

Empleo de emulsiones con soluciones de tensoactivo para el transporte de sustancias de elevada viscosidad

Erich Martínez Martín

Correo electrónico:erich@instec.cu

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), La Habana, Cuba

Artículo Original

Margarita de la Victoria Piedra Díaz

Correo electrónico:mpiedra@instec.cu

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), La Habana, Cuba

Annamaris Olmo Velázquez

Correo electrónico:olmo@cemat.cujae.edu.cu

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Resumen

La necesidad de mejorar la fluidez de los fluidos está presente en la industria por los gastos que esto conlleva y por la relación que guarda con el cumplimiento de la demanda de los usuarios en cuanto a volúmenes requeridos para los diferentes usos. En este sentido, la industria del petróleo muestra numerosos métodos para lograr dicho propósito, teniendo en cuenta las características de esta sustancia. Dentro de los métodos usados está el empleo de emulsiones del petróleo. Las emulsiones proporcionan buenos resultados si estas reúnen determinados requisitos para su uso. En el presente trabajo se presentan los resultados obtenidos en la investigación del uso de soluciones de surfactante para su empleo en las emulsiones tipo agua en aceite (W/O). Para ello se emplea el aceite de transmisión por tener propiedades semejantes a un petróleo medio.

Palabras claves: surfactante, emulsión, viscosidad, fluidez

Recibido: 21 de octubre del 2014

Aprobado: 7 de noviembre del 2014

INTRODUCCIÓN

En el transporte de los combustibles, en la industria energética cubana, cobra gran importancia su trasiego por sistemas de tuberías, que comienza en los puertos, hasta su destino final en las plantas. Estos sistemas difundidos mundialmente, cuando operan dentro de regímenes hidrodinámicos aceptables, son de gran efectividad económica y ambiental con respecto a los demás medios de transporte de combustibles pesados.

Los sistemas de tuberías para el transporte de combustibles resultan tan eficaces que existen hoy en el mundo miles de kilómetros instalados. En Cuba, la transportación por oleoductos aumentó desde un 21 % hasta un 24 % entre 1999 y el 2007, siendo el oleoducto Varadero-Matanzas un claro reflejo del desarrollo actual entre las

inversiones ejecutadas en la industria petrolera cubana. Mediante este oleoducto se elimina la transportación del petróleo crudo por barco en este litoral [1].

El mayor problema en el transporte de los petróleos crudos cubanos por sistemas de tuberías radica en que estos son fluidos de elevada viscosidad con comportamiento no newtoniano, que cambian esa propiedad en función del gradiente de velocidad, lo que conlleva estudiar vías a través de las cuales pueda mejorarse la fluidez de este tipo de combustible.

En la actualidad son utilizados varios métodos para mejorar la fluidez de estas sustancias de alta viscosidad. Entre ellos se pueden citar: el calentamiento del fluido hasta una temperatura adecuada para su bombeo, cuyos costos energéticos y de infraestructura son elevados; en segundo

lugar, la adición de sustancias derivadas del petróleo, como nafta, fuel oil y otros; el inconveniente fundamental de esta tecnología es la posterior separación de los productos, lo que requiere gastos energéticos adicionales [1].

Otra tecnología para mejorar la fluidez del petróleo crudo es la elaboración de una mezcla con fluidos de menor viscosidad y costo, como el agua. El empleo de agua en lugar de derivados del petróleo, constituye una alternativa viable, teniendo en cuenta que el crudo viene del pozo acompañado de esta, por lo cual puede ser reutilizada con ese fin. La dificultad de la tecnología radica en que estas sustancias son químicamente inmiscibles, por lo que el resultado de la mezcla de ambas es una emulsión cuya estabilidad depende de otras sustancias como los tensoactivos, por su influencia sobre la tensión superficial [2].

Actualmente sigue siendo necesario el desarrollo de nuevas investigaciones que permitan establecer las condiciones óptimas con las cuales se pueda hacer uso de las emulsiones como método racional y eficiente para mejorar la fluidez de sustancias viscosas, en este caso, el crudo nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para conocer el comportamiento de los fluidos utilizados en el presente trabajo, fue necesario realizar un grupo de determinaciones para ubicarlos dentro de los grupos conocidos, desde el punto de vista hidráulico. Estas determinaciones permitieron obtener sus propiedades reológicas. En la investigación realizada fueron consideradas como sustancias de trabajo: agua, aceite, surfactante y las diferentes soluciones obtenidas como combinaciones de ellas.

