

USO DE LOS SURFACTANTES EN LA INDUSTRIA PETROLERA

Jean-Louis SALAGER

Lab. de Fenómenos Interfaciales y Recuperación del Petróleo
Escuela de Ingeniería Química
Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela

RESUMEN

Los surfactantes, o sustancias con actividad superficial tienen numerosas aplicaciones en la industria petrolera, desde las operaciones de explotación-producción hasta los procesos de refinación.

Numerosos trabajos investigativos se han desarrollado en los últimos 8 años sobre varias de estas aplicaciones en el Lab. FIRP.

Se discute brevemente los fenómenos involucrados en las diferentes aplicaciones encontradas en la industria petrolera, y el papel principal del surfactante, como tensoactivo, (des)emulsionante, (anti)espumante, inhibidor de corrosión, dispersante, humectante, etc.

ABSTRACT

Uses of Surfactants in the Oil industry.

Surfactants, i. e., surface active substances, are largely used in the oil industry from exploitation-production to refining.

Numerous research project have been carried out on these topics by the FIRP Lab. group in the past 8 years.

The phenomena related to the different petroleum industry applications are briefly discussed, together with the main role of the surfactant, such as tension reducer, (d)emulsifier, (anti)foaming agent, corrosion inhibitor, dispersant, wetting agent, etc.

INTRODUCCION

Los surfactantes son sustancias químicas de uso común en prácticamente todas las ramas de la industria petrolera⁽¹⁾. Para el refinador se usan como detergentes y dispersantes en gasolinas o aceites lubricantes, emulsionantes para asfaltos, antiespumantes en varios procesos, inhibidores de corrosión en la mayoría de las operaciones de transporte y almacenamiento, desemulsionantes en desalación, agentes de gelificación de las grasas, humectantes, etc.

Para el productor se usan como agentes de deshidratación, tensoactivos y emulsionantes en métodos de recuperación, espumantes en taponeamiento de

heterogeneidades, emulsionantes y dispersantes en lodos de perforación, inhibidores de corrosión, etc.

Numerosos trabajos investigativos se han desarrollado en los últimos años, especialmente en el Lab. FIRP <2>, sobre los fenómenos relacionados con estas aplicaciones.

PERFORACION Y TERMINACION DE POZOS

Lodos de perforación

Los lodos de perforación son fluidos complejos que suelen poseer varias propiedades, de acuerdo al papel que deben jugar <3,4>.

Deben remover el calor producido por el trabajo de la barrena; como agente enfriador contienen agua. Deben lubricar las partes móviles, y por eso contienen aceite. Deben ser densos; y por eso contienen sólidos suspendidos como bentonita, u otras arcillas. Finalmente deben ser viscosos para no "perdersse" en las formaciones y para arrastrar el residuo de molienda de la barrena. Adicionalmente deben contener inhibidores de corrosión (Fig. 1).

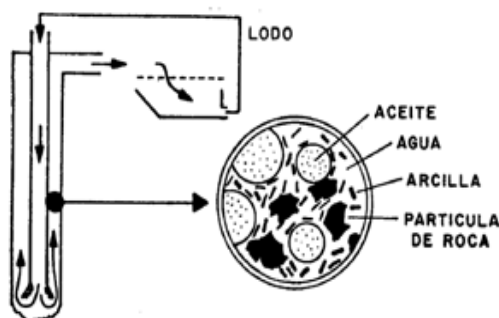


Fig.1.-Lodos de perforación.

La composición típica de los lodos de perforación incluye agua, aceite y sólidos suspendidos, y a veces burbujas de gas. El agua y el aceite se encuentran en forma de emulsión O/W (lo más corriente) ó W/O. Los surfactantes de los lodos de perforación actúan como emulsionantes, dispersantes, espumantes o anti-espumantes, e inhibidores de corrosión.

Los lignosulfonatos son los principales agentes dispersantes. Al dispersar las partículas de arcilla y otros sólidos, evitan la formación de grumos y ayudan a mantener la homogeneidad del fluido, reduciendo así las pérdidas por filtración lateral. Los agentes emulsionantes más usados en lodos O/W son los alquil aril sulfonatos, particularmente los sulfonatos de petróleo, y los alquil fenoles etoxilados. En los lodos de base aceite (W/O) se usan sales de iones divalentes (calcio o magnesio) de ácidos de resinas o de sulfonatos de petróleo. Se usan adicionalmente sulfonatos de asfaltos o sulfonatos de triglicéridos como agentes lubricantes surfactantes.

