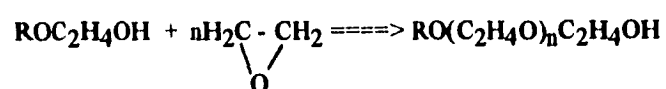


compuesto con  
hidrógeno  
activo

Los tensoactivos no iónicos no se ionizan en disoluciones acuosas, entonces presentan algunas ventajas cuando se les usa como detergentes y emulsificantes. Todos los compuestos etoxilados presentan un comportamiento muy especial, con respecto a la



un mol del éter obtenido es capaz de reaccionar con más óxido de etileno para producir éteres etoxilados:



la cantidad aproximada de óxido de etileno que ha sido adicionada a un mol de alcohol es:  $n+1$ .

### PROPIEDADES DE LOS COMPUESTOS ETOXILADOS:

Los detergentes que se usan para el algodón son los aductos del octadecanol y no se aprecia diferencia al aumentar la cadena etoxilada, los productos con una cadena ramificada tienen una mejor detergencia que los que la tienen lineal, para un largo igual de cadena.

temperatura que es la solubilidad inversa, por lo tanto la solubilidad va a depender del grado de hidratación que alcance la parte hidrofílica, se requieren de 4 a 6 grupos de óxidos de etileno como mínimo para generar tensoactivos solubles en agua. Los productos etoxilados son muy suaves para la piel. Se han desarrollado varios procesos para preparar tensoactivos que sean biodegradables, la biodegradabilidad del tensoactivos depende del uso de  $\alpha$ -olefinas como reactivo inicial.

Para la obtención de productos etoxilados no iónicos, se emplean catalizadores básicos o ácidos, sin embargo la catálisis ácida es poco usual en la síntesis de tensoactivos no iónicos porque conduce a la obtención de cantidades grandes de glicoles etoxilados y otros subproductos.

Los alcoholes lineales etoxilados son importantes por su alta biodegradabilidad.

#### **ALCOHOLES ETOXILADOS:**

Los tensoactivos no iónicos que provienen de un alcohol primario lineal con óxido de etileno, tienen una gran importancia comercial.

Para convertir los alcoholes a tensoactivos no iónicos, es necesario adicionar óxido de etileno a un grupo hidroxilo del alcohol para formar un éter:



Los productos etoxilados presentan un mínimo en el tiempo de mojado a una relación de etoxilación; el tiempo mínimo de mojado aumenta conforme aumenta el largo de la cadena hidrófoba, de manera general los que tienen cadena ramificada tienen mejores propiedades de mojado que los lineales.

Los productos que son derivados de cadenas lineales dan mayor espuma que los que provienen de cadenas ramificadas, la espuma va a ser más estable conforme se incrementa el peso molecular del alcohol.

La tensión superficial aumenta conforme aumenta el largo de la cadena etoxilada, este aumento se hace presente en los tensoactivos de cadena lineal, mientras en los de cadena ramificada es poco notorio.

Los tensoactivos que provienen de alcoholes etoxilados, pueden variar considerablemente su solubilidad, pueden ser completamente solubles en aceites y completamente solubles en agua, esta característica depende del largo de la cadena etoxilada, cuando se adicionan de 1 a 5 moles de óxido de etileno se tienen productos que son solubles en aceite y de 8 a 10 moles de óxidos de etileno se presenta solubilidad en agua.

#### **USOS Y APLICACIONES DE LOS PRODUCTOS ETOXILADOS:**

a) Tensoactivos de uso doméstico:

Los tensoactivos derivados de alcoholes etoxilados encuentran su mayor uso en las casas al momento de lavar la ropa y la loza, en el lavado de prendas de lana, polvos para limpiar superficies engrasadas, limpieza de pisos y soluciones para limpiar la piel sin usar agua.

**b) Industria textil:**

Para desengrasar fibras naturales y sintéticas, los alcoholes etoxilados no iónicos son muy importantes, después de que ha sido desengrasada la fibra se agregan lubricantes, suavizadores y antiestáticos, los aceites minerales y/o vegetales son usados como lubricantes a los que se les agregan alcoholes etoxilados. El alcohol etoxilado es indispensable en el proceso del teñido de la fibra y acabado, se utiliza el alcohol etoxilado por su característica de penetrante, agente de mojado y auxiliar en el entintado.

**c) Agricultura:**

Los productos no iónicos son muy buenos emulsificadores para rociar compuestos agrícolas porque no los afecta el agua dura ni el cambio de pH.

**d) Papel:**

Los alcoholes etoxilados son usados en el procesamiento de pulpa de papel, destintado de periódico viejo.

e) Hule:

Los alcoholes etoxilados son buenos estabilizadores para el latex del caucho, durante la formulación del producto.

f) Cuero:

En los 4 procesos básicos que son necesarios en el cuero intervienen los alcoholes etoxilados como tensoactivos.

g) Pinturas:

Se requieren agentes de mojado y emulsificantes en la polimerización por emulsión de bases de latex, los alcoholes etoxilados son excelentes emulsificantes porque presentan tolerancia al agua dura.

#### **DETERGENCIA:**

Todo material que elimina alguna impureza ha sido definido como detergente. Sin embargo, una definición más amplia, es se conocen como detergentes a todos aquellos materiales que intervienen en la eliminación de impurezas.

Para estudiar un proceso de detergencia es necesario que consideremos los componentes que intervienen en el sistema, ya que según sea la naturaleza de ellos, así será necesario plantear el método a seguir para la eliminación de las impurezas. Como componente fundamental de un sistema a considerar es la pureza de la fibra.

Es necesario el conocimiento de la naturaleza de la fibra, para saber cuales son sus propiedades y como se tienen que actuar para eliminar la mugre con rapidez y economía; si existen impurezas solubles en agua, se debe emplear la temperatura de máxima solubilidad de la impureza para eliminarla, con lo que se logra un proceso económico y rápido, lo que no se logra si se utiliza una disolución jabonosa a una temperatura diferente.

La naturaleza de la fibra marca ciertas limitaciones en las condiciones del medio empleado para efectuar la detergencia, que deberán estar de acuerdo con la sensibilidad de la fibra, con el fin de que no resulte dañada en el transcurso del proceso detergente.

Para clasificar las impurezas, un método sencillo y rápido es agruparlas de acuerdo a la solubilidad en agua y su reactividad con las disoluciones de detergentes, aquellas que sean solubles en el detergente no necesitan ningún otro agente tensoactivo y las que no lo sean necesitan de otros agentes tensoactivos que reaccionen con las impurezas según su afinidad química, o bien capturándolas por medio de fenómenos físicos.

Para estudiar un proceso de detergencia es necesario que consideremos los componentes que intervienen en el sistema, ya que según sea la naturaleza de ellos, así será necesario plantear el método a seguir para la eliminación de las impurezas. Como componente fundamental de un sistema a considerar es la pureza de la fibra.

Es necesario el conocimiento de la naturaleza de la fibra, para saber cuales son sus propiedades y como se tienen que actuar para eliminar la mugre con rapidez y economía; si existen impurezas solubles en agua, se debe emplear la temperatura de máxima solubilidad de la impureza para eliminarla, con lo que se logra un proceso económico y rápido, lo que no se logra si se utiliza una disolución jabonosa a una temperatura diferente.

La naturaleza de la fibra marca ciertas limitaciones en las condiciones del medio empleado para efectuar la detergencia, que deberán estar de acuerdo con la sensibilidad de la fibra, con el fin de que no resulte dañada en el transcurso del proceso detergente.

Para clasificar las impurezas, un método sencillo y rápido es agruparlas de acuerdo a la solubilidad en agua y su reactividad con las disoluciones de detergentes, aquellas que sean solubles en el detergente no necesitan ningún otro agente tensoactivo y las que no lo sean necesitan de otros agentes tensoactivos que reaccionen con las impurezas según su afinidad química, o bien capturándolas por medio de fenómenos físicos.

Un jabón es un tensoactivo, el grupo polar del jabón tiene una alta afinidad con el agua mientras la otra porción formada por grupos metílicos es rechazada, de tal modo que el jabón se concentra en la interfase agua-aire y agua-aceite. Aunque la sacarosa está compuesta por grupos metílicos e hidroxílicos no se comporta como los tensoactivos en virtud de que dichos grupos no se encuentran segregados. Mientras el metanol no se concentra en la superficie del agua, sus homólogos de peso molecular alto se absorben fuertemente en la interfase aceite-agua. La diferencia en la concentración del tensoactivo entre la región interfacial y el seno del líquido, provocada por la diferencia de afinidades, modifica las propiedades de dicha región.

#### **DESCRIPCION DE LOS DIAGRAMAS DE FASES DE LOS TENSOACTIVOS ETOXILADOS:**

A diferencia de un diagrama de fases convencional en sistemas líquido-líquido en equilibrio, donde se presentan dos regiones morfológicas: una fase líquida, un domo (en dos fases) que las circunda y otra fase líquida con un punto crítico superior, los diagramas de fases de los productos etoxilados con el agua, presentan zonas isotrópicas diferentes (región en donde el valor numérico de sus propiedades físicas es constante en todas las direcciones en las que se determinen) que originan la formación de micelas, además de dos zonas anisotrópicas de cristales líquidos (zona donde el valor de sus propiedades físicas es distintos en cualquier dirección en que se determine) con puntos críticos superiores, un domo cerrado y una región de puntos de enturbiamiento (11). El punto de enturbiamiento es la respuesta o temperatura de inicio de segregación a cada composición.

La fig. 2.1, corresponde a un diagrama típico de fases alcohol etoxilado-agua. El tensoactivo es alcohol hexadecílico con 12 moles de óxido de etileno ( $C_{16}E_{12}$ ). Con la finalidad de realizar la descripción de las diferentes regiones que se localizan en un diagrama de fases, denominaremos como W a la fase rica en agua.

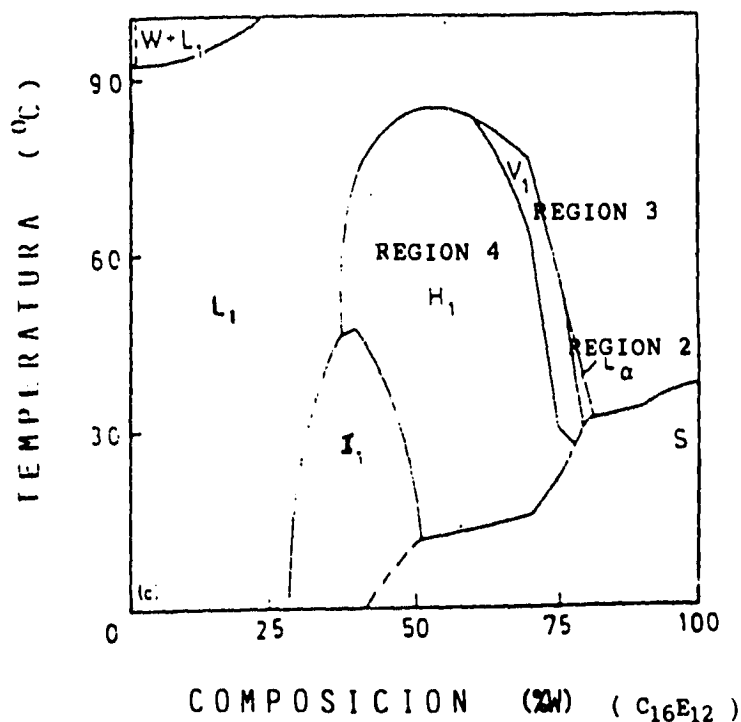


FIG. 2.1

$L_1$  es la fase de disolución micelar,  $I_1$  es la fase de cristales líquidos isotrópicos,  $H_1$  es la fase de cristales hexagonales,  $V_1$  es la fase de cristales cúbicos,  $L_\alpha$  es la fase de cristales lamelares, S es el tensoactivo sólido.

Fuente: Physical Pharmacy, Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences.

Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a. de., May 1973, Les & Febiger-Philadelphia.

Chap. 15.

### **REGIONES ISOTROPICAS:**

Cuando se eleva la temperatura de una disolución de alcohol laurico con 10 moles de óxido de etileno en agua, por arriba del punto de enturbiamiento el sistema se separa en dos fases, una acuosa y la que contiene el tensoactivo, la composición de cada fase es la composición de la curva de enturbiamiento que se representa por la solubilidad del agua y del alcohol láurico. La fase acuosa (donde hay una pequeña cantidad de tensoactivo disperso) y la fase de tensoactivo (donde hay trazas de agua disuelta) van a representar regiones isotrópicas.

En la interface del tensoactivo y el agua las moléculas se agregan lateralmente con un orden de cabeza-cola, mientras que el agua se solvata con los grupos polioxietilénicos del tensoactivo originando una inversión a manera de pseudofase, donde se encuentra la configuración micelar.

Al agregar tensoactivo al agua se presentan tres tipos de comportamientos:

- El tensoactivo es prácticamente insoluble en el agua y permanece como un cristal inmerso en un líquido.
- El tensoactivo se disuelve lentamente para generar una solución micelar acuosa.



- Puede o no formarse un cristal liotrópico, (es cuando la estructura ordenada del cristal se compone en secciones como resultado de la acción de un solvente y genera un estado intermedio entre un líquido y un cristal), este cristal puede disolverse en una mayor cantidad de agua para formar una solución micelar acuosa.

#### **REGIONES ANISOTROPICAS:**

En las vecindades del punto Krafft (temperatura a la cual la solubilidad del monómero coincide con la concentración micelar crítica), la mayoría de los tensoactivos no iónicos presentan una zona angosta de temperatura donde se forman micelas y no cristales líquidos. En el rango que existe entre el punto krafft y el punto de fusión del tensoactivo se forman cristales líquidos liotrópicos.

Los cristales líquidos liotrópicos son arreglos ordenados de micelas, que se originaron de las interacciones entre micelas, cuando existen grandes cantidades de tensoactivo; también pueden verse desde el punto de vista alternativo, considerando que el cristal líquido es un estado intermedio entre las fases líquidas y sólidas; al parecer la formación de cristales líquidos es generada por las interacciones intermoleculares en intervalos cortos como las que se presentan en los sólidos.

#### **ESTRUCTURAS DE CRISTALES LIQUIDOS:**

a) Fase lamelar:

La fase lamelar es una fase ordenada, donde las moléculas se encuentran arregladas en dobles capas, separadas por capas de agua; las capas logran extenderse a grandes distancias, que llegan a ser del orden de micrones o más, esta fase presenta birrefringencia (11), (región 2 de la fig. 2.1).

b) Fase cúbica:

La fase cúbica, también conocida como fase "viscosa isotrópica", esta fase tiene dos tipos de estructuras: normal e inversa. En esta fase es común encontrar composiciones intermedias entre la fase lamelar y la hexagonal, las fases cúbicas son más viscosas que las lamelares y hexagonales y no presentan birrefringencia, (región 3 de la figura 2.1).

c) Fase hexagonal:

La fase hexagonal consiste de cilindros de longitud indefinida formados por micelas que se encuentran separados por una región acuosa; existe otra estructura que es la hexagonal inversa, donde las cadenas de hidrocarburo ocupan los espacios entre los cilindros de agua hexagonales empacados, de longitud indefinida. Esta fase presenta birrefringencia. (región 4 en la figura 2.1).

Las transiciones (de la región de dos fases a la de una o a las de cristales líquidos) del tensoactivo etoxilado han sido observadas por el método de salto de temperatura por calentamiento Joule (27) y así inducir las transiciones de cada fase; éstas transiciones se detectan ópticamente por birrefringencia y turbidez, (regiones 1,2,3,4 de la fig.2.1).

### **PROPIEDADES DE BULTO DE LAS SOLUCIONES DE TENSOACTIVOS:**

Las propiedades superficiales de las disoluciones de tensoactivos se encuentran relacionadas con las propiedades de bulto y algunas de las propiedades de los tensoactivos se derivan de las propiedades de bulto, más que de los efectos superficiales. La principal característica del bulto de las disoluciones de tensoactivos es la existencia de partículas o micelas de tamaño coloidal, las cuales se forman por la unión libre de las asociaciones de tensoactivos en disolución. Las micelas se encuentran en equilibrio termodinámico con los monómeros del tensoactivo. La isoterma de adsorción de Gibbs indica que toda superficie tiene un límite de saturación, esto indica que conforme se agrega tensoactivo al agua, llega un momento en el que se satura la superficie y el sistema busca una nueva forma de minimizar su energía, forma entonces agregados o micelas, esto es el resultado de la ecuación de adsorción de Gibbs (51 y 52); la concentración superficial es máxima cuando la derivada de la tensión respecto al logaritmo de la composición es máxima.

Los efectos superficiales simples se derivan de las moléculas sin asociar; las micelas no intervienen en la formación de las películas superficiales o interfaciales.

## FORMACION Y ESTRUCTURA DE LAS MICELAS:

Los tensoactivos no iónicos en disolución acuosa presentan un abatimiento de la tensión superficial (parte A de la fig. 2.2) con la concentración y de manera general todas las propiedades fisicoquímicas se modifican. En la gráfica de la fig. 2.2, se aprecia un cambio de pendiente en la curva de la tensión superficial (parte B de la fig. 2.2), este punto recibe el nombre de concentración micelar crítica (cmc), la concentración micelar crítica, representa la concentración donde la superficie del disolvente se encuentra saturada de tensoactivo y empieza la formación de micelas. La concentración micelar crítica (cmc) se detecta mediante los cambios en las diferentes propiedades:

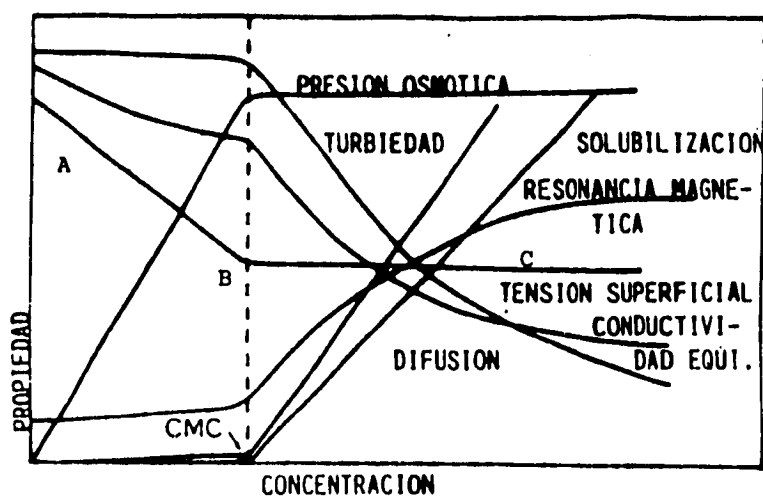


FIG. 2.2

Fuente: Surfactants, Th. F. Tadros,  
Academic Press, July 1983.  
Chapter 4, pp. 89.

En la curva de la tensión superficial, la concentración en donde se presenta el cambio de pendiente recibe el nombre de concentración micelar crítica (cmc). En esta concentración las moléculas individuales del surfactante se adicionan (unión de la parte hidrocarbonada de las moléculas del tensoactivo) para formar micelas que tienen números específicos de moléculas, éstos valores van regularmente de 50 a 100 moléculas por micela y

concentraciones menores de  $10^{-3}$  mol/dm<sup>3</sup>. Cuando las moléculas del tensoactivo se empacan por la parte hidrocarbonada, ya no pueden modificar la estructura del agua de su vecindad, entonces un arreglo micelar de esta forma tiende a disminuir la energía libre del agua. El tamaño de una micela en el intervalo de coloides típicos es de aproximadamente 0.1 nanómetros. Los efectos de curvatura son importantes, ya que conforme se incrementa el número de micelas, y cuando se encuentre saturada la superficie, se forman cilindros, en este instante el sistema ha perdido en uno de sus ejes curvatura, conservándolo en el otro eje, pero el sistema tiende a ir minimizando energía; posteriormente éstos cilindros se empacan para formar láminas o estructuras tipo lamelar, en donde apreciamos que el sistema ha perdido curvatura en los sus ejes y ha minimizado energía, de las ecuaciones de potenciales termodinámicos (10, 11, 12, 13), desaparecen los términos que involucran curvatura.

La termodinámica clásica indica, mediante la ecuación de adsorción de Gibbs, la existencia de un límite o saturación de la superficie, para muchos sistemas, esta condición termodinámica coincide o es cercana al momento en el cual se produce la segregación de un sistema binario, en dos fases líquidas. Se conoce por otras evidencias experimentales que un tensoactivo en lugar de segregar, selecciona otra alternativa energética: la formación de micelas; entidades esféricas de agregados moleculares en los primeros estados de concentración.

La micela es una estructura que permite que un pequeño volumen con un medio interior similar al de un lípido, exista suspendido en un medio acuoso. La función de los detergentes es la de poder formar micelas, las cuales atrapan materiales grasos haciéndolos solubles en la disolución del tensoactivo.

En la figura 2.2 se aprecia que la curva de la tensión superficial, está compuestas de 3 partes, las cuales son:

- a) Primera parte, donde se presenta un comportamiento lineal a dilución infinita (A).
- b) Una segunda parte, donde las curvas caen en forma escarpada y cambia la derivada punto a punto (B).
- c) La tercera parte o sección, donde a partir de un valor (cmc) la tensión superficial es constante (C).

Existen diferentes estructuras de micelas, éstas estructuras dependen de los parámetros del sistema, la naturaleza química del tensoactivo, el disolvente y otros componentes (como sales, temperatura y concentración de cada componente). Los tipos de micelas se pueden identificar al menos en forma cualitativa como una fase diferente y la transición de un tipo a otro tipo se presenta como un cambio de fase. El cambio de una fase a otra depende de la formación de los cristales líquidos que se han formado.

#### **ESPECTRO DE ABSORCION DE INFRARROJO:**

De las propiedades de un compuesto orgánico, la que nos proporciona más información acerca de su estructura química (muestra los grupos funcionales que se encuentran en la molécula) es el espectro de infrarrojo.

Una molécula vibra constantemente: sus enlaces se expanden y contraen unos con respecto a otros. La absorción de la luz infrarroja produce cambios en las vibraciones de una molécula.

Las partes específicas del espectro de infrarrojo se denominan con base en su longitud de onda o por su frecuencia. El espectro infrarrojo ayuda a conocer la estructura de un compuesto nuevo porque indica los grupos funcionales que se encuentran en la molécula, un grupo de átomos determinado da origen a bandas de absorción características, un grupo específico absorbe luz de frecuencias determinadas, que son prácticamente las mismas de un compuesto a otro.

#### **CROMATOGRAFIA GAS-LIQUIDO:**

Los compuestos etoxilados presentan una distribución de pesos moleculares en el óxido de etileno condensado en la porción hidrocarbonada. El tipo de distribución (Cap. tercero, figs. 3.1 a 3.1.4), es característico del comportamiento microscópico de estos polímeros en disolución.

## CAPITULO TERCERO

### DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para obtener la curva de consistencia de fases se necesita disponer de datos de composiciones en equilibrio a una temperatura fija, éstos datos se obtienen por diversos métodos. En 1882 Alexwjew (24) clasifico éstos métodos en sintéticos y analíticos.

En el método analítico la composición de la disolución es determinada por medio de un análisis físico o químico en un sistema con soluto en exceso a una presión y temperaturas dadas. En sistemas binarios los líquidos a una temperatura fija cuando cuando segregan se toma una muestra de cada una de las fases y se determina su composición.

El método sintético se aplica a los sistemas de composición constante y variando la temperatura, la presión o ambas hasta que el soluto se disuelve. La variante más utilizada en los sistemas binarios es el método del punto de opalescencia (cloud de enturbiamiento o cluod point).

El método sintético es más rápido y preciso que el analítico, pero presenta la desventaja de no aportar información de la segunda fase de la disolución. El método seguido en el presente trabajo, para la elaboración del diagrama de fases fué el método sintético.



**TRABAJO EXPERIMENTAL:**

El tensoactivo objeto de esta investigación es: alcohol láurico condensado con 10 moles de óxido de etileno.