Determinación de la densidad

La densidad de las soluciones de surfactante presenta cierta variación en dependencia de la concentración de la solución. Para su determinación se empleó el método de pesaje de las muestras [3] y mediante la relación (1) se determina su valor:

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}, (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (1)$$

Soluciones de surfactante

A continuación se presentan los valores de densidad obtenidos para las soluciones de surfactante a diferentes temperaturas (figura 1).

Como se muestra en la figura 1, el comportamiento de las densidades con la temperatura es la misma en los fluidos de estudio, comportándose como una familia de curvas respecto al agua.

Derivado del petróleo

Como derivado del petróleo se utilizó aceite de transmisión por las semejanzas que presenta este en sus propiedades termofísicas con un petróleo medio [3].

En la figura 2 se muestra el gráfico de variación de la densidad del aceite.

En la curva se aprecia la diferencia entre los valores de la densidad del aceite respecto al agua y las soluciones de surfactante. Esto conlleva a que las densidades de las emulsiones estén ubicadas entre ambas curvas.

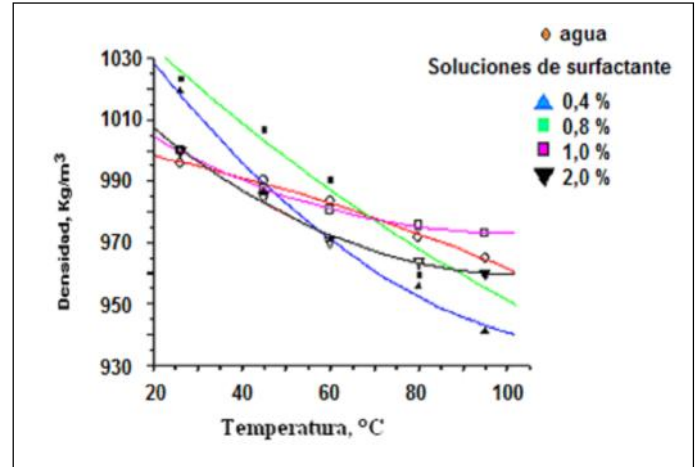


Fig. 1. Tendencia de los valores de densidad en las soluciones

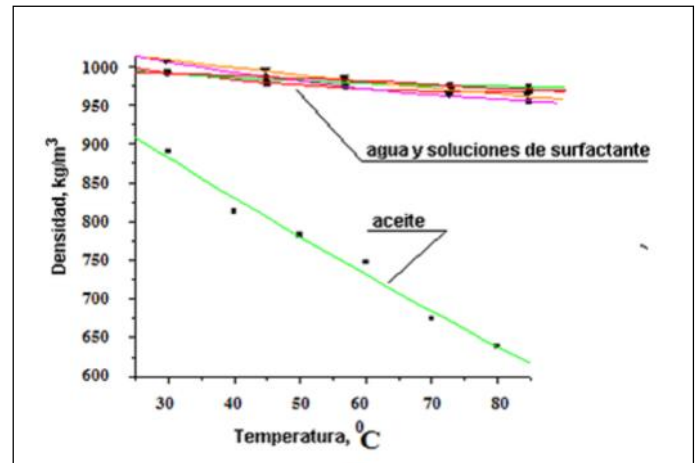


Fig. 2. Variación de la densidad del aceite con la temperatura

Determinación de la tensión superficial

Para la determinación de la tensión superficial se empleó el método del capilar [3]. Este método consiste en sumergir parcialmente un tubo capilar en la sustancia a estudiar. En dependencia de la viscosidad del fluido, este asciende por el, capilar hasta la altura h , igualándose las fuerzas de tensión superficial y las gravitacionales a la ejercida por la presión exterior, de acuerdo con el esquema mostrado en la figura 3.

