

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE QUÍMICA



**INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR
EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
LICENCIADO EN QUÍMICA**

**TITULADO:
SURFACTANTES, QUÍMICA Y APLICACIONES**

**PRESENTADO POR:
HAYDEE ELIZABETH CALIXTO TRUJILLO**

**ASESOR:
DR. ADOLFO LA ROSA TORO**

LIMA-PERÚ

2011

DEDICATORIA

A mi esposo por su colaboración incondicional
y a mi familia por todo el apoyo que me
brindaron en el cuidado de mi hijita “Rosario”.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVOS..... | 2 |
| 1. ANFÍFILOS, SURFACTANTES Y TENSIOACTIVOS | 3 |
| 1.1 ANFÍFILOS | 3 |
| 1.2 SURFACTANTES Y TENSIOACTIVOS | 4 |
| 2. CLASIFICACIÓN DE LOS SURFACTANTES | 5 |
| 2.1 SURFACTANTES ANIÓNICOS | 6 |
| 2.2 SURFACTANTES NO IÓNICOS | 7 |
| 2.3 SURFACTANTES CATIÓNICOS | 10 |
| 2.4 SURFACTANTES ANFÓTEROS | 11 |
| 3. MATERIAS PRIMAS PARA SURFACTANTES | 12 |
| 3.1 ÓXIDO DE ETILENO | 13 |
| 3.2 MATERIA PRIMA NATURAL | 13 |
| 3.3 MATERIA PRIMA PETROLERA | 14 |
| 3.4 MATERIA PRIMA PARA DETERGENTES SINTÉTICOS | 14 |
| 4. SURFACTANTES ANIÓNICOS | 15 |
| 4.1 JABONES | 15 |
| 4.2 SULFONACIÓN Y SULFATACIÓN | 17 |
| 4.3 SULFATOS | 18 |
| 4.4 SULFONATOS | 19 |
| 5. SURFACTANTES NO IÓNICOS | 23 |
| 5.1 ALCOHOLES Y ALQUIL FENOLES ETOXILADOS | 23 |
| 5.2 ESTERES DE ÁCIDOS GRASOS | 26 |
| 6. SURFACTANTES CATIÓNICOS | 28 |
| 6.1 ALQUILAMINAS Y ALQUILAMONIOS LINEALES | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 6.2 OTROS SURFACTANTES CATIÓNICOS | 31 |
| 6.3 SURFACTANTES NITROGENADOS QUE POSEEN OTRO GRUPO HIDROFÍLICO | 33 |
| 7. SURFACTANTES ANFÓTEROS..... | 36 |
| 7.1 AMINOÁCIDOS | 36 |
| 7.2 AMINOÁCIDOS PROPIÓNICOS..... | 36 |
| 7.3 IMIDOÁCIDOS PROPIÓNICOS | 37 |
| 7.4 COMPUESTOS CUATERNIZADOS..... | 37 |
| 8. OTROS SURFACTANTES | 38 |
| 8.1. SURFACTANTES SILICONADOS | 38 |
| 8.2. SURFACTANTES FLUORADOS | 39 |
| 8.3. SURFACTANTES POLIMÉRICOS | 40 |
| 8.4. POLÍMEROS DE ASOCIACIÓN | 42 |
| 9. FENÓMENOS FUNDAMENTALES | 43 |
| 9.1 ADSORCIÓN | 43 |
| 9.2 ASOCIACIÓN | 45 |
| 10. APLICACIONES DE SURFACTANTES EN DIFERENTES SECTORES | 47 |
| 10.1. AGRICULTURA E INDUSTRIA AGROALIMENTARIA | 47 |
| 10.2. PROCESOS INDUSTRIALES | 49 |
| 10.3. LUCHA ANTICONTAMINACIÓN | 57 |
| 11. APLICACIONES EN OTRAS INDUSTRIAS..... | 61 |
| 12. OTRAS APLICACIONES DE SURFACTANTES | 68 |
| CONCLUSIONES | 72 |
| BIBLIOGRAFÍA | 74 |

RESUMEN

Los Surfactantes se clasifican en aniónicos, no iónicos, catiónicos y anfóteros.

Los surfactantes aniónicos son aquellos que en solución acuosa, se disocian en un anión anfifilo y un catión metálico o amonio. En esta categoría entran la mayor producción de surfactantes: jabones, detergentes en polvo y líquido.

Los surfactantes no iónicos no producen iones en solución acuosa y por lo tanto son compatibles con los demás tipos de surfactantes y pueden integrarse en formulaciones complejas. Por otra parte son muchos menos sensibles que los surfactantes iónicos a la presencia de electrolitos, especialmente cationes divalentes.

Los surfactantes no iónicos son en general buenos detergentes humectantes y emulsionantes. Algunos de ellos tienen excelentes propiedades espumantes. Por todas estas propiedades, se encuentran hoy en día en todos los tipos de formulaciones detergentes líquidos o en polvo, y en otras aplicaciones.

Los surfactantes catiónicos en general no son buenos detergentes, y tampoco buenos espumantes con excepción de los óxidos de amina en su forma cuaternizada a pH ácido.

No se usan en formulaciones con surfactantes aniónicos ya que no son compatibles con estos (forman compuestos insolubles). Sin embargo tienen dos propiedades importantes y casi únicas. Primero se absorben sobre sustratos cargados negativamente, y segundo muchos de ellos tienen propiedades bactericidas.

Los surfactantes anfóteros no se usan generalmente como surfactantes únicos en formulaciones detergentes por su alto costo, sino como aditivos dispersantes de jabones de calcio.

La dualidad polar-apolar de las moléculas de surfactantes, les confiere propiedades muy particulares. Para satisfacer su doble afinidad, las moléculas de surfactantes se ubican en la interfase de tal forma que su grupo polar esté bañado en agua y su grupo apolar esté fuera del agua. Esta migración de las moléculas de surfactante en la interfase se llama adsorción. La adsorción puede deberse al grupo hidrófobo, o a otros efectos como la atracción electrostática. La adsorción interfacial de tipo monocapa no es el único tipo de estructura que pueden formar los surfactantes.

También por su propiedad de asociación tienden a formar coloides de agregación llamados micelas. Las micelas son agregados más o menos esféricos que se forman a partir de una cierta concentración, llamada concentración micelar crítica. En las micelas, las "colas" hidrocarbonadas de las moléculas de surfactantes se juntan y así se extraen del agua. El corazón de las micelas es un medio apolar susceptible de disolver sustancias orgánicas insolubles en agua. Las micelas son responsables de la solubilización que se observa durante la detergencia. De particular interés en la industria papelera es la solubilización de los jabones de resinas formados, lo cual evita su redeposición en las fibras. Tanto la propiedad de adsorción y asociación de los surfactantes son las responsables de un gran número de aplicaciones industriales.

INTRODUCCIÓN

Antes del desarrollo de los modernos agentes surfactantes, ya se conocían dos sustancias con esas propiedades: el jabón y los aceites sulfonados. Algunas sustancias naturales tienen acción similar; por ejemplo: las saponinas, de origen vegetal, y la bentonita.

Desde hace más de unos 40 años, la diversidad de aplicaciones atribuidas al uso de los agentes surfactantes ha sido motivo de gran importancia para la investigación en muchas industrias, tales como: alimentaria, farmacéutica, cosmética, petrolera, de detergentes, de pinturas, de pesticidas, etc.

Con la intención de establecer una relación entre los aspectos teóricos de los fenómenos interfaciales (adsorción y asociación) y sus aplicaciones en los diversos sectores. El presente informe pretende hacer una breve revisión de la utilización de los agentes surfactantes en función de sus propiedades.

OBJETIVOS

Realizar una revisión bibliográfica acerca de:

1. Clasificación de los surfactantes de acuerdo a la estructura de su molécula o según la forma de disociación en el agua.
2. Estudio de los fenómenos fundamentales como la adsorción y asociación que proporcionan una serie de aplicaciones de los surfactantes en las diferentes áreas.
3. Diferentes aplicaciones de los surfactantes en los sectores tales como agricultura e industria agroalimentaria, procesos industriales, industria petrolera, industria de pinturas, etc.

1. ANFÍFILOS, SURFACTANTES Y TENSIOACTIVOS

1.1. ANFÍFILOS

Una sustancia anfifila tiene doble afinidad, la cual se define desde el punto de vista fisicoquímico como una doble característica a la vez polar y apolar. Típicamente un anfifilo tiene una molécula que se divide en dos partes. De un lado una parte polar que contiene heteroátomos como O, S, N, P, los cuales aparecen en grupos funcionales como alcohol, tiol, éter, éster, ácido, sulfato, sulfonato, fosfato, amina, amida, etc, y de otra parte un grupo apolar compuesto en general por un grupo hidrocarburo parafínico, cicloparafínico o aromático, el cual puede eventualmente contener halógenos. En ciertos casos particulares la parte apolar puede ser una cadena de silicona o de polióxido de propileno.¹

La parte polar posee afinidad por los solventes polares en particular el agua y se denomina comúnmente la parte hidrófila o hidrofílica. Por el contrario el grupo apolar se llama la parte hidrófoba o hidrofóbica, o bien lipofílica. La figura muestra la estructura de un surfactante muy utilizado en los polvos para lavar: el dodecil benceno sulfonato de sodio.¹



1.2. SURFACTANTES Y TENSIOACTIVOS

Debido a su doble afinidad, una molécula anfifila no se encuentra "cómoda" ni en solvente polar, ni en solvente orgánico. Para satisfacer ambos tipos de afinidades, el grupo polar debe estar solvatado por un solvente polar, mientras que el grupo apolar debe encontrarse en un solvente orgánico, o por lo menos fuera del solvente polar. Tales condiciones ocurren solamente en la frontera de dos fases. Se llamará superficie al límite entre una fase condensada y una fase gaseosa e interfase el límite entre dos fases condensadas.¹

Los ingleses utilizan la palabra "surfactante" (agente activo de superficie) para denotar una sustancia que posee una actividad superficial o interfacial. Es necesario hacer resaltar que todos los anfífilos no poseen tal actividad, para que esto suceda es necesario que la molécula posea propiedades relativamente equilibradas, quiere decir, que no sea ni demasiado hidrófila ni demasiado hidrófoba. La palabra "surfactant" no tiene una traducción exacta en español, lengua en la cual se usa el término genérico de "tensioactivo", que se refiere a una actividad o a una acción sobre la tensión superficial o interfacial, es decir sobre la energía libre de Gibbs. Este término es equivalente a surfactante solo si se supone que la actividad superficial o interfacial se traduce necesariamente por un descenso de la tensión.²

La tensión superficial o interfacial, juega un papel determinante en cuanto a las propiedades, como por ejemplo la existencia y persistencia de emulsiones o de espumas, y tales sustancias se califican de tensioactivas, lo que significa que cambian (reducen) la tensión.¹

En general, el término tensioactivo se refiere a una propiedad de la sustancia. Los anfífilos tiene muchas otras propiedades y se les califica según las aplicaciones: jabones, detergentes, dispersantes, emulsionantes, espumantes, bactericida, inhibidores de corrosión, antiestático, etc. o dentro de las estructuras de tipo: membrana, microemulsión, cristal líquido, liposomas o gel.²

2. CLASIFICACIÓN DE LOS SURFACTANTES

- 1) Por tipo, por su estructura química, por su ionización en el agua, etc.: surfactantes aniónicos, catiónicos, no-iónicos y anfóteros.
- 2) Por sus propiedades particulares o fenómenos involucrados: tensioactivos (disminuyen la tensión), jabones y detergentes (para lavar), humectantes (para cambiar la mojabilidad o el ángulo de contacto), dispersantes, agentes espumantes o antiespumantes, emulsionantes o desemulsionantes, inhibidores de corrosión, agentes antiestáticos, desenredantes, suavizantes, estabilizantes, etc.

Por otro lado, la propiedad del surfactante no depende exclusivamente del surfactante mismo, sino también del ambiente fisicoquímico. Por tanto esta clasificación no es del todo satisfactoria, ya que un agente deshidratante, utilizado para desestabilizar una emulsión, es a menudo un buen agente emulsionante en otro ambiente fisicoquímico. Además, ciertos surfactantes pueden presentar varias de las propiedades mencionadas.

- 3) En función del proceso industrial, del uso doméstico o del fenómeno natural. Esta clasificación también no es satisfactoria, debido a que

muchos procesos o fenómenos naturales (diferentes en naturaleza), se fundamentan en el mismo principio.³

Por tanto, se prefiere, clasificarlos de acuerdo a la estructura de su molécula, o según la forma de disociación en el agua.

2.1. SURFACTANTES ANIÓNICOS

Los surfactantes aniónicos se disocian en un anión anfifilo y un catión, el cual es en general un metal alcalino o un amonio cuaternario.²

A este tipo pertenecen los surfactantes de mayor producción detergentes sintéticos como los alquil benceno sulfonatos, los jabones (sales de sodio de ácidos grasos), los agentes espumantes como el lauril sulfato, los humectantes del tipo sulfosuccinato, los dispersantes del tipo lignosulfonatos, etc.²

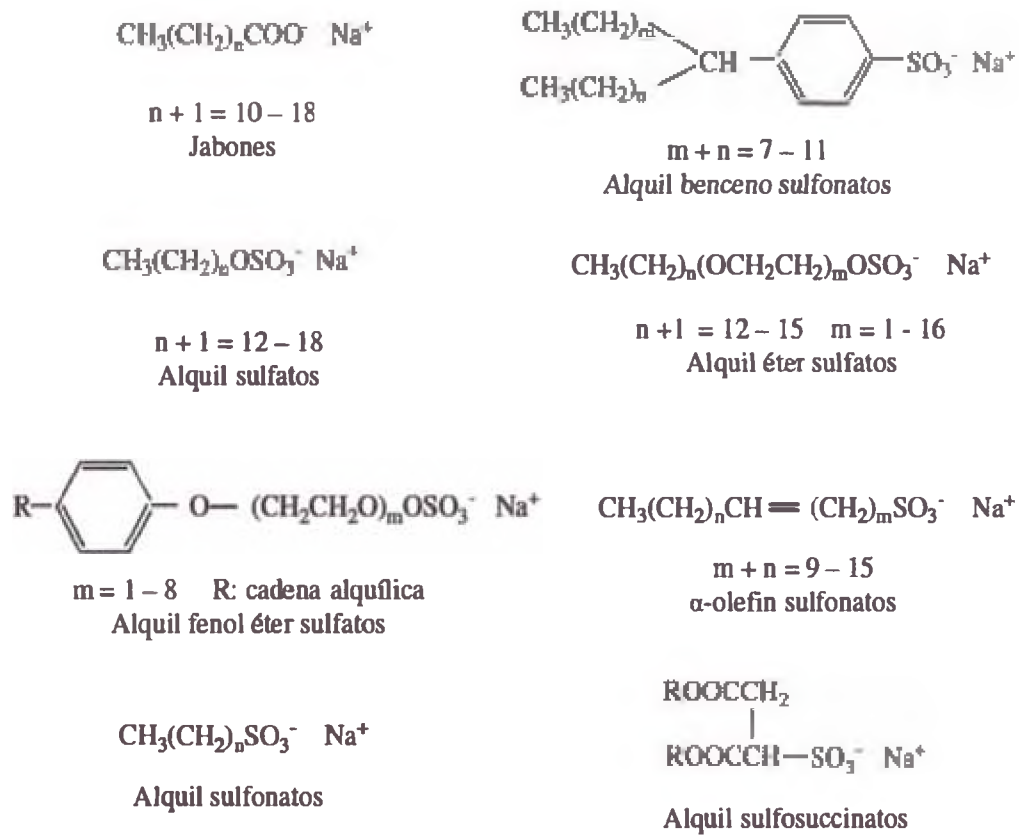


Fig. 2.1. Estructuras de las principales familias de surfactantes aniónicos.⁴

2.2. SURFACTANTES NO IÓNICOS

Los surfactantes no iónicos por orden de importancia industrial vienen justo después de los aniónicos, y hoy en día su producción está aumentando.

