

## ESTUDIO DE LA INVERSIÓN DE FASE EN EMULSIONES DE AGUA EN CRUDO UTILIZANDO POLÍMEROS Y COPOLÍMEROS DE ACRILAMIDA COMO AGENTES DE INVERSIÓN

Carlos Chinae\* y Fátima Paulette Abreu Da Silveira

Laboratorio de Polímeros, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

\* e-mail: [carlos.chinea@ciens.ucv.ve](mailto:carlos.chinea@ciens.ucv.ve)

### RESUMEN

El estudio de la influencia de la poliacrilamida, sintetizada vía aniónica y diferentes copolímeros acrílicos, sintetizados vía radicales libres, en la inversión de emulsiones de agua en una muestra de crudo pesado-extra pesado, procedente del campo laboral y residencial San Tomé perteneciente a PDVSA ubicado a unos 14 km de El Tigre, Estado Anzoátegui, es el principal objetivo de esta investigación. Fueron modificados la concentración de la solución polimérica, el pH y la temperatura a la que se llevaron a cabo los ensayos, con la finalidad de obtener una formulación para que ocurra la inversión de la emulsión de agua en crudo y que posea una estabilidad adecuada para poder ser realizado el bombeo y transporte de la emulsión de su lugar de origen al centro en el cual se realizará la separación del crudo del agua. Se encontró que el pH y la temperatura a la cual se realizan los ensayos de inversión de la emulsión de agua en crudo, influye en un grado muy elevado sobre la obtención de las emulsiones de crudo en agua, observándose un mejor comportamiento a pH neutro y alcalino a una temperatura de 25 °C. A medida que aumenta la temperatura del sistema, la estabilidad de las emulsiones de crudo en agua disminuye. La estabilidad de las emulsiones se estudió midiendo el tiempo que tardaba en ocurrir la coalescencia de las gotas dispersas de crudo en agua. Se observó que la estabilidad de las emulsiones de crudo en agua aumenta a medida que se adiciona monómero con características hidrofóbicas a los copolímeros, hasta llegar un punto en el que la presencia de mayores cantidades de este monómero lo que hizo fue disminuir la estabilidad de estas emulsiones. La caracterización de los polímeros obtenidos se realizó mediante espectroscopia infrarroja (IR), análisis termo gravimétrico (TGA) y se determinó su temperatura de transición vítrea (Tg) mediante la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC).

*Palabras Claves:* Emulsión, Poliacrilamida, inversión de fase, Recuperación de crudo.

## STUDY OF THE INVESTMENT OF PHASE IN EMULSION OF WATER IN CRUDE USING POLYMERS AND COPOLYMERS OF ACRYLAMIDE AS AGENTS OF INVESTMENT

### ABSTRACT

The study of the influence of polyacrylamide, synthesized via anionic and different acrylic copolymers synthesized via radical free, in the inversion of emulsion of water in crude oil from a sample of crude heavy-extra heavy, supplied from the labor camp and residential San Tomé belonging to PDVSA located approximately 14 km from El Tigre, Anzoátegui State, Venezuela, is the main objective of this research. Were modified the concentration of the polymer solution, pH and temperature, for performing the test, with the purpose of obtaining a formulation that promotes the investment of water in oil emulsion, and having a proper stability to be able to be done pumping and transport of emulsion of their place of origin to the Centre which will be the separation crude oil from the water. Is found that the pH and the temperature to which had made them tests of investment of the emulsion of water in crude, influences in a grade very high on the obtaining of them emulsions of crude in water, watching is a best behavior to pH neutral and alkaline to a temperature of 25 °C. To increases the temperature of the system, the stability of the emulsions of crude in water decreases. The stability of the emulsions is studied by measuring the time that took in occur it coalescence of them drops scattered of crude in water. It was noted that the stability of the crude oil in water emulsions increases as it added monomer with hydrophobic characteristics to copolymers until a point in which the presence of greater amounts of this monomer did was reduce the stability of these emulsions. The characterization of them polymers obtained is made by spectroscopy infrared (IR), analysis thermogravimetric (TGA) and is determined its temperature of transition vitreous (Tg) through the technical of Calorimetry differential of sweep (DSC).

*Keywords:* Emulsion, polyacrylamide, phase inversion, recovery of crude oil

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales fuentes de energía en el mundo es el petróleo. Cabe destacar que Venezuela se encuentra entre los principales países productores y exportadores de crudo en el mundo. Por décadas, los desechos de hidrocarburos obtenidos durante la exploración y producción de los pozos petroleros fueron vertidos en fosas. Con la prohibición de las fosas petroleras a nivel internacional por el impacto ambiental que éstas causan, las empresas productoras de petróleo se han visto en la necesidad de iniciar investigaciones científicas con el fin de efectuar el saneamiento de las zonas afectadas [1]. Las emulsiones han sido objeto de investigación en los últimos años en la industria petrolera, teniendo como objetivo más importante el de facilitar la recuperación y procesamiento industrial de crudo.

