

## Selección de los Surfactantes

### Surfactantes iónicos o no iónicos

Se puede obtener una muy buena espuma con surfactantes aniónicos tal como el dodecilsulfonato de sodio o los jabones de ácidos grasos.

Se puede decir de manera general que los aniónicos hidrosolubles con cadena alquil lineales, son mejores espumantes que los surfactantes no iónicos. Esto se le atribuye al hecho que ellos son solubles en el agua y migran rápidamente a la superficie, para formar una capa relativamente coherente (por combinación de las interacciones repulsivas entre las cabezas polares y la cohesión lipofílica entre las cadenas).

Se podría pensar que la presencia de carga y la repulsión entre los grupos polares que se siguen, tienden a alejar las moléculas adsorbidas y por tanto a reducir la adsorción, con respecto al caso de un surfactante no iónico no cargado. De hecho no es el caso en general en el que la larga cadena poliéter de los surfactantes no iónicos formen a menudo una pelota y ocupe más espacio en la interfase que un grupo carboxilado o sulfato.

Por otra parte, los surfactantes iónicos producen una doble carga eléctrica que es susceptible a producir una repulsión electrostática y efectos electrocinéticos. Las interacciones entre las cadenas lipófilas lineales del lado del gas parecen también ser favorables al aumento de la viscosidad superficial.

### Tamaño y estructura de grupos hidrófilos y lipófilos

En lo que concierne al efecto de la estructura de los grupos hidrófilos y lipófilos, se constata que entre más grandes son estos grupos más importantes son las interacciones entre las moléculas adsorbidas sobre sitios vecinos, lo que mejora la cohesión, y es por tanto un factor favorable. Al contrario, entre más grandes son estos grupos, más espacios ocuparán en la interfase, y por tanto menor es la adsorción.

### Compromiso entre el grupo hidrófilo y el grupo lipófilo

En el caso de surfactantes no iónicos, por ejemplo para los alcoholes etoxilados, si el número de grupos óxido de etileno (EON) es muy bajo, el surfactante no es suficientemente soluble en el agua, por tanto, si éste es demasiado grande, el grupo hidrófilo es muy voluminoso y ocupa mucho espacio en la superficie y la adsorción de ésta es penalizada.

Hay por tanto un compromiso a conseguir en cada caso. Por ejemplo la figura 12 indica que con el n-dodecanol etoxilado (cadena lipófila  $C_{12}$ ), se afecta la espumabilidad máxima con 7 grupos óxido de etileno. En

cambio con el n-octadecanol ( $C_{18}$ ) hace falta 14 grupos de óxido de etileno para producir la mejor espumabilidad.

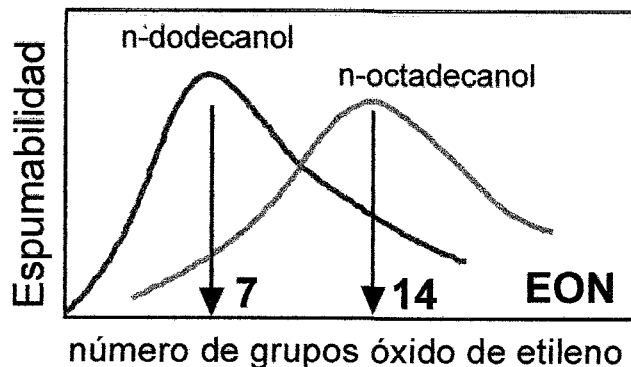


Figura 12 – Espumabilidad comparada con alcoholes etoxilados (a la CMC) en función de la longitud de la cadena lipófila y del grado de etoxilación (EON).

Se aclara que en los dos casos, los surfactantes más espumosos son netamente hidrófilos, bien sea que ellos no posean exactamente la misma hidrofiliidad si se miden éstos por el número HLB.