El primer paso del trabajo experimental fué el analizar la muestra de tensoactivo por cromatografía gas-líquido y su espectro de adsorción de infrarrojo, para conocer de una manera cualitativa la distribución de homólogos y los grupos funcionales integrantes de la muestra.

El cromatograma se observa en la figura 3.1, donde apreciamos que la etoxilación del alcohol láurico presenta una distribución de óxido de etileno. Se realizaron dos cromatogramas; el primero utilizando el tensoactivo grado técnico o comercial, este tensoactivo presenta impurezas que para procesos químicos industriales no afectan y el segundo es el cromatograma del tensoactivo grado reactivo, este tensoactivo no contiene impurezas y es utilizado para análisis analíticos cuantitativos.

**CROMATOGRAFIA GAS-LIQUIDO:**

Fig. 3.1

El equipo utilizado fue un cromatógrafo de gases HP5890, con detector de ionización de llama, la columna capilar de metil silicón (SE-54) con tres metros de largo, 0.20 mm de diámetro y 0.75 micrómetros de espesor de película.

Condiciones analíticas:

Fase móvil: H<sub>2</sub>

Temperaturas:

Inyector 381 °C

Detector 381 °C

Temperatura de la columna:

Temperatura inicial 121 °C

Temperatura final 381 °C

Tiempo inicial 0.1 min.

Velocidad de programación: 21 °C/ min hasta temperatura final de 381 °C

Disolvente de la muestra: Isooctano.

CROMATOGRAFIA GAS-LIQUIDO DEL  
ALCOHOL LAURICO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO

GRADO: COMERCIAL

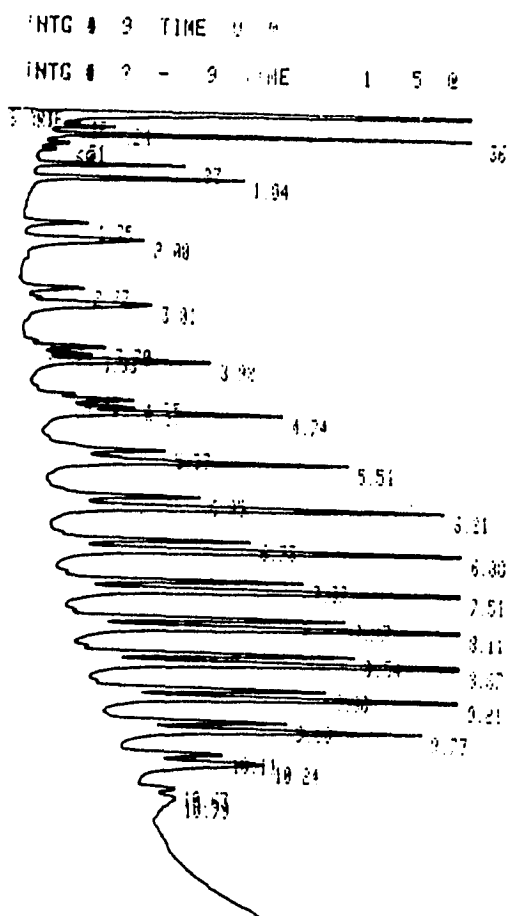


Fig. 3.1.1

CROMATOGRAFIA GAS-LIQUIDO DEL  
ALCOHOL LAURICO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO

GRADO: COMERCIAL

RUN # 7  
WORKFILE ID: C  
WORKFILE NAME:

RT	AREA	TYPE	AR/HT	AREA%
0.24	14136	VP	0.023	0.297
0.36	115160	D PB	0.023	2.419
0.51	7523	PP	0.034	0.158
0.60	3401	PB	0.024	0.071
0.83	46155	BB	0.035	0.969
1.04	79087	PE	0.042	1.661
1.25	31478	BY	0.057	0.661
2.00	107140	VB	0.102	2.250
2.27	39313	PY	0.072	0.826
3.01	126860	VB	0.114	2.706
3.62	5134	PY	0.045	0.109
3.70	41511	VV	0.061	0.872
3.83	30373	VV	0.056	0.633
3.92	127100	VB	0.081	2.671
4.48	19346	BY	0.059	0.406
4.55	52302	VV	0.062	1.098
4.67	49450	VV	0.060	1.039
4.74	135940	VB	0.065	2.855
5.33	39138	BY	0.097	1.872
5.51	200440	VB	0.076	4.210
6.05	94448	BY	0.073	1.984
6.21	238730	VB	0.069	5.014
6.73	108650	PY	0.064	2.282
6.88	293920	VB	0.067	6.173
7.37	129000	PY	0.061	2.709
7.51	342160	VB	0.062	7.186
7.97	137160	VV	0.057	2.881
8.11	365720	VB	0.063	7.682
8.54	139590	VV	0.058	2.932
8.67	354240	VB	0.064	7.440
9.08	126030	VV	0.062	2.647
9.21	307790	VB	0.071	6.464
9.60	102100	BY	0.065	2.144
9.73	238780	VB	0.087	5.015
10.11	66001	BY	0.075	1.386
10.24	185450	VV	0.147	3.895
10.63	49315	VV	0.105	1.036
10.79	159300	VV	0.331	3.346

TOTAL AREA= 4761600  
MUL FACTOR= 1.0000E+00

Fig. 3.1.2

CROMATOGRAFIA GAS-LIQUIDO DEL  
ALCOHOL LAURICO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO  
GRADO: REACTIVO (ALDRICH)

RUN # 3  
WORKFILE ID: C  
WORKFILE NAME:  
NO RUN PEAKS STORED

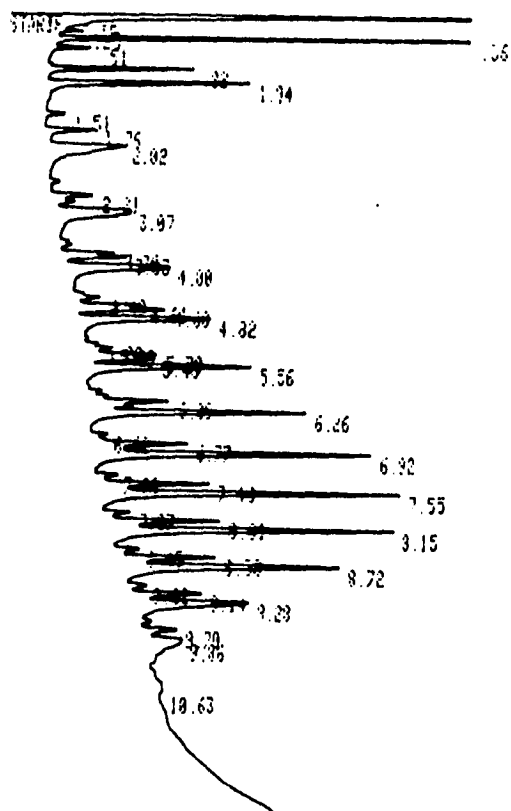


Fig. 3.1.3

CROMATOGRAFIA GAS-LIQUIDO DEL  
ALCOHOL LAURICO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO

GRADO: REACTIVO (ALDRICH)

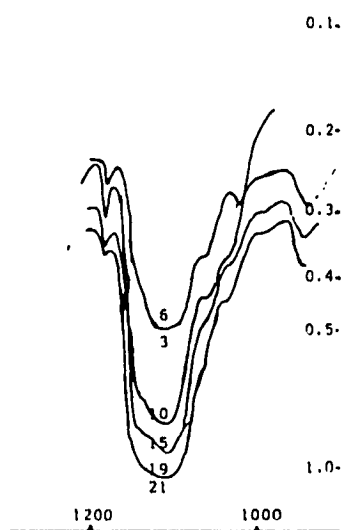
RUN # 9  
WORKFILE ID: C  
WORKFILE NAME:

RT	AREA	TYPE	AR/HT	AREA%
0.25	3307	0 BF	0.019	0.129
0.36	132920	0 FB	0.023	5.132
0.51	8702	PB	0.027	0.340
0.82	43593	VB	0.035	1.203
1.04	93897	BB	0.048	3.277
1.51	7635	PB	0.046	0.298
1.76	22806	PB	0.055	0.891
2.02	94991	PP	0.150	3.710
2.81	20615	BY	0.059	0.805
3.07	112400	YP	0.171	4.390
3.76	22663	BY	0.052	0.885
3.83	29625	YY	0.057	1.137
4.00	107190	VB	0.120	4.187
4.49	14976	PV	0.069	0.585
4.61	30468	YY	0.054	1.190
4.68	42435	YY	0.055	1.658
4.82	107110	YY	0.092	4.184
5.22	7837	YY	0.055	0.306
5.29	15549	YY	0.064	0.607
5.38	38127	YY	0.060	1.489
5.45	35078	YY	0.058	1.370
5.56	112980	VB	0.078	4.413
6.09	42509	YY	0.062	1.660
6.26	134180	VB	0.071	5.241
6.62	4001	PB	0.039	0.156
6.77	47132	BY	0.061	1.841
6.92	171220	VB	0.071	6.688
7.26	7028	PB	0.047	0.275
7.40	53735	BY	0.059	2.099
7.55	187360	VB	0.072	7.318
7.87	7062	PB	0.044	0.307
8.01	58419	PV	0.062	2.282
8.15	191460	VB	0.077	7.479
8.45	11724	PV	0.059	0.458
8.58	63120	YY	0.073	2.466
8.72	172550	YY	0.093	6.740
9.02	12078	YY	0.069	0.472
9.14	46792	YY	0.073	1.828
9.28	120380	YY	0.124	5.054
9.70	25815	YY	0.077	1.008
9.86	92361	YP	0.228	3.213
10.63	16617	PB	0.337	0.649

TOTAL AREA= 2560100  
MUL FACTOR= 1.0000E+00

Fig. 3.1.4

El espectro de adsorción de infrarrojo se observa en la figura 3.2, que muestra las siguientes bandas: una adsorción débil a  $13.9\mu$  ( $720\text{ cm}^{-1}$ ) ocasionada por la vibración de metilenos; adsorción débil a  $7.25\mu$  ( $1379\text{ cm}^{-1}$ ), como consecuencia de la presencia de un metilo; adsorción de  $6.8$  a  $6.84\mu$  (aproximadamente  $1500\text{ cm}^{-1}$ ), que es una banda más intensa y que marca la presencia del grupo alcohol primario junto con la banda localizada en  $720\text{ cm}^{-1}$ . La absorción a  $1000\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$  pertenece al grupo óxido de etileno, conforme aumenta la longitud de la cadena oxietilénica, la banda de absorción se vuelve más grande.

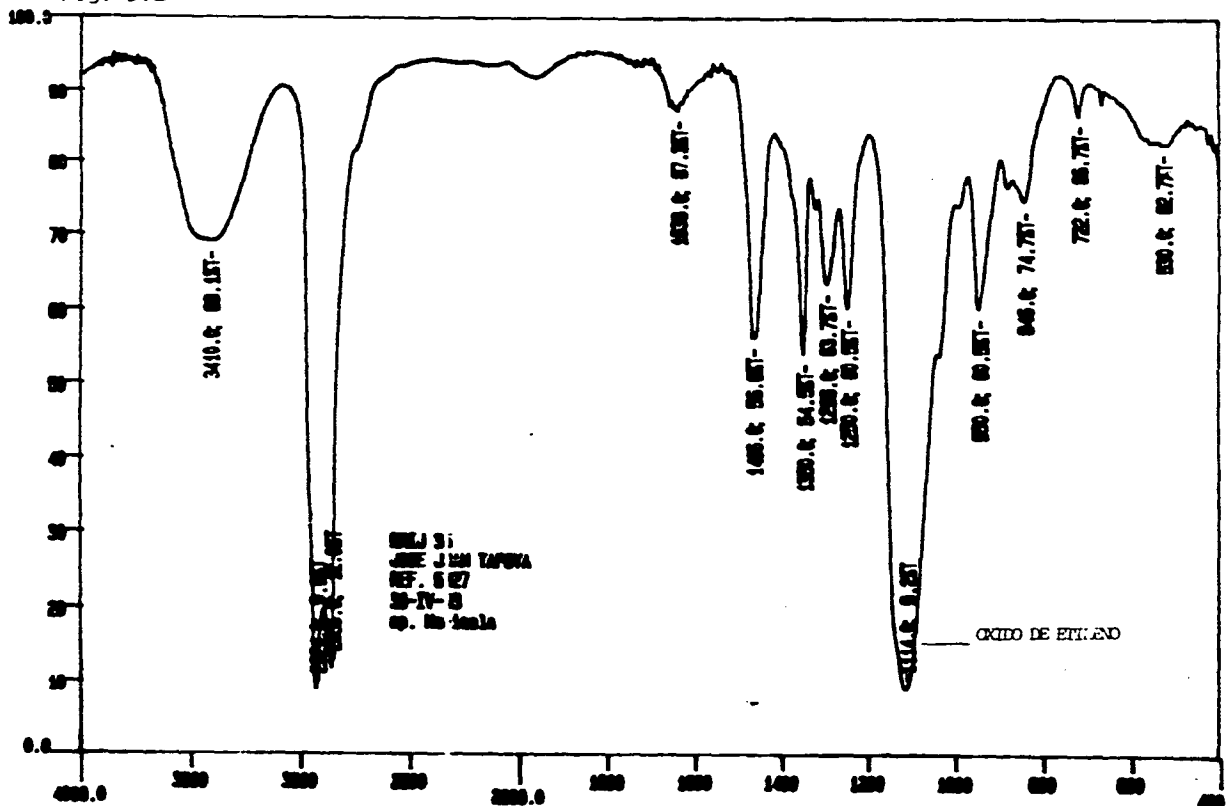


Bandas de absorción de tensoactivos con diferente número de moles de óxido de etileno.

Fuente: Testis: "Determinación del balance lipofílico-hidrofílico en tensoactivos por espectroscopia infrarroja y resonancia magnética protónica. Autor. Silvia de Jesús Mendoza Arellano, México, D.F., 1990.

ESPECTRO DE ADSORCION INFRARROJO  
ALCOHOL LAURICO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO

Fig. 3.2





### ZONA DE PUNTOS DE ENTURBIAMIENTO:

La primera zona del diagrama bajo estudio, fué la del punto de enturbiamiento (cloud point), para determinar las temperaturas a las cuales aparece la turbidez o inicio de segregación. Se prepararon soluciones en % en peso que van desde 0.25%w hasta 10%w.

Para determinar esta curva se preparan las disoluciones por pesada (utilizando una balanza analítica de marca Mettler PM 400, con una precisión de 0.1mg), se colocan en una celda de vidrio de doble pared, la parte exterior contiene el medio de regulación térmica (temperatura controlada del baño: de la marca Cole Parmer, Refrigerated Circulator, con una precisión de +/- 0.01°C, modelo 1268-14); usando agua para temperaturas de hasta 5°C y una mezcla de agua y etilenglicol para temperaturas menores, (según se requiera), la parte interna contiene la disolución de agua y tensoactivo en estudio. Las soluciones se prepararon con un día de anticipación para lograr una buena disolución sin presentar espuma, ni burbujas de aire o formación de geles, que nos traerían como consecuencia determinaciones sesgadas. En el seno de la disolución se introduce un termómetro (de la marca pyrex, con una escala de -10 a 200°C y divisiones de 1°C), manteniendo la celda cerrada para no perder material.

La muestra de tensoactivo y agua contenida dentro de la celda, se mantiene en agitación constante por medio de un agitador magnético (Thermolyne, 1000). Lentamente se varía la temperatura mediante el control de temperatura se regula la velocidad de calentamiento del baño y por consiguiente la de la mezcla, hasta observar la aparición o desaparición de dos fases, que es detectada por la turbidez u opalescencia o transparencia de la mezcla.

respectivamente. El momento en que se presenta el viraje corresponde a la temperatura de enturbiamiento de la mezcla, esta determinación se realizó como mínimo tres veces, se recomienda tener especial cuidado en cada determinación, en volver siempre a la misma temperatura de partida antes de empezar a variar la temperatura y determinar la turbidez.

La velocidad de calentamiento o enfriamiento fué de 5°C por minuto, antes de continuar variando la temperatura hasta observar el cambio de dos fases a una (turbidez a disolución translúcida). A continuación se sigue el proceso inverso hasta observar el cambio de una fase a dos fases (disolución translúcida a turbiedad). Estas temperaturas corresponden a la curva de solubilidad que se muestra en la figura 3.4. En la fig. 3.3 se muestran los resultados experimentales obtenidos, de las tres mediciones realizadas, sólo se toman en cuenta los dos más cercanos para obtener el promedio de cada medición, descartándose el valor más alejado, en la fig. 3.4.1 y 3.4.2 se muestran las curvas de solubilidad, graficando el valor máximo, el mínimo y el promedio que es con el que se realiza el diagrama de fases.

La precisión en las determinaciones, eliminando el valor más alejado resulta de 0.5°C. Esta cifra de menor precisión que el control térmico, es el resultado de la distribución de pesos moleculares del compuesto.

## PUNTOS DE ENTURBIAMIENTO EN FUNCION DE LA COMPOSICION

(CLOUD POINT)

fig.3.3

Concentración (%W)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura Promedio (°C) (2 lecturas)
0.25	76	79.5	78.5	79.0
0.5	74.6	76	74.4	74.5
1.0	73.5	72	73.5	73.5
1.5	69.5	71	69.5	69.5
2.0	67.5	69	67.5	67.5
2.5	67	68.5	68.5	68.5
3.0	67	69	69.5	69.25
3.5	68.5	71	67.5	68.0
4.0	69	71.5	69.5	69.25
4.5	70	72	71	70.5
5.0	71.6	73	71.4	71.5
5.5	71.8	74	73.2	73.6
6.0	74.5	76	74.5	74.5
6.5	75	77.5	75.5	75.25
7.0	76	79	76	76.0
7.5	76	78	78.5	78.25
8.0	76.6	79	78.2	78.6
8.5	78.5	81	77.5	78.0
9.0	79	83	81	80.0
9.5	81.5	83.5	81	81.25
10.0	83	85	84	83.5

Para determinar el intervalo de confianza del método experimental; de los 3 resultados seleccionar los 2 más cercanos, obtener el valor absoluto de la diferencia en cada experimento y calcular el promedio de la suma de las diferencias.

$$I = \frac{\sum |R_1 - R_2|}{n}$$

$$I = 0.5^\circ\text{C}$$

# ZONA DE ENTURBIAMIENTO

(PUNTOS DE ENTURBIAMIENTO)  
TEMPERATURA vs. CONCENTRACION

---

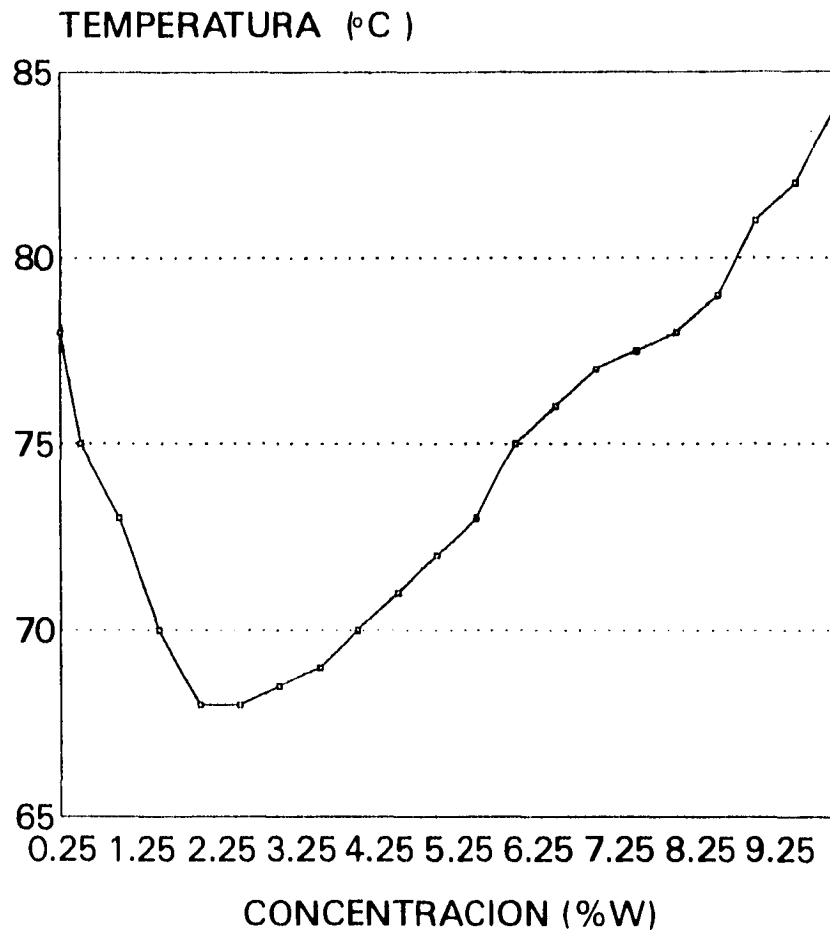


Fig. 3.4

# ZONA DE ENTURBIAMIENTO (CLOUD POINT) TEMPERATURA vs. CONCENTRACION

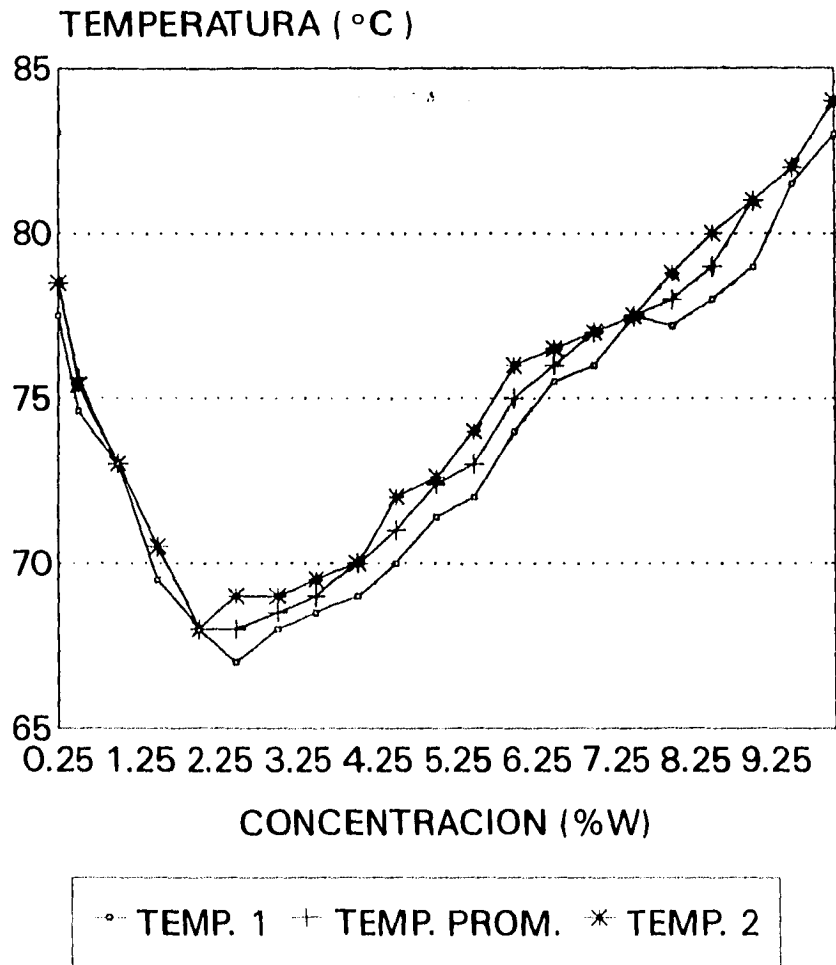


Fig. 3.4.1

### **ZONA DE LOS CRISTALES LIQUIDOS:**

Para determinar las zonas de cristales líquidos, se coloca en un matraz aforado de 25 ml (de marca pyrex, con una precisión de  $\pm 0.06$  ml), una cantidad conocida de tensoactivo puro (100%w), manteniendo el matraz con el tensoactivo en constante agitación con un agitador magnético. Con una bureta de 50 ml (de marca pyrex, con una precisión de  $\pm 5\%$  y divisiones de 1 ml), que contiene agua, se agrega gota a gota al matraz, dejando el tiempo suficiente entre cada gota para que se disuelva el tensoactivo, manteniendo una agitación constante con un agitador magnético, así hasta que la disolución ya no represente ningún movimiento, en ese momento se eleva la temperatura hasta  $50^{\circ}\text{C}$ , para llegar a la región de una sola fase, se deja enfriar a temperatura ambiente para regresar a la región de elevada viscosidad, se conoce así la composición a la cual se presenta el cristal líquido. Se preparan concentraciones por arriba de este valor, sin cuidar la precisión y posteriormente se calientan hasta  $50^{\circ}\text{C}$ , donde se asegura isotropía total. Las determinaciones de la viscosidad, proporcionan una idea, acerca de la composición a la cual se localizan los cristales líquidos a temperatura ambiente. Las decisiones finales fueron hechas por arriba de  $50^{\circ}\text{C}$ , con ayuda de un par de lentes polarizados.