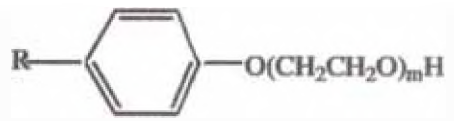
En solución acuosa no se ionizan, ya que su parte hidrofílica está formado por grupos polares no ionizados como: alcohol, tiol, éter o éster. El grupo hidrófobo es generalmente un radical alquilo o alquil benceno y a veces una estructura de origen natural como un ácido graso, sobre todo cuando se requiere una baja toxicidad. Debido a que estos surfactantes no se ionizan se hacen compatibles con cualquier otro tipo; es por esto que son excelentes candidatos para formulaciones complejas en aplicaciones prácticas.²

También estos surfactantes son menos sensibles a los electrolitos, especialmente a los cationes divalentes, que los aniónicos, y por este hecho pueden ser utilizados en presencia de una salinidad alta.⁴

Los surfactante no iónicos son buenos detergentes, humectantes y emulsionantes. Algunos poseen excelentes propiedades espumantes. Algunos presentan un muy bajo nivel de toxicidad y se utilizan en la fabricación de fármacos, cosméticos y alimentos. Ejemplo: ciertos derivados de sorbitol producen surfactantes no tóxicos para uso farmacéutico o alimenticio.¹

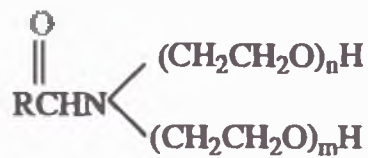


Alcoholes etoxilados

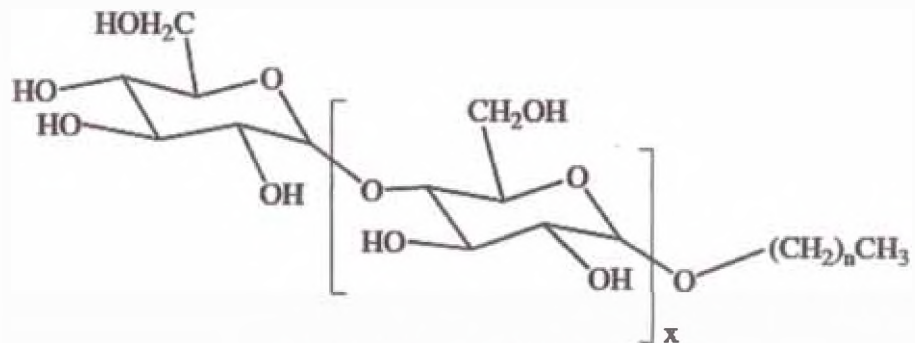


$m = 2 - 100$

Alquil fenol etoxilado



R = cadena alquímica
Alcanolamidas



$n = 8 - 18$ $m = 0 - 3$
Alquilpoliglucósidos

Fig. 2.2. Estructuras de las principales familias de surfactantes no iónicos.⁴

2.3. SURFACTANTES CATIONICOS

Este tipo de surfactantes se ionizan en solución acuosa en un catión orgánico anfifilo y un anión generalmente del tipo halogenuro. La gran mayoría de este tipo, son compuestos nitrogenados como sal de amina grasa o de amonio cuaternario. La fabricación de estos surfactantes es mucho más cara que la de los aniónicos y no iónicos, por esta razón que no se les utilizan salvo en caso de aplicaciones especiales (propiedades bactericidas y facilidad de adsorción sobre sustratos biológicos e inertes que poseen una carga negativa).²

Los surfactantes cationicos no son ni buenos detergentes, ni buenos agentes espumantes y no se pueden utilizar en formulaciones que contienen surfactantes aniónicos. Sin embargo, poseen dos propiedades fundamentales:

Su carga positiva les permite adsorberse muy fácilmente sobre sustratos cargados negativamente como son la mayoría de los sustratos naturales. Esta propiedad los hace agentes antiestáticos y suavizadores para formulaciones de enjuagues de ropa, de pelo y de telas en general. Son también colectores de flotación, agentes de hidrofobación e inhibidores de corrosión. La carga positiva que ellos confieren a la superficie sobre la cual se adsorben los hace también buenos dispersantes de partículas sólidas.²

También se les utiliza como emulsionantes-dispersantes de asfalto, pinturas asfálticas, tintas, pigmentos, pulpa de papel, desechos magnéticos, etc.

Por otro lado, muchos de ellos presentan propiedades bactericidas. Se les utiliza en desinfectantes quirúrgicos, desinfectantes-antisépticos para productos domésticos y en productos para enjuague esterilizante en la industria alimenticia en particular la industria láctea. Se pulverizan soluciones diluidas

(0.5%) de surfactantes catiónicos para esterilizar instrumentos y embalajes farmacéuticos y alimenticios.²

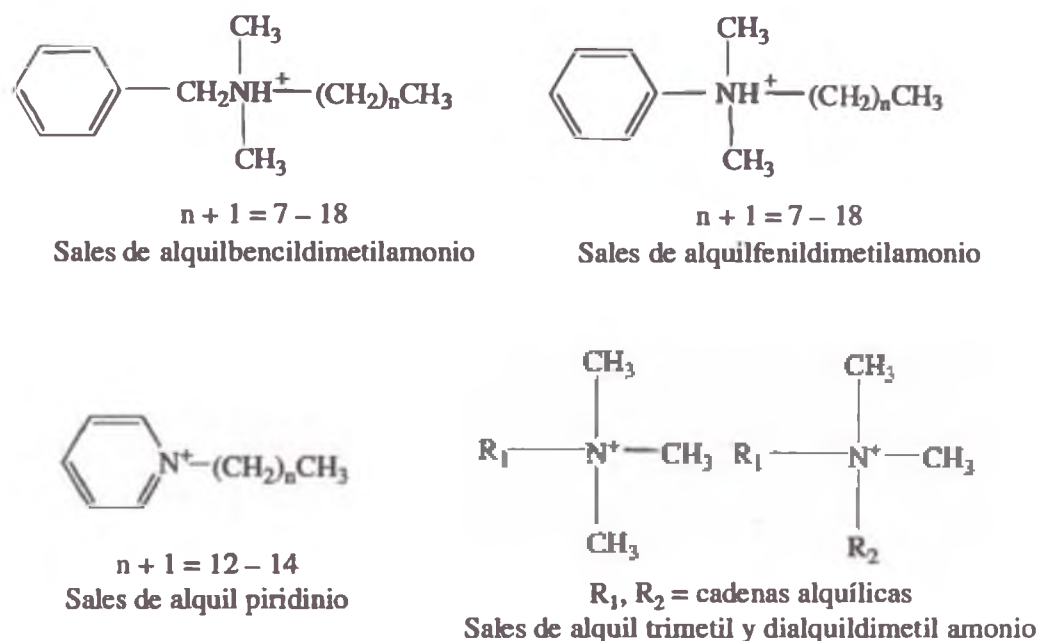


Fig. 2.3. Estructuras de algunas familias de surfactantes catiónicos.⁴

2.4. SURFACTANTES ANFÓTEROS

Los surfactantes llamados anfóteros poseen dos grupos funcionales, uno aniónico, el otro catiónico. En la mayoría de casos es el pH quien determina el carácter dominante favoreciendo una u otra de las posibles disociaciones: aniónico a pH alcalino, catiónico a pH ácido. Ciertos anfóteros son insensibles al pH como los aminoácidos, las betaínas o los fosfolípidos. Los anfóteros son en general tan caros como los catiónicos y por esta razón su utilización se reduce a aplicaciones particulares.²

Recientemente se ha producido surfactantes poliméricos al injertar sobre una macromolécula un cierto número de grupos hidrofílicos, o al producir la policondensación de grupos con ciertas características polares y apolares (óxido de etileno, óxido de propileno).¹

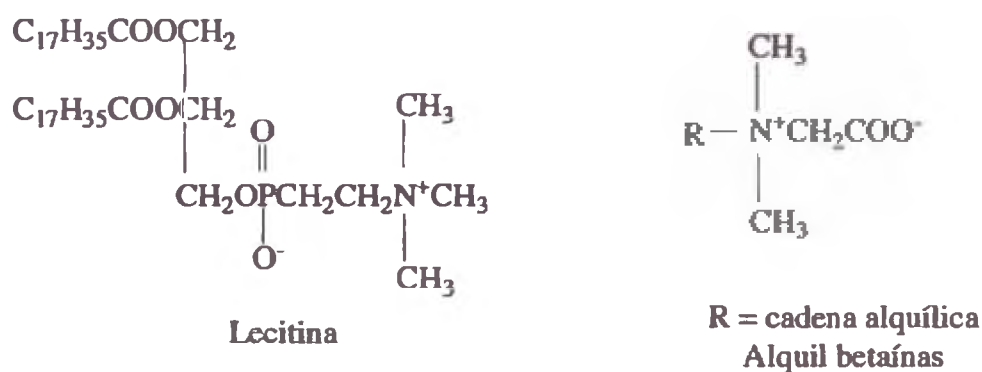


Fig. 2.4. Estructura de los principales tipos de surfactantes anfóteros.⁴

3. MATERIAS PRIMAS PARA SURFACTANTES

Hoy el mercado de surfactantes presenta una gran variedad tanto desde el punto de vista de la estructura química de las moléculas como de su costo. Hasta principios del siglo los surfactantes se fabricaban a partir de una materia prima natural, de origen vegetal o animal. El desarrollo de nuevos tipos de surfactantes y el aumento de la producción ha obligado a utilizar procesos de síntesis a partir de una materia prima de origen petrolera (olefinas cortas, benceno).

Con excepción de la producción de óxido de etileno, la materia prima concierne esencialmente al grupo lipofílico del surfactante el cual puede ser de origen natural biológico o petrolero, o de origen sintético.¹

3.1. ÓXIDO DE ETILENO

Proviene de la oxidación del etileno producido en plantas de vapocráqueo por desintegración térmica de hidrocarburos muy livianos a alta temperatura (700-800°C) en presencia de vapor. En menor cantidad se forma propileno.¹

3.2. MATERIA PRIMA NATURAL

Los aceites y grasas de origen vegetal o animal tienen la estructura química de un triglicérido, es decir el triéster del glicerol. Los ácidos grasos que se encuentran en estos triésteres tienen en general un número par de átomos de carbono entre 10 y 24, sin o con doble enlaces. Cuando se hidroliza el triglicérido se obtienen los ácidos carboxílicos, los cuales pueden neutralizarse para producir jabones o utilizarse como base para un grupo lipofílico. Ciertas sustancias naturales como la lecitina son diglicéridos que se encuentran en productos vegetales o animales.¹

Otra fuente de materia prima es la industria de la pulpa de papel. En el proceso al sulfito, la lignina se hidroliza y se sulfona. Los llamados lignosulfonatos y los ácidos que se encuentran en la madera son una fuente importante de surfactantes especiales de alto peso molecular (5.000-10.000).²

Los carbohidratos y la celulosa son también una fuente importante de base para ciertos tipos de surfactantes y de productos utilizados como aditivos tal como la carboximetil celulosa.¹

3.3. MATERIA PRIMA PETROLERA

El petróleo contiene ácidos nafténicos que actúan como surfactantes naturales y son responsables de ciertos fenómenos. Sin embargo no es industrialmente provechoso extraerlos.

La mayor "fuente" natural de materia prima petrolera es un subproducto de la fabricación de aceite lubricantes, específicamente de la extracción de aromáticos con ácido sulfúrico. Por extensión se usan cortes petroleros aromáticos pesados para producir alquil aril sulfonatos.¹

3.4. MATERIA PRIMA PARA DETERGENTES SINTÉTICOS

El mayor consumo de surfactantes corresponde a la categoría de los detergentes en polvo, de estructura química típica dodecil benceno sulfonato de sodio y semejantes.

El benceno proviene de la reformación catalítica y de las plantas de BTX, mientras que el alquilato puede producirse de varias formas, bien sea por polimerización de etileno o de propileno, bien sea a partir de un corte de refinación adecuado. Es preciso destacar que el tipo y el método de fabricación del alquilato influyen considerablemente las reacciones de

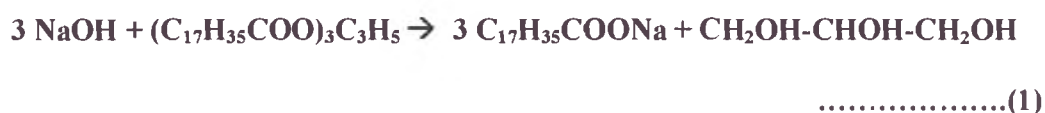
biodegradación del surfactante obtenido. En general se puede decir que más ramificado el alquilato, menos biodegradable el detergente.¹

4. SURFACTANTES ANIÓNICOS

4.1. JABONES

Se llaman "jabones" a las sales de sodio o de potasio de ácidos grasos. Por extensión, el ácido puede ser cualquier ácido carboxílico y el metal alcalino puede ser reemplazado por un catión orgánico o mineral cualquiera.

Los jabones se obtienen por saponificación de los triglicéridos de origen animal o vegetal. Por ejemplo, con un triglicérido del ácido estearico, se obtienen tres moles de estearato y un mol de glicerol.²



Actualmente la fabricación de jabones se realiza en dos etapas: primero se hidroliza el triglicérido bajo presión (240°C, 40 atm.) en presencia de un catalizador de óxido de zinc. Después de la hidrólisis se separan los ácidos (fase orgánica) del glicerol (fase acuosa).

Luego, los ácidos se tratan por destilación al vacío para eliminar los ácidos de cadena demasiado corta ó demasiado larga, y guardar el corte apropiado (C10-C20) y separarlos en los diferentes componentes. Los ácido en C12 y C14 (proviene del aceite de coco y de la almendra de palmas) son buenos agentes espumantes incluso en el agua de mar pero son un poco irritantes para la piel y

son en general más buscados que los ácidos C16-C18 (se consiguen de todos los aceites y grasas). Después de la separación de los ácidos se procede a la neutralización con el álcali deseado.²

Los jabones en C16-C18 no irritan la piel, pero no se disuelven fácilmente; producen precipitados blancuzcos de jabones de calcio si el agua es relativamente dura. Se agrega ciertas proporciones de jabones C12-C14 para aumentar el poder espumante y la tolerancia a los cationes divalentes (calcio y magnesio). Jabones transparentes se obtienen saponificando aceite de ricino, el cual contiene 80% de ácido ricinoléico (12-hidroxi-oléico). Jabones de textura suave al tacto se consigue cuando se deja una parte del glicerol producido en la saponificación.⁵

Los jabones son los surfactantes más antiguos y conocidos. Suelen distinguirse las siguientes familias: alquil benceno sulfonatos, alquil sulfatos, alquil o lauril éter sulfatos, alquil fenol éter sulfatos, alfa olefinas sulfonatos, alquil sulfonatos, alfa sulfonatos de ácidos grasos, mono- y di-alquil sulfosuccinatos y sulfonatos derivados del petróleo.⁴

4.2. SULFONACIÓN Y SULFATACIÓN

4.2.1. MECANISMOS DE SULFONACIÓN

La sustitución electrofílica en un núcleo aromático es el mecanismo más sencillo: se produce de forma transitoria un complejo sigma que se rearregla eliminando un protón obteniéndose el ácido alquil benceno sulfónico:



Donde Ar-H representa el núcleo aromático, y X el grupo electrofílico, SO_3 , $\text{H}_2\text{SO}_4\text{H}^+$, etc.