### Longitud óptima de jabones de ácidos grasos naturales.

Si se toma como ejemplo el caso de los jabones alcalinos (sales de ácidos grasos lineales) que poseen todos el mismo grupo hidrófilo, se constata que el estearato (grupo lipófilo  $C_{18}$  saturado) es demasiado soluble en el agua y por tanto no está disponible en cantidad suficiente cuando la superficie aire-agua se forma. En cambio el grupo laureato ( $C_{12}$  lineal) que dona una excelente espuma, es de gran acción detergente, muy agresivo para la piel.

Se puede mejorar la solubilidad pasando del grupo lipófilo esteárico ( $C_{18}$  saturado) al grupo oleato ( $C_{18}$  insaturado). De todas formas, la doble relación introduce un aumento del espacio requerido por la cadena lipófila en la interfase, lo que reduce la adsorción.

El mejor compromiso práctico (y económico) parece ser una cadena de tipo sebo que comprende típicamente 40% de  $C_{16}$  saturado, 20% de  $C_{18}$  saturado y 40% de  $C_{18}$  mono-insaturado.

### Ramificación del grupo Lipófilo

Se sabe que en los alquilbenceno sulfonatos la posición del grupo hidrófilo (benceno sulfonato) el largo de la cadena alquil lineal afecta considerablemente las propiedades (figura 13).

Entre más cerca se encuentra el grupo hidrófilo del centro de la cadena alquil, más soluble es el tensoactivo en el agua y más elevada es su CMC. Pero, se constata también que entre más cerca del centro de la cadena alquil del grupo hidrófilo, más baja es la tensión superficial y más hidrófobo es el tensoactivo, lo que parece paradójico con respecto a la propiedad anterior.

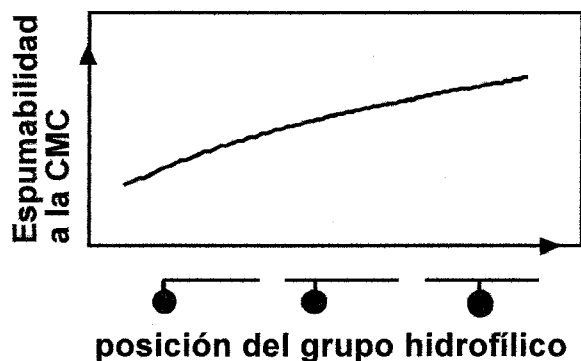


Figura 13 – Espumabilidad (en la CMC) de un alquilbenceno sulfonato en función del isómero.

Se está por tanto en presencia de diversos efectos, manifestaciones opuestas. La disminución de tensión y el aumento de la interacción entre cadenas lipófilas favorecen la espumabilidad, en cambio el aumento de la CMC y la disminución de la cohesión producen el efecto contrario. La experiencia muestra que son las fuerzas cohesivas las que dominan y que el mejor agente espumante es el alquilbenceno sulfonato el más ramificado (que posee dos cadenas idénticas).

Otra manera de alterar la conexión es desplazando los átomos de carbono del grupo alquíl en dos cadenas habidas de puntos de ataduras diferentes sobre el benceno. Si se compara el n-decil para-etil benceno sulfonato, se constata que ésta vez y contrariamente al caso precedente, es el surfactante menos ramificado (n-dodecilbenceno sulfonato) el que es mejor espumante.

Parece que la razón por la cual el n-decil p-etil benceno sulfonato ocupa un área superficial netamente más grande que su isómero monoalquíl, se debe a que el grupo benceno provoca una orientación diferente respecto a la interfase.

Esto muestra que a menudo es difícil predecir con seguridad la salida de tales competiciones.

#### Tipo y dimensión del contra-ión.

El tipo de contra-ión de los surfactantes iónicos tiene también su importancia. Por ejemplo, se sabe que desde hace mucho tiempo los jabones de potasio producen más espuma que los jabones de sodio y con más razón los de amonio. Parece ser que esto está ligado a la solubilidad en el agua, la cual aumenta con la alcalinidad del catión.

Se comprueba también que la espumabilidad está ligada a la dimensión del contra-ión. Por ejemplo, el dodecil sulfato de amonio es un mejor espumante que el dodecil sulfato de tetrabutíl amonio, ya que el catión asociado a éste último ocupa más espacio en la interfase y resulta por tanto en una adsorción y una baja cohesión.