El incremento entre cada disolución fue de 2%W, de esta manera, se encuentra que el intervalo en el que se presentan los cristales líquidos es del 46 al 92%W, se preparan con un día de anticipación para que pueda existir reproducibilidad en los resultados. Los cristales líquidos se colocan en celdas, con un termómetro (marca pyrex, de  $-10$  a  $200^{\circ}\text{C}$  y divisiones de  $1^{\circ}\text{C}$ ), el cual toca los cristales; la celda se coloca entre dos lentes polarizados, que están cruzados de tal forma que su campo de transmisión sea nulo y al momento de colocar en el

centro la celda con el cristal el campo visual se aclara y se observan las estructuras del cristal.

La observación de los cristales líquidos, se realiza en un banco óptico, en el que cada parte esta separada por 10 cm, de tal forma que el banco óptico se monta de la siguiente forma: una fuente de luz (foco de 75 watts); un lente polarizado; la celda con el cristal, el termómetro tocando el cristal y con un baño Colora (Ultra- Thermostat, NB-33104), utilizando agua para temperaturas hasta 50°C y una mezcla de agua y etilenglicol para temperaturas menores, según se requiera; el otro lente polarizado y finalmente una pantalla blanca.

Se hace pasar agua a 80°C para elevar la temperatura del cristal y abatir la viscosidad, entonces en la pantalla blanca se corta la visión de la transmisión del haz de luz, después se hace circular agua a temperatura ambiente (aproximadamente 22°C), si en la pantalla se aprecian las estructuras del cristal, la temperatura que registre el termómetro es la que señala la transición de la región de la región isotrópica (compuesta por una sola fase), a la región anisotrópica (presencia de cristales líquidos liotrópicos); si no se aparecian las estructuras de los cristales entonces se hace circular agua o la mezcla de agua y etilglicol para temperaturas más bajas según se requiera. Estas determinaciones se realizan tres veces, para obtener el promedio de las temperaturas, sólo se tomaron en cuenta las dos temperaturas más próximas, descartándose el valor más alejado; el promedio obtenido se encuentra graficado en la figura 3.6, en la fig. 3.5 se localizan los resultados experimentales y en las fig. 3.6.1 y 3.6.2 se localizan las anisotropías hexagonal y lamelar. El efecto observado es la transición de la región anisotrópica a la isotrópica.

Para conocer el tipo de cristal que se ha formado, se prepararon muestras de cristales líquidos en un porta objeto, después con un microscopio de luz polarizada (Zeiss, West-Germany, ICM 405), se observan los cristales la ampliación de las imágenes fué de 10,000 veces, después se fotografian los cristales, con la cámara que se encuentra en el microscopio. Una vez que se tienen las fotografías de todas las muestras de los cristales líquidos, se comparan con las de otro tensoactivo, que ya es conocido. Las fotografías se localizan en el capítulo quinto.

La precisión en las determinaciones, eliminando el valor más alejado resulta de  $0.98^{\circ}\text{C}$ ; esta cifra es resultado por la distribución de pesos moleculares del compuesto.

#### **SIMILITUDES ENTRE DIAGRAMAS DE FASES DE TENSOACTIVOS ETOXILADOS+AGUA:**

Existen ciertas similitudes en las propiedades de los tensoactivos, las cuales se aprecian al comparar diferentes diagramas de tensoactivos, con el obtenido experimentalmente dichos diagramas se localizan a partir de la figura 3.11, en el apéndice A. El diagrama que presenta una mayor similitud con el que se obtuvo en el presente trabajo es el diagrama de fases del alcohol dodecílico con 6 moles de óxido de etileno, en el presente trabajo no fué detectada la región de cristales cúbicos, debido a la metodología experimental seguida, pero los intervalos de temperaturas para la curva de solubilidad son semejantes, al igual como los de las regiones de anisotropía.



ZONA DE CRISTALES LIQUIDOS  
REGION DE VISCOSIDAD ELEVADA

Fig.3.5

Concentración (%W)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura Promedio (°C) (2 lecturas)
46	-2	0	-1	-1.5
48	1.5	2	5.5	1.75
50	6	7.5	10.5	6.75
52	9	13	14	13.5
54	14.5	15	18.5	14.75
56	19	22	20.8	19.9
58	24.5	23	24.5	24.5
60	24.5	26	24.8	24.65
62	23.5	26.5	26.2	26.35
64	22.5	25.5	24.6	25.05
65	11	12.5	15.5	11.75
66	14	17	19.7	18.35
68	23	18.5	24.5	23.75
70	28	29.5	32.5	28.75
72	33.5	35	37.7	36.35
74	36	35.5	36.5	36.25
76	33	34	38.6	33.50
78	28	29.5	31.3	28.75
80	23	25	25.8	25.40
82	18.5	20	19.7	19.85
84	14.5	16.5	16.4	16.45
86	11.5	12	10.1	11.75
88	6	8	9.4	8.70
90	2.5	4	4.9	4.45
92	0.5	2	0.5	0.5

Para determinar el intervalo de confianza del método experimental; de los 3 resultados seleccionar los 2 más cercanos, obtener el valor absoluto de la diferencia en cada experimento y calcular el promedio de la suma de las diferencias.