En la última década, el interés en las emulsiones se ha centrado en el estudio de la inversión de las mismas, esto significa que, por ejemplo, una emulsión originalmente de aceite en agua (O/W) pasa a ser a una emulsión de agua en aceite (W/O) o viceversa, bien sea por la modificación de la afinidad del surfactante, o por el cambio en la composición o factores físicos en el sistema [2].

La inversión de una emulsión es referente a la inestabilidad que muestra la misma con respecto a su tipo, es decir, la emulsión puede cambiar de O/W a W/O o viceversa. Este fenómeno ha sido objeto de numerosos estudios, aunque no se ha logrado entender en muchos aspectos.

Sherman, en el año 1955, señaló que, para un sistema de emulsión particular, el grado de inversión varía con la concentración del agente emulsionante. Cabe destacar que la viscosidad máxima de una emulsión de W/O antes de la inversión aumenta con la concentración del surfactante hasta que llega el punto de la inversión en el cual la viscosidad del sistema disminuye. En el año 1958, Becher señaló que la variación en la concentración de fase para una inversión es afectada por el tipo de emulsionante y concentración [3].

En la presente investigación, se propone el uso de polímeros y copolímeros no iónicos, como la poli(acrilamida) y el copolímero acrilamida-2-hidroxietil-metacrilato, con el fin de ser empleados como agentes de inversión de emulsiones de agua en crudo que existen en las fosas petroleras, ya que, de esta manera, se conseguiría una menor viscosidad, lo que facilitaría el retiro de los desechos de crudo de éstas.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Los reactivos y solventes que se emplearon durante las síntesis se presentan a continuación: Acrilamida (Aldrich) de un 99% de pureza. 2-Hidroxietil metacrilato, suministrada por la empresa Intequim. Litio metálico. Sodio metálico. Potasio metálico. Nitrógeno, suministrado por Gases Industriales de Venezuela. Metanol absoluto (Aldrich). Tetrahidrofurano grado HPLC (Aldrich). tert-Butanol (Aldrich). Persulfato de sodio (Sigma-Aldrich) de un 99% de pureza. Bromuro de potasio, para análisis, ACS (Sharlau) de un 99,5% de pureza.

La síntesis del tert-butóxido de litio, se realizó según Schwindeman, J. A. y col. [4]. La síntesis de la poli(acrilamida) según Gur'eva, L. L. y col. [5]. La copolimerización de la acrilamida con el 2-hidroxietil-metacrilato se realizó según Tudorachi, N. [6]. El copolímero se preparó empleando persulfato de sodio, como iniciador. El rendimiento obtenido mediante este método fue del 92 %. La muestra objeto de estudio en esta investigación es de crudo pesado-extra pesado proveniente de una fosa petrolera ubicada en el campo laboral y residencial San Tomé perteneciente a PDVSA ubicado a unos 14 km de El Tigre, Estado Anzoátegui. Esta muestra es de crudo, sedimentos, agua y demás desechos que se generan durante la explotación y producción de crudo en los pozos petroleros.

Antes de iniciar los ensayos para observar si ocurre la inversión de la emulsión de la muestra de crudo en presencia de las soluciones acuosas de los polímeros sintetizados durante la investigación, se llevó a cabo una serie de ensayos con la finalidad de verificar el comportamiento de dichas muestras bajo la influencia de los parámetros objeto a estudio sin presencia de los polímeros sintetizados, los cuales son: pH y temperatura. Para determinar la relación que debe existir entre la muestra y la solución acuosa se realizaron dos ensayos variando la relación entre agua y muestra en las proporciones de 1:1 y 4:1, respectivamente, a 25°C, pH 7 y a una agitación constante de 1000 rpm durante 3 horas. Al finalizar esta serie de ensayos se eligió el que presentó un mejor comportamiento para invertir la emulsión de agua en crudo objeto de estudio.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La polimerización de la acrilamida se realizó a diferentes temperaturas, donde se encontró que a 60°C se obtuvo el mejor rendimiento (Tabla 1).

**Tabla 1.** Rendimientos obtenidos durante los ensayos realizados para la optimización de la temperatura de la reacción de polimerización.

Temperatura de reacción	% tert-Butóxido de litio/acrilamida	% Rendimiento
25	1,52 ± 0,01	18,54 ± 0,01
60	1,60 ± 0,01	88,86 ± 0,01

En la tabla 2 se muestran los resultados del ensayo de inversión de fase utilizando la poliacrilamida.

**Tabla 2.** Influencia de la concentración de la solución de poliacrilamida sobre la inversión de las emulsiones a una temperatura de 25 °C, pH 7 y una agitación constante de 1000 rpm.