La ecuación 2 permite determinar la tensión superficial en función de: la altura a la que sube el fluido por el capilar (h), el radio del capilar (r) y la densidad de la solución (ρ)

$$\sigma = \frac{\rho g r h}{2 \cos(\theta)}, (\text{N} / \text{m}) \quad (2)$$

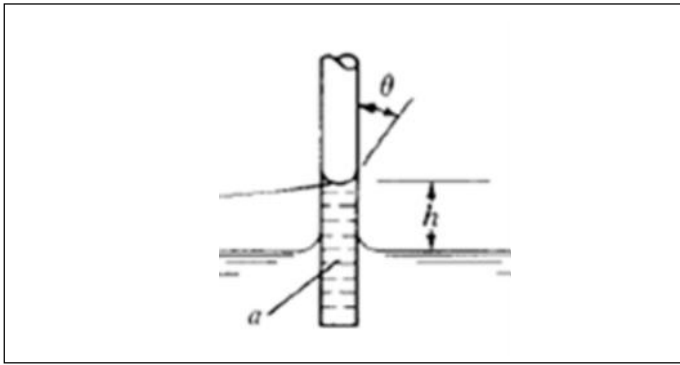


Fig. 3. Esquemas de medición de la tensión superficial

Los resultados de tensión superficial obtenidos para varias concentraciones de la solución se muestran en la figura 4.

Como se observa en la figura 4 los valores de tensión superficial disminuyen en la medida que aumenta la concentración de surfactante en la solución, queda entonces seleccionar la solución adecuada para el estudio que se pretende realizar. De acuerdo con la bibliografía consultada [4], las soluciones que se emplean para emulsionar el petróleo se encuentran por encima del punto de concentración micelar crítica (CMC).

Conocidas estas dependencias es preciso determinar el tiempo que se mantienen estas propiedades en las soluciones. Para ello se efectúa un grupo de mediciones de tensión superficial respecto al tiempo a partir de lo cual se obtiene la curva de la figura 5. Este resultado permitirá ganar criterios sobre el uso de los surfactantes y sus soluciones en el proceso de trasiego y almacenamiento de los fluidos.

Como se aprecia en la figura 5 las soluciones tienden a perder sus propiedades en la medida que envejecen, con una tendencia a valores elevados de tensión superficial, siendo el valor más alto posible, el del agua. Como es de suponer, ya en estas condiciones el efecto esperado sobre la fluidez no coincidirá con el que realmente se produce.

Determinación de la viscosidad

Para determinar la viscosidad se utiliza el método de los grados Engler ($^{\circ}E$). Los $^{\circ}E$ constituyen una unidad empírica basada en el fenómeno de vaciado de un depósito de volumen dado.

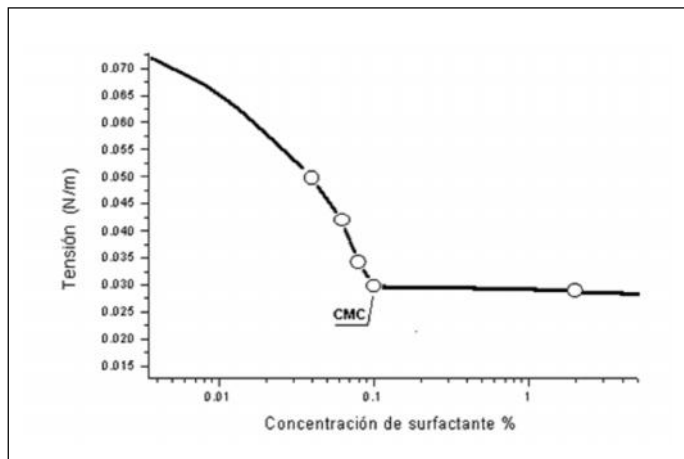


Fig. 4. Variación de la tensión superficial en función de la concentración de surfactante en la solución

La viscosidad se define como la relación entre los tiempos necesarios para evacuar 200 cm³ del fluido en cuestión y la misma cantidad de agua a 20 $^{\circ}C$. Estos no pueden ser empleados en una fórmula física, sino que han de transformarse en un sistema coherente de unidades mediante la fórmula empírica propuesta por Ubbelohde [3]:

$$v = \left(0,073 \cdot 10^0 \cdot E^{-\frac{0,063}{E}} \right) \cdot \left[\frac{cm^2}{s} \right] \quad (3)$$

Para la aplicación de este método se emplea una instalación con la configuración del viscosímetro de Engler (figura 6), donde el error introducido por las diferencias de este con respecto al oficial puede ser despreciado, debido a que se mantienen las mismas condiciones geométricas durante el trabajo con ambos fluidos (agua y aceite).

Los resultados fueron obtenidos para diferentes valores de temperatura. Como era de esperar, al aumentar la temperatura disminuye la viscosidad. De acuerdo con la bibliografía consultada [3] la sustancia de trabajo se corresponde con un aceite de transmisión, cuyos valores de densidad son comparados con los del petróleo crudo medio.