Existen otros mecanismos como la adición a un doble enlace (olefina, ácido insaturado) ó la sustitución nucleofílica $\text{S}_{\text{N}}2$ en posición alfa de un grupo carboxilo.⁵

4.2.2. MECANISMOS DE SULFATACIÓN

La sulfatación se produce por la esterificación de un alcohol por el ácido sulfúrico ó el anhídrido sulfúrico.²



4.3. SULFATOS

Los alquil sulfatos son los surfactantes de uso más antiguo después de los jabones. Los surfactantes sulfatados son excelentes agentes espumantes, humectantes y detergentes y actualmente forman parte de muchos productos de uso doméstico e industrial.²

4.3.1. ALQUIL SULFATOS

Estos son los productos más corrientes, particularmente el dodecil (o lauril) sulfato de sodio o de etanol amina que es el agente espumante empleado en los shampoos, la pasta dental y en ciertos detergentes. Su preparación se realiza neutralizando el ácido alcohol éster sulfúrico con un álcali apropiado.²



4.3.2. ALQUIL ÉTER SULFATOS

La sulfatación se efectúa después de la condensación de varias (2-4) moléculas de óxido de etileno sobre el alcohol. Obteniéndose un surfactante donde la parte hidrofílica contiene un grupo aniónico y un grupo no iónico, llamado alquil éter sulfato; por ejemplo: $\text{R}-(\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_3-\text{O}-\text{SO}_3\text{Na}^+$

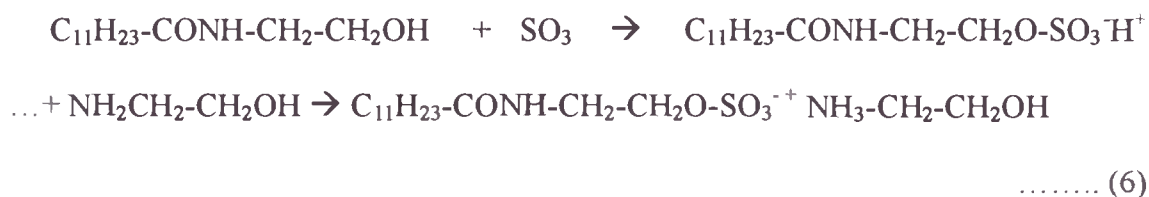
Por su carácter parcialmente no iónico, ellos toleran bien los cationes divalentes (calcio, magnesio) y se emplean en combinación con jabones

como agentes dispersantes de jabones de calcio. Además, son excelentes agentes espumantes, humectantes y detergentes, incluso en el agua dura; son empleados en los jabones en barra y en los productos cosméticos.⁵

4.3.3. ALCANOLAMIDAS SULFATADAS

Se sulfatan las alconamidas en particular las en C12-C14 provenientes del aceite de coco y llamadas a menudo cocoamidas.

El ácido dodecil etanol amido sulfúrico se neutraliza con la monoetanol amina, produciéndose un agente estabilizador de espumas.



Estos tienen un grupo hidrofílico voluminoso y son muy poco irritantes de la piel. Se utilizan como dispersantes de jabones de calcio y como estabilizantes de espumas en los jabones en barra y los shampoos.⁵

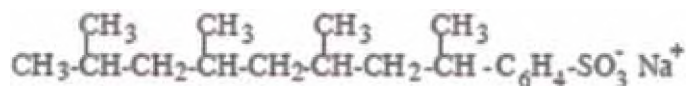
4.4. SULFONATOS

4.4.1. DODECILBENCENO SULFONATO - DETERGENTES

SINTÉTICOS

Los sulfonatos de alquil benceno (ABS) se fabricaban primero alquilando un núcleo bencénico mediante una reacción de Friedel-Crafts, con una

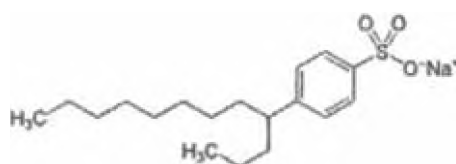
alfa olefina, después se sulfona y se neutraliza con una solución de sosa cáustica. La figura muestra al sulfonato de alquil benceno.



El producto comercial obtenido, contenía un alquilato del orden de C12 proveniente de orígenes diversos, en particular el tetrámero de propileno. Como las olefinas provenían del craqueo catalítico de los gasóleos, eran también ramificadas. Al final de los años 40, los detergentes sintéticos basados en el ABS desplazaron a los jabones para el lavado doméstico de la ropa, porque poseían mejores propiedades detergentes, soportaban mejor el agua dura y eran más baratos que los jabones que se utilizaban en aquel momento.²

Pero surgió el inconveniente surgió de que las aguas usadas que contenían los ABS formaban espumas persistentes sobre las aguas de los ríos con altos efectos ecológicos. Luego, se supo que los ABS no son fácilmente biodegradables debido a su estructura ramificada de la cadena alquil; es por esto que a mediados de 1965 la mayoría de los países industrializados aprobaron leyes destinadas a obligar a los fabricantes de surfactantes a "linealizar" sus alquil benceno sulfonatos. El problema de los industriales no era de carácter tecnológico, pero sí de costo, ya que los alquilatos lineales provienen de cortes preparados por métodos especiales o deben ser sintetizados a partir de una materia prima más cara, como el etileno.

Los alquil benceno sulfonatos lineales ó LAS se utilizan todavía. Su cadena alquil presenta entre C10 y C16, está unida al anillo bencénico, no necesariamente en el primer carbono de la cadena. La figura muestra un alquil benceno sulfonato lineal: 4-bencil dodecano sulfonato de sodio lineal.⁵



Los LAS son tan buenos surfactantes como los ABS, pero su poder espumante y sus propiedades emulsionantes no son tan buenas. Los LAS de sodio son solubles en el agua hasta C16, pero el máximo poder detergente se obtiene para C12-C13. Los LAS en C9-C12 se utilizan como agentes humectantes, mientras que los C15-C18 se usan como surfactantes y emulsionantes. Los detergentes de uso doméstico contienen a menudo un LAS como surfactante principal.

Otras aplicaciones de los LAS son: la polimerización en emulsión (poliestireno, polimetacrilato), los concentrados auto emulsionantes de uso agrícola, las espumas sólidas o elastómeras, la dispersión de pigmentos y la emulsión de pinturas polivinílicas, la detergencia industrial, la recuperación del petróleo, la detergencia en medio orgánico, etc.²

4.4.2. SULFONATOS DE ALFA OLEFINAS

La reacción de sulfonación de una alfa olefina produce a la vez compuestos tales como la alfa olefina sulfonada (60-70%), el hidroxi alcano sulfonato (20%) y también un cierto porcentaje de beta olefina sulfonato y de sulfato del hidroxi alcano sulfonato, debido a ello, no han podido desplazar a los LAS.



Los alfa olefinas sulfonatos tienen la propiedad de tolerar el agua dura mejor que las LAS, pero no son tan buenos detergentes, se utilizan como aditivos, particularmente en formulaciones con bajo contenido de fosfatos: C12-C14 en líquidos, C14-C18 en polvos.²

4.4.3. LOS LIGNOSULFONATOS

Los lignosulfonatos provienen de la reacción de la lignina de la madera con el licor de bisulfito o de sulfato en los procesos de fabricación de la pulpa de papel.

Los lignosulfonatos se utilizan en grandes cantidades como agentes dispersantes y emulsionantes en los lodos de perforación petroleros. Sus sales de calcio son insolubles en el agua y se utilizan como dispersantes en el medio orgánico. Las sales alcalinas (sodio, amonio, potasio) son

agentes secuestrantes de metales pesados, y aglutinantes de proteínas (alimentos granulados, tratamiento de aguas usadas).⁵

5. SURFACTANTES NO IÓNICOS

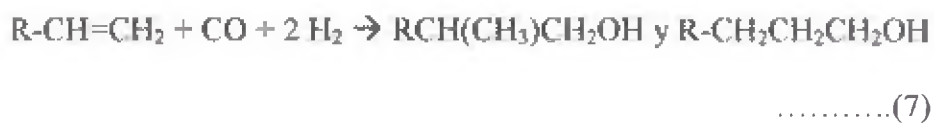
5.1. ALCOHOLES Y ALQUIL FENOLES ETOXILADOS

5.1.1. ALCOHOLES LINEALES ETOXILADOS

Los alcoholes lineales en C12-16 se utilizan para fabricar los éster sulfatos empleados como detergentes o agentes espumantes en los shampoos, las pastas dentífricas y los productos lavaplatos.

Además se les utiliza cada vez más como grupo lipofílico en los surfactantes no iónicos que no contienen benceno, ya que la industria trata de eliminar el núcleo aromático por razones de costo y también porque se ha demostrado que este presenta propiedades cancerígenas.⁶

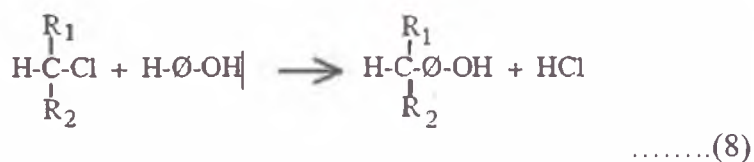
Se pueden fabricar estos alcoholes por hidrogenación moderada de ácidos grasos naturales, pero la producción no es suficiente y además es costosa. Por tanto se recurre a métodos de síntesis orgánica. Existe dos métodos; el primero consiste en oxidar el complejo trialquil aluminio de Ziegler e hidrolizar el éter formado. Este es el proceso ALFOL (alfa olefina alcohol). El segundo método es el proceso OXO, que consiste en una hidroformilación de una olefina. Este método es el más importante desde el punto de vista industrial; en él se produce una mezcla de alcoholes primarios y secundarios.²



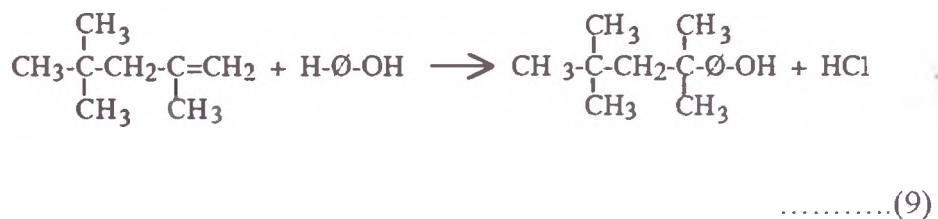
5.1.2. ALQUIL FENOLES ETOXILADOS

Los alquil-fenoles etoxilados se producen por dos métodos, esto va a depender de la materia prima que se tiene.

El primer método consiste en alquilar el fenol con una cloro parafina, si posible lineal, mediante una reacción de Friedel-Crafts de tipo clásico.



El segundo método consiste a sustituir una olefina de tipo trímero o tetramero de propileno o dímero del isobutileno en el núcleo aromático para producir respectivamente los nonil, dodecil y octil fenoles. Estos productos son ramificados y poco biodegradables. El ter octil fenol ha sido durante largo tiempo uno de los más utilizados que se obtiene por una reacción de Friedel-Crafts entre el fenol y el dímero del isobutileno.²



Los productos comerciales corrientes son los octil, nonil y dodecil fenol etoxilados con 4 a 40 grupos óxido de etileno. En los detergentes, se prefieren los octil y nonil fenoles con 8-12 grupos óxido de etileno.

Con 5 grupos óxidos de etileno, se obtienen agentes antiespumantes y detergentes o dispersantes liposolubles. Si se colocan entre 12 y 20 grupos óxido de etileno se obtiene agentes humectantes y emulsionantes. Por encima de 20 grupos se tienen detergentes que soportan altas temperaturas y alta salinidad.

La mayor proporción de los alquil fenoles etoxilados producidos va a los detergentes líquidos de uso doméstico e industrial. Ellos son particularmente apreciados en las formulaciones con ambiente fuertemente electrolítico, ácidos para limpieza de metales, detergentes para la industria láctea, emulsiones agrícolas, polimerización de estireno, etc.²

5.1.3. TIOLES ETOXILADOS

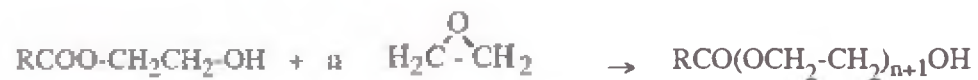
Son excelentes detergentes y agentes humectantes, que no se utilizan en uso doméstico a causa de eventuales olores a mercaptanos que podrían subsistir o producirse.

El ter dodecil mercaptano con 8-10 grupos óxido de etileno posee una buena solubilidad a la vez en el agua y en solventes orgánicos y es un excelente detergente industrial. Se le emplea en el lavado de la lana bruta, las emulsiones agrícolas de insecticidas donde el poder humectante facilita la aplicación, etc.⁶

5.2. ÉSTERES DE ÁCIDOS GRASOS

5.2.1. ÁCIDOS GRASOS ETOXILADOS

La condensación de óxido de etileno sobre un ácido carboxílico se produce de la misma manera que con los alquil fenoles. Se obtienen polietoxi ésteres, idénticos a aquellos que se producirían por esterificación del ácido con un polietilén- glicol.



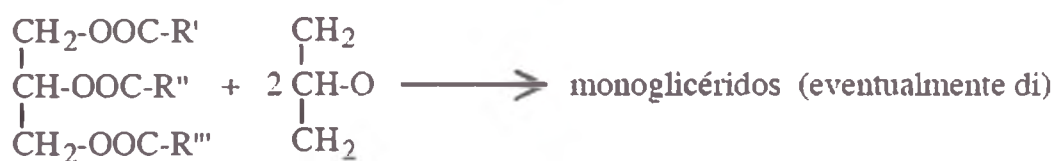
.....(10, 11, 12)

Los polietoxiéster de ácidos grasos y los otros ácidos carboxílicos naturales (abiético) son los surfactantes no iónicos de menor precio, estos no son muy buenos detergentes y no producen mucha espuma.

Se les usa en mezclas para lavado en máquina (ropa y vajilla) y del hecho de su bajo precio en muchas otras fórmulas a pH no alcalino (que produciría la hidrólisis).⁶

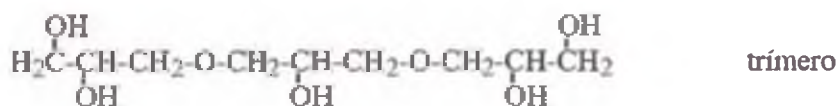
5.2.2. ÉSTERES DE GLICEROL

Se les obtiene por reacción del glicerol y de ácidos grasos (en cantidad limitada), el método industrial más utilizado es la alcoholización de grasas que consiste en hacer reaccionar un triglicérido con glicerol en medio alcalino.



..... (13)

Se puede aumentar la dimensión de una parte hidrofílica utilizando un poliglicerol que se forma por deshidratación del glicerol.



Estos ésteres de glicerol y derivados se emplean mucho en el condicionamiento de productos alimenticios, el pan, las emulsiones y las espumas de productos lácteos (helados, bebidas), las margarinas y las mantequillas, etc. Se les utiliza en los productos farmacéuticos y cosméticos como emulsionantes, dispersantes y agentes solubilizantes.²

6. SURFACTANTES CATIONICOS

6.1. ALQUILAMINAS Y ALQUIL AMONIOS LINEALES

Los surfactantes catiónicos de cadena lineal más utilizados son las aminas grasas, sus sales y sus derivados cuaternarios. De hecho las aminas no son catiónicos, pero si no iónicos. Sin embargo, se les clasifica en la categoría de los catiónicos porque al pH de utilización es ácido, ellas forman sales que son amonios catiónicos.⁷

El ión alquil amonio se produce en medio ácido por reacción de un protón sobre una amina; obteniéndose de esta manera la sal del ácido y de la alquil amina. La alquil amina no es soluble en el agua mientras que la sal si lo es, debido a la solvatación del catión



Amina

Sal de alquil amonio

Las aminas grasas son las aminas derivadas de los ácidos grasos, es decir, aquellas donde el grupo alquilo es lineal y posee un número par de átomos de carbono, por ejemplo el dodecil amina o cocoamina. Otro producto es el formado a partir de un sustituyente alquilo largo y tres sustituyentes cortos, dos metilos y un bencil-metil, a saber, el cloruro de benzalconio.