#### Aditivos

Estos productos son empleados para buscar una sinergia de propiedades. Es el caso, en particular, cuando se quiere a la vez obtener mucha espuma y una espuma estable.

#### Superespumantes. Dodecanol con dodecil sulfato.

El caso más conocido y utilizado es aquel de los superespumantes que coexisten a veces naturalmente con el surfactante principal, o son unidos voluntariamente.

Por ejemplo, el n-dodecil alcohol que es una impureza del dodecil sulfato de sodio. Se comprueba que una solución al 0,1% de dodecil sulfato muy puro produce una espuma que desaparece al comienzo de una hora, y que la adición del 0,0001% de dodecanol (sea una milésima de la cantidad del surfactante principal) prolonga la persistencia de la espuma mas allá de diez horas.

Se puede explicar éste fenómeno por medio de muchos efectos. Primeramente, el dodecanol es una sustancia mucho menos hidrófila que el dodecil sulfato y por ello más tensoactivo, es decir, que se adsorbe más fácilmente. La proporción de dodecanol en la capa superficial es por tanto ciertamente superior a su proporción en el seno del líquido. Hay por tanto una segregación superficial que hace que haya mucha más impureza en la interfase que en el líquido.

El dodecanol posee la misma cadena alquíl lineal que el dodecil sulfato, lo que produce una excelente cohesión del lado del grupo lipófilo. En cambio, el grupo hidrófilo del dodecanol es un grupo hidroxilo (-OH) que no posee carga y puede entonces colocarse "entre" los grupos sulfatos sin ser empujado. El alternado de grupos sulfatos e hidróxidos permiten por tanto aumentar la adsorción y por ello la cohesión. Esto permite también reducir el valor de la tensión superficial. Algunos autores mencionan que la mejor cohesión resulta en una mayor viscosidad superficial y produce una transferencia gaseosa más difícil a través de las películas. Todos estos efectos convergen para mejorar la espumabilidad y estabilidad de manera muy apreciable.

Se aclarará que se pueden tomar en cuenta estos fenómenos para crear mejores moléculas. Por ejemplo el tensoactivo más utilizado como agente espumante competitivo en los champúes es hoy en día el Lauryl éter sulfato [2], que no es otro que el dodecil sulfato en el que se le ha incorporado dos grupos óxido de etileno para recluir un poco su carácter iónico y aumentar la adsorción.

#### Superespumantes. Ácidos grasos y jabones

Se está en presencia de una situación similar al de los jabones, que son las sales alcalinas de ácidos grasos típicamente en  $C_{16}$ - $C_{18}$ . Estas sales se obtienen al hacer reaccionar un ácido graso y una base, y se ha hecho por tanto un equilibrio entre la sal disociada en concentración [Ac] y el ácido no disociado en concentración [AcH]. En general, la constante de disociación en el agua es del orden de  $10^{-6}$ .

$$Ka = 10^{-6} = \frac{[Ac^-] \cdot [H^+]}{[AcH]}$$

Se puede por tanto calcular que a pH 8, se tiene cien veces más jabón que de ácido, es decir esencialmente todo el ácido en la fase acuosa es neutralizada.

Se debe, de todas formas, notar que el ácido no disociado es mucho más hidrófobo que el jabón y que el va por tanto a absorberse de manera preferencial en la interfase como lo realizó el dodecanol en el ejemplo precedente. Se puede por tanto atenderse a que haya mucho más que una centésima de ácido no disociado en la mezcla (jabón + ácido no disociado) adsorbida en la interfase. El ácido, que no encuentra carga, puede desplazarse entre las moléculas de jabón, y como en el caso precedente se puede mejorar la adsorción y la cohesión.