En ciertos casos se quiere producir un lodo espumoso, en otros no. En los lodos de base gas se usan agentes espumantes como alcohol ester sulfatos, alcohol etoxi-sulfatos o alquil fenoles etoxilados. Para reducir la formación de espumas en lodos de base agua o aceite se usan agentes antiespumantes como alquil aril sulfonatos o estearato de aluminio.

En todos casos se usan inhibidores de corrosión, los cuales son surfactantes con cierto carácter catiónico. Según los problemas de compatibilidad con las demás sustancias surfactantes presentes en el lodo, se usan aminas grasas o derivados de imidazolina para tales fines.

Cementos

Una de las operaciones de terminación consiste en llenar el espacio entre el tubo (casing) y el hueco de perforación con cemento. La cementación permite sellar las diferentes capas de la formación y evitar comunicaciones indeseables.

La primera etapa consiste en remover el lodo de perforación presente en el espacio anular entre el hueco y el casing. Para eso se bombea en el tubo un fluido desplazador, el cual vuelve a subir en el espacio anular y desplaza el lodo de perforación. Adicionalmente, el fluido desplazador debe acondicionar el volumen anular, especialmente prepararlo para una buena adhesión del cemento. Por eso el fluido desplazador contiene sulfonatos de petróleo y a veces algunos surfactantes noiónicos.

Los cementos son dispersiones sólido-líquido susceptibles de fraguar en un tiempo más o menos corto. Contienen lignosulfonatos de calcio y sulfonatos de naftaleno como agentes dispersantes. En pozos profundos y calientes se reduce

la velocidad de fraguado mediante la adición de agentes retardadores como lignosulfonatos de calcio.

En formaciones altamente permeables, el agua del cemento puede tener tendencia en filtrarse adentro de la formación; esta pérdida de agua puede alterar las propiedades del cemento y debe evitarse. A tales fines se añaden al fluido desplazador o al cemento agentes anti-filtración como los polietilen-aminas y los sulfonatos de naftaleno.

Los cementos se inyectan en forma fluida y durante el proceso de mezclado pueden formarse burbujas que después del fraguado pueden resultar en zonas de tipo espuma sólida de baja resistencia mecánica. Como en las otras aplicaciones de los cementos y concretos se añaden agentes antiespumantes, tales como el dodecil alcohol o el dibutil ftalato.

Fluidos de terminación

Al llegar la barrera a la zona productora se usa a menudo un lodo de perforación especial con el fin de reducir al máximo la penetración en la formación y el taponamiento resultante. Si el lodo de perforación es de base aceite, se cambia por un lodo de base agua (O/W) que contiene sulfonatos de calcio o sales cálcicas de ácidos grasos.

El espacio entre los tubos de producción y el casing se llena (entre los packers) con emulsiones W/O conteniendo inhibidores de corrosión tales como aminas grasas.

Estimulación de pozos

Para aumentar la producción de un pozo se debe tratar la roca situada en la cercanía para aumentar la permeabilidad; esto se debe a que la geometría cilíndrica del pozo produce una mayor resistencia al flujo en la vecindad del mismo. Existen esencialmente dos métodos de estimulación, que pueden emplearse solos o juntos: la fracturación y la acidificación.

En ambos tipos de procesos se usan surfactantes como dispersantes de partículas finas (alquil fenoles y alquil amonios etoxilados) y como inhibidores de corrosión (alquil piridinios).

En el proceso de fracturación, se inyecta bajo alta presión una mezcla de agua y de arena. La arena penetra en las fracturas producidas e impide que se vuelvan a cerrar cuando la presión retorna a lo normal.

En la acidificación, se inyecta una solución ácida (HCl , HF) extremadamente corrosiva para los metales, pero capaz de disolver la roca almacén (carbonato, sílice). Se usan alquil piridinios como inhibidores de corrosión, alquil fenoles etoxilados como humectantes y alquil amonios etoxilados como dispersantes de partículas finas.

A menudo, particularmente en presencia de carbonatos, se desea retardar la acidificación, para que el fluido ácido pueda penetrar a cierta distancia del pozo antes de reaccionar con la roca.

Uno de los métodos de retardación consiste en emulsionar la fase acuosa ácida en kerosen en forma W/O. Para tales emulsiones se usan sulfonatos de petróleo o sales de ácidos carboxílicos. Siendo el kerosen la fase continua, el contacto ácido-roca no se produce inmediatamente y la emulsión puede penetrar a varios metros del pozo antes de que se consuma todo el ácido (Fig. 2).