Cloruro de Benzalconio o de alquil dimetil bencil amonio

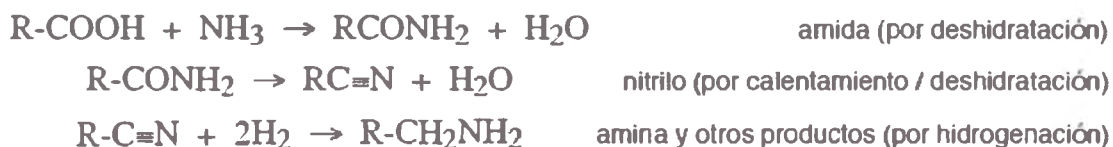
Las sales de amina y alquil amonio se les utiliza por sus propiedades antiestáticos en los productos suavizantes y desenredante para telas y cabellos. También, se usa en la industria textil como retardadores de adsorción de los colorantes con los cuales ellos entran en competencia, de manera de obtener una coloración más uniforme. Por razones similares ellos se utilizan como inhibidores de corrosión, en medio ácido donde están en competencia con los protones.²

Los colectores de flotación de minerales son a menudo sales de amina o de amonio cuaternario. Las aminas grasas son también utilizadas como emulsionantes-dispersantes de emulsiones asfálticas y en pinturas.

Por último, se utilizan los halógenuros de benzalconio y alquil trimetil amonio como agentes antisépticos, desinfectantes, esterilizantes, aditivos en las formulaciones detergentes de tipo no iónico, a las que ellos confieren igualmente un carácter anticorrosivo.⁷

6.1.1. FABRICACIÓN DE AMINAS GRASAS

Se pueden utilizar varios métodos. Uno de ellos utilizado comercialmente tiene por punto de partida un ácido graso al cual se le hace sufrir la transformación: ácido, amida, nitrilo, amina primaria, amina secundaria, amina terciaria ó amonio cuaternario.

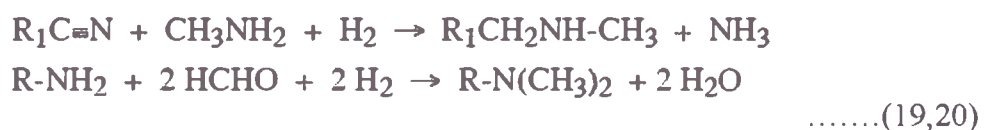


...(15, 16, 17)

La amina primaria se transforma en amina secundaria por eliminación catalítica del amoníaco, pero en este caso las dos cadenas alquilo son iguales.

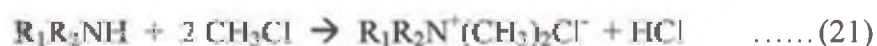


En general, se necesita un solo grupo alquilo largo y se prefiere producir la amina secundaria por metilación para esto existen dos métodos: en el primero se hace reaccionar la metil amina con un nitrilo, en el segundo se produce una metilación reductora con formol.²



6.1.2. FABRICACIÓN DE ALQUIL AMONIO CUATERNARIOS

Se cuaternizan las aminas primarias y secundarias por metilación con cloruro de metilo, eliminando el ácido clorhídrico formado para desplazar la reacción.



Si se desea un ión sulfato, se deberá cuaternizar la amina terciaria con dimetil ó dietil sulfato.



Estos métodos permiten producir metil amonios que poseen dos o tres sustituyentes diferentes, como, por ejemplo los halógenuros de benzalconio.⁷

6.2. OTROS SURFACTANTES CATIONICOS

Las diaminas lineales que poseen dos o tres grupos metileno entre los dos grupos amino, que no son equivalentes, uno de ellos con una base más débil que el otro. Dependiendo del pH uno de los dos grupos amino soportará una carga positiva, obteniéndose surfactantes cationicos con dos cargas a bajo pH, lo que puede ser interesante en la práctica.

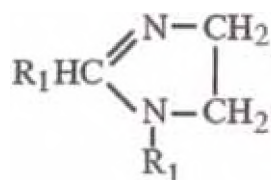
Se les utiliza como agentes emulsionantes-dispersantes en las emulsiones asfálticas y como agentes hidrofobantes en las carreteras no asfaltadas.

Los heterociclos aromáticos saturados que contienen uno o varios átomos de nitrógeno: el cloruro de n-dodecil piridinio, se obtiene por reacción del dodecil. cloruro con el nitrógeno de la piridina.

El cloruro de n-dodecil piridinio y sus compuestos similares derivados del alquitran de hulla (alquil piridina, ácido nicótico), se utilizan como bactericidas y fungicidas.⁷

Al adicionar un segundo grupo hidrofílico (amida, óxido de etileno) se obtienen productos que poseen, por ellos mismos, propiedades bactericidas y detergentes.

Desde hace algún tiempo se utiliza un compuesto cíclico con dos átomos de nitrógeno llamado imidazol que se produce por ciclización de una etilen diamina. Estos productos son excelentes agentes suavizantes y de hecho que ellos no son estrictamente catiónicos, ellos pueden mezclarse a las fórmulas con detergentes aniónicos.

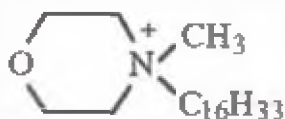


donde: R1 = grupo alquil largo y R2 = grupo alquilo corto, puede contener -CONH₂ etc.

Se puede eventualmente cuaternizar estas sustancias para obtener sales de imidazolinio.

Por último, compuestos derivados de la morfolina, el cual es un ciclo saturado que contiene un átomo de nitrógeno y un átomo de oxígeno. La dialquilación del átomo de nitrógeno produce una sal de N,N dialquil morfolinium. Si la cuaternización se realiza con un dodecil metil sulfato se podrá obtener una sustancia donde los dos iones son surfactantes, por ejemplo el Lauril sulfato de

N,N cetil metil morfolinio. Se les da el nombre de surfactantes equi-iónico a estas sustancias que contienen de forma compatible a la vez un surfactante aniónico y un surfactante catiónico; sin embargo no presentan un interés particular.²



anión N,N-Cetil metil morfolina



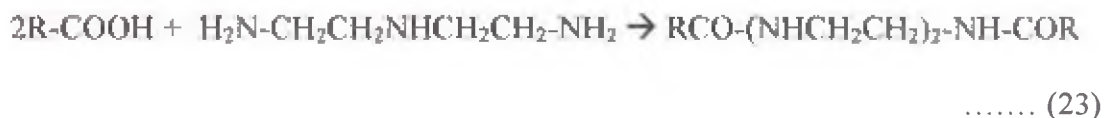
anión dodecil sulfato

6.3. SURFACTANTES NITROGENADOS QUE POSEEN OTRO GRUPO HIDROFÍLICO

El problema de incompatibilidad al utilizar mezclas de surfactantes aniónicos y catiónicos en las fórmulas de la mayoría de los detergentes que contienen alquil bencenos sulfonatos o alquil éster sulfonatos se resuelve utilizando surfactantes que poseen un grupo amino no ionizado y donde la hidrofiliidad se asegura con otro grupo polar.²

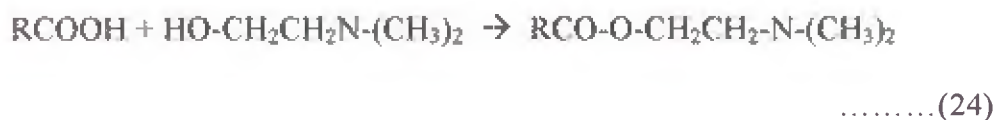
6.3.1. AMIDAS, ÉSTERES y ÉTER AMINAS

Se obtiene una amida haciendo reaccionar un ácido graso con una alquil amina o diamina corta, frecuentemente la etilendiamina o la dietilenti-
triamina. Estas sustancias se utilizan ampliamente en la industria textil como suavizantes.

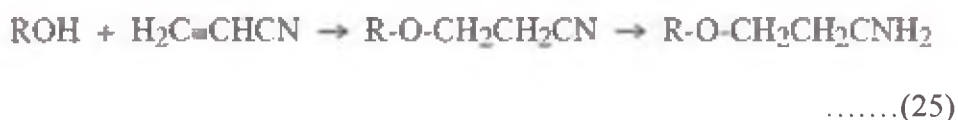


La hidrofiliidad de esta sustancia (di-aquil-amido triamina) se puede modificar por cuaternización o por adición de óxido de etileno dependiendo de la utilización posterior. Se encuentran estos productos en los aditivos bactericidas y antiestáticos para textiles.

Los éster-aminas se obtienen por reacción de un ácido con etanol amina.



Los éteres aminas se obtienen condensando un alcohol en el doble enlace del acrilonitrilo y por hidrogenación posterior del nitrilo.²

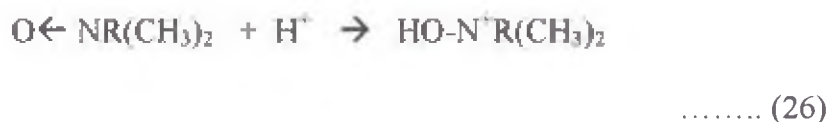


6.3.2. OXI Y ETOXI-AMINAS

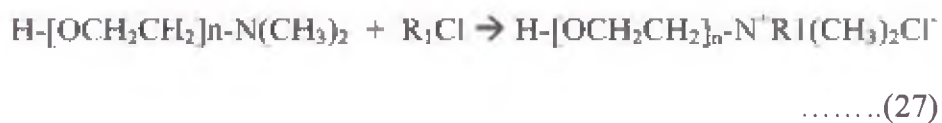
Los ácidos de aminas se obtienen por reacción de un peróxido o de un perácido con una amina terciaria. El óxido de amina posee un enlace semi-polar N ---> O con una mayor densidad electrónica sobre el oxígeno.

Los ácidos de amina son sustancias estables que poseen propiedades no iónicas a pH neutro o alcalino y una forma catiónica de hidroxilamina a

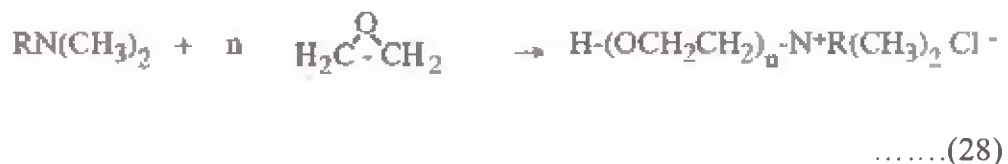
pH ácido. Son excelentes agentes espumantes en formulaciones neutras o alcalinas y poseen un cierto poder inhibidor de corrosión a pH neutro.



Se pueden condensar grupos óxido de etileno sobre una amina para obtener una alcohol amina o una etoxiamina, estos son buenos humectantes y espumantes y pueden ser cuaternizados como un cloruro de alquilo.



También, se pueden condensar el óxido de etileno sobre una amina en presencia de agua para obtener un etoxiamonio, utilizándose en la industria textil como desenredante e inhibidores de corrosión.



Estos surfactantes se utilizan en la industria textil como desenredante e inhibidores de corrosión.⁷

6.3.3. ALCANOLAMIDAS

Las alcanol amidas de ácidos grasos son muy usados como agentes espumantes y humectantes en formulaciones de lavaplatos, champús y jabones en barra, como por ejemplo: la dietanol lauril (coco) amida.

7. SURFACTANTES ANFÓTEROS

7.1. AMINOÁCIDOS

Los aminoácidos son surfactantes anfóteros que contienen a la vez un grupo amino y un grupo ácido carboxílico. La forma de disociación de estos grupos depende del pH del medio.²

7.2. AMINOÁCIDOS PROPIÓNICOS

Los aminoácidos propiónicos tienen como fórmula general: $RN^+-CH_2-CH-COO^-$ y su punto isoeléctrico se consigue a un pH 4. Son solubles en solución acuosa, ácida o alcalina, se adsorben fácilmente en la piel, los cabellos y las fibras textiles. Se usa como antiestáticos y lubricantes en los productos suavizadores para cabellos y telas. El dodecil aminoácido propiónico se utiliza también en los cosméticos como agente humectante y como bactericida, poseen también a pH alto buenas propiedades detergentes y espumantes. Pero son sensibles en general a los cationes divalentes.²

7.3. IMIDOÁCIDOS PROPIÓNICOS

Estas sustancias tienen la fórmula general: $\text{HOOC-CH}_2\text{-RN}^+\text{H-CH}_2\text{-COO}^-$. Su punto isoeléctrico se encuentra a pH del orden de 2-3, por tanto, más solubles en el agua que los anteriores. Se utilizan como suavizantes para textiles. Los componentes dicarboxílicos del imidazol alquilado sobre el carbono intermedio entre los átomos de nitrógeno, y que poseen los grupos carboxilatos sobre los átomos de nitrógeno son productos suavizadores muy poco irritantes que se emplean en los productos cosméticos y en los jabones de lujo.⁷

7.4. COMPUESTOS CUATERNIZADOS

Los más corrientes son las betaínas y las sulfobetaínas o taurinas, que poseen un solo grupo metileno entre el grupo ácido y el grupo amonio cuaternario. Estos son los surfactantes anfóteros más utilizados.



Estos son anfóteros a pH neutro y alcalino, y catiónicos a pH ácido. Debido a la cuaternización del grupo amino, no presentan nunca propiedades exclusivamente aniónicas. Estos productos toleran una fuerte concentración de electrólitos, particularmente los cationes divalentes.

Se usan como suavizantes para cabellos y textiles y aditivos inhibidores de corrosión. Poseen en general un buen poder espumante. Las sulfobetaínas

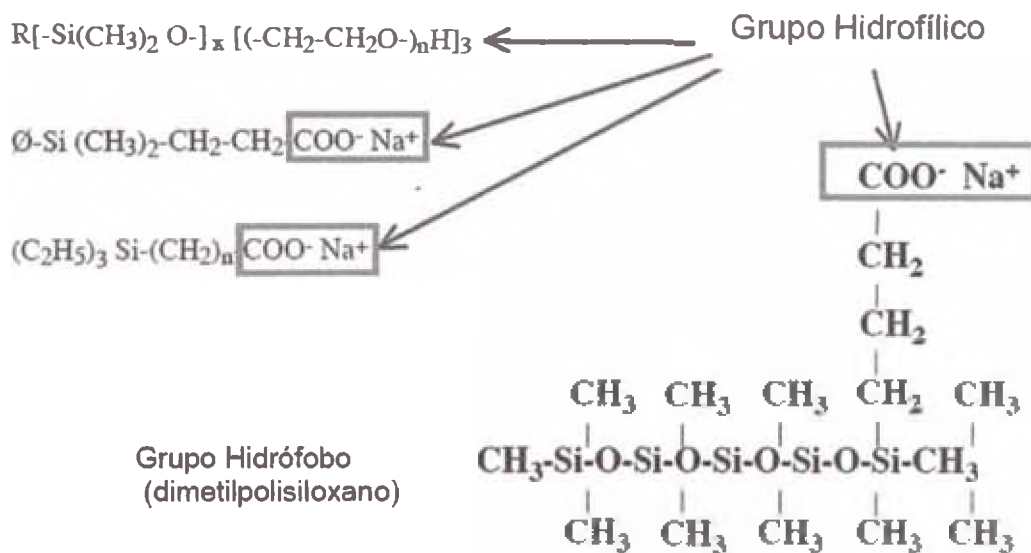
toleran aún más los iones divalentes y son también utilizados como dispersantes de jabones en barra y los detergentes.⁷

8. OTROS SURFACTANTES

8.1. SURFACTANTES SILICONADOS

Las polisiliconas presentan carácter hidrófobo es bien conocido. Al introducir grupos de órgano silicona en una molécula de surfactante, se aumenta el carácter hidrófobo de éste. Consiguiéndose una "cola" lipofílica siliconada más corta que su equivalente hidrocarbonado.⁸

Se consiguen prácticamente todos los equivalentes siliconados reemplazando varios átomos de carbono por uno de silicio:



Se utilizan en farmacia como agentes antiflatulentos ya que ellos reducen la tensión superficial de las burbujas de gas que se adhieren a la mucosa

gastrointestinal. Por otro lado, son totalmente inertes desde el punto de vista biológico. Se les puede obtener en forma muy pura al cristalizarse en acetona.⁸

8.2. SURFACTANTES FLUORADOS

Cuando se sustituye átomos de hidrógeno en la cadena hidrocarbonada por átomos de flúor produce compuestos que se llaman fluorocarburos. Como por ejemplo: el politetra fluoroetileno, más conocido como TEFLON que presenta muy alta pasividad química, mecánica y térmica, muy baja energía por tanto muy fuerte hidrofobicidad.²

El método más empleado para preparar estos surfactantes perfluorados consiste en polimerizar el tetrafluoro etileno en presencia de metanol, para obtener un alcohol.