$$I = \frac{\sum |R_1 - R_2|}{n}$$

$$I = 0.98^\circ\text{C}$$

# ZONA DE CRISTALES LIQUIDOS

## DIAGRAMA GLOBAL

---

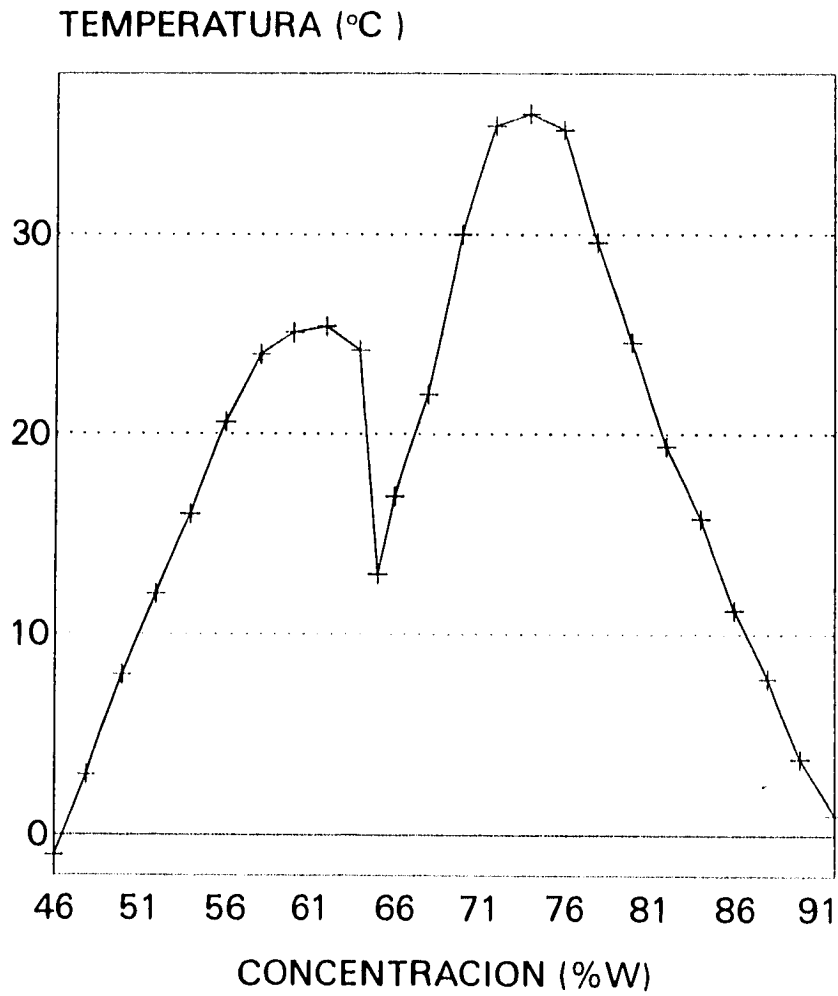


Fig. 3.6

# ZONA DE CRISTALES LIQUIDOS

## DIAGRAMA GLOBAL

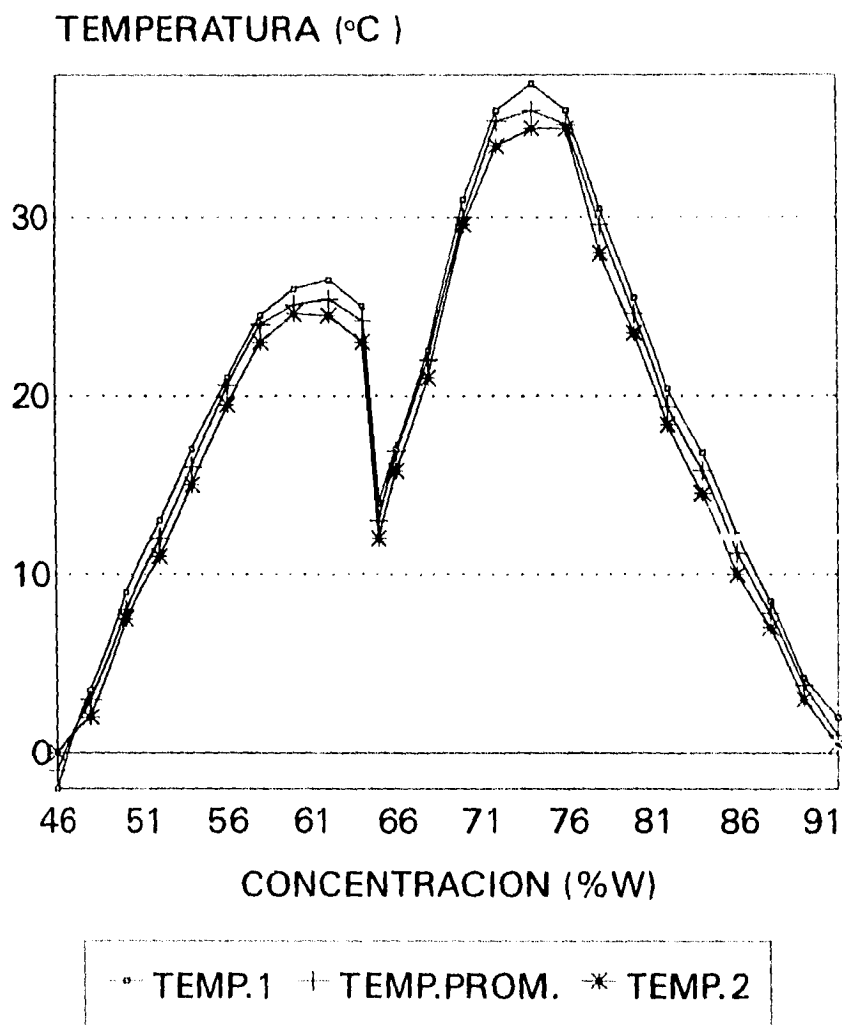


Fig. 3.6.1

# ZONA DE CRISTALES LIQUIDOS

## DIAGRAMA GLOBAL

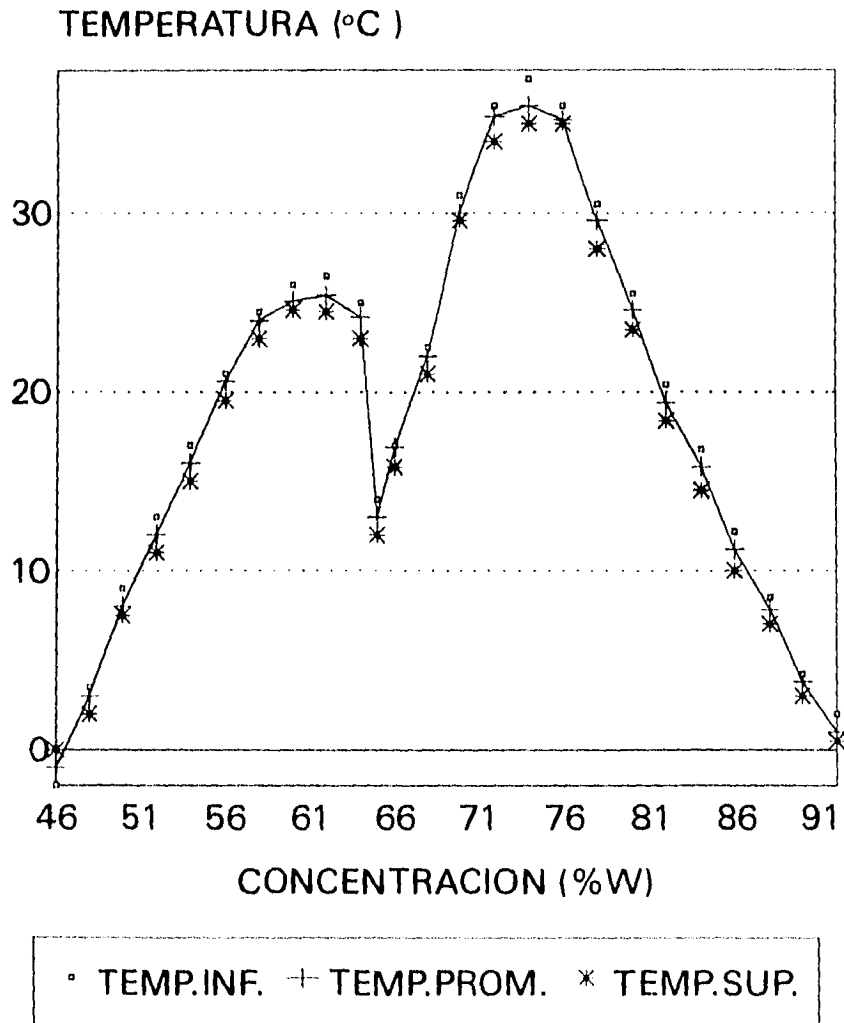


Fig. 3.6.2

# ZONA DE CRISTALES LIQUIDOS

## ANISOTROPIA HEXAGONAL

---

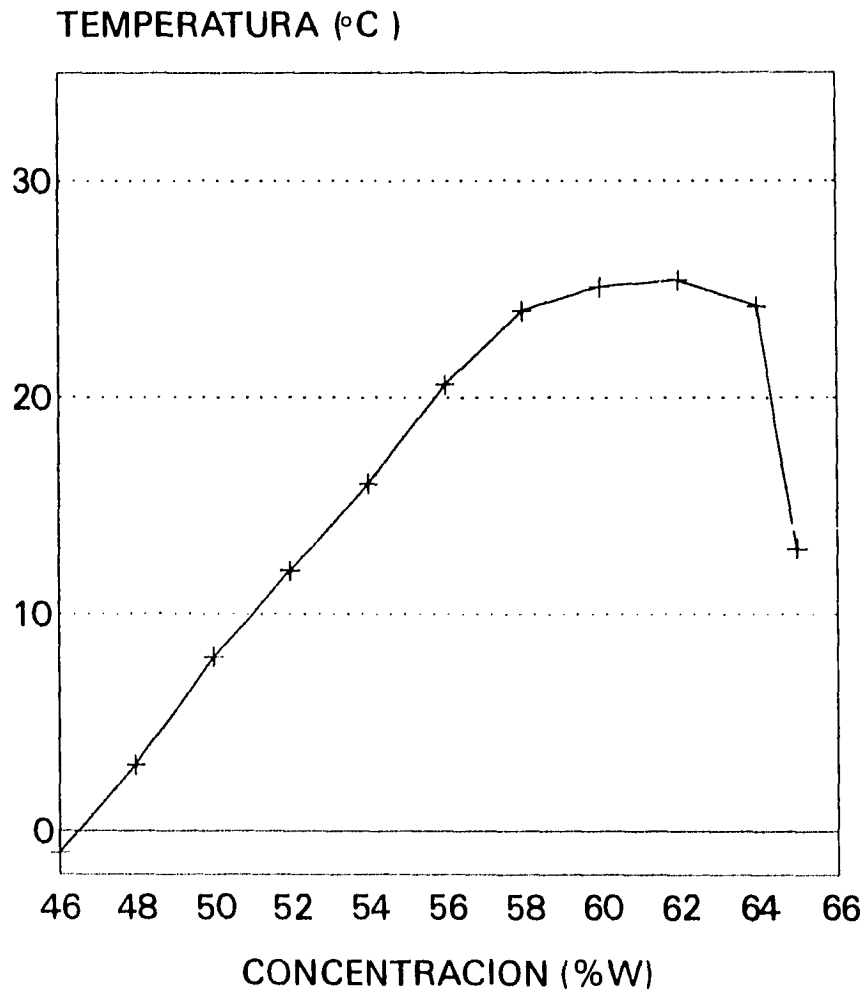


Fig. 3.6.3

# ZONA DE CRISTALES LIQUIDOS

## ANISOTROPIA HEXAGONAL

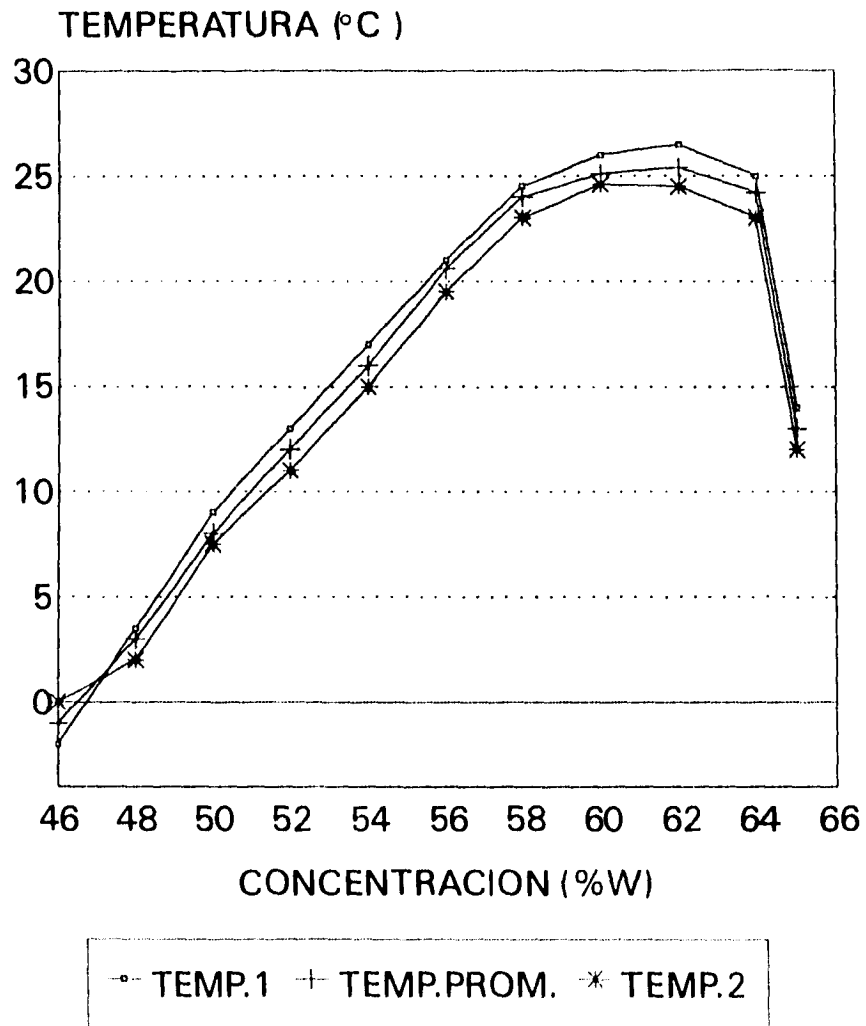


Fig. 3.6.4

# ZONA DE CRISTALES LIQUIDOS

## ANISOTROPIA HEXAGONAL

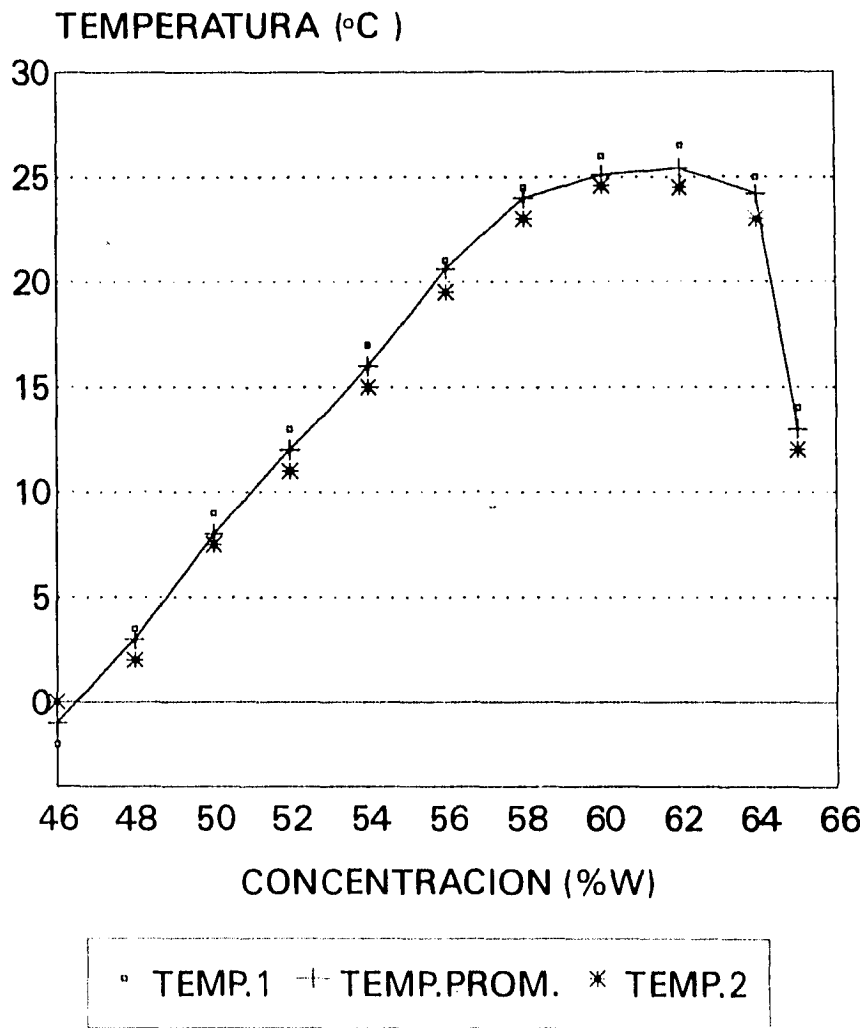


Fig. 3.6.5

# ZONA DE CRISTALES LIQUIDOS

## ANISOTROPIA LAMELAR

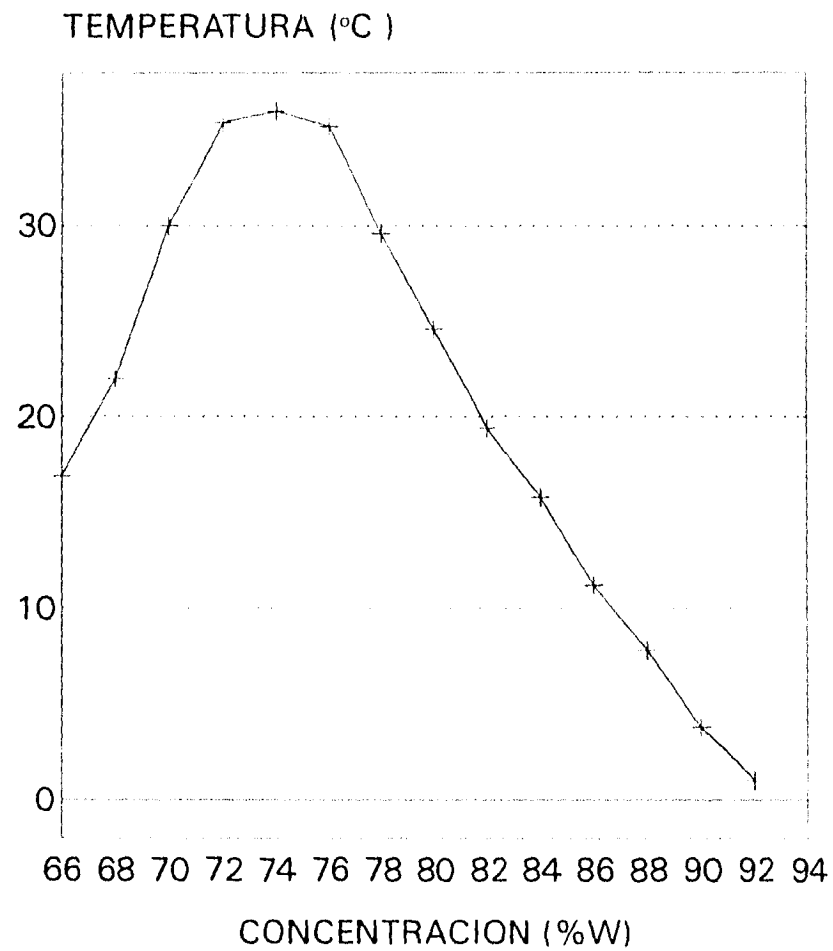


Fig. 3.6.6



# ZONA DE CRISTALES LIQUIDOS

## ANISOTROPIA LAMELAR

---

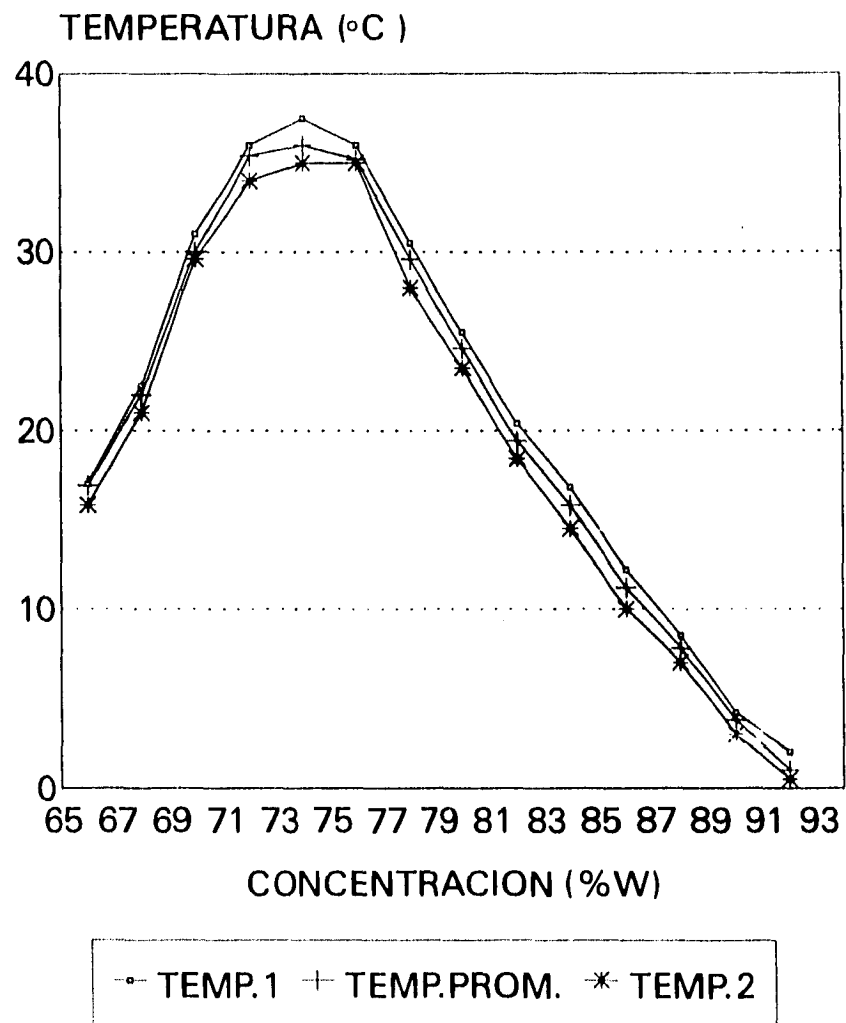


Fig. 3.6.7

# ZONA DE CRISTALES LIQUIDOS

## ANISOTROPIA LAMELAR

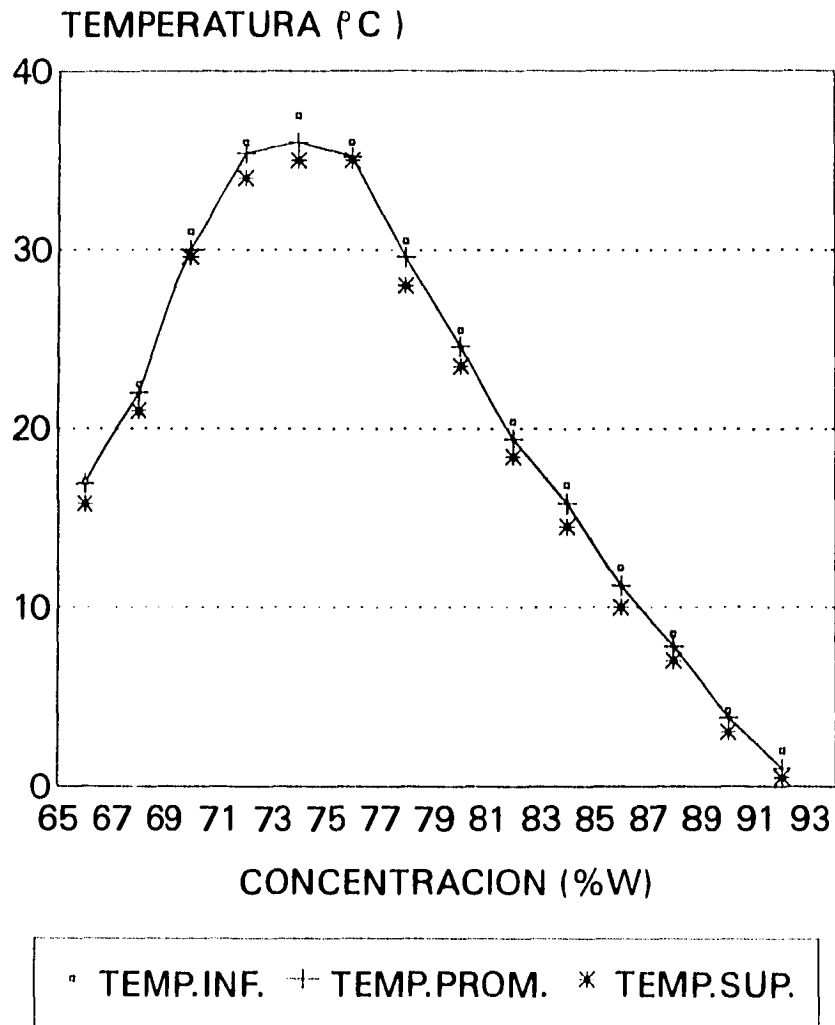
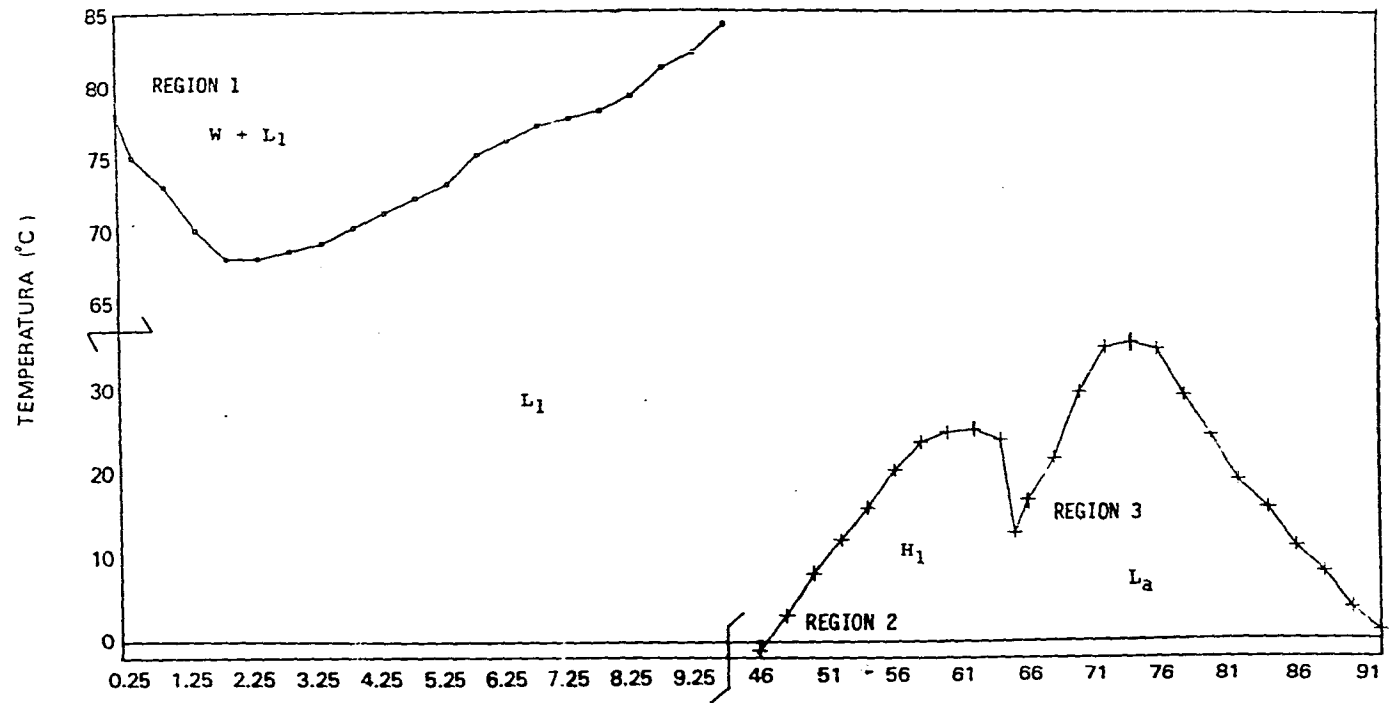


Fig. 3.6.8

## DIAGRAMA DE EQUILIBRIO DE FASES

### ALCOHOL LAURICO (10-OE)

Fig. 3.7



W = Agua , L<sub>1</sub> = Disolución micelar

H<sub>1</sub> = Reg. crist. hexagonales  
L<sub>a</sub> = Reg. crist. lamelares

## VISCOSIDAD:

Con las disoluciones de tensoactivo y agua de 0.25 a 10.0 %W, se determinaron las viscosidades a 25°C, utilizando un viscosímetro de Brookfield (Synchro-Lectric), los valores obtenidos de viscosidad se localizan en la figura 3.8. A partir de la fig. 3.8 se localizan los resultados experimentales y en la fig. 3.9 se localiza la gráfica correspondiente, en el apéndice B se encuentran gráficas de viscosidad de algunos tensoactivos que existen en el mercado. Las diferentes gráficas de los tensoactivos, se ajustaron a una ecuación. De los tres valores experimentales obtenidos, sólo fueron considerados los dos más próximos para la obtención del promedio y con ese promedio obtenido, se realiza la gráfica de viscosidad del tensoactivo.

Al realizar el ajuste de los resultados experimentales de viscosidad, se encontró que se ajustaron a la ecuación de crecimiento exponencial, con los siguientes parámetros:

Parámetros:

$$Y_0 = 0$$

$$A = 8.74367$$

$$t = 3.08617$$

La ecuación de ajuste es:

$$\ln y = \ln A + x/t \quad \text{ó} \quad y = Ae^{(x/t)}$$

$$\ln y = \ln 8.74367 + x/3.08617 \quad \text{ó} \quad y = 8.74367e^{(x/3.08617)}$$

## VISCOSIDADES

@ 25 °C

Fig. 3.8

Concentración (%W)	Viscosidad 1 (cp)	Viscosidad 2 (cp)	Viscosidad 3 (cp)	Viscosidad promedio (cp) (2 lecturas)
0.25	9.00	10.5	10.50	10.50
0.50	10.98	12.0	10.68	10.83
1.00	11.50	12.6	13.64	13.12
1.50	14.70	16.0	16.82	16.40
2.00	18.60	20.0	21.22	20.61
2.50	21.80	22.5	22.84	22.67
3.00	24.90	25.8	24.63	24.76
3.50	31.00	32.0	31.86	31.43
4.00	34.50	35.5	36.44	35.97
4.50	38.90	40.0	40.53	40.26
5.00	43.60	45.0	45.38	45.19
5.50	49.70	50.5	50.13	50.31
6.00	62.50	63.6	63.17	63.38
6.50	69.50	69.8	73.07	69.65
7.00	78.50	80.0	79.79	79.89
7.50	98.90	101.0	100.10	100.55
8.00	111.50	113.0	112.10	111.80
8.50	124.50	126.0	127.17	126.58
9.00	157.60	158.9	158.94	158.92
9.50	198.00	200.0	200.56	200.28
10.00	222.50	224.0	225.11	224.55

Para determinar el intervalo de confianza del método experimental; de los 3 resultados seleccionar los 2 más cercanos, obtener el valor absoluto de la diferencia en cada experimento y calcular el promedio de la suma de las diferencias.

$$I = \frac{\sum |R_1 - R_2|}{n}$$

$$I = 0.602^\circ\text{C}$$

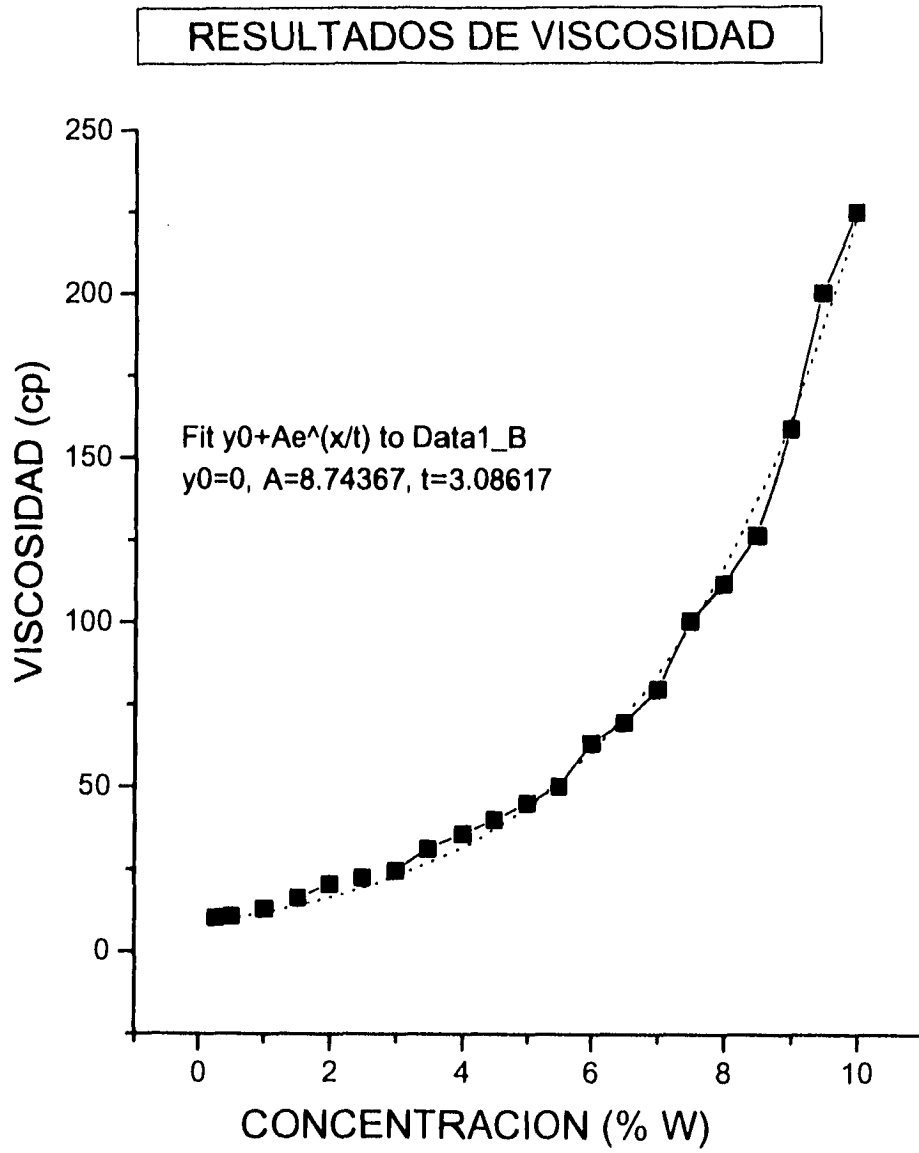


Fig. 3.9

## CAPITULO CUARTO

### INTERPRETACION DE RESULTADOS

En los cromatogramas (fig. 3.1 a 3.1.4), se aprecia que los picos presentan separaciones entre sí y dentro de cada pico se aprecia que existen subdivisiones, que pueden ser atribuidas a los homólogos de los alcoholes grasos inferiores que se encuentran en el tensoactivo, esto se aprecia en la figura 3.1.1, que muestra el tensoactivo de uso comercial y al compararlo con el de la figura 3.1.3 se aprecia que no existen subdivisiones, debido a que el cromatograma corresponde al tensoactivo químicamente puro. El objeto de realizar los cromatogramas fué conocer el estado de pureza en el que se encontraba el tensoactivo que fué estudiado.

En el espectro de adsorción del alcohol láurico etoxilado con 10 moles fig. 3.2, las bandas principales son: adsorción débil a 13.9u ( $720\text{cm}^{-1}$ ), ocasionada por la vibración de los metilenos presentes en la molécula; adsorción débil a 7.25u ( $1379\text{cm}^{-1}$ ) causada por la presencia de un metilo; adsorción de 6.8 a 6.84u (aprox.  $1500\text{cm}^{-1}$ ) que es una banda intensa y marca la presencia del grupo alcohol primario. La banda localizada en 9.4-9.6u ( $1064-1042\text{cm}^{-1}$ ), se observa cuando hay aductos de óxido de etileno de bajo peso molecular, de otro modo se fusiona con la vibración fuerte del éter y no se aprecia, la adsorción de 1000-1200 $\text{cm}^{-1}$  pertenece al grupo óxido de etileno.

El apéndice A contiene una compilación de diagramas de equilibrio para diferentes alcoholes etoxilados más agua que fueron extraídos de la literatura (21); al analizar los

diagramas compilados en el apéndice A, (fig. 3.17 a 3.21), se observa que conforme se incrementa el grado de etoxilación se incrementa la temperatura que delimita la región de enturbiamiento, situación que en el presente diagrama no sucedió porque el tensoactivo no estaba puro.

En la región de cristales líquidos, por comparación con el sistema se encontró que la primera región corresponde a una estructura de tipo hexagonal y la segunda estructura es de tipo lamelar. Cuando se agrega tensoactivo a una superficie, se satura paulatinamente y en el momento en que se ha saturado la superficie, se forman las micelas, que son estructuras asombrosas, en donde una pequeña cantidad de tensoactivo logra solubilizar una gran cantidad de materia. En el instante en que la superficie se haya saturado de micelas, éstas se arreglan, y el arreglo que adquieren es el de cilindros, en este punto el sistema evoluciona y pierde curvatura, situación que está descrita por la ecuaciones 10, 11, 12, 13 . Pero el sistema sigue evolucionando hasta llegar a niveles de mínima energía, entonces los cilindros se empaquetan para formar láminas, en este instante la curvatura del sistema ha desaparecido, entonces los términos de curvatura de las ecuaciones antes mencionadas desaparecen y las expresiones de los potenciales termodinámicos se simplifican.

La determinación de las viscosidades en las disoluciones, fué realizada para conocer la composición de inicio de la región de cristales líquidos. En cuanto se grafican los resultados experimentales obtenidos y posteriormente ser ajustados a una ecuación, se encontró la ecuación que mejor describía el sistema fué la de crecimiento exponencial.

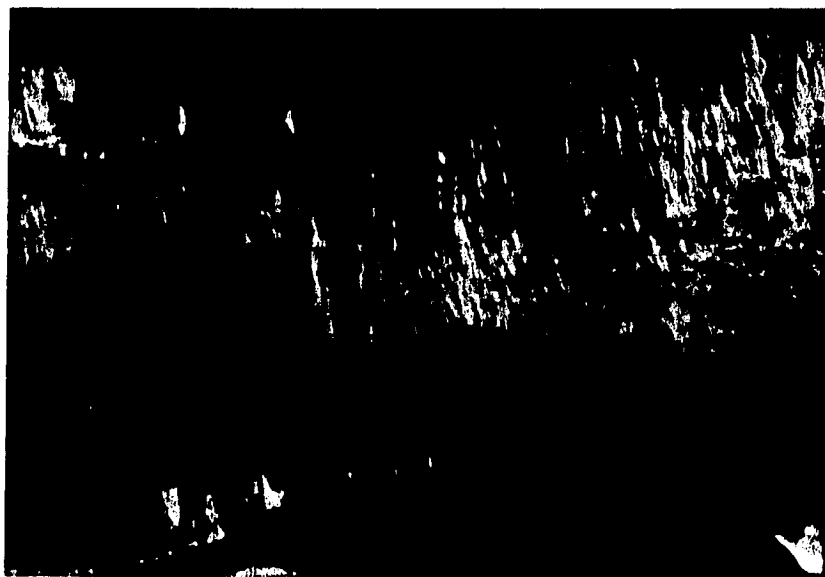
**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**



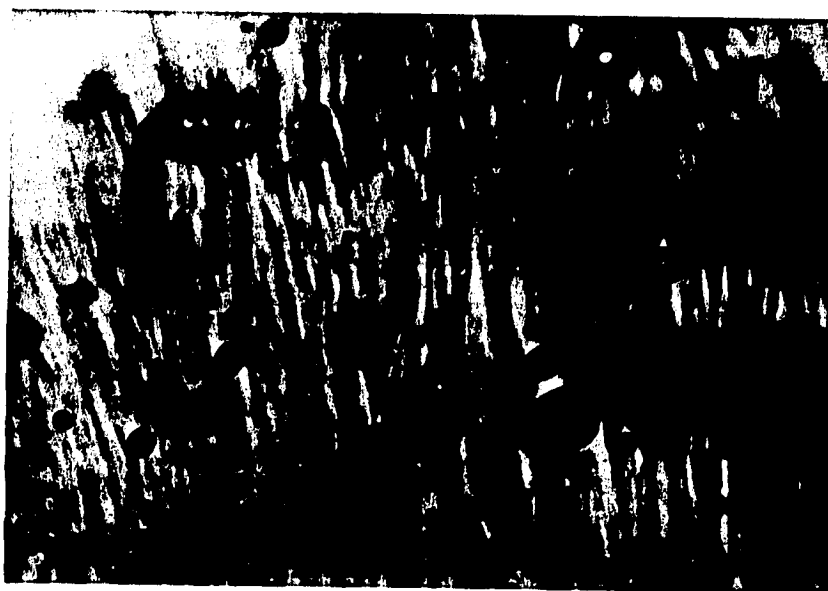
## **CAPITULO QUINTO**

### **PRESENTACION DE LOS CRISTALES LIQUIDOS DEL DIAGRAMA DE FASES**

A continuación se presenta el conjunto de fotografías obtenidas con el microscopio de luz polarizada (Zeiss, West-Germany, ICM 405), en función de las diversas concentraciones del tensoactivo, así como las del tensoactivo de referencia para definir las regiones de cristales líquidos (Tritón X-100, isooctil fenol con 10 moles de óxido de etileno).