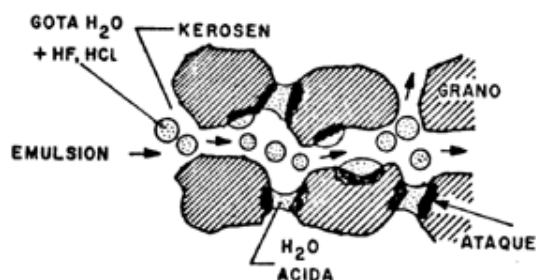


Fig.2.-Acidificación controlada con inyección de espumas.

Otro método de retardación consiste en inyectar nitrógeno con la solución ácida, la cual contiene agentes espumantes como alquil ester sulfatos, surfactantes etoxilados y a veces surfactantes fluorocarbonados. La espuma formada juega dos papeles. De una parte reduce el contacto entre el ácido y la roca y por lo tanto reduce la velocidad de ataque. Por otra parte tiene tendencia en llenar las fracturas y taponarlas (efecto Jamin), lo que obliga al ácido a penetrar en las zonas de baja permeabilidad (Fig.3).

Sin embargo estos dos últimos métodos deben emplearse con cierto cuidado para evitar el taponeamiento del pozo con emulsiones o espumas, que pueden

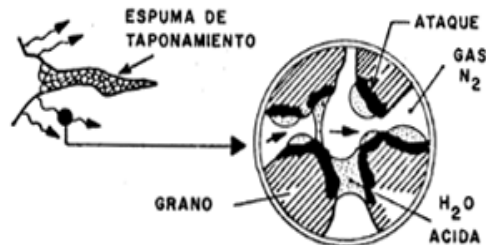


Fig.3.-Acidificación y taponamiento con inyección de espumas.

luego tener un efecto desfavorable sobre la producción. Después de la acidificación se pone el pozo en producción para eliminar el residuo de ácido y las partículas finas producidas por la desagregación de la roca. Es en esta etapa que los agentes dispersantes juegan un papel primordial.

Ciertos métodos de estimulación consisten en inyectar surfactantes para bien sea cambiar la mojabilidad de la roca de "mojable por el agua" a "mojable por el aceite", bien sea desplazar el crudo atrapado en la cercanía del pozo. Tales métodos se usan para estimular pozos que han dejado de producir por cierto tiempo o que han sufrido un daño.

RECUPERACION MEJORADA

Los procesos convencionales de producción dejan en el yacimiento del orden de 60-80% del crudo originalmente en sitio. Este crudo residual se encuentra atrapado en los poros de la roca o arena del yacimiento por fuerzas capilares. Se ha hallado que al inyectar surfactantes formulados adecuadamente se puede reducir la tensión interfacial hasta en cuatro ordenes de magnitud, lo que elimina prácticamente las fuerzas capilares <5,10>. En ensayos pilotos se han logrado recuperaciones del 70% en el volumen barrido. La Fig. 4 indica el esquema de un proceso de recuperación mejorada por inyección de surfactante <11>. Estos métodos son muy complejos y requieren todavía muchos estudios; en la situación actual no es urgente desarrollarlos, pero es probable que dentro de algún tiempo vuelvan a ser importantes.

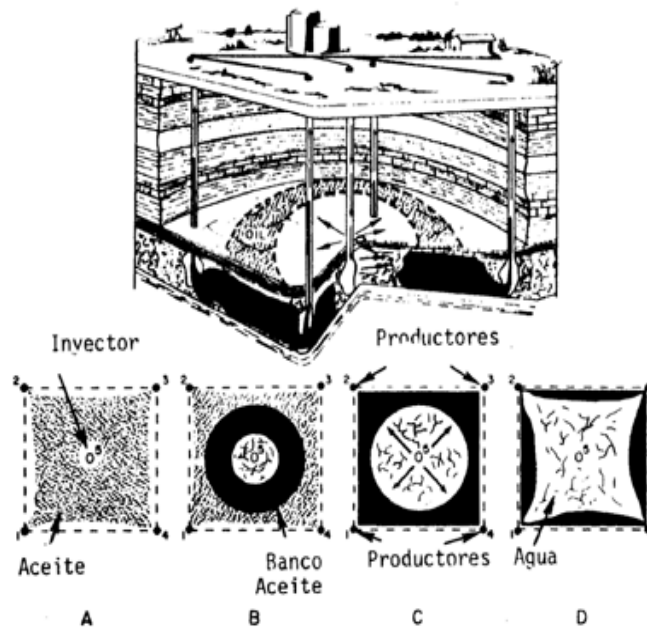


Fig.4.-Principio de los métodos de recuperación mejorada por inyección de productos químicos

Este tipo de proceso puede limitarse a la zona cercana al pozo, como método de estimulación. Al desplazar el crudo en la periferia del pozo y al producir una roca mojable por agua, se aumenta la producción.