La ecuación de disociación indica que la proporción de ácido libre en la fase acuosa disminuye cuándo el pH aumenta. Como éste ácido libre en fase acuosa está en equilibrio con el ácido libre adsorbido, se espera a que la cantidad de ácido no disociado en la interfase disminuya también cuando el pH aumenta. La experiencia muestra, en efecto, que cuando el pH aumenta, la espumabilidad pasa por un máximo. A pH inferior a éste pH óptimo en materia de espumabilidad, la mezcla jabón + ácido no disociado no es suficientemente hidrófilo (no hay suficiente jabón), y a pH superior no hay suficiente ácido disociado en el interior para mejorar la adsorción.

Se notará que la constante de disociación es esencialmente la misma para todos los ácidos grasos de cadena larga y es de esperarse que el pH óptimo sea independiente del ácido, lo que es el caso para los ácidos puros, así sea que el valor óptimo de la espumabilidad dependa de la cadena del ácido.

En ciertas formulaciones, se agrega una pequeña cantidad de aceite en los jabones, lo que puede parecer paradójico ya que se comprueba frecuentemente que el aceite tiene un efecto antiespumante. En éste caso, la presencia de aceite puede introducir un equilibrio de parte líquido-líquido del ácido no-disociado que entra en competencia con el equilibrio de disociación en fase acuosa. Como consecuencia, la constante de disociación aparente puede ser considerablemente modificada, lo que altera la combinación ácido-jabón en la interfase y por tanto el pH óptimo. En la práctica, un poco de aceite puede disminuir el pH del cual se obtiene la máxima espumabilidad, lo que puede ser ventajoso para obtener un producto menos irritante.

### Superespumantes. Alcanolamina.

Las alcanolamidas de tipo lauryl-myristyl mono-etanol amida, lauryl-myristyl isopropanol amida o mejor aún el lauryl myristyl di-etanol amida (más soluble en agua) ilustrado en la figura 14 son aditivos superespumantes que se le incorporan a los sistemas con surfactantes aniónicos que poseen una cadena alquil similar (C<sub>12</sub>-C<sub>14</sub>).

Como en el caso pasado, éstas moléculas no-iónicas se ubican entre las moléculas cargadas de tensoactivo aniónico, y se obtiene un aumento de la adsorción, así como una buena cohesión del hecho de la similitud de los grupos lipófilos. Esto se traduce también en un aumento de la viscosidad superficial.

Estos aditivos son menos hidrosolubles que el tensoactivo principal y ello reduce por tanto la CMC. Por otra parte, su carácter no-iónico permite trabajar con un agua dura contenida hasta de iones divalentes. Ellos poseen de todas formas un inconveniente mayor, que es su inestabilidad química a pH ácido.

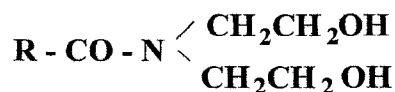


Figura 14 – Superespumante de tipo alquil(en general R=C<sub>12</sub>-C<sub>14</sub>) mono- y di-etanol amida.

### Superespumantes. Oxidos de alquilaminas.

Los óxidos de alquilaminas grasas en C<sub>12</sub>-C<sub>14</sub>, los cuales son también utilizados como superespumantes son estables en medio ácido hasta pH 3. Aunque sean sustancias no iónicas según su fórmula, parece que éstas sustancias actúan de hecho de forma protonada como un surfactante catiónico del tipo alquil dimetil hidroxiamonio (figura 15). Existe de hecho un equilibrio entre la forma no-iónica y la catiónica, pero la forma catiónica se diferencia por combinarse con los tensoactivos aniónicos, y el equilibrio es desplazado, sin embargo a pH elevado.

Cada molécula catiónica se combina con una molécula aniónica para formar un complejo “catiónico” esencialmente no-iónico y que posee dos cadenas alquil, y por tanto mucho menos hidrófila que las sustancias originales. Como consecuencia se produce una fuerte cohesión que favorece la espumabilidad por diversos efectos.

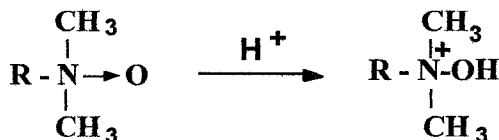


Figura 15 – Superespumante de tipo óxido de alquil (en general R= C<sub>12</sub>-C<sub>14</sub>) amina que se protona para producir un surfactante catiónico.