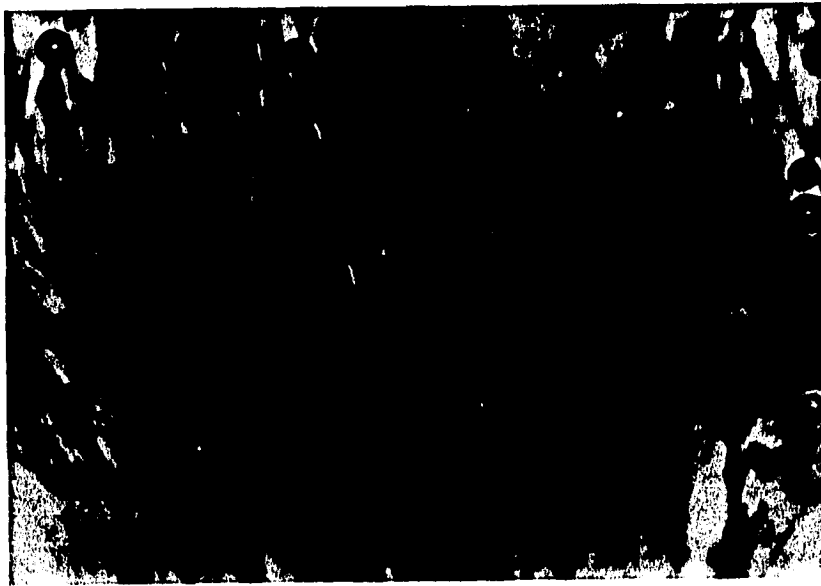
ALCOHOL LAURICO ETOXILADO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO;  
54%W, TIPO DE CRISTAL: HEXAGONAL.



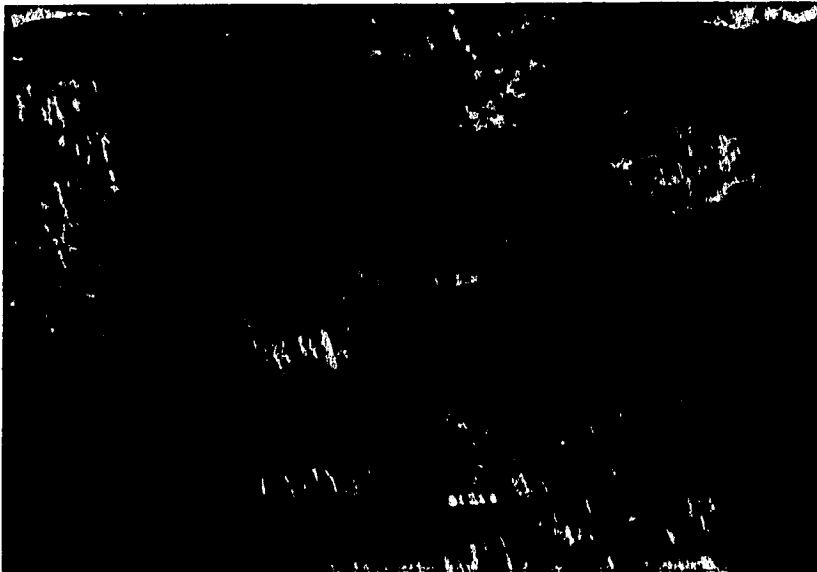
ALCOHOL LAURICO ETOXILADO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO;  
56%W, TIPO DE CRISTAL: HEXAGONAL.



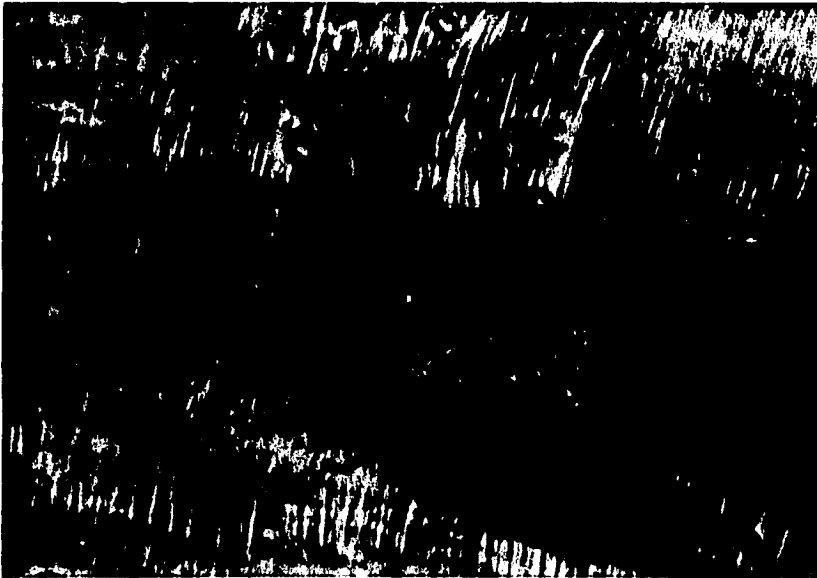
ALCOHOL LAURICO ETOXILADO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO;  
58%W, TIPO DE CRISTAL: HEXAGONAL.



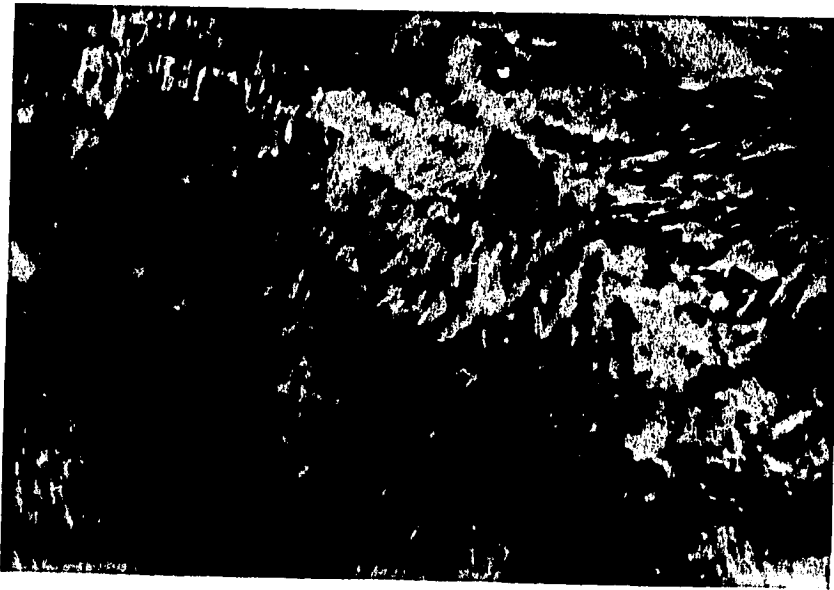
ALCOHOL LAURICO ETOXILADO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO;  
60%W, TIPO DE CRISTAL: HEXAGONAL.



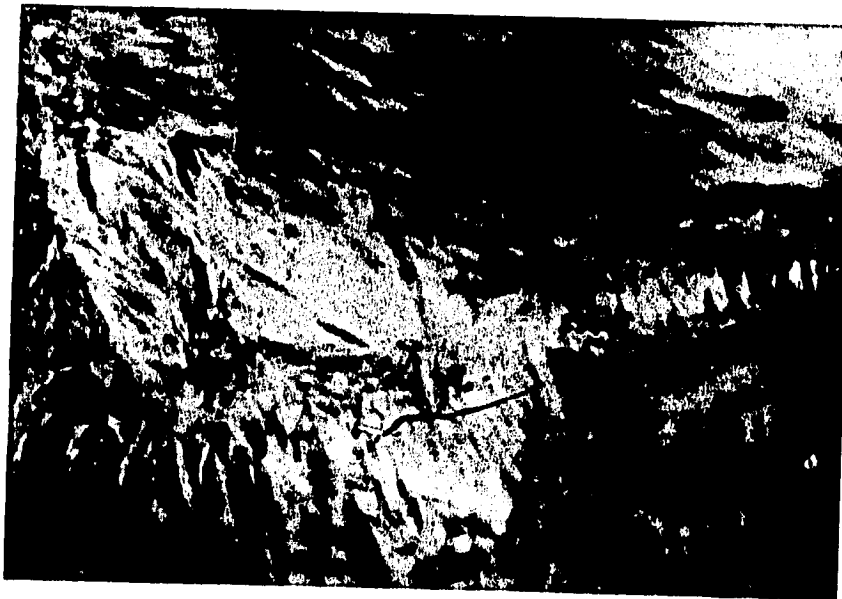
ALCOHOL LAURICO ETOXILADO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO;  
62%W, TIPO DE CRISTAL: HEXAGONAL.



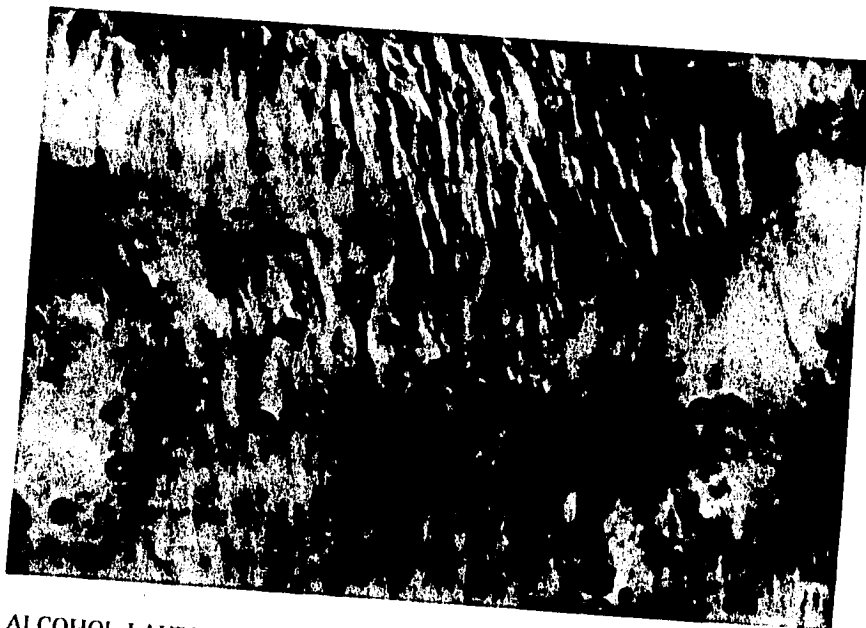
ALCOHOL LAURICO ETOXILADO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO;  
65%W, TIPO DE CRISTAL: HEXAGONAL.



ALCOHOL LAURICO ETOXILADO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO;  
66%W, TIPO DE CRISTAL: LAMELAR.



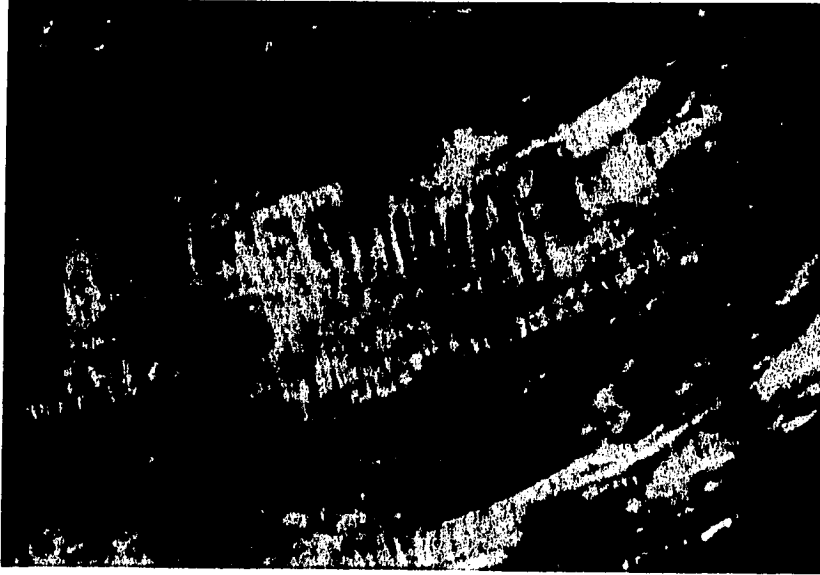
ALCOHOL LAURICO ETOXILADO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO;  
74%W, TIPO DE CRISTAL: LAMELAR.



ALCOHOL LAURICO ETOXILADO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO;  
78%W, TIPO DE CRISTAL: LAMELAR.



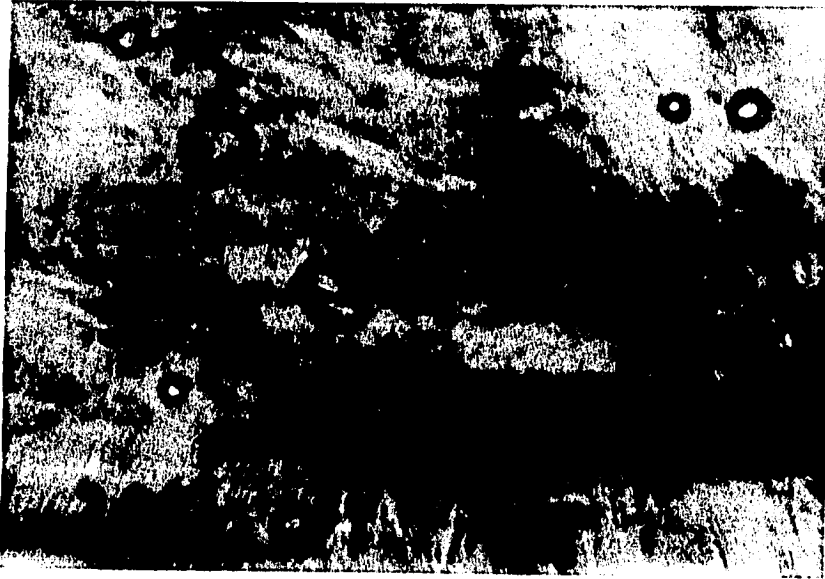
ALCOHOL LAURICO ETOXILADO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO;  
82%W, TIPO DE CRISTAL: LAMELAR.



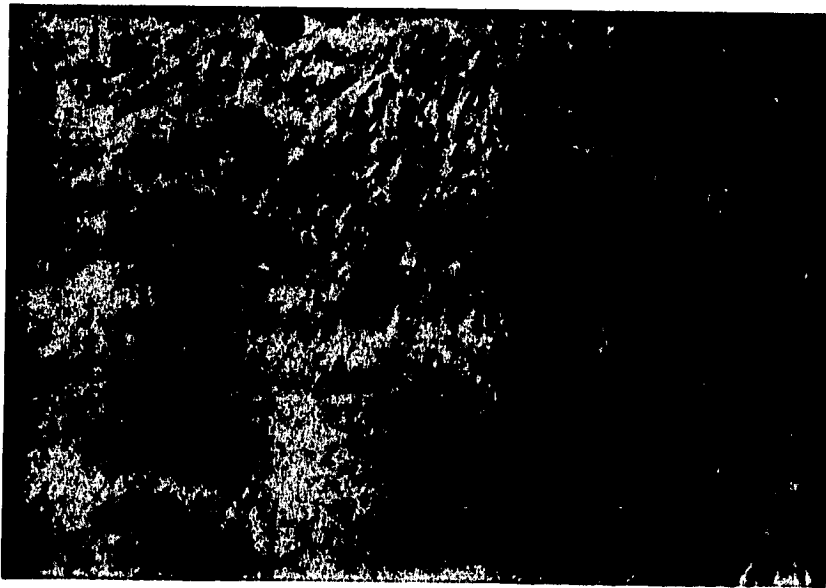
ALCOHOL LAURICO ETOXILADO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO;  
90%W, TIPO DE CRISTAL: LAMELAR.



ALCOHOL LAURICO ETOXILADO CON 10 MOLES DE OXIDO DE ETILENO,  
84%W, TIPO DE CRISTAL: LAMELAR.

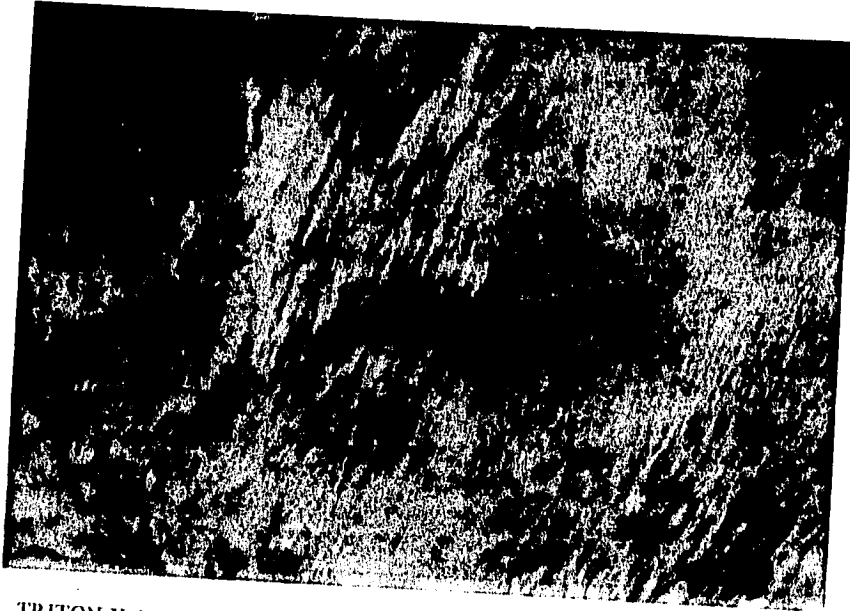


TRITON X-100, 40%W, TIPO DE CRISTAL HEXAGONAL.

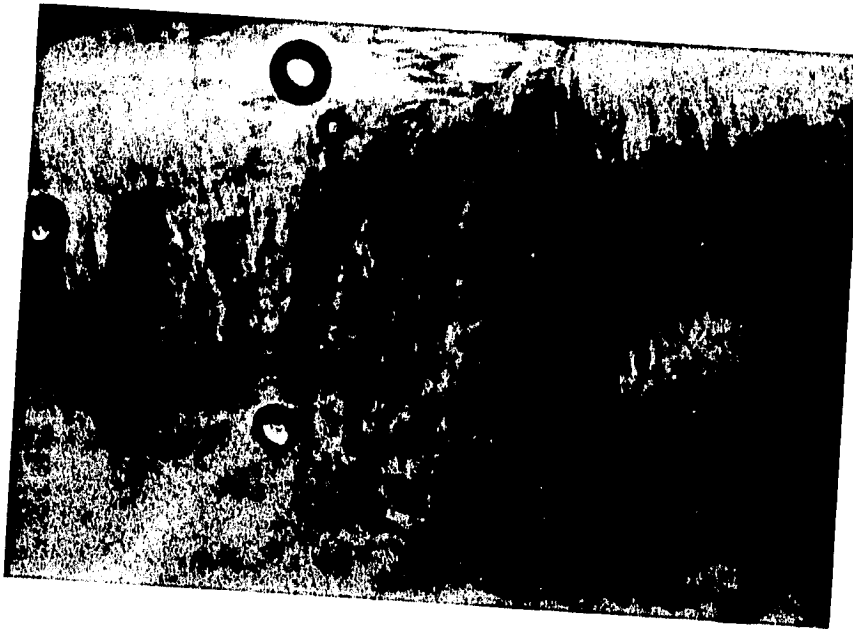


TRITON X-100, 42%W, TIPO DE CRISTAL HEXAGONAL.





TRITON X-100, 45%W, TIPO DE CRISTAL HEXAGONAL.



TRITON X-100, 53%W, TIPO DE CRISTAL HEXAGONAL.



TRITON X-100, 60%W, TIPO DE CRISTAL HEXAGONAL.



TRITON X-100, 70%W, TIPO DE CRISTAL LAMELAR.



TRITON X-100, 76%W, TIPO DE CRISTAL LAMELAR.



TRITON X-100, 78%W, TIPO DE CRISTAL LAMELAR.



TRITON X-100, 72%W, TIPO DE CRISTAL LAMELAR.

## CONCLUSIONES

El sistema presenta una región superior de dos fases y un punto crítico de solubilidad inferior de 67.8°C a 2.25%w, además de dos regiones anisotrópicas de cristales líquidos, la primera en un intervalo de composición de 46%W al 65%W y segunda del 66%W al 92 %W y temperaturas críticas de gelación de 25.4°C y 36°C respectivamente.

Mediante fotografía microscópica de luz polarizada, se detectó anisotropía de tipo hexagonal, en el intervalo de composición del 46%W al 65%W y anisotropía de tipo lamelar, en el intervalo de composición de 66%W a 92%W.

Al analizar el diagrama de fases del tensoactivo objeto de este estudio, con los que se reportan en (Apéndice A), debería presentarse temperaturas más elevadas en la región de puntos de enturbiamiento y en la de cristales líquidos; el intervalo de composición de la región de cristales hexagonales debería ser más amplio mientras que el de cristales lamelares mínimo. En el diagrama de este estudio, el intervalo de composición de las regiones de cristales líquidos es aproximadamente igual, esto es atribuido a la distribución en pesos moleculares del óxido de etileno y en la cantidad de alcohol libre residual.

El comportamiento de la viscosidad es indicativo de la composición y temperatura a la cual las determinaciones de viscosidad proporcionaron la concentración a la que se presentan los cristales líquidos a temperatura ambiente. Los valores de viscosidad fueron ajustados a un mismo modelo y de acuerdo a los parámetros de ajuste de tipo exponencial, el parámetro  $t$  parece guardar relación con el contenido de óxido de etileno presente en el tensoactivo.

## APENDICE A

A continuación se muestran varios diagramas de fases de diferentes alcoholes, extraídos de la literatura, donde cambia el grado de etoxilación y la cadena hidrocarbonada; al variar la cantidad de moles de óxido de etileno, sin modificarse la cadena hidrocarbonada, se aprecian cambios drásticos en los diagramas como apreciamos en los diagramas de: alcohol hexadecílico con 4 moles de OE, con 8 moles de OE con 12 moles de OE (figs. 3.11, 3.12 y 3.13). El incremento en el grado de etoxilación trae como consecuencia que la región localizada por arriba de la curva de solubilidad (zona superior de dos fases) sea menor, como lo apreciamos en el diagrama del alcohol hexadecílico con 12 moles de OE; en el diagrama de fases que contiene 12 moles de OE, la zona de los cristales lamelares es pequeña, mientras que en el diagrama que contiene 8 moles de OE esta región cubre un rango más amplio de temperatura que el diagrama con 4 moles de OE, pero disminuye el rango de composición en el diagrama con 8 moles de OE y en el diagrama con 12 moles de OE el rango de temperatura y composición es mínimo.

Los diagramas del alcohol decílico, con 3, 4 y 5 moles de OE, (figs. 3.14, 3.15 y 3.16); presentan características tales como, la curva de solubilidad cubre un amplio rango de composición, la región de los cristales líquidos cubre un intervalo en la composición de casi el 100%W, a excepción del diagrama del alcohol decílico con 3 moles de OE que sólo cubre hasta el 80%W.