En Venezuela, la mayoría de los crudos tienen una alta viscosidad y se puede por lo tanto pensar que los métodos térmicos tales como la inyección de vapor tenderán a desarrollarse más. En los procesos de inyección continua se deben controlar los problemas de digitación viscosa y segregación gravitacional del vapor. Al inyectar agentes espumantes del tipo alquil ester sulfatos, alquil fenoles etoxilados y aún esteres fluorocarbonados, se puede producir una espuma que tapona los caminos preferenciales y obliga el vapor a penetrar en las zonas todavía no barridas.

OPERACIONES DE PRODUCCION

Emulsión de la mezcla agua-crudo

Tarde o temprano se produce agua junto al crudo. Dependiendo de los casos, esto puede ocurrir al inicio mismo de la producción si el acuífero está cerca del fondo del pozo o si hay penetración lateral de agua, o mucho más tarde durante la recuperación secundaria por inyección de agua.

Con excepción de los procesos de recuperación mejorada por inyección de surfactante o de agua alcalina y de los fluidos residuales de estimulación, el agua y el crudo penetran en el fondo del pozo como dos fases separadas. Durante el ascenso en el tubo, el bombeo, el empuje con gas y la expansión en las válvulas de alivio, la mezcla crudo-agua está sometida a diferentes esfuerzos que resultan en agitación y cizallamiento, los cuales producen una dispersión de una fase en la otra, en general en forma de gotas de agua dispersadas en el aceite (véase Fig. 5).

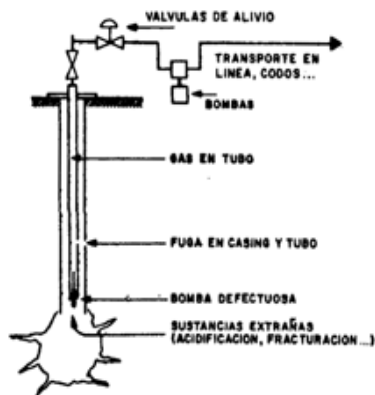


Fig.5.-Donde y porqué se producen emulsiones agua/crudo

Estas dispersiones de no ser estabilizadas, se romperían fácilmente sin producir mayores problemas. Sin embargo no es en general el caso. En efecto la gran mayoría de los crudos contienen surfactantes "naturales", es decir moléculas anfifílicas tales como derivados porfirínicos, asfaltenos, ácidos nafténicos, fenoles, bases nitrogenadas, etc <12>. Estos anfífilos poseen un carácter lipofílico dominante, y con una relación agua/aceite inferior a 3, producen casi siempre emulsiones del tipo W/O.

Estas emulsiones pueden ser extremadamente estables. Por otra parte la experiencia indica que al envejecer, estas emulsiones forman películas interfaciales rígidas que aumentan notablemente su estabilidad.

Los transportistas y los refinadores no aceptan en general sino una fracción de por ciento de agua en el crudo, y es por lo tanto indispensable separar el agua del crudo en el sitio de producción. La mejor manera de separarlos es por supuesto evitar que se mezclen en forma emulsionada, es decir prevenir la formación de emulsiones. Si esto no es posible se debe proceder a la ruptura de estas emulsiones, es decir a las operaciones de deshidratación.

Prevención

Hay esencialmente dos maneras para prevenir la formación de emulsiones estables. La primera consiste en evitar la producción difásica, eliminando las posibilidades de mezclas y las pérdidas de carga bruscas. Por eso se debe evitar de producir en la vecindad del acuífero, reducir las entradas laterales de agua, separar el gas producido de los líquidos, no usar el levantamiento por gas en presencia de una mezcla agua/crudo, y preferir la producción intermitente a pleno flujo a la producción a través de válvulas de expansión.

El segundo método de prevención consiste en impedir que las emulsiones formadas sean estables. Por eso se inyecta "química" desemulsionante en fondo de pozo, lo cual produce emulsiones inestables, o se inyecta en fondo de pozo surfactantes hidrofílicos con el fin de producir emulsiones O/W de baja viscosidad y más fáciles de romper. En ambos casos se trata de que los agentes emulsionantes sean los agentes sintéticos inyectados y no los agentes naturales, que por su alto peso molecular tardan más en llegar a la interfase producida por la formación de la dispersión. Esto supone que se puede controlar los efectos de los surfactantes inyectados más fácilmente que aquellos de los surfactantes naturales. ¡Es generalmente el caso! Incluso en ciertos casos como aquel de los crudos extra-pesados puede ser interesante producir una emulsión O/W de baja viscosidad para su transporte, almacenamiento y aún uso como combustible.