Se oxida luego el alcohol para obtener un ácido carboxílico, o bien otros grupos hidrofílicos como sulfatos, aminos o fosfatos.

El ácido perfluorado en C5 ($n = 2$) forma una sal de sodio que posee buenas propiedades surfactantes. Las sales de ácidos carboxílicos perfluorados son surfactantes cuando ellos poseen entre 5 y 8 átomos de carbono. Estas sales soportan muchas mejor altas salinidades y los electrólitos divalentes. Ellos son sin embargo mucho más caros y su utilización se justifica solamente en casos particulares.²

Se les utiliza por ejemplo en las espumas de extintores de incendio, donde su resistencia térmica y su fuerte carácter hidrófobo les permite actuar como

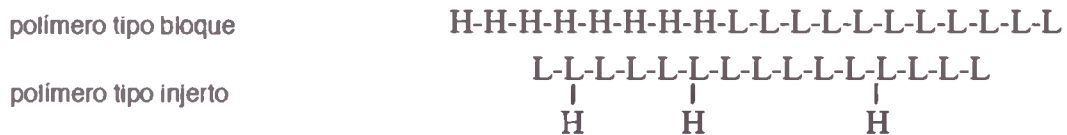
aditivos específicos para controlar y extinguir incendios de líquidos inflamables no polares, como los hidrocarburos, con los que forma un sello acuoso, o polares miscibles en agua, como los alcoholes y las cetonas entre otros, con los que forma una película polimérica.⁸

8.3. SURFACTANTES POLIMÉRICOS

Los asfaltenos son macromoléculas contenidos en el petróleo que poseen tanto grupos polares como grupos apolares. Sin embargo la posición de las diferentes partes no está tan bien definida como dentro de las moléculas pequeñas.

Se presentan dos tipos de configuración de base: el tipo bloque y el tipo injerto.

En el siguiente esquema se designa por H y L los agrupamientos o eslabones hidrofílicos y lipofílicos.



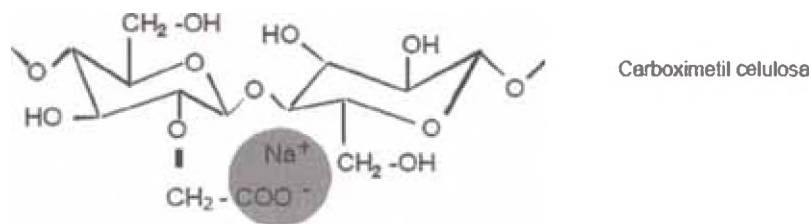
En el primer caso los eslabones hidrofílicos se acoplan entre ellos para formar un grupo hidrofílico, y los eslabones lipofílicos hacen lo mismo. Se tiene por tanto un surfactante macromolecular pero con zonas bien definidas.

El polímero bloque más conocido es el copolímero óxido de etileno - óxido de propileno.

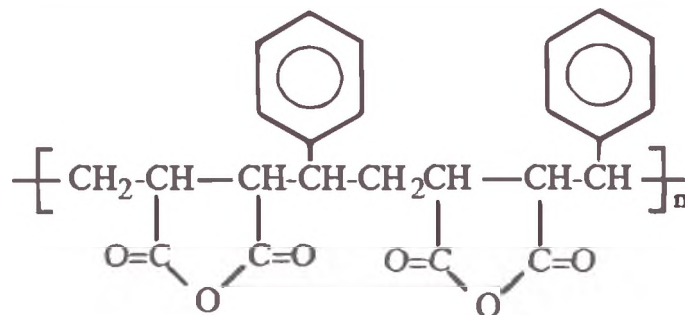


Estos surfactantes se usan como agentes humectantes y detergentes y como aditivos de deshidratación de petróleo.⁸

Muchas moléculas de polielectrólitos poseen la estructura "injerto" (como la mayoría de los polímeros surfactantes naturales), aunque ellos no son estrictamente surfactantes o no son utilizados como tales. Se utilizan a menudo como aditivos por sus propiedades coloidales como agentes anti-redeposición o agentes viscosantes (carboximetil celulosa, ácido poliacrílico y sus derivados).⁸



Existe una gran variedad de polímeros surfactantes del tipo "injerto". Para fabricarlos es suficiente producir un polímero con eslabones lipofílicos susceptibles de aceptar un grupo hidrofílico. Por ejemplo el copolímero ácido maléico-estireno.²

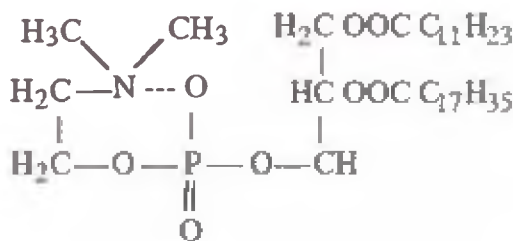


8.4. POLÍMEROS DE ASOCIACIÓN

Los surfactantes se asocian en solución formando micelas, y en ciertas condiciones cristales líquidos y microemulsiones.

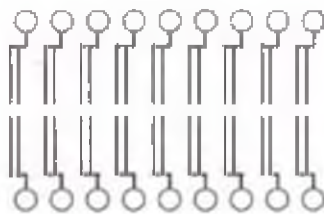
Los fosfolípidos son moléculas anfifílicas que poseen una fuerte tendencia a la asociación bidimensional bajo forma de una doble capa, constituyendo la parte estructural de las membranas celulares vegetales y animales.²

El fosfolípido más conocido es la lecitina.



Lauril-esteraril α -lecitina

La lecitina y demás fosfolípidos son los elementos estructurales de las membranas celulares de plantas y animales. Las membranas son bi-capas de fosfolípidos asociados por la parte lipofílica.²



9. FENÓMENOS FUNDAMENTALES

Todas las propiedades y usos a excepción del poder bactericida de ciertos surfactantes provienen de dos propiedades fundamentales de estas sustancias: su capacidad de adsorberse a las interfases y su tendencia a asociarse para formar estructuras organizadas.³

9.1. ADSORCIÓN

Desde un punto de vista energético, se puede decir que la energía libre de una molécula de surfactante a la interfase es inferior a la de una molécula solubilizada en el seno de una fase acuosa. La adsorción se define como la transferencia desde el seno de una fase acuosa a la interfase y es por lo tanto espontánea.³

La adsorción de un surfactante en una superficie gas-líquido o en una interfase líquido-líquido, produce una reducción de la tensión superficial o interfacial, de donde el nombre "tensioactivo". La tensión genera la curvatura de las interfases, la formación de gotas, un gran número de inestabilidades capilares y numerosos fenómenos de estabilización de interfases. Las fuerzas capilares involucradas pueden ser considerables y se pueden encontrar aplicaciones en la fabricación de adhesivos, la recuperación mejorada de petróleo, la colocación de una monocapa protectora, la contracción de capas de petróleo flotando, etc.³

El descenso de la tensión favorece la deformación y la ruptura de una interfase, la formación de sistemas dispersos como las emulsiones o las espumas, la movilización del petróleo residual, la limpieza industrial, etc.

La adsorción de surfactantes no solo se produce en las interfases fluido-fluido sino también en las interfases líquido-sólido, y eventualmente gas-sólido. La fuerza motriz de la adsorción en una interfase líquido-sólido puede incluir

siguientes efectos: atracción polar por la presencia de cargas eléctricas en el sólido, efecto hidrofóbo, formación de estructuras de baja energía, así como otros efectos de menor interés.³

La presencia de una capa (en general monocapa) de surfactante a la interfase que es la responsable de un cierto número de fenómenos utilizados en las aplicaciones (fig.9.1). Por ejemplo, una capa de surfactante catiónico adsorbido en la interfase entre la solución acuosa y una superficie metálica, está orientada con la cabeza hacia el metal (por atracción electrostática), en consecuencia las colas apolares de las moléculas adsorbidas producen una capa hidófoba que protege el metal del medio acuoso por un proceso llamado hidrofobación. Tal hidrofobación se utiliza en la flotación de minerales o en la inhibición de la corrosión.⁹

La adsorción de surfactantes en las interfases puede cambiar los equilibrios trifásicos sólido-fluido-fluido y conducir a la extensión en forma de una monocapa o al cambio de mojabilidad de una superficie, estos fenómenos que son ampliamente utilizados en procesos industriales tales como la hidrofiliación y la hidrofobación, la flotación, el secado, la lubricación, la detergencia, etc.³

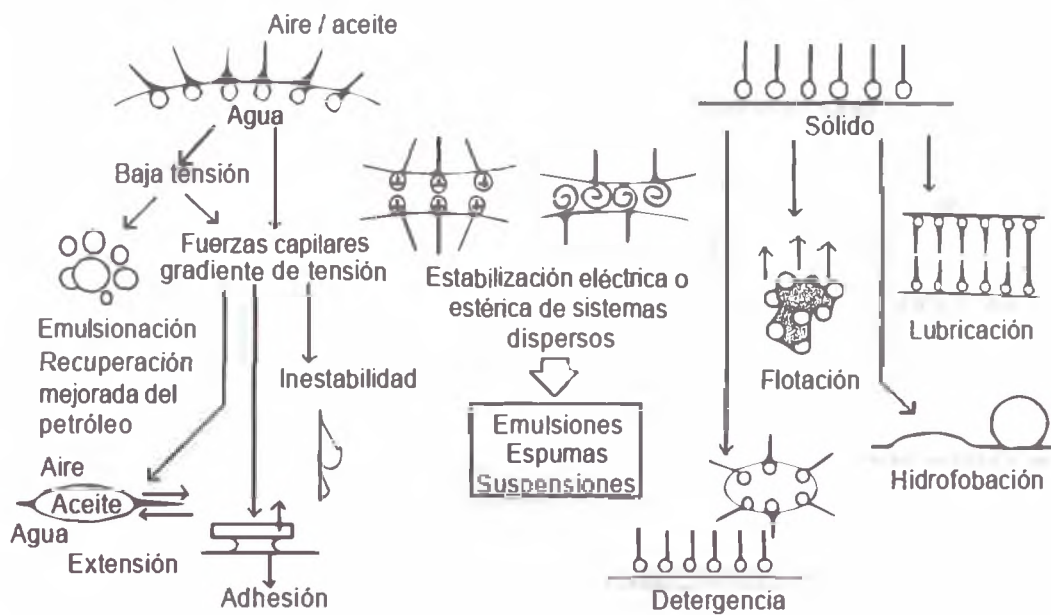


Fig. 9.1. Fenómenos relacionados a la adsorción.³

9.2. ASOCIACIÓN

Si a una solución acuosa se le añade cada vez más surfactante, éste comienza por adsorberse a las interfases disponibles, luego su concentración en forma monomolecular aumenta hasta que se forman las primeras micelas.

La micela es un polímero de asociación en el cual el surfactante alcanza una posición favorable. En solución acuosa, el efecto hidrófobo es la fuerza motriz principal que favorece la formación de micelas.³

La micelización se produce a una concentración particular llamada "concentración micelar crítica" o CMC. Una solución micelar es un coloide y no una dispersión, ya que el tamaño de las micelas es del orden de 50 a 100 Å.³

De otra parte, los efectos que tienden a oponerse a la formación de una micela, es la repulsión entre los grupos hidrofílicos, particularmente importante en el caso de surfactantes iónicos.

Las soluciones micelares poseen una propiedad muy importante, llamada capacidad de **solubilización**. Pueden solubilizar sustancias apolares (aceites) o anfífilas en cantidades considerables dentro o en la superficie de las micelas. En casos extremos se pueden producir soluciones micelares que contienen más aceite que agua. Tales sistemas de alta solubilización se llaman **microemulsiones** o **cristales líquidos** según su estado de fluidez, dichas unidades coloidales tienen un tamaño intermedio entre micelas y las gotas de emulsión.¹⁰

El poder solubilizante de las micelas es de gran interés para diversos tipos de aplicaciones tales como la detergencia, la vectorización de medicamentos, la separación, extracción selectiva y como aditivos de formulación, los surfactantes se muestran muy útiles y eficaces como coadyuvantes en distintas operaciones de proceso.¹⁰

La figura 9.2 muestra la variación de la concentración de hidrocarburo solubilizado en una solución de surfactante en función de la concentración de este último. A partir de la CMC, la solubilización aumenta considerablemente, ya que el hidrocarburo penetra dentro del corazón de las micelas.

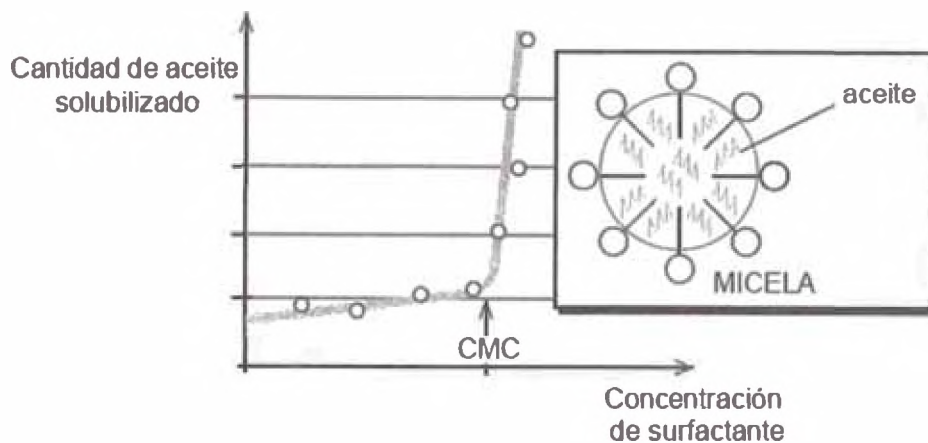


Fig. 9.2 Solubilización micelar.³

10. APLICACIONES DE SURFACTANTES EN DIFERENTES SECTORES

10.1. AGRICULTURA E INDUSTRIA AGROALIMENTARIA

Las actividades agrícolas y la industria agro-alimentaria utilizan ampliamente los surfactantes. Los productos fitosanitarios se pulverizan bajo forma de aerosol (tensoactivo) el cual contiene una fase orgánica dispersa (emulsionante) para disolver los herbicidas y los insecticidas. La aplicación fitosanitaria tiene como finalidad recubrir la superficie tratada de una capa de producto (humectante). El empleo de una capa superficial para reducir la evaporación de agua en los lagos y lagunas se utilizan en algunos países cálidos. La utilización de surfactantes en los productos alimenticios permite un acondicionamiento en forma de cremas, suspensiones, emulsiones, polvos solubles o dispersables, etc.³

La actividad insecticida de muchos sistemas biológicos puede ser mejorada mediante el uso de surfactantes. Por ejemplo, la actividad biocontroladora de extractos de *Melia azedarach* (hojas y frutos) cuando se trata con *Camptotylus*

reuteri para el control de las ninfas de la mosca blanca en el camote se vio reforzada por el uso del surfactante Tween-80.¹¹

Los surfactantes a menudo son utilizados en formulaciones diferentes junto con entomopatógenos nematodos *Steinernema feltiae* para el control de mosquito de hongo.¹²

El hongo *Myrothecium verrucaria*(MV) formulado apropiadamente con un surfactante (0,2% Silwet L-77), fue eficaz como biohervicida en el control de kudzu (*Pueraria lobata*) sobre una amplia gama de condiciones físicas y ambientales de campo.¹³

Los mecanismos de acción de surfactantes incluyen la facilidad de penetración de los agentes de control, sus productos o componentes coformulados en las células o tejidos del organismo tratado.^{11,14}

10.1.1. LIMPIEZA Y ESTERILIZACIÓN

Para mantener la presencia de microorganismos a un nivel suficientemente bajo se debe realizar una desinfección periódica en la manipulación de los alimentos y de los productos acondicionados terminados, tal es así que la industria lechera tiene un problema más complejo ya que la presencia de calcio no permite la acción de los detergentes corrientes. Por tanto se deberán utilizar detergentes no iónicos que son insensibles a los cationes, mezclados a surfactantes bactericidas de tipo catiónico.³

10.1.2. BEBIDAS AROMATIZADAS

Las bebidas aromatizadas, gaseosas o no, contienen productos perfumados naturales o sintéticos, que son esencias orgánicas insolubles en el agua. Su solubilización se asegura por la presencia de micelas de surfactantes biocompatibles como los ésteres de sorbitan.