### Mezclas aniónicas-catiónicas superespumantes

Ciertos productos espumantes comerciales contienen una baja proporción (5-10% del surfactante total) de surfactante catiónico cuaternario de tipo alquil trimetil amonio, combinado con un alquil sulfato de igual cadena, en general C<sub>12</sub>-C<sub>14</sub> para mantener una buena solubilidad en el agua.

La capa de surfactante adsorbido presenta entonces cargas alternadas positivas y negativas que le confiere una excepcional cohesión, ya que las cargas producen una atracción en vez de una repulsión (figura 16). Por otra parte, el carácter parcial no-iónico disminuye la solubilidad y la CMC y aumenta la tensoactividad.

Hace falta saber de todas formas que más allá de las proporciones indicadas se encuentran problemas de precipitación sobre la forma de cristales líquidos.

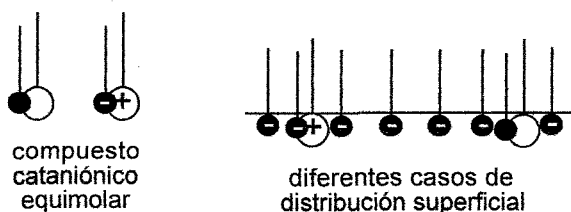


Figura 16 - Compuesto catiónico supuesto y distribución de la adsorción en la superficie gas-agua.

### Surfactantes anfóteros como aditivos o espumantes principales

El comportamiento de las mezclas aniónicas-catiónicas, mencionado en el párrafo anterior pueden obtenerse a menor composición anfotérica.

Los surfactantes anfotéricos son a menudo utilizados como aditivos espumantes en las mezclas. Es el caso de los alquil betainas que poseen un grupo amonio cuaternario, y un grupo ácido carboxílico que es parcialmente disociado sobre la forma aniónica a pH neutro o alcalino, y no es disociado a pH ácido. En consecuencia, estas sustancias se comportan dependiendo del pH como catiónicos o mezclas aniónicas-catiónicas. Ellas producen por tanto un efecto similar al de los cationes, pero éstos tienen la ventaja de ser muy poco irritantes.

Algunos anfóteros se utilizan como agentes espumantes principales como el derivado anfótero no-iónico indicado en la figura 17 donde el grupo hidrófilo es a la vez no-iónico y anfótero. Estos productos son muy dulces y se utilizan en los champúes para bebés.

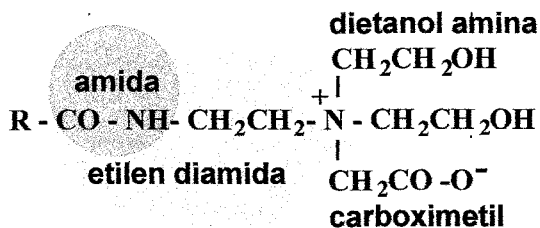


Figura 17 - Tensoactivo anfótero dulce utilizado en los champúes para bebés.

El efecto de los electrolitos es complejo (figura 18). En presencia de agentes espumantes aniónicos convencionales, los grupos hidrófilos de éstas moléculas adsorbidas se repelen y su cohesión no es por tanto lo que se podría desear. Si se agregan electrolitos, se produce un efecto de pantalla que tiende a reducir sus repulsiones y la adsorción tiende a aumentar.

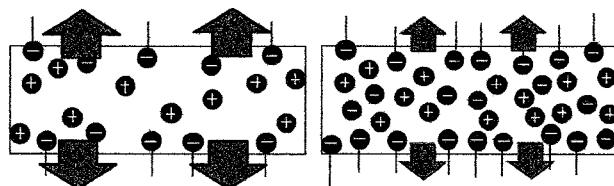


Figura 18 - Efectos del aumento de la concentración de electrolito.

Por otra parte, se sabe que la CMC tiende a disminuir con la adición de electrolitos debido a que hay una menor disociación del surfactante aniónico (en particular si se trata de electrolitos polivalentes).