Deshidratación, desalación y procesos relacionados

Las operaciones de deshidratación deben llevarse a cabo lo antes posible, ya que más "vieja" la emulsión, más difícil es romperla. Se inyecta el agente desemulsionante lo antes posible y se deja separar la emulsión por gravedad. A menudo es necesario calentar para aumentar la velocidad de sedimentación por reducción de la viscosidad del aceite y por aumento de la diferencia de densidad (Fig. 6). Finalmente la coalescencia de finas gotas puede inducirse con un campo eléctrico en los llamados separadores electrostáticos.

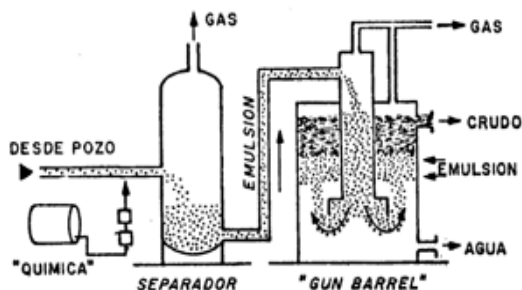


Fig.6.-Deshidratación de crudo en cabeza de pozo.

Los procesos de desalación llevados a cabo en refinería consisten en mezclar el crudo que contiene agua salada emulsionada con agua fresca y romper la emulsión. Son esencialmente semejantes a los procesos de deshidratación.

Los desemulsionantes para emulsiones W/O son en general surfactantes no iónicos de alto peso molecular tales como alquil fenoles etoxilados, etilen glicoles etoxilados o copolímeros "block" de óxido de etileno y óxido de propileno.

Los desemulsionantes para las emulsiones O/W menos frecuentes son catiónicos del tipo aminas poliméricas y sus sales.

El residuo aceitoso del agua de deshidratación se elimina, cuando necesario, por flotación con espuma. Los agentes espumantes más utilizados a tales fines son los alcohol ester-sulfatos y los polietoxi-sulfatos.

En ciertos pozos la expansión resulta en la producción de gas susceptible de formar una espuma estable, y se deben usar agentes anti-espumantes como sales de aluminio de ácidos grasos o alcoholes grasos.

Otros usos de los surfactantes en producción

Se usan extensivamente agentes surfactantes catiónicos (aminas grasas, imidazolinas y alquil amonio cuaternarios) como inhibidores de corrosión. Sin embargo, se deben examinar los problemas de compatibilidad con los demás surfactantes antes de usarlos.

Tanto en producción como en refinación, los inhibidores de corrosión actúan para bloquear una de las etapas del proceso de corrosión. Por ejemplo (Fig. 7) en presencia de hidrógeno sulfurado en medio acuoso se sabe que los equilibrios de disociación pueden desplazarse si se consumen los iones hidrógeno. Se adsorbe el ion HS^- sobre la superficie metálica, lo que produce una carga negativa que favorece la adsorción de los protones. Al reducirse los protones se produce el ion metálico y la corrosión (Fig. 7).

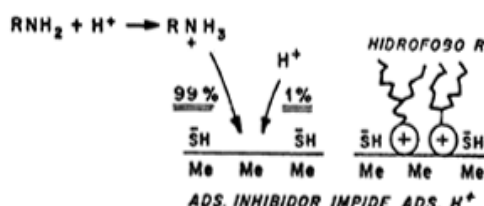
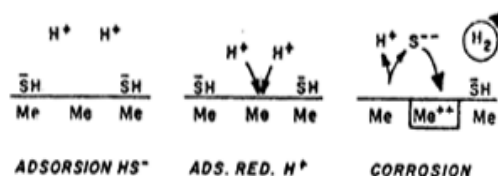
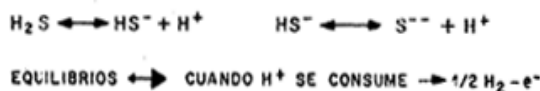


Fig.7.-Corrosión en medio sulfhídrico e inhibición por adsorción de surfactante catiónico.

Una amina grasa puede reaccionar con un protón para dar un amonio cuaternario, el cual se adsorbe sobre el metal y bloquea los sitios de adsorción de los protones. Tal bloqueo inhibe eficazmente el proceso de corrosión.

Los catiónicos se usan también como agentes bactericidas en las aguas de reinyección o de emulsión.

Los depósitos de escamas se inhiben con organo-fosfonatos, mientras que los depósitos de parafina se eliminan con agentes dispersantes como los alquil fenoles etoxilados.