Ciertos alimentos y bebidas aromatizadas particularmente aquellas que derivan de los productos lácteos, poseen una estructura compleja, se presentan a la vez como emulsiones o dispersiones y a veces espumas (chantilly, cremas, helados).³

10.2. PROCESOS INDUSTRIALES

Un cierto número de procesos industriales utilizan los surfactantes. Ciertos dependen de una manera determinante de este o como un aditivo que facilita las operaciones. Las operaciones unitarias basadas en la propiedad de adsorción son las siguientes: destilación, absorción, evaporación, flotación, separación por espuma, extracción sólido-líquido, cristalización y las basadas en la asociación de las moléculas de surfactante en disolución son: extracción líquido-líquido, ultrafiltración y cromatografía. Se mostrará algunos casos típicos.³

10.2.1. FLOTACIÓN DE MINERALES

El enriquecimiento de minerales consiste en separarlos de la ganga terrosa que les acompaña. La adsorción de surfactantes en superficies sólidas tiene numerosas aplicaciones. Al adsorberse surfactantes de tipo aminas o xantatos sobre superficies minerales se produce un

considerable cambio de mojabilidad de la superficie, lo cual es utilizado en los procesos de flotación. Cada año centenas de millares de toneladas de minerales de cobre, zinc, hierro, mezclas de sulfuros, sílice, fosfatos y fluoruros son enriquecidos por flotación.³

En la figura 10.2.1 se ilustra el principio de enriquecimiento de minerales por flotación. Se introduce el mineral finamente molido en suspensión acuosa en la celda de flotación. La suspensión contiene uno o varios surfactantes llamados colectores, en general xantatos o catiónicos. Estos surfactantes se adsorben sobre las partículas de mineral pero no sobre las de ganga. Como consecuencia las partículas de mineral presentan una superficie hidrófoba sobre la cual pueden adherirse burbujas de aire o gotas de hidrocarburos. A la izquierda de la figura 10.2.1 se observa los dos casos de interacción partícula-burbuja de aire.³

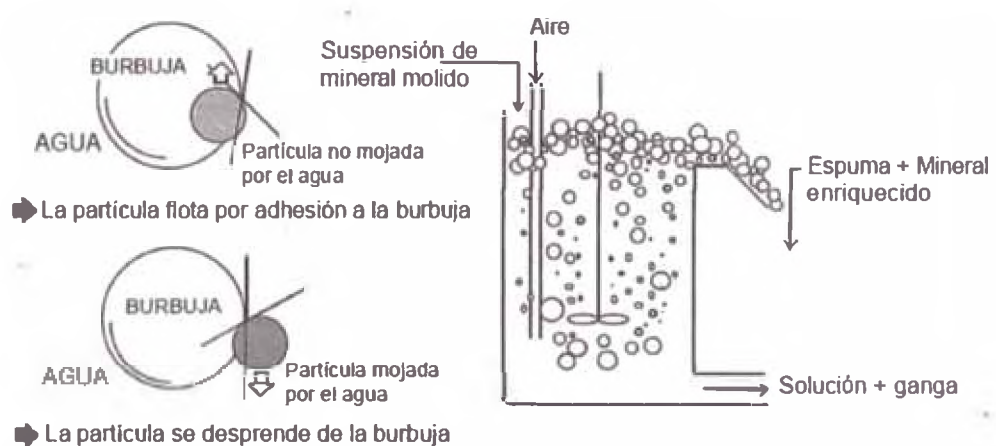


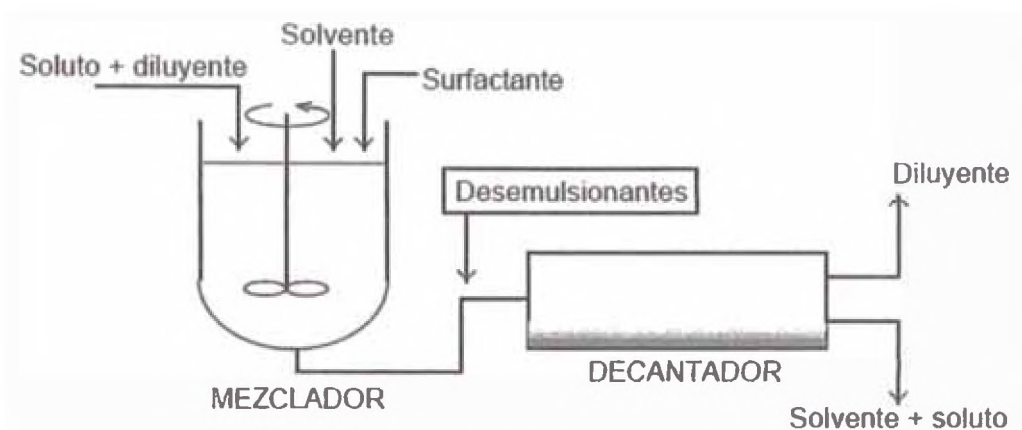
Fig. 10.2.1 Principio del enriquecimiento de minerales por flotación.³

Mediante una corriente introducida por el fondo de la celda de flotación se puede producir pequeñas burbujas de aire, estas burbujas suben y colectan las partículas de mineral. La solución también contiene un agente espumante que produce una espuma relativamente persistente, la cual se derrama por un vertedero. La espuma contiene un mineral considerablemente enriquecido en relación al mineral original.³

Los biosurfactantes pueden tener algunas aplicaciones en procesos de minería y manufactura. La extracción mejorada de minerales de los yacimientos mineros y solubilidad parcial del carbón de lignito.^{15,16}

10.2.2. EXTRACCIÓN POR SOLVENTE RUPTURA DE EMULSIONES

Muchos procesos industriales utilizan la extracción líquido-líquido como sustituto físico-químico a los métodos de ataque químico. La extracción líquido-líquido pone en juego un soluto disuelto en un diluyente, los cuales se colocan en contacto con un solvente y de esta manera una parte del soluto se transfiere del diluyente al solvente. Después de la separación el soluto se recupera del solvente (ver fig. 10.2.2)



Fi. 10.2.2 Esquema de una etapa de extracción líquido-líquido³

Los problemas operacionales provienen a medida que el contacto se hace mayor, mejor es la transferencia. Sin embargo como el diluyente y el solvente deben ser inmiscibles, se debe formar una emulsión de gran superficie (de pequeñas gotas) que permita el contacto, para esto es necesario adicionar un surfactante. Pero se corre el riesgo de crear una emulsión difícil de romper ya que el surfactante se comporta a menudo como un emulsionante. Entonces, se deberá agregar un desemulsionante para eliminar las emulsiones persistentes que aumentan el tiempo de residencia y producen pérdidas de solvente.³

10.2.3. RECICLAJE DE PAPEL USADO

La industria papelera tiene que ver con fenómenos interfaciales y surfactantes en varios otros sectores. Desde hace algunos años y por motivos de conservación del ambiente tanto como económicos, una parte de la pulpa de papel producida proviene del papel reciclado. El manejo de la pulpa suspendida requiere dispersantes; el encolado del papel y la producción de una superficie apropiada para recibir la tinta implican la deposición de una emulsión-suspensión. La hidrofiliación o la

hidrofobación del papel o del cartón requieren la pulverización de surfactantes, etc. La Figura 10.2.3 ilustra el proceso de reciclaje de una serie de operaciones en las cuales intervienen surfactantes.

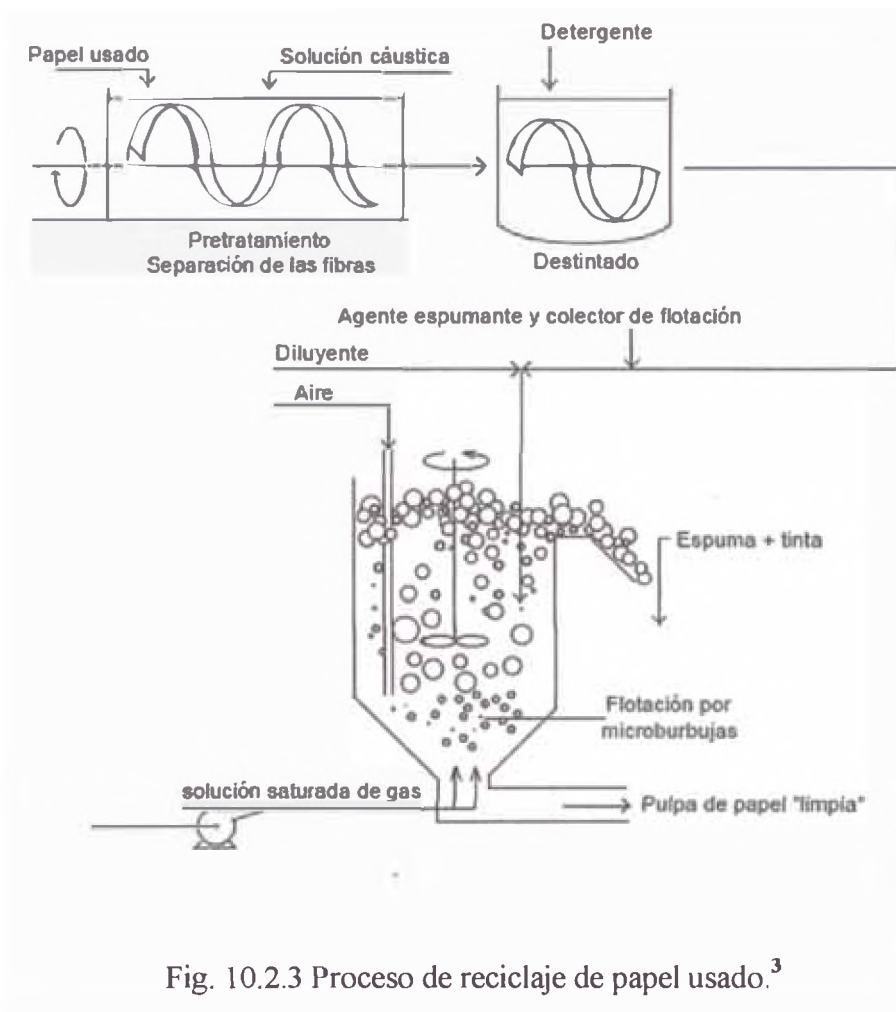


Fig. 10.2.3 Proceso de reciclaje de papel usado.³

Primeramente se desfibra el papel en un recipiente donde el papel usado se mezcla con una solución cáustica. La pasta recuperada se trata con un detergente complejo donde se intenta despegar las partículas de tinta de la superficie de las fibras de celulosa. Esta detergencia es semejante al del lavado de la ropa.³

Una vez que las partículas de tinta se separan de las fibras, hay que extraerlas de la pasta. Se diluye esta y se adicionan los ingredientes necesarios al proceso de separación que puede llevarse a cabo de dos maneras. La primera es por lavado-enjuagado, y requiere la adición de agentes antideposición y una gran cantidad de agua. La segunda, la cual se ilustra en la figura 10.2.3, consiste en separar las partículas de tinta por flotación, para esto se necesita un agente espumante y un colector de flotación³

10.2.4. FABRICACIÓN DE LA PULPA DE PAPEL

La industria papelera es también productora de sustancias surfactantes, ya que los licores residuales de digestión, llamados licores negros, contienen derivados de la lignina con propiedades típicas de surfactantes.

Para degradar la lignina y volverla hidrosoluble se procede a atacar con una solución cáustica o una solución de sulfito, consiguiendo solubilizarla bajo la forma de sustancias que poseen un carácter surfactante marcado. En el proceso Kraft, las sustancias obtenidas son los lignosulfonatos, los agentes dispersantes utilizados en los lodos de perforación.³

La digestión se realiza a alta temperatura y en un reactor bajo presión. A la salida del digestor se debe proceder a una expansión violenta para llevar la mezcla licor-pulpa a la presión atmosférica. La presencia de surfactantes que derivan de la lignina, y en los casos de la digestión alcalina, de la

saponificación de los ácidos carboxílicos y de las resinas, permite la estabilidad de las espumas formadas en la expansión adiabática. Hay que utilizar agentes antiespumantes para poder manejar el licor negro residual.³

10.2.5. DESHIDRATACIÓN DE UN MEDIO GRANULADO

Un gran número de productos o residuos se obtienen bajo forma de suspensiones de gránulos o de partículas que es necesario filtrar y secar, como en el caso de los floculantes de tratamiento de las aguas usadas, minerales enriquecidos por flotación, suspensiones de polvo de carbón, etc.

El carbón algunas veces se transporta bajo forma de suspensión en agua, mediante un bombeo en tuberías, resolviendo el problema de la manipulación como un sólido. Pero es necesario separar el carbón pulverizado del agua, al final del transporte y secarlo, particularmente si debe ser utilizado como combustible mezclado con aceite de tipo carbón-fuel. Para esto se utiliza un filtro a tambor que trabaja al vacío (mostrado en la figura 10.2.5). Si se adiciona un agente hidrofobante reduciéndose la humedad residual del carbón separado, facilita la separación del carbón-agua y reduce considerablemente el número de gotas de agua que permanecen atrapadas en el carbón granulado. El surfactante hidrofobante debe ser también tensioactivo ya que esto favorece el drenaje de agua aspirada por el vacío a través de la torta de filtración.³

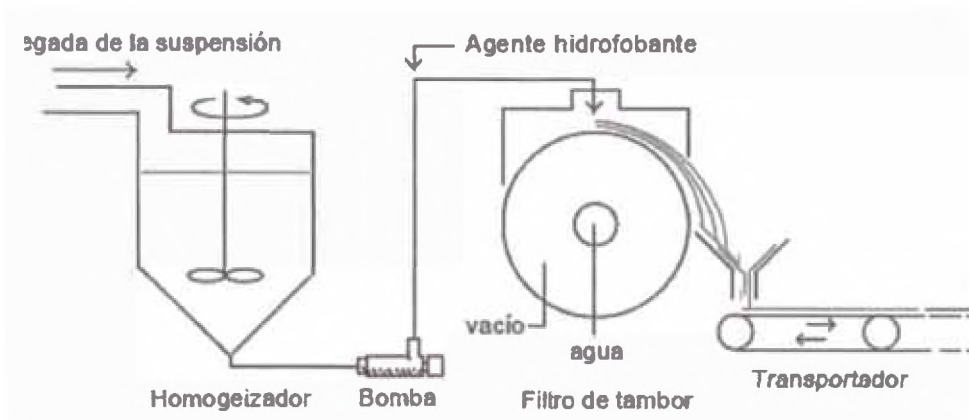


Fig. 10.2.5 Deshidratación de una suspensión de carbón.³

10.2.6. SURFACTANTES EN LA INDUSTRIA TEXTIL

Para mejorar el rendimiento de las diferentes operaciones y proporcionar ciertas propiedades a los productos terminados la industria textil utiliza una gran variedad de surfactantes.