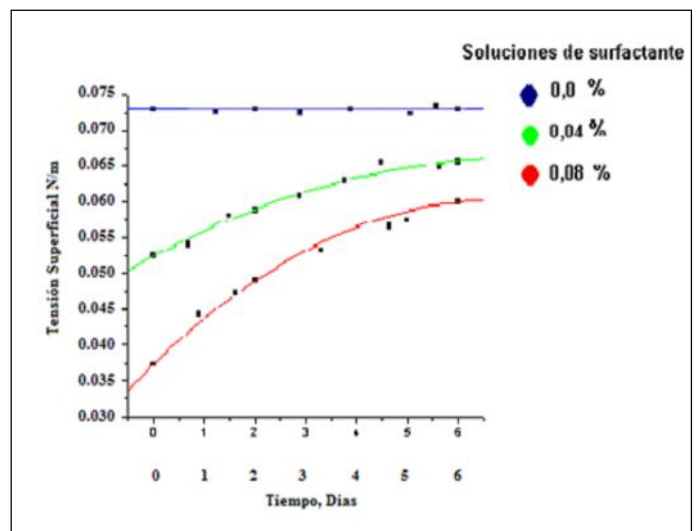


Fig. 5. Tendencia de los valores de la tensión superficial respecto al tiempo

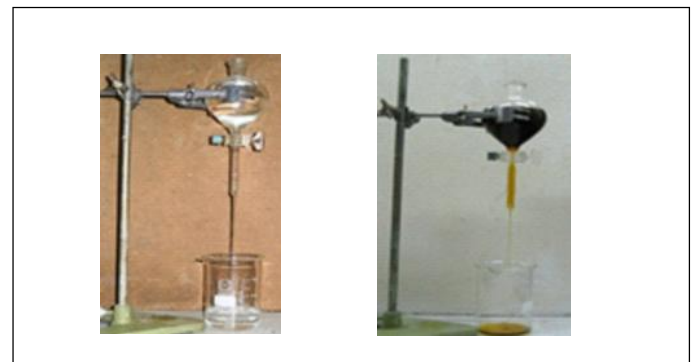


Fig. 6. Viscosímetro: a) Vertiendo agua; b) Vertiendo aceite

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez conocidas las propiedades fundamentales de los fluidos de trabajo (aceite de transmisión y soluciones de surfactante), queda por determinar el comportamiento de la mezcla de ambos como medida para mejorar la fluidez del aceite. En esta investigación se emplean soluciones al 0,5 %, 1% y 2% de surfactante, pues se recomienda en la bibliografía especializada [4] trabajar por encima de la CMC (0,1%) para las emulsiones del petróleo.

Para el trabajo experimental se diseñó una instalación que permite medir los parámetros hidrodinámicos fundamentales del fluido, en correspondencia con las condiciones reales para el trasiego del crudo por sistemas de tuberías (figura 7).

Como parte de los objetivos del trabajo se encuentra realizar una comparación entre las tecnologías del calentamiento y las emulsiones del aceite con soluciones de surfactantes al 30 %. Por tales razones la instalación cuenta con un calorímetro capaz de aumentar la temperatura del aceite hasta valores comparados con los alcanzados por el crudo en los generadores de vapor.

A continuación se describe el funcionamiento de la instalación, la cual permite analizar el comportamiento del fluido utilizando ambas tecnologías.

Calentamiento

Con la ayuda de la bomba (a) se traslada el aceite puro del depósito (b) hasta el intercambiador de calor que se encuentra conectado al calorímetro (e), donde aumenta su temperatura hasta valores comparados con los alcanzados por el crudo. A la salida del intercambiador de calor se realizan mediciones de temperatura y presión (d). Por último, se realizan las pruebas experimentales en la línea (c), cuyas dimensiones son proporcionales a sistemas de tuberías reales, relación geométrica longitud- diámetro ($l/d \gg 50$). Para obtener un valor de fluidez que sirva como referencia en la comparación de ambas tecnologías se estudia el comportamiento del gasto de aceite en metros cúbicos por segundo (m^3/s), con respecto a la variación de temperatura en grados Celcius ($^{\circ}C$), los resultados se muestran en la figura 8.