Otra aplicación de los surfactantes es la producción de emulsiones O/W de crudos extrapesados. Estos crudos de baja gravedad API son extremadamente viscosos; las únicas alternativas simples de transporte y almacenamiento consisten en calentarlos o diluirlos con crudos livianos o gasoleos. Ambos métodos implican enormes costos de inversión y de funcionamiento y se está desarrollando una nueva técnica de transporte en forma de emulsión O/W de baja viscosidad que permita su bombeo, transporte y almacenamiento en forma convencional. Sin embargo el problema no es simple; para darse cuenta de las

dificultades. basta con notar que la emulsión debe ser estable al transportarla y almacenarla, pero fácil de romper más adelante. Las investigaciones realizadas hasta el momento indican que se puede producir una emulsión O/W conteniendo hasta 75% de crudo pesado, con viscosidad del orden de 100 cp y estabilidad adecuada. Tales resultados pueden probablemente extenderse a otros hidrocarburos pesados como los combustibles residuales. Se sabe en efecto que un cierto porcentaje de agua del orden de 10-20% no es desfavorable al proceso de combustión, más bien lo contrario. Se puede por lo tanto pensar que en el futuro se fluidizarán combustibles pesados en forma de emulsiones O/W.

SURFACTANTES EN LOS PRODUCTOS DE REFINACION

Gasolinas

Se añaden surfactantes a las gasolinas por sus propiedades detergentes, dispersantes, y como inhibidores de corrosión. Las Figs. 8 y 9 indican esquemáticamente la acción detergente y solubilizante de los surfactantes en medio no-polar.

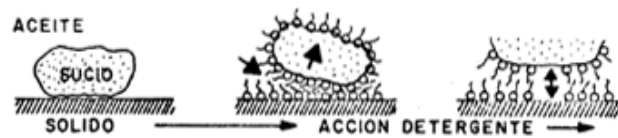


Fig.8.-Acción detergente en medio no-polar.

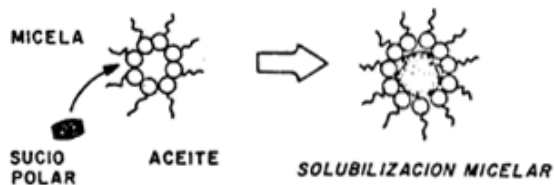


Fig.9.-Solubilización micelar de una sustancia polar en medio no-polar.

Los detergentes reducen los depósitos en la sección de vaporización del carburador. Los dispersantes evitan además tales depósitos en el sistema de inyección, válvula o aguja. Tales surfactantes se llaman aditivos anti-depósito e incluyen sustancias que reducen la formación de barnices y calamina en las partes en contacto con la gasolina.

La mayoría de los aditivos para gasolinas se queman sin producir cenizas. Los aditivos contienen surfactantes no iónicos con carácter catiónico tales como alquil diaminas, alquil succinimidas de dietilen triamina, alquil aminas fenólicas y alquil imidazolininas, o surfactantes iónicos como sales de ácidos carboxílicos, alquil sulfónicos o fosfóricos. Se usan también derivados polimerizados con grupos amino o amino-amido.

Los inhibidores de corrosión usados en gasolinas son en general del tipo aniónico como los derivados de ácidos alquil carboxílicos, alquil sulfónicos y alquil fosfóricos.

Los inhibidores de escarcha son sales de aminas de los anteriores así como no iónicos polietoxilados derivados de alquil amidas e imidazolininas.

Otros tipos de combustible

Los gasóleos para motores diesel contienen el mismo tipo de aditivos que las gasolinas. No hay carburador, pero sí una sección de compresión y expansión en los filtros y en las agujas de inyección, los cuales pueden taparse.

Para los combustibles de tipo jet-A para aviones de chorro se usan también los mismos aditivos. Adicionalmente se añaden surfactantes con propiedad antiestática para evitar los peligros del fenómeno llamado potencial de flujo. Tales agentes antiestáticos son electrolitos liposolubles como los alquil succinatos de manganeso, alquil salicilatos de cromo, sales carboxílicos, sales de aminas grasas, etc.

Lubricantes

Los aceites lubricantes para motor contienen detergentes del tipo sulfonatos de petróleo, alquil fenolatos o alquil salicilatos de metales divalentes (Ba, Ca, Mg). Algunos, como las alquil succinimidas y otros derivados de las succinimidas, no producen cenizas al quemar. Estas sustancias retardan la deposición del carbón y de la calamina al adsorberse sobre la superficie de las partes de motor. También actúan como agentes secuestradores (en micelas inversas) de los coloides producidos por la combustión.