Desde el punto de vista experimental, se comprueba, que una baja concentración de electrolito tiende a mejorar la espumabilidad. Por ejemplo, se sabe que los alquil sulfatos de corta cadena (C<sub>10</sub>) espuman mejor en el agua dura que en el agua dulce.

Sin embargo, un exceso de electrolitos, con más razón polivalentes, pueden ocasionar efectos contrarios. De un lado, la cohesión puede aumentar a un punto que la viscosidad superficial deviene excesiva debido al hecho que la película de surfactante adsorbido tiende a ser quebradiza en vez de quedarse elástica, lo que reduce la espumabilidad. Por otro lado, el exceso de iones provoca una compresión de la doble capa eléctrica lo que reduce o elimina la repulsión electrostática susceptible a estabilizar las películas delgadas en la tercera etapa (espuma seca).

### Polímeros - efecto viscosificante

Los polímeros solubles en un líquido aumentan su viscosidad y eventualmente les confieren propiedades no newtonianas, lo que reduce todos los fenómenos hidrodinámicos de drenaje de las películas gruesas o finas. Como es muy fácil aumentar la viscosidad con algunas partes por millón de polímeros hidrosolubles de tipo polisacárida u otro, éste método es muy utilizado.

Además, muchas espumas alimenticias utilizan polímeros estabilizantes de este estilo: proteínas diversas como la albúmina o la gelatina, sustancias sintéticas como el carboxil-metil-celulosa, etc. Estos polímeros no producen solamente un efecto viscosificante del líquido de la película; ellos participan a menudo en uno de los mecanismos interfaciales.

**Polímeros - Efecto Tensoactivo**

Algunos polímeros poseen una estructura macromolecular que poseen grupos hidrófilos y lipófilos, de este modo ellos pueden ser considerados como macrotensoactivos a condición de que existe una cierta segregación de los grupos. Es el caso de polímeros tipo "bloque" polióxido de etileno -polióxido de propileno (figura 19). Estos polímeros poseen un segmento lipófilo (polióxido de propileno - 50 a 100 grupos) y un segmento hidrófilo (polióxido de etileno -50 a 100 grupos) a cada extremidad o viceversa.

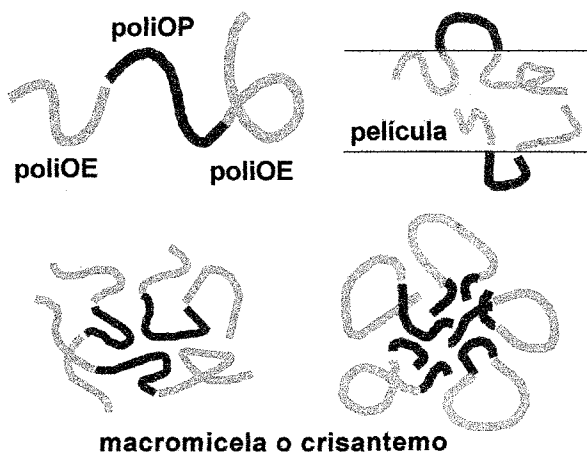


Figura 19 - Polímeros de tipo "bloque" y las estructuras que ellos producen.

Estas macromoléculas pueden adsorberse en la superficie gas-líquido y pueden provocar efectos de repulsión estéricos considerables a distancia suficiente (por ejemplo 500 A) para estabilizar las películas. Por otra parte, éstos polímeros se asocian en solución y producen estructuras micelares que son susceptibles a gelificar el líquido, a veces en asociación con un surfactante, el cual contribuye considerablemente en aumentar la espumabilidad y sobretodo la estabilidad de la espuma. Es el caso de algunas proteínas como la gelatina que se asocia a un tensoactivo para estabilizar la espuma de los marmelos o malvadiscos.

Otras proteínas no son necesariamente tensoactivos, pero ellas pueden "precipitar" en la superficie y tomar una forma casi sólida después de desnaturalizarse. La estabilización es por tanto debida a una barrera sólida situada en la superficie de las burbujas.