Los diagramas de fases del alcohol dodecílico con 3, 4, 5, 6, y 8 moles de OE (figs. 3.17, 3.18, 3.19, 3.20 y 3.21); presenta a partir de 60-75%W hasta el 100%W una región donde

encontramos tensoactivo en estado sólido. el tensoactivo inspeccionado en el presente trabajo es el alcohol dodecílico con 10 moles de OE (fig. 3.10), este diagrama presenta un incremento en el grado de etoxilación y a composiciones elevadas ya no presenta la región de tensoactivo sólido como los anteriores. En los diagramas que presentan bajo grado de etoxilación, la región de los cristales líquidos comienza a manifestarse a muy bajas composiciones y conforme se incrementa el grado de etoxilación, la región de los cristales empieza a localizarse a composiciones más elevadas; así en los diagramas con 3, 4 y 5 moles de OE desde el 25%W encontramos las regiones de cristales; en los diagramas con 6 y 8 moles de OE, a partir del 40%W(aprox.) localizamos las regiones de los cristales y en el diagrama de 10 moles de OE a una composición del 44%W, inician las regiones de los cristales hasta una composición del 92%W.

En los diagramas de la dodecilsulfina y decilsulfina, las similitudes presentes son: a composiciones entre 30 y 40%W se manifiesta la región de cristales hexagonales y entre 70 y 80%W se presenta la región de los cristales lamelares concluyendo en un 90%W (aprox.); la curva de solubilidad se hace presente a partir de los 40 °C.

**ANALISIS DE LOS DIAGRAMAS DE FASES DE TENOSOACTIVOS NO  
IONICOS ETOXILADOS MAS AGUA**

TENOACTIVO	TEMPERATURA (T.C.S.I.) (°C)	INTERVALO DE COMPOSICION DE LAS REGIONES DE CRISTALES LIQUIDOS (%W).
C <sub>16</sub> E <sub>4</sub>	52	30 - 80
C <sub>16</sub> E <sub>8</sub>	64	37 - 80
C <sub>16</sub> E <sub>12</sub>	92	25 - 75
<b>(Alcohol hexadecilico)</b>		
-----		
C <sub>10</sub> E <sub>3</sub>	33	0 - 80
C <sub>10</sub> E <sub>4</sub>	20	0 - 88
C <sub>10</sub> E <sub>5</sub>	50	0- 100
<b>(Alcohol decilico)</b>		
-----		
C <sub>12</sub> E <sub>3</sub>	30	0 - 88
C <sub>12</sub> E <sub>4</sub>	50	0 - 80
C <sub>12</sub> E <sub>5</sub>	70	0 - 90
C <sub>12</sub> E <sub>6</sub>	50	39 - 90
C <sub>12</sub> E <sub>8</sub>	80	30 - 75
C <sub>12</sub> E <sub>10</sub>	67.8	46 - 92
<b>(Alcohol dodecilico)</b>		
-----		



Al analizar los resultados mostrados, conforme aumenta la cadena oxietilénica en el tensoactivo el punto crítico de solubilidad inferior (T.C.S.I. o punto de enturbiamiento), aumenta y la región de los cristales líquidos se compacta, esto se aprecia en el tensoactivo alcohol hexadecílico más agua. En el tensoactivo alcohol decílico más agua; se incrementan los puntos de enturbiamiento, con excepción del tensoactivo alcohol láurico ( $C_{12}E_{10}$ ) más agua, por las impurezas presentes en el tensoactivo; el intervalo de composiciones de los cristales va compactándose paralelamente al crecimiento de la cadena oxietilénica.

DIAGRAMA DE FASES DEL ALCOHOL HEXADECILICO CON 4 MOLES DE OXIDO DE  
ETILENO

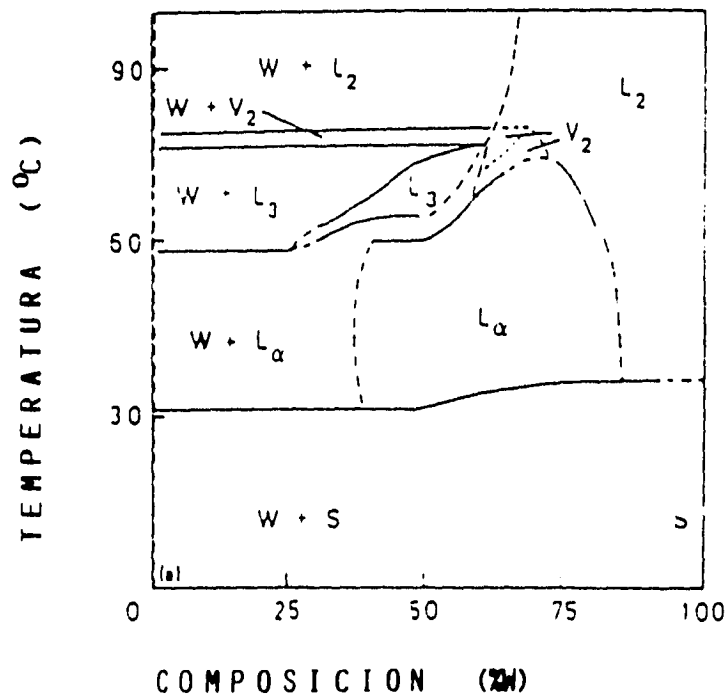


Fig. 3.11

Donde W representa el agua, L<sub>α</sub> es la región de cristales lamelares, S es el tensoactivo sólido, V<sub>2</sub> es la región de cristales cúbicos, L<sub>2</sub> es la región donde se encuentra agua disuelta en el tensoactivo, L<sub>3</sub> es la región donde existe tensoactivo y agua disuelta en tensoactivo.

Fuente Physical Pharmacy, Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a ed. May 1973, Lea & Febiger-Philadelphia  
Chap. 15

DIAGRAMA DE FASES DEL ALCOHOL HEXADECILICO CON 8 MOLES DE OXIDO DE  
ETILENO

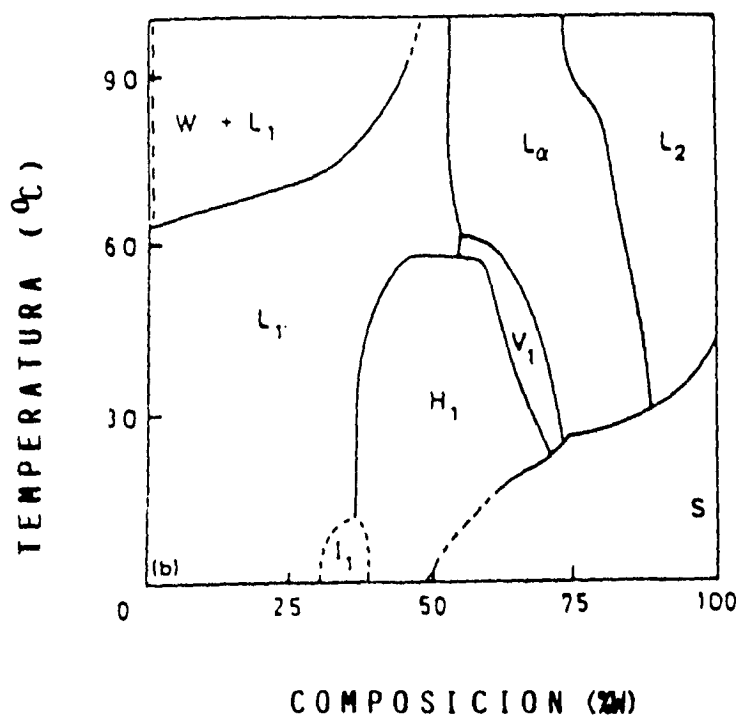


Fig. 3.12

Donde W es agua,  $L_{\alpha}$  es la región de cristales lamelares,  $V_1$  es la región de cristales cúbicos,  $H_1$  es la región de cristales hexagonales, S es el -tensoactivo sólido,  $L_1$  es una solución micelar,  $L_2$  es la región donde se encuentra agua disuelta en el tensoactivo, I es la fase de cristales líquidos isotrópicos.

Fuente Physical Pharmacy, Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
Alfred N. Martin, James Swarbrick. 2a de . May 1973. Lea & Febiger-Philadelphia  
Chap 15

DIAGRAMA DE FASES DEL ALCOHOL HEXADECILICO CON 12 MOLES DE OXIDO DE  
ETILENO

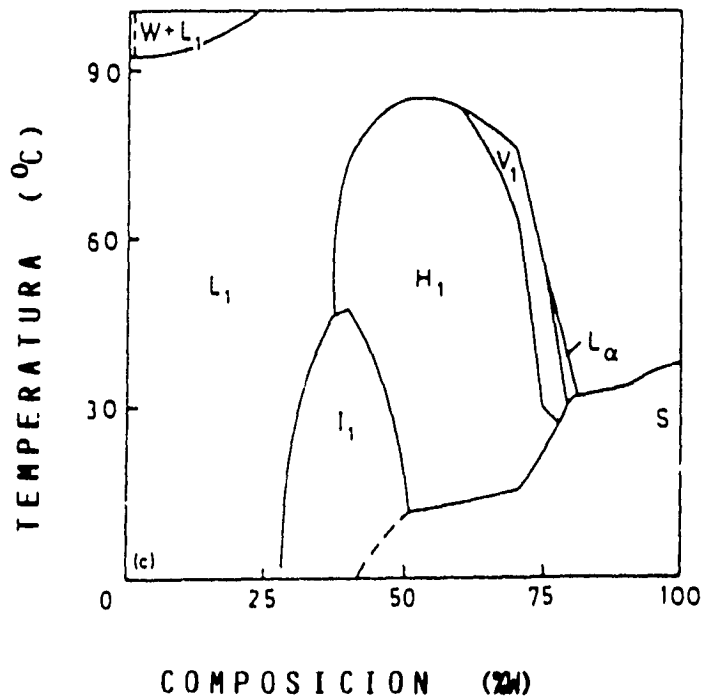


Fig. 3.13

Donde W es el agua,  $L_1$  es la fase de solución micelar,  $I_1$  es la fase de cristales líquidos isotrópicos,  $H_1$  es la fase de cristales hexagonales,  $V_1$  es la fase de cristales cúbicos,  $L_\alpha$  es la fase de cristales lamelares, S es el tensioactivo sólido.

Fuente: Physical Pharmacy. Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a. ed., May 1973, Lea & Febiger-Philadelphia  
Chap 15

DIAGRAMA DE FASES DEL ALCOHOL DECILICO CON 3 MOLES DE OXIDO DE  
ETILENO

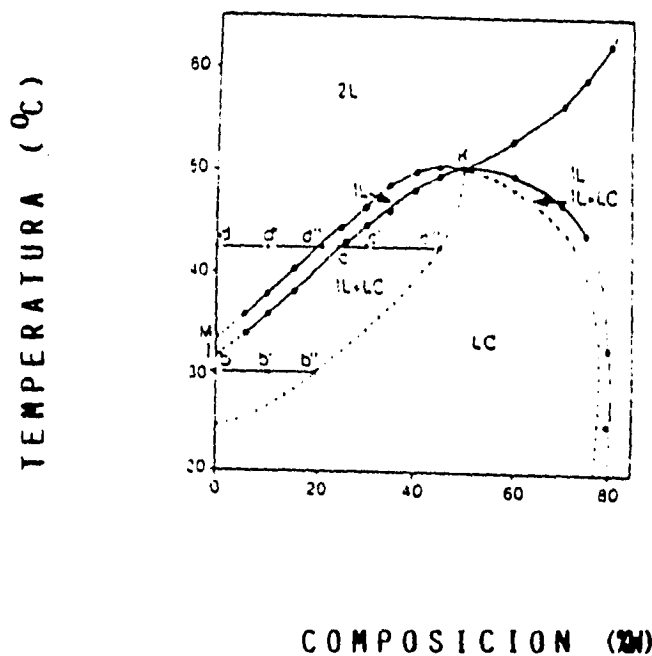


Fig. 3.14

Donde 2L representa la existencia de dos fases, 1L representa una fase, -  
LC representa la región de los cristales líquidos.

Fuente: Physical Pharmacy, Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a. ed., May 1973, Lea & Febiger-Philadelphia  
Chap 15

DIAGRAMA DE FASES DEL ALCOHOL DECILICO CON 4 MOLES DE OXIDO DE

ETILENO

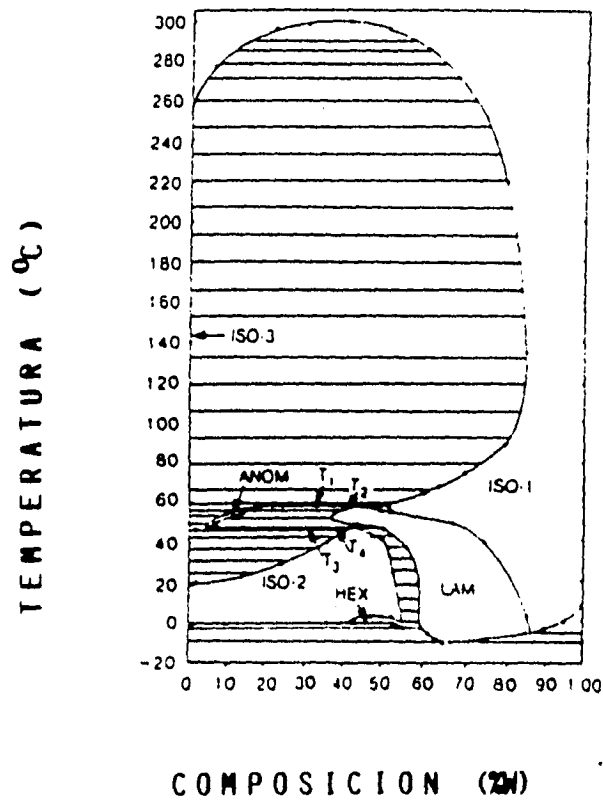


Fig. 3.15

Donde Hex es la región de cristales hexagonales y Lam es la región de cristales lamelares.

Fuente. Physical Pharmacy, Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
 Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a de . May 1973, Lea & Febiger-Philadelphia  
 Chap 15

DIAGRAMA DE FASES DEL ALCOHOL DECILICO CON 5 MOLES DE OXIDO DE  
ETILENO

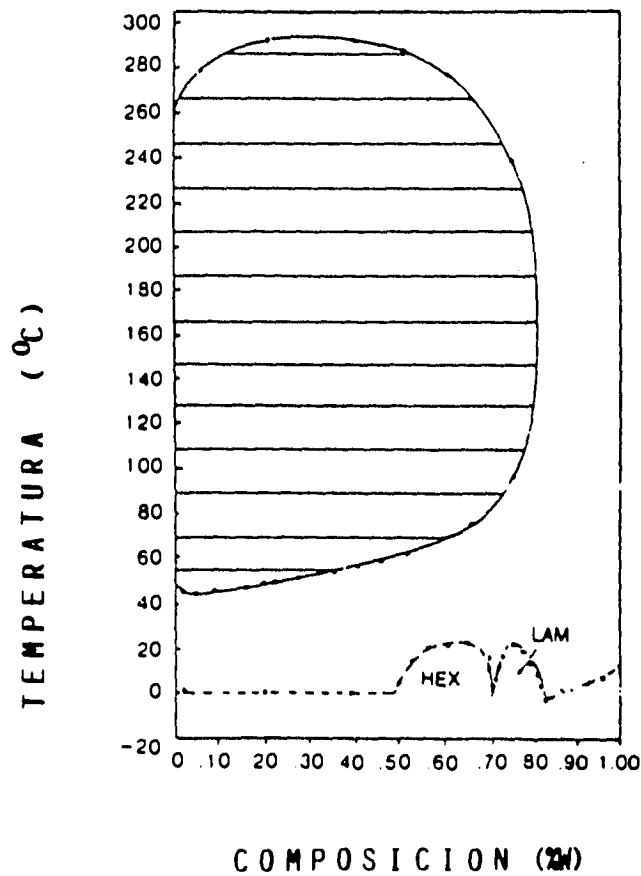


Fig. 3.16

Donde Hex representa la región de cristales hexagonales, Lam es la región de cristales lamelares.

Fuente Physical Pharmacy, Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
Alfred N. Martin, James Swarbrick. 2a de . May 1973. Lea & Febiger-Philadelphia.  
Chap 15

DIAGRAMA DE FASES DEL ALCOHOL DODECILICO CON 3 MOLES DE OXIDO DE  
ETILENO

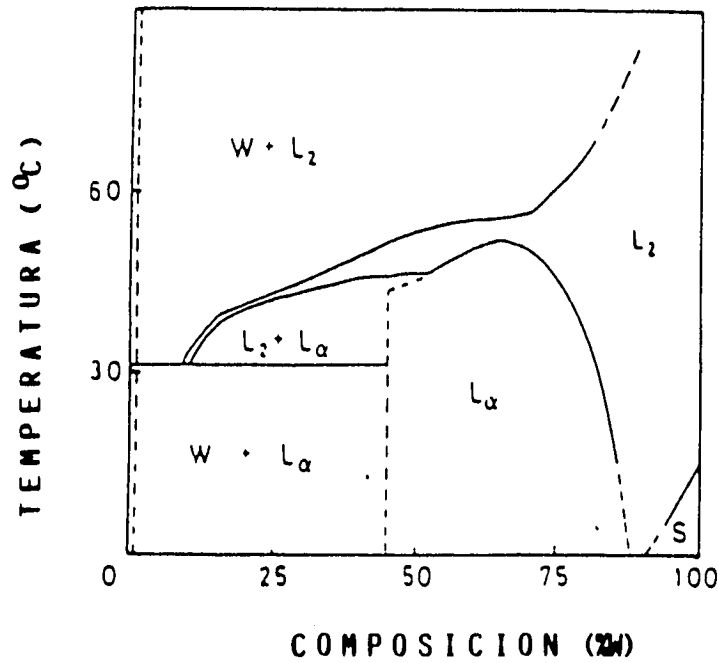


Fig. 3.17

Donde  $L_{\alpha}$  representa la fase lamelar;  $L_2$  es el tensoactivo disuelto en agua; W es el agua; S representa el tensoactivo sólido.

Fuente Physical Pharmacy, Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a de . May 1973, Lea & Febiger-Philadelphia  
Chap 15



DIAGRAMA DE FASES DEL ALCOHOL DODECILICO CON 4 MOLES DE OXIDO DE  
ETILENO

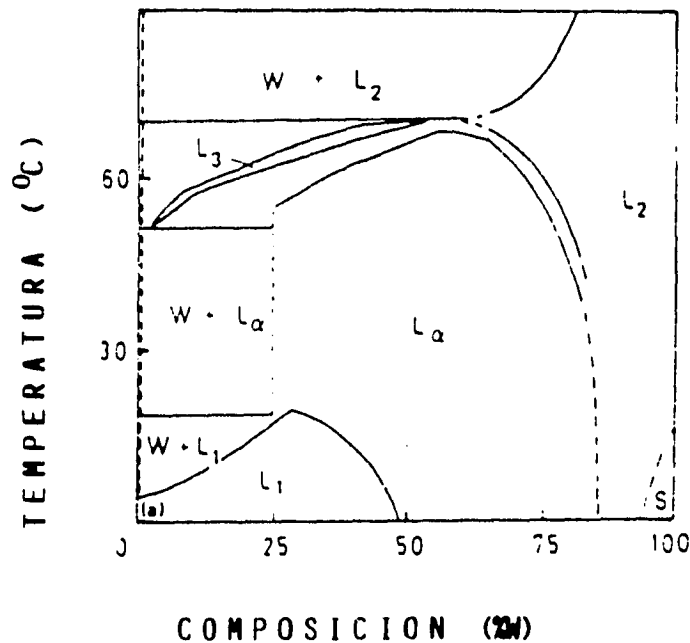


Fig. 3.18

Donde  $W$  es el agua,  $L_2$  es la región donde se encuentra agua disuelta en-  
tensioactivo,  $L_3$  es la región donde hay tensioactivo y región  $L_2$ ,  $L_\alpha$  es-  
la región donde se encuentran los cristales lamelares,  $L_1$  representa una  
solución micelar.

Fuente Physical Pharmacy, Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a de . May 1973, Lea & Febiger-Philadelphia  
Chap 15

DIAGRAMA DE FASES DEL ALCOHOL DODECILICO CON 5 MOLES DE OXIDO DE  
ETILENO

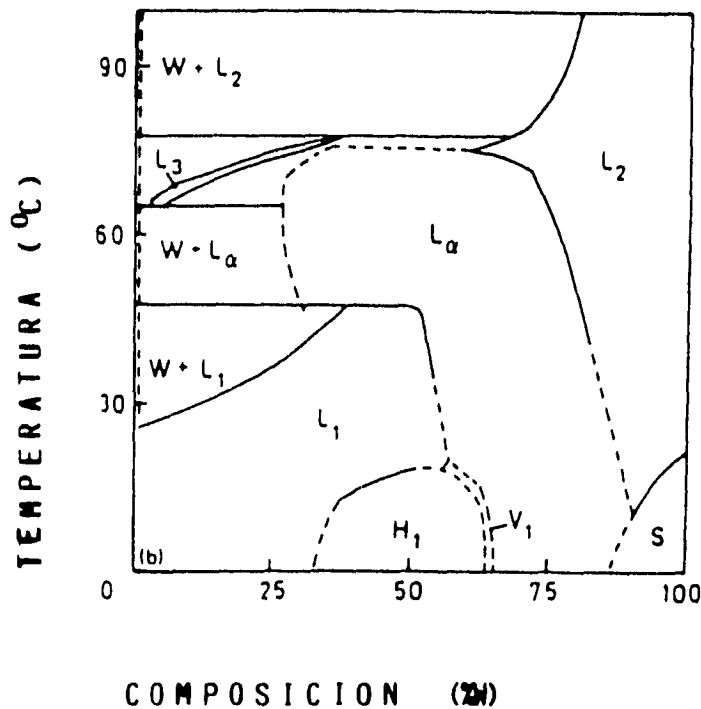


Fig. 3.19  
Donde W es el agua,  $L_2$  es la región donde se encuentra agua disuelta en-  
tensoactivo,  $L_3$  es la región donde hay tensoactivo y solución de la re-  
gión  $L_2$ ,  $L_\alpha$  es la región de los cristales lamelares,  $L_1$  es la región de  
la solución micelar,  $H_1$  es la región de los cristales hexagonals,  $V_1$  es-  
la región de los cristales cúbicos, S es la región donde hay tensoacti-  
vo.

Fuente Physical Pharmacy, Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a de . May 1973, Lea & Febiger-Philadelphia  
Chap 15

DIAGRAMA DE FASES DEL ALCOHOL DODECILICO CON 6 MOLES DE OXIDO DE  
ETILENO

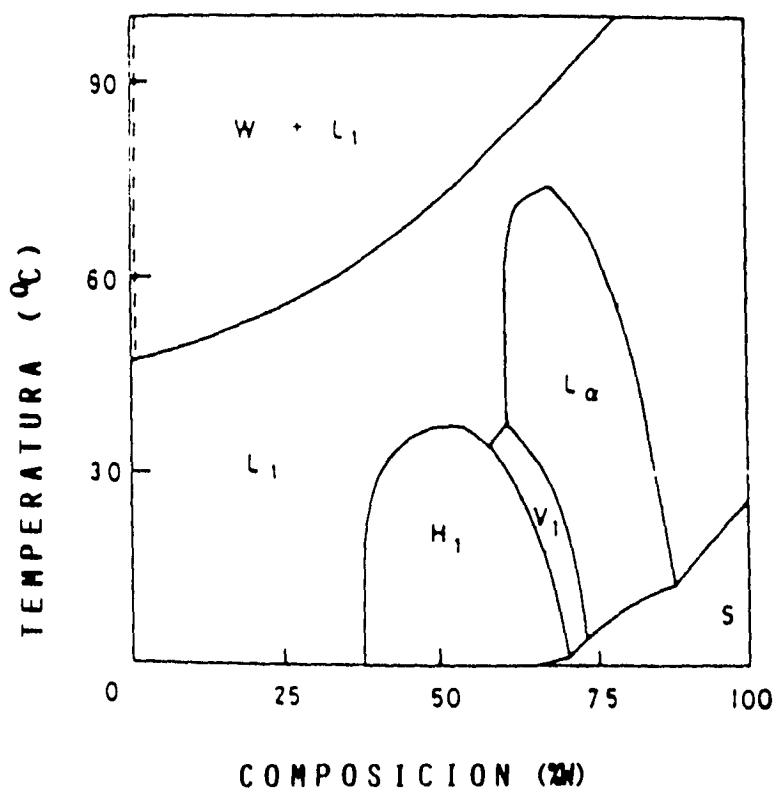


Fig. 3.20

Donde  $L_1$  representa la solución micelar,  $H_1$  es la fase de cristales hexagonales,  $V_1$  es la fase de cristales cúbicos,  $W$  es el agua,  $L_\alpha$  es la fase de cristales lamelares,  $S$  es el tensoactivo sólido.