Estos surfactantes permiten adicionar al aceite lubricante sustancias alcalinas que contrarresten la acidez de los productos de combustión.

Los aceites lubricantes contienen también agentes dispersantes que mantienen en suspensión las finas partículas de carbón y calamina producidos por la combustión y evitan su depósito. Tales partículas son responsables del ennegrecimiento del aceite. Los agentes dispersantes más utilizados son surfactantes poliméricos de tipo copolímeros de metacrilato con vinil piridina o metil vinil pirolidona, o copolímeros oxidados de etileno y propileno neutralizados por una poliamina. También se usan polibuteno-anilinas sustituidas y etoxiladas. Estos surfactantes poliméricos poseen además la propiedad de mejorar el índice de viscosidad del aceite lubricante, es decir de reducir la variación de su viscosidad con la temperatura.

Grasas

Las grasas son aceites lubricantes gelificadas por surfactantes tales como los jabones de litio; también se usan jabones de sodio, calcio y aluminio, o polímeros de úrea.

Aceites de corte

Los aceites de cortes son aceites lubricantes llamados "solubles" para fines de enfriamiento y lubricación de instrumentos de corte como tornos, fresadora, etc. Deben contener agua para el enfriamiento y aceite para la lubricación.

Los "concentrados" son aceites lubricantes que contienen agentes emulsionantes del tipo O/W tales como sulfonatos de petróleo o alquil aril sulfonatos sintéticos; también contienen a menudo jabones y alcoholes pesados. Al vertir el concentrado en agua, se produce una emulsión espontánea debida a la rápida transferencia de masa, resultando en una fina emulsión de aceite en agua.

Los aceites de corte contienen también inhibidores de corrosión tales como los derivados de ácidos alquil succinico o salicílicos.

Emulsiones asfálticas

Los asfaltos se acondicionan bajo varias formas. Para poder utilizarlos es necesario fluidizarlos, bien sea calentándolos, bien sea diluyéndolos, bien sea emulsionándolos. El tercer método no gasta energía y no produce contaminación ambiental; se está aplicando cada día más <13>.

Se fabrican emulsiones asfálticas de tipo O/W tanto con surfactantes aniónicos (sulfonatos de petróleo, jabones de ácidos de origen vegetal o petrolero) como con surfactantes catiónicos (aminas grasas y derivados, alquil amido poliaminas derivados de la lignina o de ácidos resinosos).

Los emulsionantes catiónicos se adaptan a cualquier tipo de relleno, que sea de carácter calcario o silicato, y por eso se prefieren.

El mecanismo de acción del surfactante en una emulsión asfáltica es complejo, pero muy ingenioso porque toma ventaja de varias propiedades del anfífilo. Por eso y como ejemplo final de esta revisión se examinará este mecanismo, aún de manera superficial, en el caso de un emulsionante catiónico.

La emulsión asfáltica debe permanecer estable cuando está almacenada en un barril. Por eso el surfactante debe impedir que las gotas de asfalto puedan tocarse y coalescer. El surfactante catiónico, por ejemplo un cloruro de alquil amonio, se adsorbe en la superficie de las gotas, con la parte alquil en el asfalto y el grupo amonio en el agua. Los iones cloruros quedan en la fase acuosa en la proximidad de la gota. Como resultado, las gotas poseen una carga superficial positiva y al acercarse dos gotas se ejerce una fuerza de repulsión electrostática que las mantiene a cierta distancia (Fig. 10 izq.).

Por otra parte, la fase externa es una solución acuosa que contiene electrolitos. Los cationes están adsorbidos pero los aniones (iones cloruros) se encuentran en la solución acuosa, cerca de la interfase y repartidos en lo que se llama la doble capa eléctrica. Al acercarse dos gotas, se drena la película de fase acuosa inter-gota, el fluido arrastra los aniones y por lo tanto se desbalancea la electroneutralidad del sistema. Como consecuencia se produce un campo eléctrico intenso (potencial de flujo) que tiende a oponerse al drenaje de la película. Tal proceso llamado electro-viscoso retarda la coalescencia de las gotas y contribuye a la estabilidad de la emulsión (Fig. 10 der.).

Al verter la emulsión asfáltica sobre un agregado rocoso, o al mezclarla con el, se tiene un sistema que contiene agua, asfalto (aceite) y una

superficie sólida, por ejemplo arena. La mayoría de las rocas contienen sílica, aluminio-silicatos o carbonatos, es decir que poseen una superficie cargada negativamente (por los átomos de oxígeno).