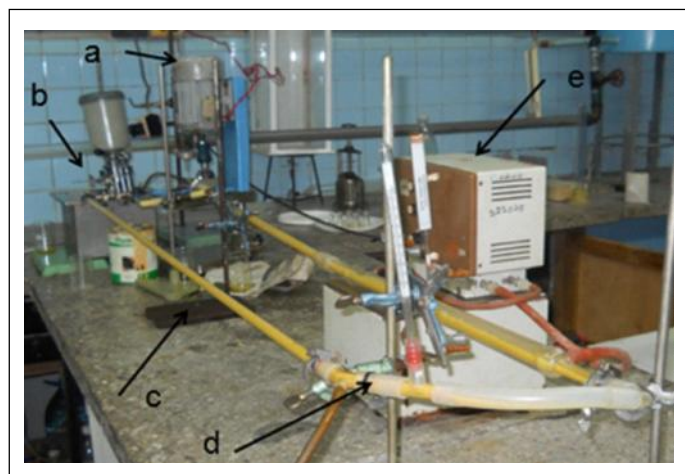


Fig. 7. Esquema de la instalación experimental: a) Bomba; b) Mezclador; c) Línea de prueba; d) Lectura de presión; e) Calorímetro

Como se puede observar del gráfico existe una relación prácticamente lineal entre el gasto y el aumento de la temperatura, fenómeno que tiene lugar como consecuencia de las variaciones de densidad y viscosidad del aceite puro.

Emulsión del aceite al 30 % de solución de surfactante

El proceso tecnológico comienza en el mezclador (b), donde se produce la emulsión del tipo W/O al 30 % de solución de surfactante como se muestra en la figura 9, posteriormente se bombea el aceite emulsionado con la bomba (a) hasta el punto (d), donde se realiza una medición de presión con un manómetro en U que se encuentra unido a la línea y por último se realizan las pruebas experimentales en la línea (c).

Para este caso se realiza un estudio similar de la fluidez del aceite después de ser emulsionado a una temperatura de $30^{\circ}C$, para ello se registra el comportamiento de las pérdidas de presión [5] respecto al gasto, este último es regulado por medio de una válvula de retorno. En la figura 10 se presenta la gráfica con los valores de pérdidas de presión en función del gasto de aceite emulsionado (figura 10):

Como se puede apreciar en la gráfica, hay una diferencia significativa entre el gasto de aceite puro y emulsionado, lo que refleja un incremento en la fluidez del mismo. Es evidente la disminución de las pérdidas de presión con el aumento de la concentración de surfactante a esa temperatura.