Fuente: Physical Pharmacy, Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a de ., May 1973, Lea & Febiger-Philadelphia  
Chap 15

DIAGRAM DE FASES DEL ALCOHOL DODECILICO CON 8 MOLES DE OXIDO DE  
ETILENO

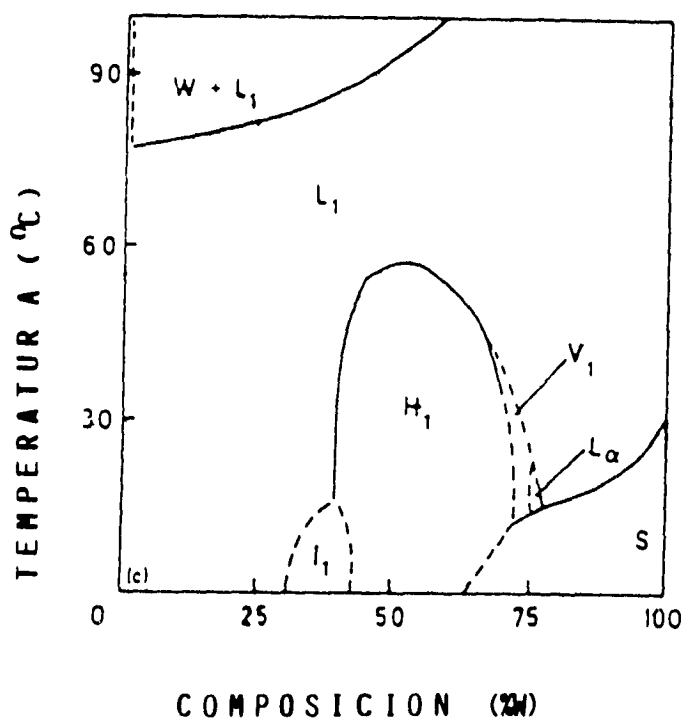


Fig. 3.21

Donde W es el agua,  $L_1$  es una solución micelar,  $I_1$  es la región de cristales líquido isotrópicos,  $H_1$  es la región de cristales hexagonales,  $V_1$  es la región de cristales cúbicos,  $L_\alpha$  es la región de cristales lamelares, S es el tensioactivo sólido.

Fuente Physical Pharmacy, Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a de . May 1973, Lea & Febiger-Philadelphia  
Chap 15

DIAGRAMA DE FASES DEL OXIDO DE DECILFOSFINA

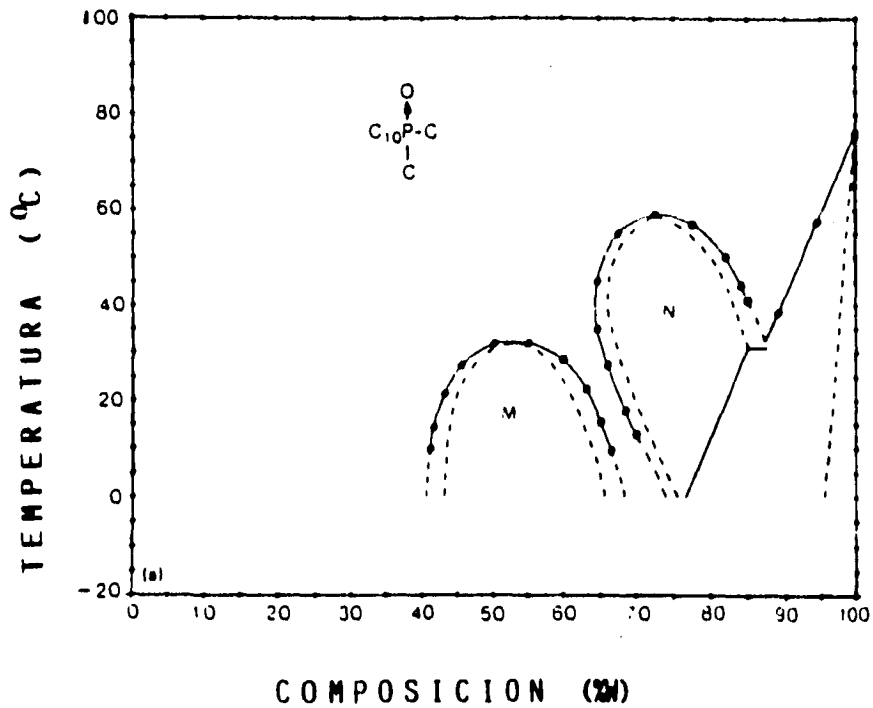


Fig. 3.22

Donde M es la fase de cristales hexagonales y N es la fase de cristales lamelares.

Fuente Physical Pharmacy, Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
 Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a de . May 1973, Lea & Febiger-Philadelphia  
 Chap 15

DIAGRAMA DE FASES DEL OXIDO DE DECIL Y DODECIL FOSFINA

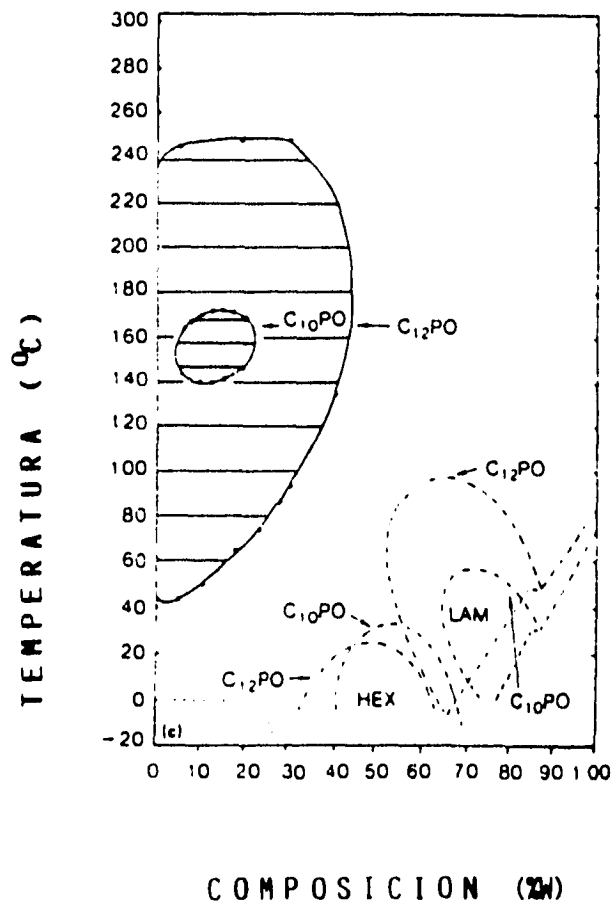


Fig. 3.23

Donde Hex es la región de cristales hexagonales y Lam es la región de cristales lamelares, C<sub>12</sub>PO es la dodecil fosfina y C<sub>10</sub>PO es la decilfosfina.

Fuente Physical Pharmacy. Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a de . May 1973, Lea & Febiger-Philadelphia  
Chap 15

DIAGRAMA DE FASES DEL OXIDO DE DODECILFOSFINA

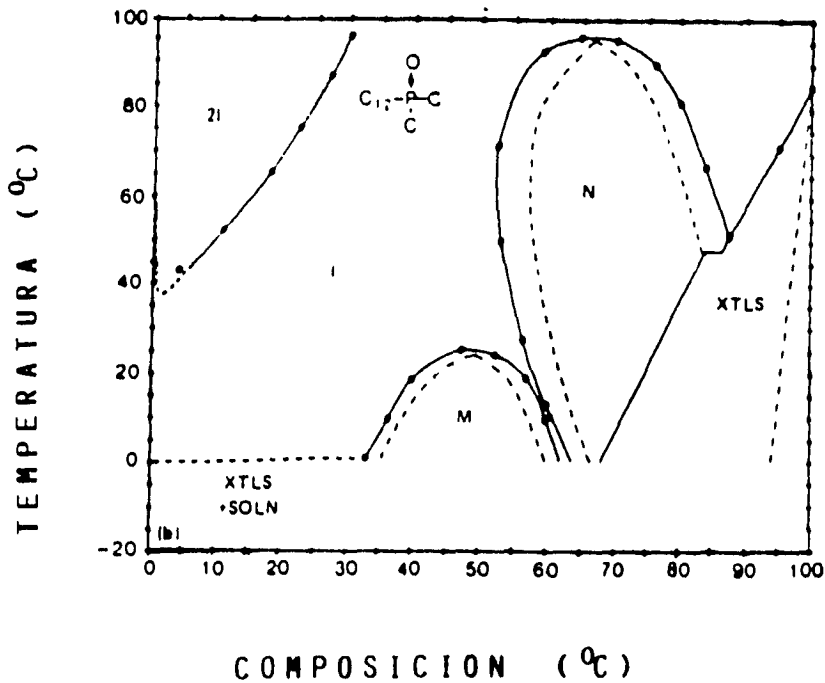


Fig. 3.24

Donde 2I representa dos fases, M es la región de cristales hexagonales, - N es la región de cristales lamelares, XTLS es el tensoactivo sólido, - Soln es solución de agua y tensoactivo.

Fuente Physical Pharmacy. Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences  
 Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a de . May 1973. Lea & Febiger-Philadelphia  
 Chap 15

**APENDICE B**

A continuación se presentan gráficas de viscosidad de algunos tensoactivos comerciales, extraídas de la literatura comercial (18) se ajustaron a una ecuación que describiera el comportamiento del tensoactivo y a continuación se presentan los resultados obtenidos:

a) Polioxietilen(23-OE)lauril éter, (C<sub>12</sub>E<sub>23</sub>):

Se ajusta a la ecuación de crecimiento exponencial, con los siguientes resultados:

**Parámetros**

$$Y_0 = 0.0$$

$$A = 0.52856$$

$$t = 5.32295$$

La ecuación de ajuste es:

$$Y = Y_0 + Ae^{(x/t)}$$

$$Y = 0 + 0.52856e^{(x/5.32295)}$$



b) Polioxietilen(20-OE)cetil éter ó ( $C_{16}E_{20}$ ):

Se ajusta a la ecuación de crecimiento exponencial, con los siguientes resultados:

Parámetros

$$Y_0 = 0.0$$

$$A = 0.54588$$

$$t = 5.54829$$

La ecuación de ajuste es:

$$Y = Y_0 + Ae^{(x/t)}$$

$$Y = 0 + 0.54588e^{(x/5.54829)}$$

c) Polioxietilen(20-OE)estearil éter ó ( $C_{18}E_{20}$ ):

Se ajusta a la ecuación de crecimiento exponencial, con los siguientes resultados:

Parámetros:

$$Y_0 = 0.0$$

$$A = 0.21263$$

$$t = 3.57368$$

La ecuación de ajuste es:

$$Y = Y_0 + Ae^{(x/t)}$$

$$Y = 0 + 0.21263e^{(x/3.57368)}$$

d) Polioxietilen(20-OE)oleico éter ó ( $C_{18.1}E_{20}$ ):

Se ajusta a la ecuación de crecimiento exponencial, con los siguientes resultados:

Parámetros

$$Y_0 = 0.0$$

$$A = 0.48135$$

$$t = 5.04787$$

La ecuación de ajuste es:

$$Y = Y_0 + Ae^{-(x/t)}$$

$$Y = 0 + 0.48135e^{-(x/5.04787)}$$

**ANÁLISIS DE LOS AJUSTES A LAS GRÁFICAS DE VISCOSIDAD DE  
TENSOACTIVOS NO IONICOS MAS AGUA**

TENSOACTIVO	A	t
Alcohol láurico (C <sub>12</sub> E <sub>10</sub> )	8.74367	3.08617
Polioxietilén(23-OE)láuril éter, (C <sub>12</sub> E <sub>23</sub> )	0.52856	5.32295
Polioxietilén(20-OE)cetil éter, (C <sub>16</sub> E <sub>20</sub> )	0.54588	5.54829
Polioxietilén(20-OE)estearil éter, (C <sub>18</sub> E <sub>20</sub> )	0.21263	3.57368
Polioxietilén(20-OE)oleico éter, (C <sub>18:1</sub> E <sub>20</sub> )	0.48135	5.04787

Al revisar el parámetro A, se aprecia que en los diferentes tensoactivos tiene aproximadamente el mismo valor; pero el parámetro t cambia conforme se modifica el número de óxido de etileno; esto es, conforme se incrementa el número de moles de óxido

de etileno en la cadena oxietilénica, el parámetro  $t$  se incrementa. Si se revisan los resultados obtenidos en la ecuación de ajuste del tensoactivo objeto de este trabajo, se obtuvo un parámetro  $t$  menor, ya que la cadena oxietilénica del tensoactivo es menor.

Poli(oxi-1,2-etanodil)hexadecílico

POLIOXIETILEN(23-OE)LAURIL ETER

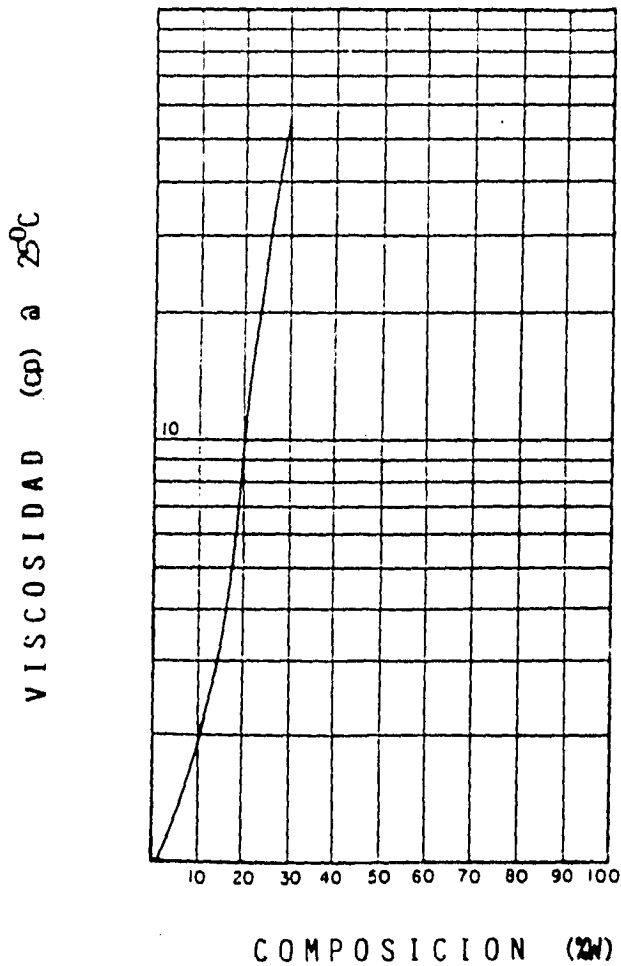
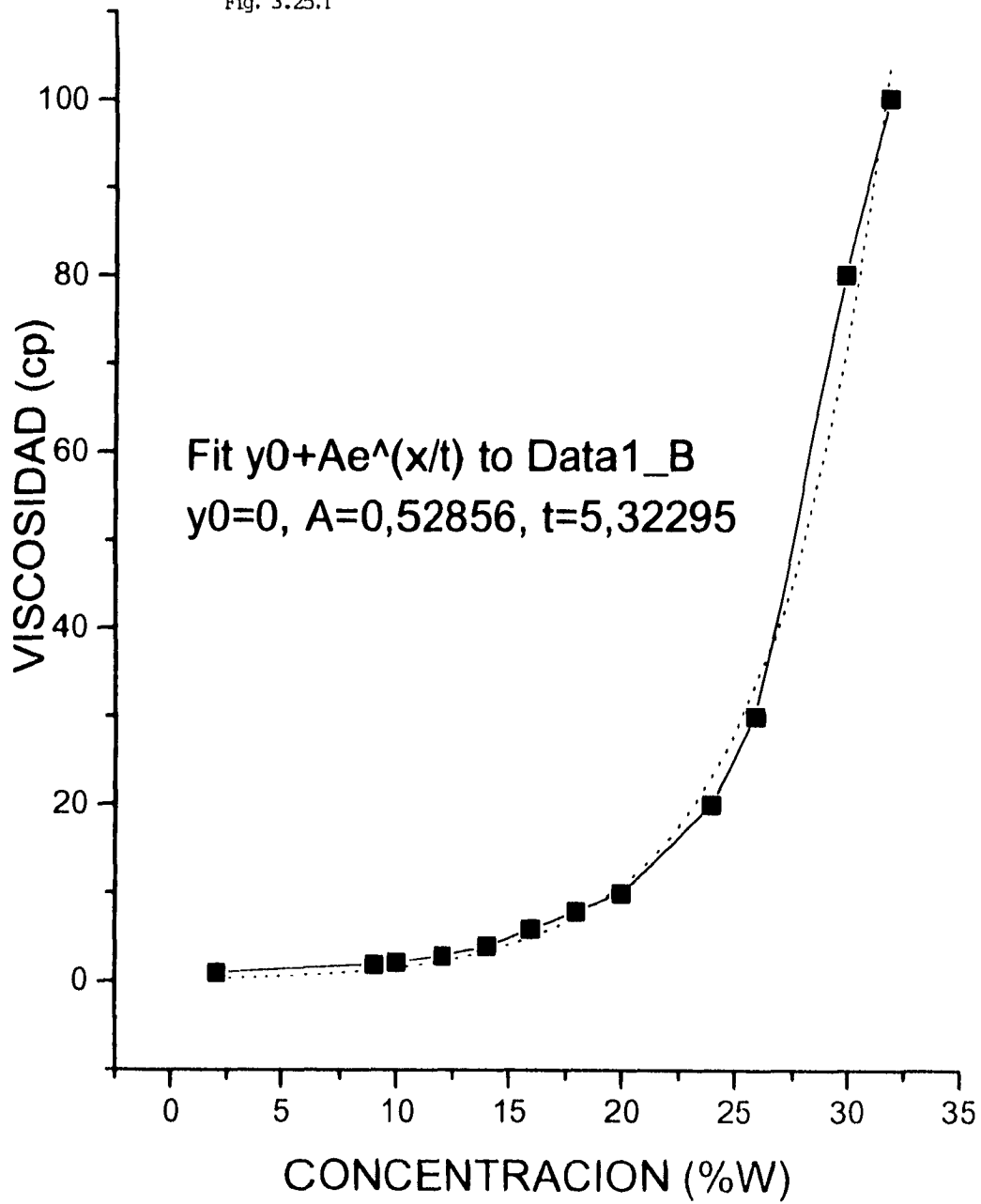


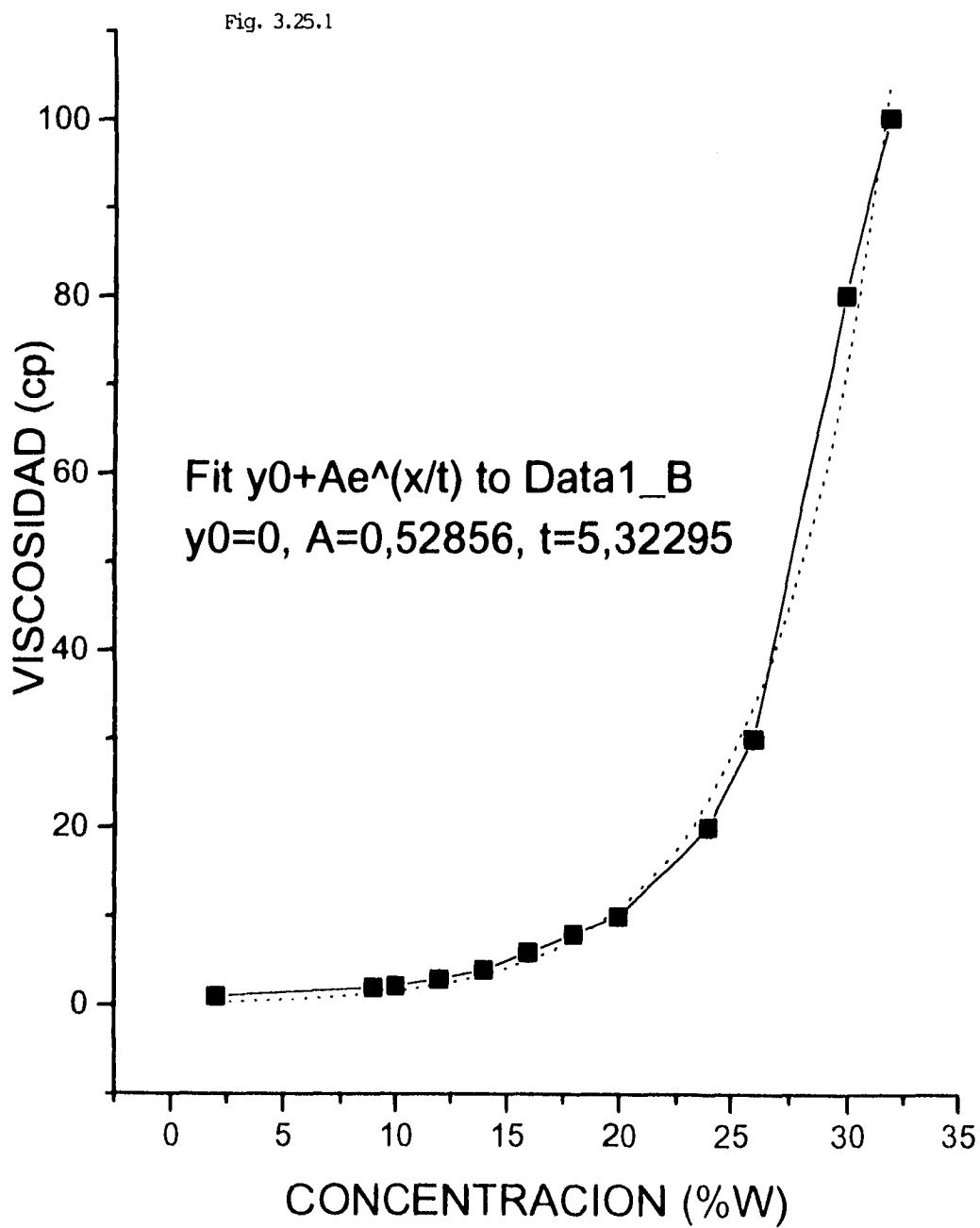
Fig. 3.25

El primer gel que se forma es a 50%W, las soluciones formadas entre 2 y 30%W son líquidos que pueden remover una gran cantidad de mugre. Las soluciones de 30-50%W son semi-geles (soluciones gelatinosas) a 95%W es un sólido y por arriba de esta concentración se forma una pasta blanca.