Durante el lavado de la fibra natural bruta se utilizan detergentes no iónicos y aniónicos en medio alcalino. Durante la fabricación de hilos se utilizan emulsionantes de aceites lubricantes, en general ésteres de polialcohol. Antes del proceso de tintado, se pasan los materiales textiles por un baño de surfactante aniónico con la finalidad de que mediante la adsorción del mismo, reduzca la velocidad de las reacciones de tintado lo que produce una coloración final más uniforme. De otro lado el surfactante dispersa las partículas de colorante. Los surfactantes pueden, también producir un estado de superficie apropiado a las condiciones requeridas para la utilización de la tela: efecto acondicionador, efecto hidrofobante, efecto bactericida, etc.³

10.3. LUCHA ANTICONTAMINACIÓN

La lucha contra la contaminación del aire, de las aguas y de las tierras se ha convertido en un tema de actualidad y de importancia ya que las industrias tienden a verter cantidades de desechos que contaminan nuestro planeta.

10.3.1. TRATAMIENTO DE AGUAS ACEITOSAS USADAS

Las aguas usadas pueden contener agentes contaminantes diversos: aceite, proteínas, microorganismos, etc. En la mayoría de los casos se procede, entre otros tratamientos, a la floculación de los materiales coloidales con ayuda de polielectrólitos, o a veces con surfactantes poliméricos como los lignosulfonatos que facilitan la coagulación de las proteínas.

Cuando los efluentes contienen gotas de aceite de muy pequeño diámetro, ellas no se separan espontáneamente por sedimentación y es necesario recurrir a métodos más refinados. La figura 10.3.1 muestra el principio del filtro coalescedor, que es un medio poroso conformado de fibras hidrófobas sobre las cuales las gotas de aceite se adhieren y coalescen entre ellas. Cuando una gota formada alcanza un cierto tamaño, el arrastre de la corriente de agua la traslada hasta un tanque de sedimentación donde se separa por gravedad.

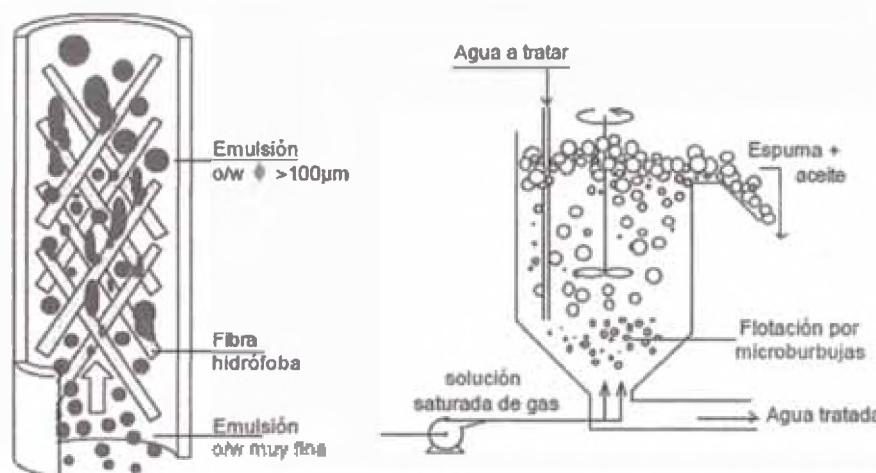


Fig. 10.3.1. Métodos de separación no convencionales de pequeñas gotas de aceite en medio acuoso.³

El otro procedimiento mostrado por la figura 10.3.1 es la flotación por aire disuelto. En este caso se introduce por el fondo de la celda de flotación una solución acuosa saturada de aire bajo presión. Al realizar la expansión se forman burbujas de aire minúsculas, las cuales colectan las gotas de aceite. Con surfactantes apropiados este método se puede utilizar para separar una gran variedad de coloides.³

10.3.2. DERRAMES PETROLEROS EN EL MAR

Para evitar la expansión de la capa de petróleo en el mar debido a la presencia de surfactantes naturales en el crudo se debe colocar alrededor de la capa de petróleo una monocapa de surfactante que posea una tensión superficial más baja, para producir la contracción de la capa (ver fig. 10.3.2). La contaminación producida por la incorporación de tal

surfactante a los bordes de las playas es muchísimo menor que los daños que produciría el derrame de petróleo.

Si la capa de petróleo no puede ser bombeada, es conveniente dispersarla en finas gotas. Esta dispersión aumenta la superficie de la masa de hidrocarburo, lo cual acelera las reacciones de biodegradación. Los surfactantes usados deben tener una toxicidad muy baja que no perjudique la fauna marina. Se utilizan ésteres de sorbitan u otros polialcoholes, sulfosuccinatos y sus derivados etoxilados.³

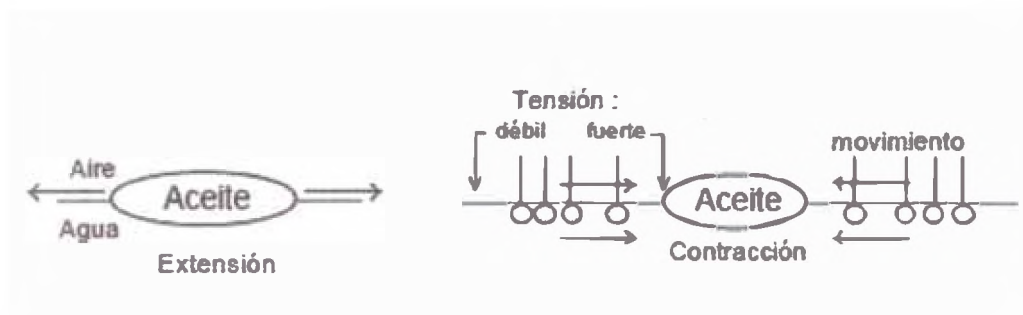


Fig. 10.3.2 Contracción de una pequeña capa de aceite.³

10.3.3. EXTRACCIÓN POR MICELAS

Las micelas tienen la propiedad de extraer ciertas sustancias contaminantes aún cuando su concentración sea extremadamente baja. Las micelas pueden solubilizar aceite en su zona central hidrofóbica, y sustancias anfífilas (alcohol, fenol) en su superficie por comicelización. Así como atraer iones hidrosolubles y mantenerlos en su vecindad. Este es el caso del ion nitrato con las micelas catiónicas. La figura 10.3.3 muestra algunos casos de asociación entre una micela y un contaminante.

La extracción micelar consiste en la extracción del contaminante aún

cuando éste está a muy baja concentración y de manera completamente selectiva. Después de asociar el contaminante a las micelas se procede a la ultrafiltración de la solución micelar para recuperar el solvente acuoso purificado. Las micelas cargadas de contaminantes pueden romperse por intercambio iónico y por otro procedimiento.

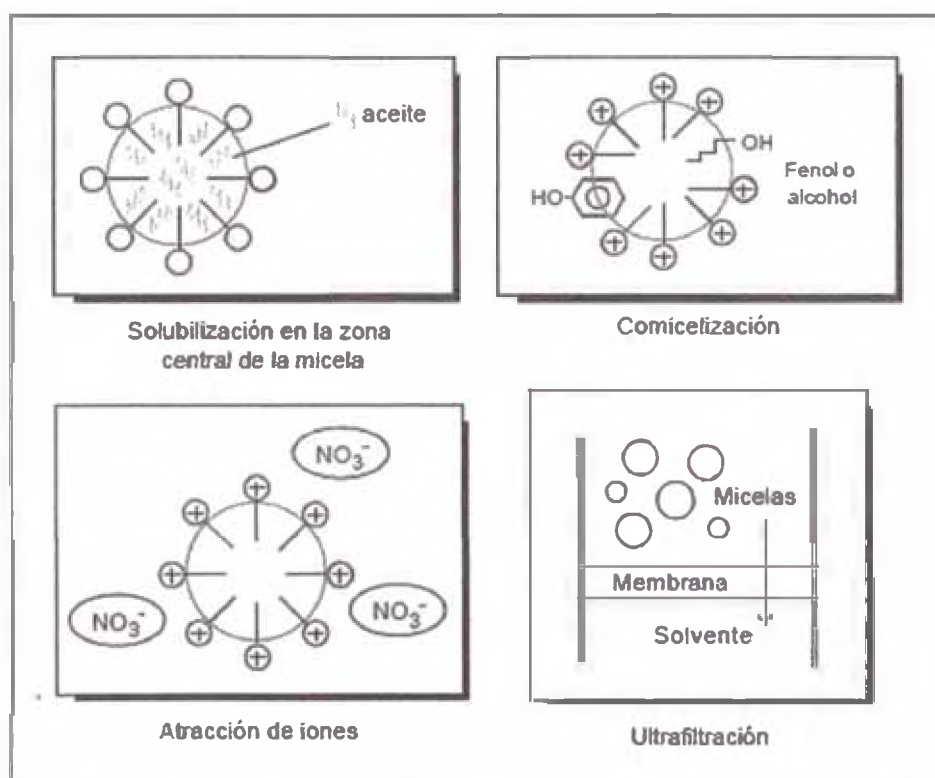


Fig. 10.3.3 Casos de asociación entre una micela y un contaminante.³

11. APLICACIONES EN OTRAS INDUSTRIAS

Los surfactantes sintetizados químicamente se utilizan con frecuencia en el petróleo, las industrias alimentaria y farmacéutica como emulsiones y agentes humectantes. Los biosurfactantes producidos por algunos microorganismos se están convirtiendo en importantes productos de la biotecnología para aplicaciones industriales y médicas debido a sus modos específicos de acción, baja toxicidad, relativa facilidad de preparación y aplicación generalizada.¹⁷

La adición de un surfactante químico o biológico acelera o muchas veces inhibe la biorremediación de contaminantes.

Los surfactantes también desempeñan un papel importante en la recuperación mejorada del petróleo mediante el aumento aparente de componentes del petróleo y reduciendo eficazmente la tensión interfacial del petróleo y agua in situ.¹⁷

11.1. INDUSTRIA PETROLERA

La industria petrolera hace un uso intensivo de los surfactantes, desde su inyección en los yacimientos para vencer las fuerzas capilares que atrapan el petróleo en el medio poroso rocoso, hasta la utilización de la química deshidratante, o el acondicionamiento en forma de emulsión aceite-en-agua para conferir la forma de combustible fluido a los bitúmenes o residuos altamente viscosos, o para almacenar y transportar los asfaltos destinados a la construcción o reparación de carreteras.

En el área de petróleo y derivados: las emulsiones de betún asfáltico tienen gran aplicación en campos donde el requisito principal es la producción de superficies repelentes al agua. Así, las emulsiones de betún asfáltico se emplean principalmente en la construcción de carreteras (mezcladas con arena), aunque también en tejados y suelos, para impregnación de papel y tejidos, aislamiento eléctrico y de calor, y como aglomerante de otros materiales aislantes, como corcho o amianto. Se emplean también como aglomerantes para briquetas de carbón y electrodos de carbón.³

Como emulsionantes pueden emplearse surfactantes catiónicos, ya que las partículas de la emulsión positivas interactúan con las cargas negativas de los áridos. También se emplean jabones, generados “in situ” por acción de álcalis sobre ácidos nafténicos del betún, o bien surfactantes no iónicos.³

Los surfactantes químicos y biosurfactantes pueden aumentar pseudosolubilidad de los componentes del petróleo en el agua.¹⁸

Los surfactantes son eficaces en la reducción interfacial del petróleo y agua in situ y pueden también reducir la viscosidad del petróleo y remover el agua en el petróleo antes de procesar.¹⁹

11.2. INDUSTRIA DE LA LIMPIEZA

La industria de la limpieza, bien sea con fines domésticos (lavaropas, lavaplatos, desinfectantes etc.) ó industriales (metalmecánica, alimenticia) es la que hace el mayor uso de surfactantes en forma de polvos ó líquidos.

La aplicación principal de los surfactantes es la detergencia. Un detergente se define como aquel agente que es capaz de realizar una acción detergiva, es decir, que es capaz de lavar. El agua pura es un detergente, ya que por sí sola puede lavar, aún sin ser ella misma un surfactante.³

Los detergentes comerciales suelen ser mezclas complejas de surfactantes con otros aditivos: álcalis secuestrantes de iones, dispersantes, oxidantes, blanqueantes, colorantes, perfumes, cargas, etc. Todos estos componentes sirven para dos funciones fundamentales: dar estabilidad y estructura a la formulación y favorecer, en muchos casos, un efecto sinérgico en el proceso de limpieza.⁸

11.3. INDUSTRIA DE PINTURAS, LACAS Y TINTES

Los barnices son emulsiones de aceite o cera en agua, y se suelen emulsionar con surfactantes no iónicos, siendo la fase oleosa aceites minerales, siliconas y/o ceras.

Una pintura en emulsión es un sistema constituido por un vehículo, la fase líquida y pigmentos, que le dan color y opacidad a la superficie pintada. A esto hay que añadir un diluyente volátil que ayude a su aplicación y son necesarios surfactantes. Son corrientes los jabones, surfactantes etoxilados, gelatinas derivados de la celulosa y los polímeros acrílicos.⁸

El surfactante biodispersante A: calcoacético A2 tiene un uso potencial en la industria de la pintura.²⁰

Los heteropolisacáridos *Macrocystis pyrifera* y *Azotobacter virelandii* se han utilizado con éxito como dispersantes en la industria de la cerámica.²¹

11.4. INDUSTRIA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

Varias operaciones fundamentales de la industria química y petroquímica involucran fenómenos interfaciales: enriquecimiento de minerales por flotación, lixiviación, intercambio iónico, extracción líquido - líquido, etc. Ciertos procesos tienen su fundamento en un sistema dispersado como la polimerización en emulsión o en suspensión, y la fabricación de espumas sólidas o elastómeras.³

11.5. INDUSTRIA DEL SECTOR DE HIGIENE Y SALUD

La higiene corporal es otras de las principales aplicaciones de los surfactantes. Los más importantes son los productos para el baño y la ducha, geles fundamentalmente, y para el lavado del pelo como los shampoos. La diferencia entre gel de baño y un champú es, en cuanto a sus constituyentes, particularmente nula. Si hay alguna diferencia, ésta estriba en que a la hora de formular un champú se tiene especial cuidado en que el pelo no quede ni con exceso ni con defecto de electricidad estática (encrespado o demasiado "lamido"), ni produzca a la larga efectos rebote con aparición posible de exceso de grasa o incluso de caspa.⁸

Los componentes principales de los surfactantes aniónicos, fundamentalmente el lauril éter sulfato sódico y el lauril sulfato amónico. También se añaden surfactantes no iónicos tipo dietanolamida de ácidos grasos de coco, para mejorar la espuma, la viscosidad y como reengrasante, o anfóteros como las alquil betainas que eliminan el exceso de electricidad estática. Son importantes

los perfumes, debiendo estar bien elegidos, y los colorantes, opacificantes y/o nacarantes.⁸

En el sector de salud: muchas de las formas cosméticas se aplican también en farmacología. Los fármacos pueden emplear vehículos como cremas o pomadas, o pueden ser mezclas autoemulsionables. Una de las aplicaciones más usuales emplea inyecciones con el principio activo emulsionado. Con ello se consigue un efecto medicamentoso retardado, por lo que se puede aplicar de una sola vez dosis mayores a intervalos de tiempo más espaciados.