Existe otro tipo de polímero, los polímeros de injertos que constan de una cadena de naturaleza lipofílica sobre la cual son injertados grupos hidrófilos. Estos polímeros son susceptibles a adsorberse sobre la superficie y son frecuentemente buenos agentes dispersantes de sólidos, como por ejemplo la lignina, que es uno de los constituyentes de la madera.

Estos polímeros tienden a aumentar considerablemente la viscosidad superficial y a recubrir la

superficie de una capa extremadamente rígida. El efecto protector es por tanto frecuentemente de tipo mecánico y se acerca a la estabilización de espumas por medio de finas partículas sólidas.

**Polímero de asociación - cristales líquidos y microemulsiones.**

La mayor parte de los surfactantes engendran estructuras asociativas de tipo cristal líquido ya que la concentración es suficiente. Algunas forman sistemas laminares o hexagonales a concentraciones relativamente bajas.

Entre más lineales y similares son las moléculas (hay menos dobles enlaces y ramificaciones), más fácil es producir cristales líquidos.

Se puede producir frecuentemente espumas muy estables batiendo soluciones concentradas de jabón palmítico o esteárico. Por otra parte, basta no tomar precaución particular después de haber generado una espuma abundante con una solución al 10-15% de jabón, para corroborar que se conserva la estructura de espuma incluso después de la evaporación (casi) completa del agua libre. Las películas son por tanto compuestas de cristales líquidos de tipo multicapa (figura 20). Es así como se utiliza este tipo de espuma para decorar los árboles de navidad con una "nieve" ligera de mejor aspecto.

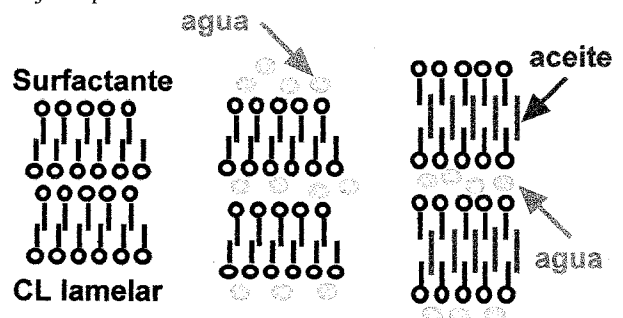


Figura 20 - Cristales líquidos.

En ciertas condiciones (tensoactivos con dos cadenas o asociaciones), se pueden obtener bicapas que pueden empilarse para formar cristales laminares.

Experiencias muy delicadas han demostrado que ciertas películas pueden adelgazarse sin romperse hasta reducirse en dos capas de surfactante prácticamente sin agua entre ellas (Exerowa et Kruglyakov). Esto confirma que la ruptura de una espuma no es un fenómeno ineluctable.

**Efecto de la temperatura.**

La temperatura actúa sobre prácticamente todas las interacciones moleculares y se espera por tanto a que ésta modifique todos los fenómenos y mecanismos enunciados antes. En general un aumento de la temperatura, tiende a reducir la adsorción, lo que es desfavorable para formar y

estabilizar una espuma. Para contrarrestar el efecto de un aumento de temperatura, hará falta compensar la disminución de adsorción por medio de otro efecto que aumente la cohesión entre las moléculas adsorbidas.

Entre los surfactantes aniónicos, los mejores espumantes a 20 °C son aquellos que poseen una cadena alilo en C<sub>12</sub>-C<sub>14</sub>; en cambio a 40 y 90 °C, son aquellos que tienen un grupo lipofílico respectivamente en C<sub>16</sub> y C<sub>18</sub>. Se comprueba por tanto que la pérdida de adsorción es compensada al aumentar la tendencia a adsorberse (producto más hidrófobo) y en mejorar la cohesión gracias a un grupo lipofílico mas largo.

No se puede de todas maneras continuar alargando la longitud de la cadena alquil sin encontrarse con problemas de solubilidad. Hace falta por tanto jugar sobre los efectos que se han discutido anteriormente, como la utilización de un grupo lipofílico ramificado, que tiende a incrementar la cohesión lateral sin penalizar mucho la solubilidad.