En presencia de una superficie cargada negativamente, el surfactante catiónico (cargado positivamente) migra desde la interfase agua/asfalto hacia la interfase agua/sólido, y se adsorbe sobre el sólido (Fig. 11 etapas 1 y 2).

Al desaparecer el surfactante de la interfase agua/asfalto, ya no está asegurada la repulsión electrostática entre las gotas de asfalto y éstas comienzan a coalescer entre sí (Fig. 11 etapa 3).

Por otra parte, las moléculas de alquil amonio cubren la superficie sólida con el grupo nitrógeno cuaternario adherido a la superficie y la "cola" alquil hacia la fase acuosa (Fig. 11 etapa 4). Es decir que desde la fase acuosa la superficie del sólido aparece recubierta por una capa de alcano, y es por lo tanto hidrófoba. La hidrofobación del sólido hace que el asfalto coalescido pueda adherirse a la roca, asegurando así su papel de "cemento" (Fig. 11 etapa 5).

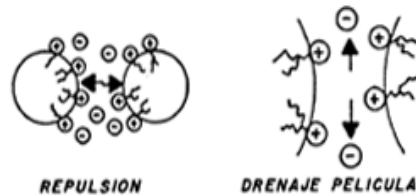


Fig.-10.-Mecanismo de estabilización de una emulsión

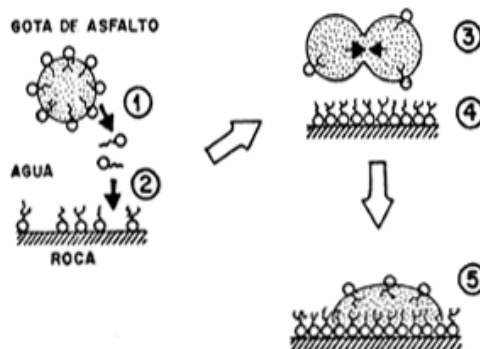


Fig.-11.-Mecanismo de coalescencia de una emulsión asfáltica al contactar un agregado rocoso.

El agua de la emulsión o bien penetra por capilaridad en el sólido granulado, o bien se evapora; la aplicación de emulsiones asfálticas puede hacerse por todos tiempos y la carretera puede utilizarse enseguida, después de hacer pasar una máquina compactadora.

AGRADECIMIENTOS

Los programas de investigación desarrollados en el Lab. FIRP desde 1978 han sido financiado, patrocinados o subsidiados por el Consejo de Desarrollo CDCHT-ULA, INTEVEP S.A., Centro de Investigación y Desarrollo de PdVSA, FONINVES y CONICIT.

REFERENCIAS

- <1> NELSON R.C., "Application of Surfactants in the petroleum industry", J. Am. Oil Chemistis Soc., 59 (10) 823A-826A (1982)
- <2> Presentación del Laboratorio FIRP y Lista de Publicaciones, ULA (1986)
- <3> GRAY G.R., "Composition and properties of oil well drilling fluids", Gulf Pub. (1980)
- <4> CHILINGARIAN G.V. y VORABUTR P., "Drilling and drilling fluids", Elsevier (1981)
- <5> HOLSTEIN E.D., "Future of EOR by Chemical flooding looks promizing", World Oil, july, 133-142 (1982)
- <6> SHAH D.O. y SCHECHTER R.S., Eds. "Improved Oil Recovery by Surfactant and Polymer Flooding", Academic Press (1977)
- <7> JOHANSEN R. y BERG R. Eds. "Chemistry of Oil Recovery", Am. Chem. Soc. Symp. Series N° 91 (1979)
- <8> SHAH D.O. Ed., "Surface Phenomena in Enhanced Oil Recovery", Plenum Press (1981)
- <9> WASAN D. y PAYATAKES Eds., "Interfacial Phenomena in Enhanced Oil Recovery", AIChE Symp. Series N° 212 Vol 78 (1982)
- <10> Proceedings "Enhanced Oil Recovery" Simposia, Tulsa, Society of Petroleum Engeneers (cada 2 años des 1976)
- <11> MUNGAN N., "Enhanced Oil Recovery. Part 10: Field applications of Surfactant/polymer flooding", World Oil, july, 187-192 (1982)
- <12> LAYRISSE I., RIVAS H. y ACEVEDO S. "Solution and characterization of natural surfactants present in extra heavy crude oils", J. Dispersion Sci. Technol., 5 (1) 1-18 (1984)

<13> AIVEPET, "Emulsiones asfálticas", Informe FONINVES, Ministerio de Energía y Minas, Caracas (1981)