Poliacrilamida	Concentración % m/v			Observaciones
	0,5	1,0	1,5	
1 %	A	B	C	El ensayo que presento mayor estabilidad, poseía una distribución de gotas pequeño y bastante uniforme, aunque posee poca cantidad de crudo en la emulsión.
1,5 %	B	B	B	
2 %	A	A	A	

Código de letras empleado:

- A: Hubo inversión, pero se rompió apenas se detuvo la agitación.
- B: Hubo inversión, pero con una estabilidad menor a los 5 minutos.
- C: Hubo inversión con una estabilidad de 5 horas.

Los resultados obtenidos sobre la inversión de las emulsiones bajo la influencia del copolímero cuya relación entre ambos monómeros es de 95/5 se muestran en la tabla 3. Tomando en cuenta las observaciones realizadas, este copolímero es menos eficiente que la poliacrilamida a la hora de promover la inversión de la emulsión de agua en crudo.

El mejor resultado obtenido de la inversión de la emulsión bajo la influencia del copolímero acrilamida-2-hidroxietil-metacrilato fue con el copolímero sintetizado al 1% con respecto al iniciador, una concentración de polímero del 1 % p/v, a pH 7 y temperatura ambiente, el cual fue de apenas 1 hora; su estabilidad es menor que la presentada con poliacrilamida, pero hay mayor cantidad, de manera cualitativa, de crudo presente en la emulsión y con una viscosidad menor, visualmente, que la presentada en el ensayo con la poliacrilamida.

**Tabla 3.** Influencia de la concentración de la solución de copolímero con una relación entre monómeros de 95/5 sobre la inversión de las emulsiones a una temperatura de 25 °C, pH 7 y una agitación constante de 1000 rpm

Copolímero acrilamida- 2-hidróxi- etilmetacrilato 95/5	Conc. %			Observaciones
	0,5	1,0	1,5	
1 %.	A	D	A	El mejor ensayo presentó una estabilidad de 1 hora, pero se pudo observar que este copolímero tiene la capacidad de emulsionar mayor cantidad de crudo que la observada con la poliacrilamida, con una distribución de tamaño de gotas uniforme.
0,5 %.	A	A	C	
0,2 %.	A	B	C	

Código de letras empleado:

- A: Hubo inversión, pero se rompió apenas se detuvo la agitación.
- B: Hubo inversión con una estabilidad de 15 minutos.
- C: Hubo inversión con una estabilidad de 30 minutos.
- D: Hubo inversión con una estabilidad de 1 hora.

#### 4. CONCLUSIONES

En general, a medida que se aumenta la temperatura aplicada en los ensayos para la inversión de emulsiones de agua en crudo, se desestabiliza la emulsión de crudo en agua obtenida. Los polímeros y copolímeros estudiados mostraron un mejor comportamiento cuando se trabajó las emulsiones a pH neutro y alcalino. El polímero que presentó mejores resultados durante su estudio sobre la inversión de emulsiones de agua en crudo fue el copolímero 90/10 m/m acrilamida/2-hidróxi-etil-metacrilato sintetizado al 0,5 % con respecto al iniciador.

#### 5. REFERENCIAS

- [1]. Madrid, M. y Cataldi, A. Caracterización de fosas petroleras y sitios contaminados por crudo a través de métodos geofísicos y sensores geoquímicos in situ. Sociedad Venezolana de Ingenieros Geofísicos. XI Congreso Venezolano de Geofísica, 2002.
- [2]. Rondón-González, M., Sadtler, V., Choplin, L. y Salager, J.-L. Emulsion inversion from abnormal to normal morphology by continuous stirring without internal phase addition: Effect of surfactant mixture fractionation at extreme water-oil ratio. *Physicochem. Eng. Aspects*, 288, 2006, 151-157.
- [3]. Acuña M., M. S. y Montes A., G. Elementos introductorios sobre tensoactivos en solución y la fabricación de emulsiones. Pontificia Universidad Católica de Chile. <http://cabierta.uchile.cl/revista/26/articulos/pdf/edu4.pdf> consultada en 04/10.
- [4]. Schwindeman, J. A., Dover, Troy B., Morrison, Robert C. y Kamienski, Conrad W. Preparation of lithium alkoxides. United States Patent, 1994.
- [5]. Gur'eva, L. L., Tkachuk, A. I., Dzhevadyan, E. A., Estrina, G. A., Surkov, N. F., Sulimenkov, I. V. y Rozenberg, B. A. Kinetics and mechanism of the anionic polymerization of acrylamide monomers. *Polymer Science, Ser. A*, 49 (9), 2007, 987-999.
- [6]. Tudorachi, N. y Lipsa, R. Copolymers based on poly(vinyl alcohol) and acrylamide. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 8 (2), 2006, 659 - 662.