La experiencia muestra que un aniónico ramificado en C<sub>20</sub> es mejor espumante a 40°C que el aniónico lineal de la misma familia en C<sub>12</sub> a 20°C.

Esto indica que la ganancia de cohesión lateral, debido al aumento del grupo lipofílico de C<sub>12</sub> a C<sub>20</sub>, domina la reducción de la adsorción provocada por el aumento de temperatura y la ramificación de la cadena alquil, sin ser muy penalizada en lo que concierne la solubilidad.

Con los no-iónicos polietoxilados, el aumento de temperatura reduce rápidamente la hidrofiliidad del surfactante por desolvatación del grupo polieter. Este efecto puede ser favorable al comienzo, ya que él tiende a bajar la CMC y a reflejar un producto más hidrófobo, lo que incrementa la adsorción; de todas formas, la disminución de la solubilidad del surfactante puede provocar el punto de turbidez y jugar un papel antiespumante. Por otra parte, el aumento de la temperatura se acompaña siempre de una reducción de la adsorción, lo cual para los surfactantes no-iónicos, no es bueno ni a temperatura ambiente.

### **Cambios globales de formulación**

Se ha visto a lo largo de las discusiones anteriores que ciertos efectos fueron muy específicos a condiciones particulares o de surfactante considerado, y que otros son más generales, como por ejemplo, el efecto de la temperatura que engendra diversas modificaciones a la vez.

Se puede pensar que es posible cambiar la formulación no modificando la naturaleza de las sustancias seleccionadas, surfactantes y aditivos, sino, modificando el ambiente físico-químico en el cual se les utilice.

No se hará hincapié en el efecto de la temperatura pero se recordará que en numerosos casos, una variación de pH provoca cambios notables de las propiedades de los surfactantes y de los aditivos utilizados. En el caso de los

ácidos grasos y de los desinfectantes de tipo amina, es el que pH el que determina la hidrofiliidad del producto y en consecuencia las propiedades espumantes.

Finalmente se puede aumentar la acción de los surfactantes y aditivos espumantes contrarrestando los diferentes fenómenos y mecanismos que inhiben la formación de espuma o que faciliten su ruptura.

En éste orden de ideas, se puede reducir al máximo la evaporación del agua que acelera considerablemente la ruptura de las películas cerca de la superficie libre, el caso que vence al agregarse una capa superficial de surfactante insoluble, o de sólidos finamente divididos no desencadenan efecto antiespumante. Por otra parte, se evitará la presencia de sustancias tensoactivas en fase gaseosa como los alcoholes o los éteres de bajo peso molecular, ya que éstos reducen considerablemente la elasticidad de Gibbs. Y bien entendido esto, se concentrará en controlar los efectos antiespumantes convencionales ligados a la presencia de partículas hidrófobas o de sustancias susceptibles a extenderse en la superficie gas-líquido.

### **Conclusiones**

No cabe duda que el estado del arte concerniente a las espumas ha avanzado notablemente desde hace una decena de años, pero es también evidente que se está todavía lejos de una ciencia exacta donde todo puede interpretarse y predecirse a deseo.

Después de lo que se ha visto, parece totalmente razonable concluir que una buena comprensión de los fenómenos y mecanismos susceptibles de producirse en la vida de una espuma, es indispensable y determinante para aplicar lo que llamamos ingeniería de la formulación de espumas.

Habiendo visto de que existe un gran número de grados de libertad, los conocimientos establecidos no son siempre suficientes y el formulador debe también realizar pruebas ingeniosas y astutas para combinar los efectos y encontrar la solución óptima a cada problema, y finalizar al corroborar experimentalmente.

Es cierto, en conclusión, que la investigación debe realizar progresos para que la formulación de espumas pase del arte del ingeniero a la ciencia.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen al CDCHT-ULA, de la universidad de los Andes, por el sostén aportado a los trabajadores de investigación del Laboratorio FIRP sobre los Fenómenos interfaciales, en particular sobre las espumas.