**POLIOXIETILEN (23-OE) LAURIL ETER**

Fig. 3.25.1



**POLIOXIETILEN (23-OE) LAURIL ETER**

Poli(oxi-1,2,-etanodil)octadecílico

POLIOXIETILEN(20-OE)CETIL ETER

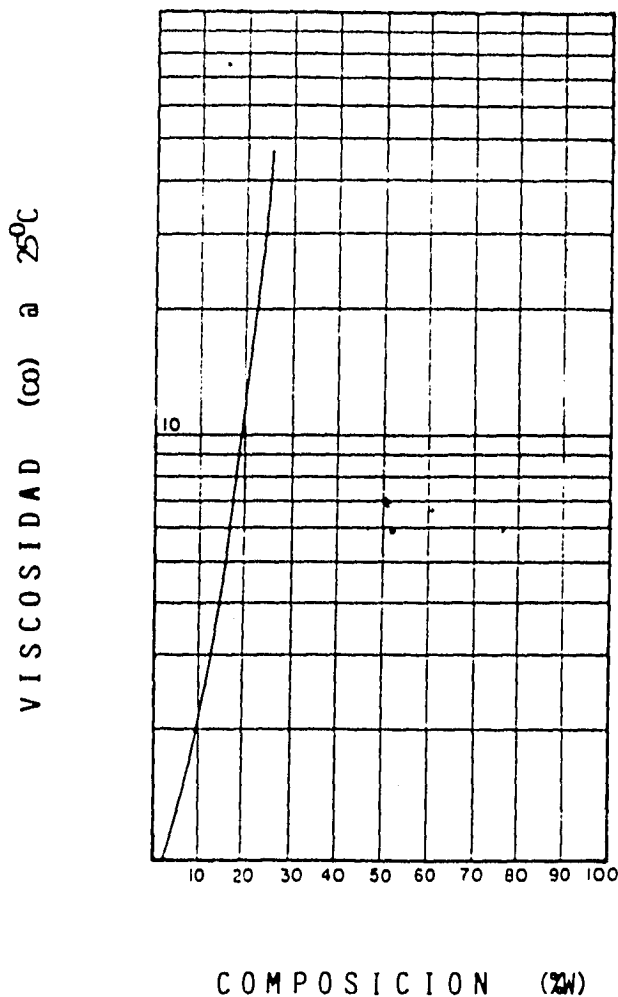
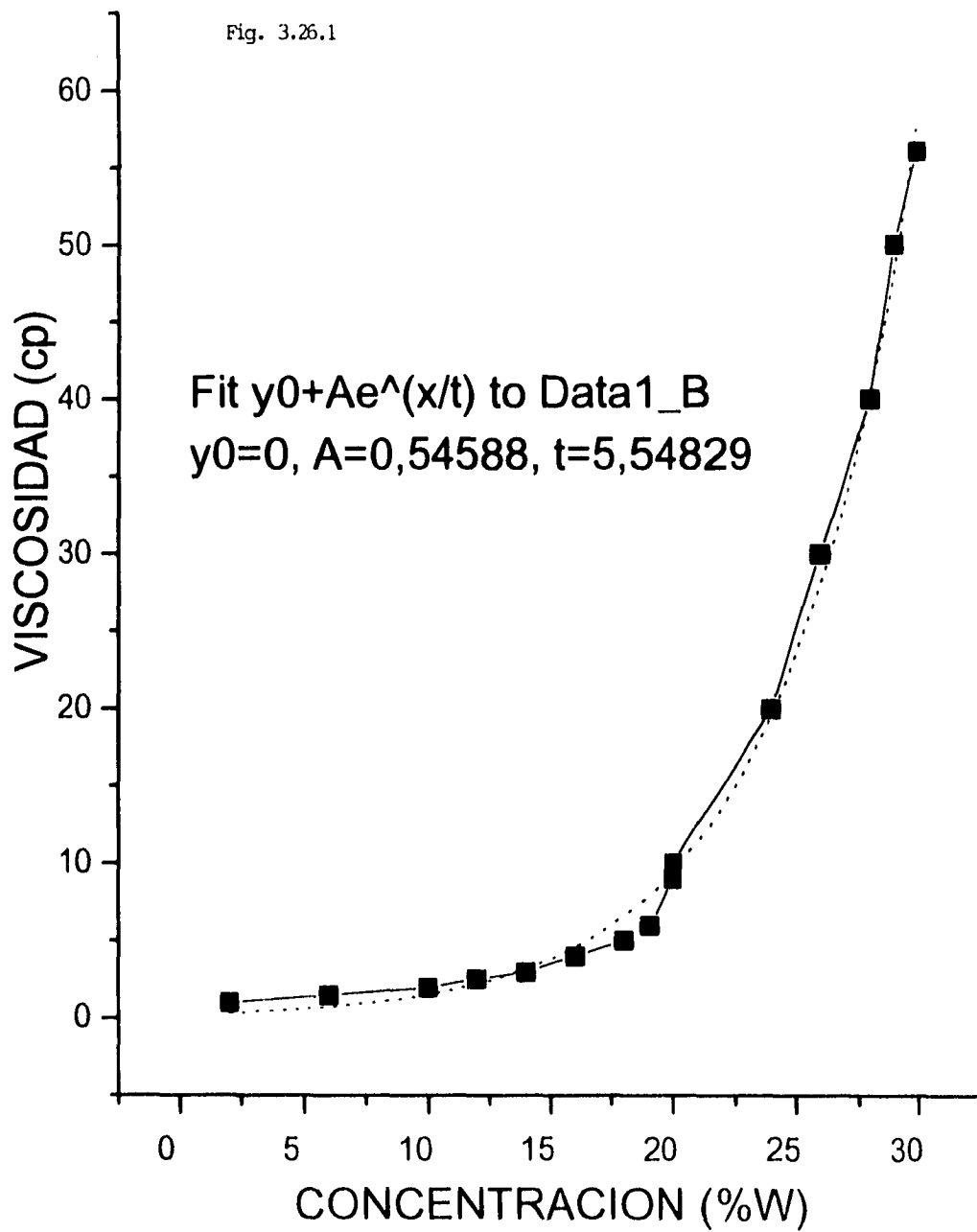


Fig. 3.26  
 Es uno de los tensoactivos más sobresalientes, por su amplia acción limpiante, los primeros geles se forman entre el 45-80%W. A 25%W presenta un máximo de densidad, a 90%W se presenta como una pasta blanca.

Fuente Atlas Chemical Industries, Inc. Cosmetic and Pharmaceutical Bulletin. L.D-106



## POLIOXIETILEN (20-OE)CETIL ETER



Poli(oxi-1,2-etanodil),9-octadecílico

POLIOXIETILEN(20-OE)ESTEARIL ETER

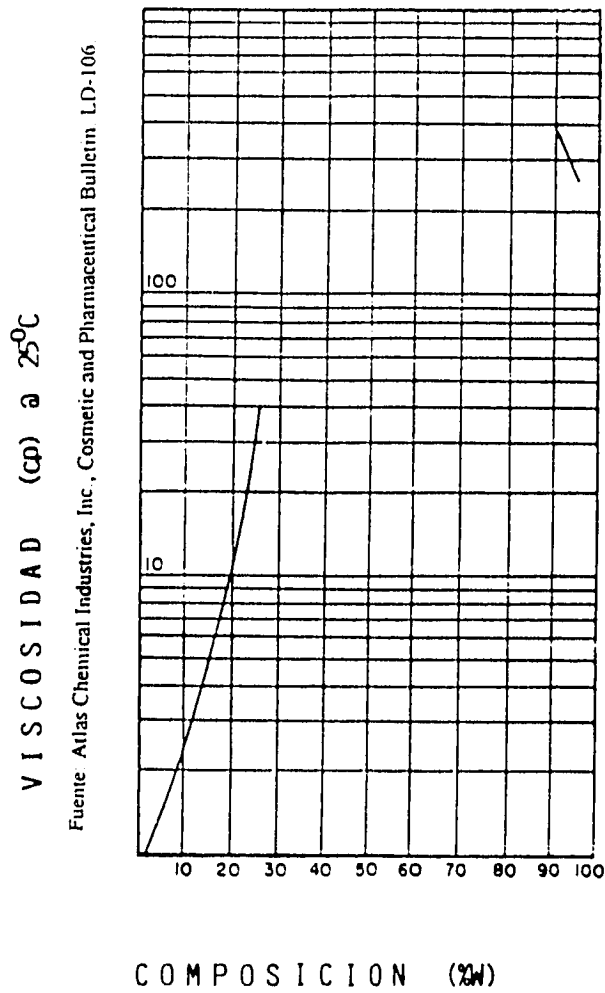


Fig. 3.27

Es uno de los productos más importantes para producir geles, a partir de concentraciones bajas de tensoactivo; a concentraciones menores de 30%W- y mayores de 80%W se producen geles. Entre 40-70%W las soluciones son sólidas. Todos los geles formados sirven para limpiar. Las soluciones formadas entre el 20 y 25%W son las que mejor logran remover la mugre, a 95 %W es una pasta blanca.

Poli(oxi-1,2-etanodil),9-octadecílico

POLIOXIETILEN(20-OE)ESTEARIL ETER

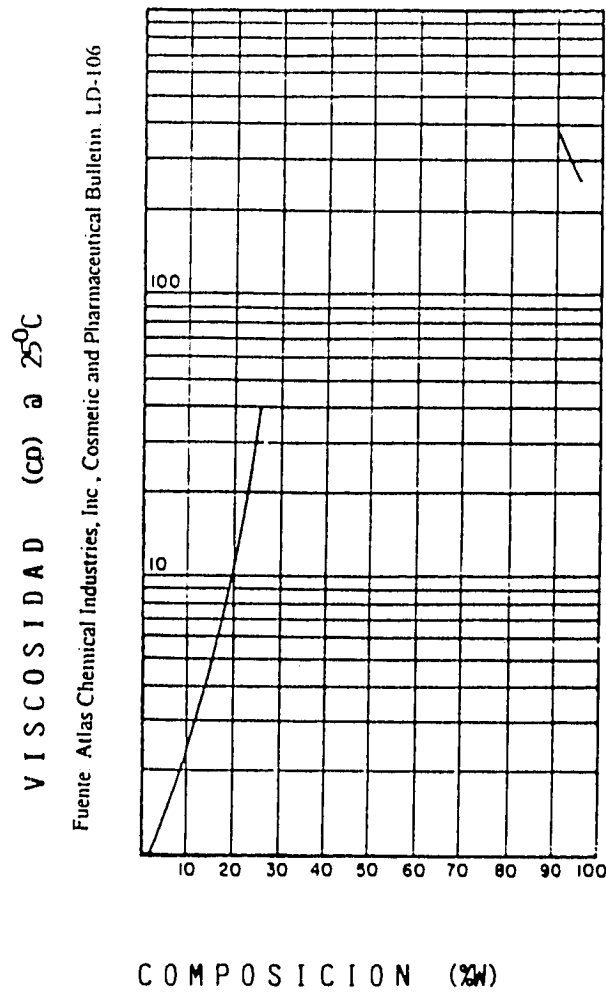
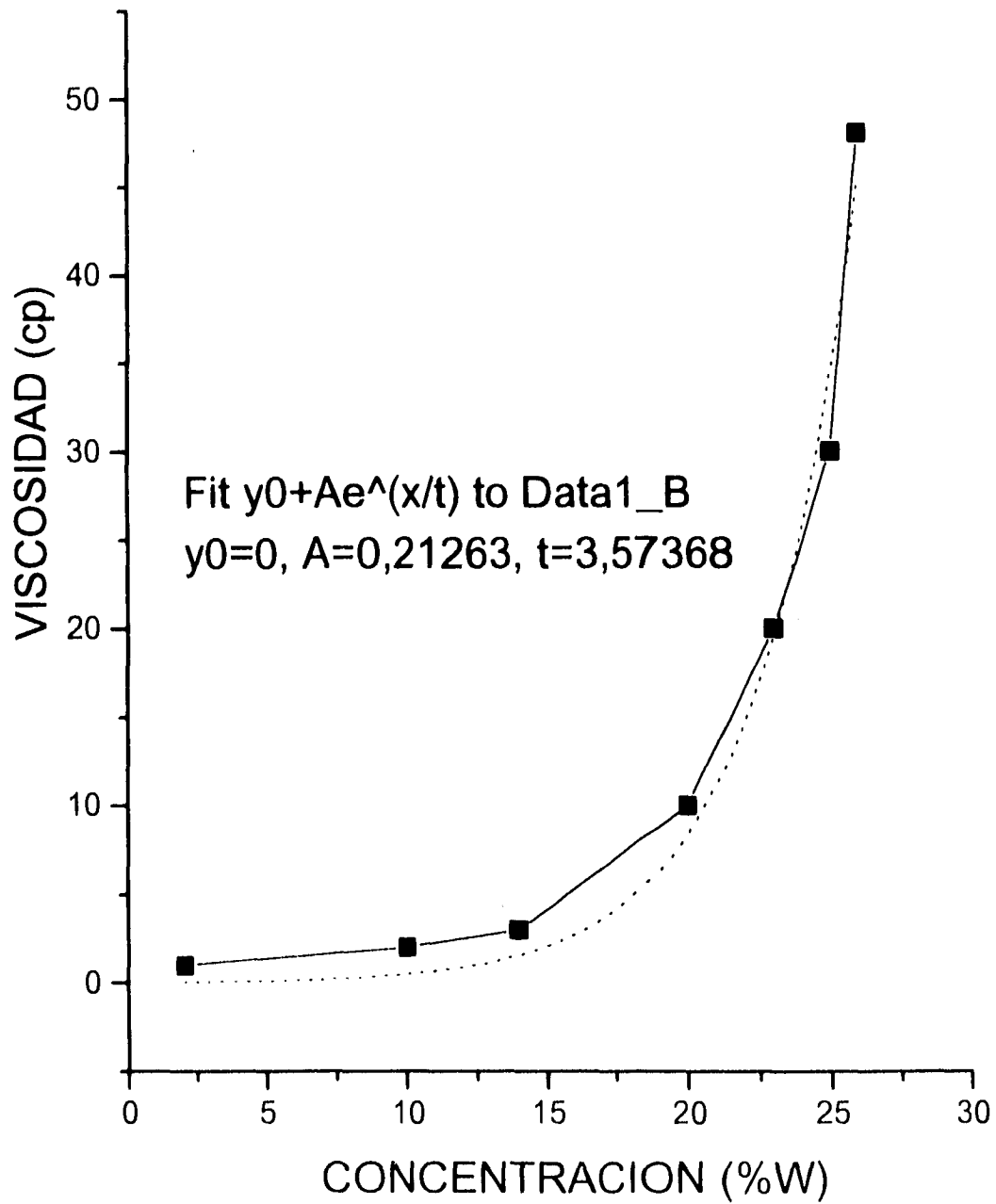


Fig. 3.27

Es uno de los productos más importantes para producir geles, a partir de concentraciones bajas de tensoactivo; a concentraciones menores de 30%W- y mayores de 80%W se producen geles. Entre 40-70%W las soluciones son sólidas. Todos los geles formados sirven para limpiar. Las soluciones formadas entre el 20 y 25%W son las que mejor logran remover la mugre, a 95 %W es una pasta blanca.

**POLIOXIETILEN (20-OE) ESTEARIL ETER**

Fig. 3.27.1



Poli(oxi-1,2-etanodil)xdodeclico

POLIOXIETILEN(20-OE)OLEICO ETER

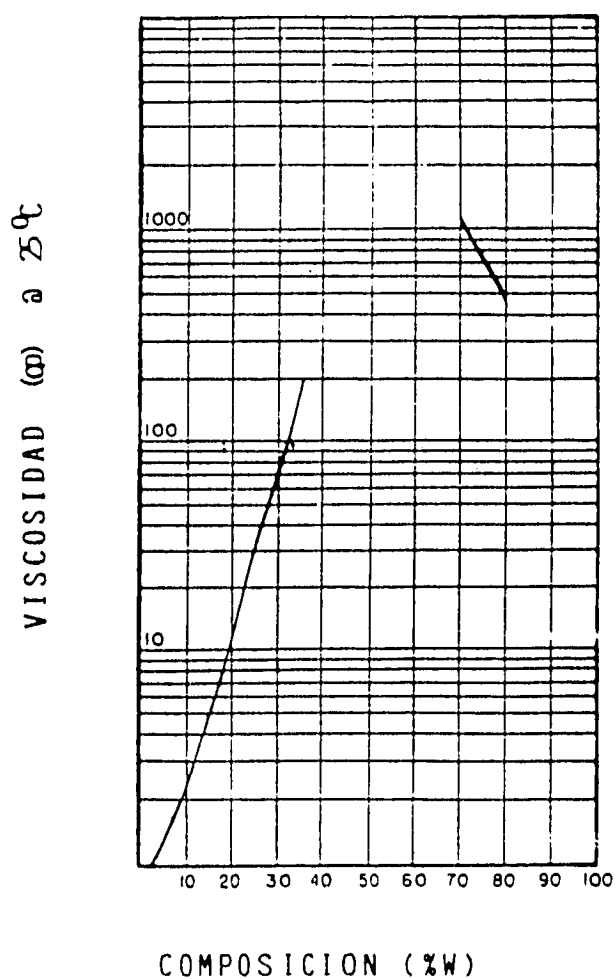
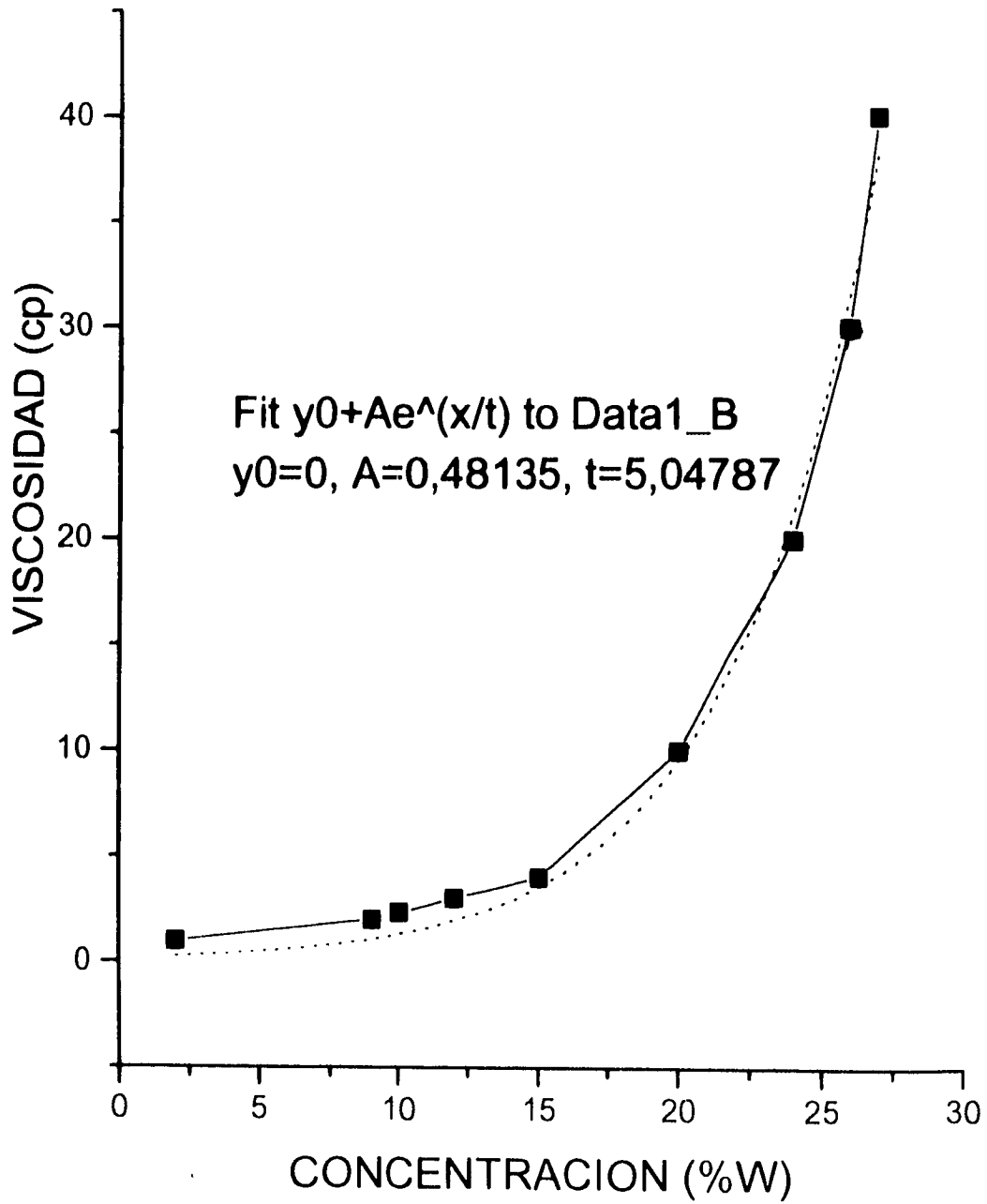


Fig. 3.28

Las características de los geles que forma, son tan buenos como los que provienen del Tween 80. El gel más sobresaliente es el de 60%W, seguido por los que se forman entre 50 y 60%W; entre 30 y 45%W es un fluido, a arriba de 85%W es una pasta blanca.

**POLIOXIETILEN (20-OE) OLEICO ETER**

Fig. 3.28.1



**BIBLIOGRAFIA**

- 1) M.J. Schick, *Nonionic Surfactants*, Cap. 3. Marcel Dekker, Inc. New York (1967)
- 2) R.E. Kirck y D.F. Othmer. *Encyclopedia of Chemical Technology* Vol. 22. pp. 387-389 (1984)
- 3) Gilbert W. Castellan. *Fisicoquímica*. 1a. ed. en español. Fondo Educativo Interamericano S.A. México (1982)
- 4) Norma ASTM, D 2024-65. Parte 30
- 5) Norma ASTM, D 2959-74. Parte 30
- 6) M.J. Shick. *J.Colloid Sci.*, 17,801 (1962)
- 7) R.T. Morrison y R.N. Boyd. *Química Orgánica*. Fondo Educativo Interamericano S.A. México (1992)
- 8) Walter J. Moore. *Fisicoquímica Básica*. 1a ed. Prentice-Hall Hispanoamericana (Mayo 1986)
- 9) J. Kelly y H.L. Greenwald, *J. Phys. Chem.*, 62, 1096 (1958)
- 10) H.G. Nadeu. *Analytical Chem.*, 36, 1914 (1964)
- 11) G.J.T. Triddy. *Physics Reports*. *Susfactants Water liquid crystal phases* (1982)

12) Martin J. Schick. Nonionic Surfactants Physical Chemistry. Vol. 23. pp. 370-371. Vol. 19. pp. 384-385,388-393.

13) A.J. Smith. J. Phys. Chem., 56, 953 (1952).

14) Levine Iran. Fisicoquímica, pp. 233, Edit. Mc Graw-Hill Latinoamericana, S.A. México (1981).

15) Directorio de la Industria Química Mexicana, ANIQ. México 8a. ed. (1986).

16) Maron S. Fundamentos de Fisicoquímica. Ed. Limusa, 9a. reimpresión, 1978.

17) M.J. Schick, J.Chem. Soc., 20,464 (1965).

18) Atlas Chemical Industries, Inc., Cosmetic and Pharmaceutical Bulletin. LD-106, pp. 8-10.

19) Harkins y Jordan. J. Am. Chem. Soc., 52,1751 (1930).

20) The Merck Index

Editado por

Merck and Co., Inc., Rahway, N. Y., 9a. ed., (1976)



- 21) Physical Pharmacy, Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences. Alfred N. Martin, James Swarbrick, 2a. ed. May 1973, Lea & Febiger-Philadelphia. Cahp. 15.
- 22) Physical Chemistry. Iran N. Levine. Mc Graw-Hill Book Company. 1a. ed. Cahp 13.
- 23) Phase Equilibria in Chemical Engineering. Stanley M. Walas. 1a. ed. Butterwort Publishers. Chap. 2.
- 24) Alexew, W. Parkt. Chem., 25, 518 (1882).
- 25) T. Jshiwata. Bull. Chem. Soc. of Japan, 36,129, (1963).
- 26) M. Matsushima and K. Shinoda. Annual Meeting of Chemical Society Japan (1965).
- 27) P. Kinight, E. Wyn-Jones and G.J.T. Tiddy. J. Phys. Chem. 89,3445-49 (1985).
- 28) Surfactants. Th. Tadros, Academic Press, July 1983., Chapter 4, pp. 89.
- 29) Tesis: "Determinación del balance lipofílico-hidrofílico en tensoactivos por espectroscopía infrarroja y resonancia magnética protónica. Autor. Silvia de Jesús Mendoza Arellano; México, D.F., 1990.