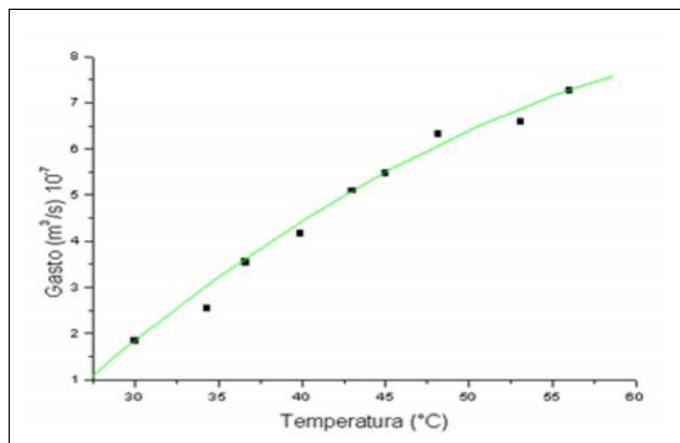


Fig. 8. Incremento de la fluidez respecto a la temperatura



Fig. 9. Emulsión al 30 % de solución

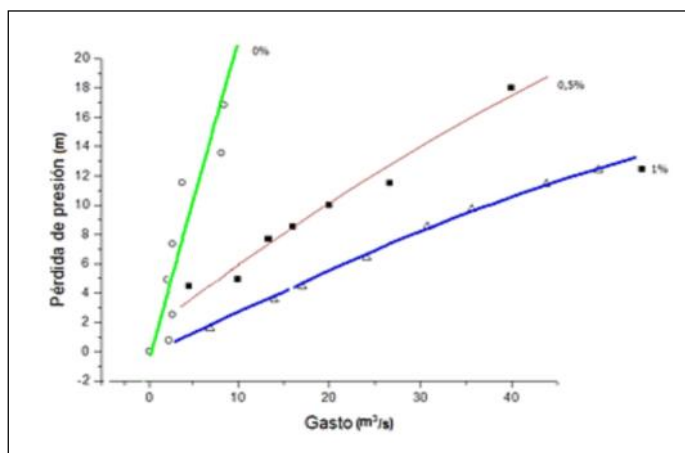


Fig. 10. Comparación entre los gastos de aceite puro y emulsionado

Comparación entre ambas tecnologías

A escala industrial mantener altas temperaturas, tanto en el transporte de crudo desde los pozos hasta las refinerías, como el trasiego de combustible pesado a las calderas en el caso de las termoeléctricas, representa un gasto económicamente significativo, ya que se necesitan agentes de transformación capaces de suministrar grandes cantidades de calor a estos sistemas. Además, resulta necesario crear una infraestructura que permita desarrollar estas operaciones.

Sin embargo, con la correcta aplicación de las técnicas de emulsión del combustible utilizando las proporciones y concentraciones de la solución establecidas, se puede lograr una eficiencia similar a la obtenida con el calentamiento, pero con un gasto económico menor y sin contaminación ambiental.

CONCLUSIONES

Al emplear las soluciones de tensoactivo en la formación de emulsiones, en este caso con un derivado del petróleo, se observó la mejora de la fluidez con el aumento del gasto en la unidad de tiempo, con una reducción de la caída de presión en el conducto.

Un aspecto importante fue el estudio del tiempo de degradación de las soluciones de surfactante. Esto permite inferir que la estabilidad de las emulsiones no estará afectada por la degradación de la solución por lo prolongado del proceso, contribuyendo a la correcta aplicación de los surfactantes en la industria petrolera, ya que conocido el tiempo máximo de utilidad de esta sustancia se le podrá dar un uso racional y eficiente.

La presente investigación propone una alternativa económica y ambientalmente viable para el transporte del petróleo crudo cubano por sistemas de tuberías.

REFERENCIAS

1. **DE DIEGO, Ruslán.** "Evaluación del sistema de generación de vapor de la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro". Director: Jesús

Salomón Llanes. Tesis de maestría. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba. 2013.

2. **RODRÍGUEZ TARRAGÓI, Héctor Luis; FALCÓN HERNÁNDEZ, José; HERNÁNDEZ PEDRERA, Carlos; CAMPOS-SOFÍAI, Melek.** "Estabilidad de emulsiones acuosas de petróleo crudo pesado con agente emulsionante de productos de pirólisis". *Revista Tecnología Química*. Septiembre-diciembre 2013, vol. 33, núm. 3, pp. 253-263. Disponible en Web: <https://ojs.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/3726> [consultado marzo 2014].
3. **SHAMES, Irving H.** *Mecánica de Fluidos*. 3ra ed. Colombia: Editorial Martha Edna Suárez, 1995, 850 pp., ISBN: 958-600-246-2.
4. Cuaderno Firp S747-A. "Formulación, Composición y Fabricación de Emulsiones" [en línea]. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, 1999. Disponible en: <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S747A.pdf> [consultado enero 2014].
5. **LAURENCIO ALFONSO, Héctor Luis; FALCÓN HERNÁNDEZ, José; RETIRADO MEDIACEJA, Yoalbys; PÉREZ MALIUK, Olga.** "Modelo para cálculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de petróleo pesado (11° API)". *Revista de Minería y Geología*. Julio-septiembre 2012, vol. 28, núm. 3, pp. 70-86. ISSN: 1993 8012. Disponible en Web: <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/310> [consultado marzo 2014].

AUTORES

Erich Martínez Martín

Ingeniero en Tecnologías Nucleares y Energéticas, Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba

Margarita de la Victoria Piedra Díaz

Ingeniera Mecánica, Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Consultante, Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba

Annamaris Olmo Velázquez

Ingeniera en Tecnologías Nucleares y Energéticas, Centro de Estudios de Matemática para Ciencias Técnicas (CEMAT), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Use of Emulsions with Surfactant Solutions for Viscous Fluids Transportation

Abstract

The needs for improving the fluidity of fluids is present in the industry, because of the expenses that it takes and its relation with the achievement of the consumers' demand according to volumes required for its different uses. In this way, the Oil Industry shows several methods to achieve this purpose, taking into account the characteristics of this substance. A method that can be used is the oil emulsions. Emulsions provide good results if they gather certain requirements for its use. In this paper are shown the results of a research about the use of surfactant solutions in emulsions W/O. Oil transmission is used in this work because of its similar properties to oil.

Key words: surfactant, emulsion, viscosity, fluidity