Otra de las ventajas de los surfactantes se encuentra en la formación de liposomas. Un liposoma es una estructura hueca que puede contener en su interior un principio activo. Mientras la temperatura se mantenga por debajo de un valor determinado, la estructura es estable, pero una vez superado se rompe y libera la sustancia activa. Además, los liposomas presentan una capacidad de penetración a través de membranas elevadísima, por lo que una crema o una pomada formulada con liposomas penetra muy profundamente a través de la piel y las mucosas llegando incluso al torrente sanguíneo.⁸

Los biosurfactantes son útiles para aplicaciones médicas se utilizan como agentes antimicrobianos y moléculas inmunomoduladores.¹⁷

11.6. INDUSTRIA ALIMENTARIA

Los surfactantes comestibles juegan un papel esencial en la industria alimentaria.

Normalmente, se trabaja con lecitina, presente por ejemplo en la yema del huevo o en la soya, ciertas proteínas con propiedades surfactantes o polímeros alimentarios. Sin duda alguna la emulsión más importante es la mayonesa, pero también se emplean emulgentes (esta es la función de los surfactantes en esta industria) en cacaos solubles, chocolates, cremas de chocolate, mejorantes de la panificación (panadería, bollería y pastelería), salsas con mostaza, margarinas y helados entre otros.⁸

11.7 INDUSTRIA DE COSMÉTICOS

Los cosméticos están formulados siempre con surfactantes, independientemente del estado físico en que se presenten. Cuando se trata de productos de una sola fase suelen actuar como solubilizantes de los principios activos o bien como detergentes, y cuando se trata de productos emulsionados, tales como leches y cremas, cumplen la función de emulsionantes.

Recientemente, está desarrollándose la cosmética basada en liposomas y en microemulsiones. Estas últimas formas cosméticas se caracterizan por su elevada estabilidad, mejora en su aplicación y como buenos vehículos de principios activos.⁸

11.8. INDUSTRIA DE PLÁSTICOS Y GOMAS

La realización de reacciones de polimerización en emulsión presenta numerosas ventajas. El calor de la reacción se disipa rápidamente en la fase acuosa y, dado que la viscosidad aumenta menos, la agitación se lleva a cabo de forma más eficaz. Además, los catalizadores suelen ser solubles en agua por lo que se mejora su efectividad y las polimerizaciones se pueden llevar a cabo a temperaturas inferiores (ahorro energético y ganancia en seguridad). Por último, en muchos casos se desea que el producto final sea una dispersión del polímero en agua, lo que se consigue con una reacción en emulsión. Los surfactantes empleados suelen ser jabones si la reacción es a pH alcalino, aunque también pueden usarse emulsionantes catiónicos y no iónicos. Recientemente se están llevando a cabo polimerizaciones en medio microemulsionados, lo que añade algunas ventajas.⁸

11.9. INDUSTRIA DE CURTIDOS

Tras el curtido de cueros y pieles, es imprescindible incorporar alguna cantidad de grasa o aceite para mejorar la ductilidad y el tacto. Esta incorporación puede llevarse a cabo directamente, proceso denominado “relleno” o “aceitado”, pero es mejor hacerlo en sistemas emulsionados. Los surfactantes que se emplean son los aceites sulfonatos, lecitina, sulfatos de alcoholes grasos y sales cuaternarias de amonio. Dependiendo del tamaño de partícula de las emulsiones grasas, la penetración en el cuero será mayor o menor y el resultado en el ablandamiento será también más o menos intenso.⁸

12. OTRAS APLICACIONES DE SURFACTANTES

12.1. INFLUENCIA DE SURFACTANTES EN LAS FORMAS FARMACÉUTICAS CONVENCIONALES

Los surfactantes se emplean a menudo en las formas farmacéuticas como emulsionantes, solubilizantes, estabilizantes de la suspensión o humectantes. Pero no pueden considerarse en general como excipientes inertes debido a que los monómeros de surfactante tienen la capacidad de alterar el funcionamiento de una membrana biológica, favoreciendo la penetración del fármaco y por tanto, su absorción a través de la barrera gastrointestinal, como también la absorción puede resultar inhibida a consecuencia de la incorporación de un fármaco a micelas de surfactante que no son absorbidas, la solubilización del fármaco puede provocar una disminución de la concentración de fármaco libre en los líquidos intestinales, esta inhibición afectará a los fármacos que son solubles normalmente (sin surfactantes). En el caso de fármacos poco solubles, el aumento de la solubilidad de saturación del fármaco debido a la solubilización en las micelas de surfactante, la absorción se hace más rápida.

La liberación de fármacos poco solubles a partir de comprimidos y capsulas de gelatina dura puede facilitarse añadiendo surfactantes, ya que estos reducen la tensión de las superficies de contacto sólido/líquido permitiendo a los líquidos gastrointestinales humectar con mayor eficacia los sólidos estableciendo un contacto más íntimo, facilitando la penetración de los líquidos gastrointestinales en la masa del contenido de la cápsula o reduciendo la

tendencia de las partículas de fármacos poco solubles a agregarse en los líquidos gastrointestinales.

El aumento resultante de la superficie total eficaz de fármaco en contacto con los líquidos gastrointestinales tendería a aumentar las velocidades de disolución y absorción del fármaco.

La mejor absorción gastrointestinal de fenacetina en seres humanos al añadir polisorbato-80 a una suspensión acuosa de este fármaco se atribuyó a que el surfactante impedía la agregación y por tanto, aumentaba la superficie eficaz y la velocidad de disolución de las partículas de fármaco en los líquidos gastrointestinales.

La absorción del fármaco se debe a múltiples acciones distintas del surfactante (algunas pueden tener efectos opuestos) y el efecto observado dependerá de cuál de las diferentes acciones predomina sobre las demás.

La capacidad de un surfactante para influir sobre la absorción de un fármaco dependerá también de sus características fisicoquímicas y de su concentración de la naturaleza del fármaco y del tipo de membrana biológica.²²

12.2. SURFACTANTES EN LOS FERROFLUIDOS

Un ferrofluido (nombre que proviene del Latín ferrum que significa hierro y la palabra fluido) son mezclas coloidales de nanopartículas ferromagnéticas o ferrimagnéticas suspendidas en un fluido (solvente orgánico o agua), que se polariza fácilmente en presencia de un campo magnético. Estas pequeñas partículas de hierro están recubiertas por un surfactante para prevenir su aglomeración que pueden provocar las fuerzas de Van Der Waals y las

magnéticas, asegurando que no se vuelvan tan pesadas como para que el movimiento Browniano las pueda mantener en suspensión. Estas partículas magnéticas en un ferrofluido ideal no se asientan aún cuando están expuestas a un campo magnético elevado o a un campo gravitacional. El surfactante tiene una cabeza polar y una cola no polar (o viceversa), una de ellas se adhiere a la nanopartícula mientras que la otra se adhiere al líquido formando una micela regular o viceversa, respectivamente, alrededor de la partícula. La repulsión Steric por lo tanto previene la aglomeración de partículas. El surfactante para recubrir las nanopartículas pueden ser (no está limitado sólo a estos): Ácido Oléico, Hidróxido de tetrametilamonio, Lecitina de Soja. En consecuencia, el líquido surfactante le confiere a los ferrofluidos propiedades de líquido, permitiendo su utilización como líquido hermético, lubricantes y más aplicaciones en sistemas nanoelectromecánicos. Los ferrofluidos son útiles en campos tan diversos como medicina, mecánica, acústica, óptica, aplicaciones militares y aeroespaciales.

Los surfactantes en los ferrofluidos tienen el inconveniente de provocar una disminución de las propiedades magnéticas del fluido (específicamente la saturación magnética del fluido). Cuando se adiciona un surfactante (o cualquier otra partícula extraña) provoca una disminución de la densidad de empaquetamiento de los ferrofluidos cuando están en estado activo, esta disminución de la viscosidad en el estado activo, resulta en una activación menor del fluido. Para algunas aplicaciones la viscosidad del estado activo (la fuerza con la que se activa el ferrofluido) no es importante, pero para otras

aplicaciones comerciales e industriales hay una relación de compromiso entre la viscosidad del estado activo y la velocidad de asentamiento del ferrofluido.²³

12.3. NUEVAS NANOESTRUCTURAS MESOPOROSAS MEDIANTE SURFACTANTES NEUTROS Y CATIONICOS

La preparación de materiales mesoestructurados mediante el uso de surfactantes es una técnica de síntesis muy extendida. Se basa en el autoensamblaje del surfactante en micelas, permitiendo un control preciso de la arquitectura del poro mediante la variación de los parámetros de síntesis. De esta manera se han preparado una gran variedad de materiales porosos con atractivas propiedades, tales como alta área superficial y estrecha distribución de tamaño de poro.

En este estudio se analiza la influencia de la longitud y del grupo polar del surfactante sobre el tamaño del poro en la arquitectura del material. La utilización de surfactantes con diferentes grupos polares (aminas secundarias, terciarias y cuaternarias) permite la obtención de nanomateriales con diferentes arquitecturas, tales como vesículas y nanotubos. Los mejores resultados en términos de superficie específica, control de tamaño de poro y rendimiento se han obtenido con surfactantes catiónicos.²⁴

CONCLUSIONES

1. Se realizó la búsqueda bibliográfica de la clasificación de los surfactantes de acuerdo a la estructura de su molécula o según la forma de disociación en el agua, debido a que desde el punto de vista comercial los surfactantes se venden de acuerdo a su uso, es decir a su propiedad de mayor interés práctico en cuanto a la aplicación: jabón, detergente, emulsionante bactericida, etc. Sin embargo, la mayoría de los surfactantes poseen varias de estas propiedades a la vez y por tanto una clasificación de este tipo sería muy confusa. Por tal motivo se prefiere clasificarlos de acuerdo a su tipo de molécula o al tipo de disociación de su molécula en solución como surfactantes aniónicos, catiónicos, no iónicos y anfóteros.
2. Se realizó la búsqueda bibliográfica de los fenómenos de adsorción y asociación de los surfactantes debido a que es de gran interés su estudio ya que todas las propiedades, usos y aplicaciones de los surfactantes en los diferentes sectores industriales provienen de estas dos propiedades fundamentales.

3. Se ha podido demostrar en base a una revisión bibliográfica que las aplicaciones de los surfactantes en los diferentes sectores industriales como industria petrolera, química y petroquímica, agricultura, alimentaria, plásticos, pinturas, cosméticos, higiene y salud, entre otros, es de gran importancia ya que son ampliamente utilizados como hidrofiliación, hidrofobación, flotación, secado, lubricación, detergencia, vectorización de medicamentos, separación y la extracción selectiva, etc.

BIBLIOGRAFÍA

1. Salager Jean-Louis y Fernandez Alvaro. Surfactantes. Generalidades, Materias primas. Universidad de los Andes. F.I.EIQ Lab. FIRP. Mérida-Venezuela. 2004.
2. Salager Jean-Louis. Surfactantes. Tipos y usos. Universidad de los Andes Universidad de los Andes. F.I.EIQ Lab. FIRP. Mérida-Venezuela. 2002.
3. Salager Jean-Louis. El mundo de los surfactantes Universidad de los Andes. F.I.EIQ Lab. FIRP. Mérida-Venezuela. 1992.
4. Bernabé Zafón, Virginia. Caracterización y Determinación de surfactantes y otros componentes en productos de limpieza con aplicación en control de calidad de formulaciones industriales.. Universidad de Valencia. D.Q.A.2007.
5. Salager Jean-Louis. Fernandez, Alvaro. Surfactantes aniónicos. Universidad de los Andes. F.I. EIQ Lab. FIRP. Mérida-Venezuela. 2004
6. Fernandez, Alvaro. Salager Jean Louis y Scorza, Cesar. Surfactantes No Iónicos. Universidad de los Andes. F.I. E.I.Q. Lab. FIRP. Mérida-Venezuela. 2004.
7. Fernandez, Alvaro. Salager, Jean Louis. Surfactantes Catiónicos y otros surfactantes. Universidad de los Andes. F.I. E.I.Q. Lab. FIRP. Mérida-Venezuela. 2004.
8. Ortega Rodriguez, Mario. Tesis Doctoral. Comportamiento Reológico de disoluciones acuosas de surfactantes comerciales no iónicos. Universidad de Granada.F.C. D.I.Q.2009.

9. Rojas Orlando y Bullon Jhonny. Fenómenos interfaciales en el destintado del papel desperdicio. Universidad de los Andes.FI.EIQ Lab. FIRP. Mérida-Venezuela. 2007.
10. Salager Jean-Louis. Rojas Orlando y Bullon Jhonny. Fenómenos interfaciales y surfactantes en la Industria papelera. Universidad de los Andes. F.I. E.I.Q. Lab. FIRP. Mérida-Venezuela.2007.
11. Jazzar C, Hammad E.A. The efficacy of enhanced aqueous extracts of melia azedarach leaves and fruits integrated with camptotylus reuteri releases against the sweetpotato whitefly nymphs.Bull Insectol 2003;56:269-75.
12. Krishnaypa PV, Grewal PS. Effect of neem and selected fungicides on viability and virulence of the entomopathogenic nematode steinermema feltiae. Biocontrol Sci Technol 2002;12:259-66.
13. Boyette Cd, Walker HL, Abbas HK. Biological Control of kudzu(Pueraria lobata); with an isolateof Myrothecium verrucaria. Biocontrol Sci Tchnol 2002;12;75-82.
14. Kim PI, bai D, Chae H, Chung S kim Y, et al Purification and characterization of a lipopeptide produced by Bacillus thuringiensis CMB26. I Appl Microbiol 2004; 97: 942-9.
15. Dahr Azima B, mulligan CN. Extraction of Cupper from mining residues by rhamnolipids. Prac Per Haz Tox Radioact Waste Manang 2004; 8: 166-72.
16. Pollman Jk, miller KS, Stoner DL, Brakenridge CR. Solubilization of biluminous and lignite coals by chemically and biologically synthesized surfactants. J Chemtechnol Biotechnol 1994; 61:11-7.

17. Sing Ajay, Van hamme Jonathan D. Ward Owen P; Surfactants in microbiology and biotechnology: Part 2. Application aspects. 2006.
18. Chu W, Remediation of contaminated soils by surfactant-aided soil washing. Pract Period Hazard Toxic Radioact Waste Manage 2003;7: 19-24.
19. Al-Sabagh AM. Surface activity and thermodynamic properties of water-soluble polyester surfactants based on 1,3-dicarboxy methoxybenzene used for enhanced oil recovery. Polym Adv Technol 2000; 11: 48-56.
20. Rosenberg E, Ron EZ. Surface active polymers from the genus *Acinetobacter*. In: Kaplan DL, editor. Biopolymers from renewable resources. Berlin: Springer; 1998. P. 281-91.
21. Pellerín NB, Staley JT, Ren T, Graf GL, Treadwell DR, Aksay IA. Acidic biopolymers as dispersants for ceramic processing. Mater Res Soc Symp 1992;218: 123-8.
22. Aulton, Michael E. Farmacia. La ciencia del diseño de las formas farmacéuticas. Edición en español. Segunda edición. Elsevier España.S.A.2004.
23. Barbeito, Pablo-Corrá., Martín – Sarlinga, Mariel. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería Física del Estado sólido.2009.
24. García Martínez, Javier, Gonzalo Abellán, Adela I. Carrillo, Noemi Linares. Laboratorio de Nanotecnología Molecular. Dpto. Química Inorgánica, Universidad de Alicante. Actas 206-2007.