

Fingering Viscoso Inmiscible de Soluciones Polimericas Desplazando Petróleo No-newtoniano.

F. ARÉVALO, M. CISTERNAS, A. FORNÉS*

Grupo de Física de Líquidos y Medios Porosos - Instituto de
Ciencias Básicas - Universidad Nacional de Cuyo cc 405 - Mendoza - Argentina
e-mail: afornes@raiz.uncu.edu.ar

Resumen

En este trabajo se presenta un análisis experimental del fingering viscoso en Celda de Hele-Shaw. La misma se saturó con un petróleo no newtoniano y se empujó con agua destilada, solución de agua-xantano a una concentración de 100 ppm y solución agua-xantano a una concentración de 350 ppm.

Las experiencias se realizaron a diferentes presiones. Fueron filmadas, procesadas y analizadas por computadora.

Se encontró la eficiencia areal por medio del método tradicional de calcular el cociente entre el área barrida y el área total en el instante antes de romper y se analizó la eficiencia areal en función de la presión de inyección.

Se realizó además el análisis mediante determinaciones de las dimensiones fractales y se compararon ambos resultados los que dieron comportamientos cualitativamente similares.

Abstract

In this paper we show the experimental results of areal sweep efficiency measures with Hele-Shaw cell.

We film the viscous fingering of xantano-water solutions (by concentrations of: 0 ppm, 100 ppm and 350 ppm), impelling a nonnewtonian oils.

We process the dates with a PC and we calculate the areal sweep efficiency and we study its behavior as a function of the concentrations and as a function of the pressure.

We also calculate the fractal dimensions and we find similar behavior.

Introducción

Numerosos trabajos analizan el fenómeno del fingering viscoso. Varios son computacionales⁽¹⁾₍₂₎₍₃₎₍₄₎₍₅₎. Otros son trabajos experimentales con fluidos miscibles⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾ y otros con fluidos inmiscibles⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾.

Daccord y otros⁽¹⁰⁾, trabajando en celda de Hele-Shaw concluyeron en 1985 que los principales factores que influyen en la estructura fractal del fingering viscoso son: el comportamiento reológico, la velocidad del flujo y la separación de las placas. En 1986⁽⁷⁾ mostraron que el desplazamiento de un fluido no newtoniano de alta viscosidad empujado por agua tiene crecimiento fractal. La dimensión fractal sería, en su opinión, función del ancho de la celda, en una celda lineal y función de la separación entre las placas en una celda radial.

Sigmund y otros⁽¹¹⁾ experimentaron la forma que adquirirían los dedos en placas con un medio poroso entre ellas y mostraron que ésta depende de la velocidad del fluido y de la razón de movilidades.

Stoneberger y otros⁽¹²⁾, analizaron, en celda de Hele-Shaw, varios casos de desplazamiento de fluidos pseudoplásticos mediante fluidos newtonianos. Verificaron que en todos los casos se produce el fingering.

En este trabajo se presenta un estudio experimental, mediante uso de celda de Hele Shaw radial a fin de determinar el efecto del agregado de xantano, en la eficiencia de barrido del agua empujando a un petróleo no newtoniano.

Para ello se determina la eficiencia areal en función de la presión y de la concentración del polímero, calculada como la razón entre el área tocada por el agua y el área total (A_b/A_t).

Se valora, además, la eficiencia de barrido a partir de la dimensión fractal y se comparan ambos resultados.

Teoría

El fenómeno del "fingering viscoso" es de fundamental importancia en la recuperación asistida de petróleo.

Al inyectar un fluido de menor viscosidad que el empujado, la interfase no tarda en adquirir la forma de guante, con unos dedos del fluido de menor viscosidad que se introducen en el de mayor viscosidad. La inestabilidad y el crecimiento de los dedos tiene su origen en la diferencia de las viscosidades.

La tensión interfacial se opone a la inestabilidad puesto que tiende a reducir la superficie de la interface y por lo tanto a disminuir el fingering.

Es bien conocido⁽⁷⁾ que, si la separación entre las placas es pequeña, el flujo dentro de la celda es laminar.

Puede probarse⁽⁸⁾ que la celda de Hele-Shaw se comporta como un modelo de medio poroso con permeabilidad :

$$k = \frac{b^2}{12} \quad (1)$$

Como se trata de fluidos incompresibles, se cumple, dentro de la celda, las ecuaciones de continuidad y Laplace. La ley empírica de Darcy gobierna la velocidad del flujo.

La diferencia de presión se toma entre el fluido desplazante y el desplazado. El gradiente de presión es mayor en el extremo del dedo, este gradiente induce la mayor velocidad, por lo que el dedo crece más rápido que el frente promedio.

La interfase entre los fluidos es controlada por fuerzas capilares. La razón entre las fuerzas de viscosidad y las de capilaridad puede ser expresada por un número adimensional llamado Número de Capilaridad:

$$N_{ca} = \frac{\eta_2 * v}{\sigma} \quad (2)$$

El fenómeno de crecimiento del dedo aparece para números capilares altos.

Los dedos pueden crecer sólo cuando se producen perturbaciones con una longitud de onda mayor que una longitud de onda crítica, dada por:

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{\sigma b^2}{(\eta_1 - \eta_2)v}} \quad (3)$$

donde: λ_c es la longitud de onda crítica, σ es la tensión superficial, η_1 y η_2 son las viscosidades de los fluidos empujado y empujante respectivamente, lo cual indica que la longitud de onda crítica λ_c es función lineal de la separación de los platos y decrece a medida que aumenta de la velocidad del fluido empujante.

La dinámica del frente del fingering viscoso tiene estructura fractal⁽¹⁶⁾.

El coeficiente de Hausdorff, $D^{(8)}$, se obtiene de la ecuación.:

$$\ln K_{fa}^i = D * \ln r + \ln C \quad (4)$$

Equipo experimental

La celda de Hele Shaw radial está constituida por dos placas de vidrio paralelas, cuadradas, de 36 cm de lado y 0,6 cm de espesor. Dichas placas están separadas entre sí por un burlete de goma adherida a la placa inferior, en el que hay cuatro orificios de salida del fluido entre las placas, uno en el medio de cada lado. El centro de la placa superior posee un orificio sumamente pequeño por el que puede

inyectarse el fluido. Esto constituye una configuración de cinco puntos, lo que en la industria del petróleo se denomina "five spots invertido", es decir, un pozo inyector y cuatro pozos productores, en donde el pozo inyector corresponde, en la celda, al orificio central practicado en la placa superior, y los pozos productores a las ranuras practicadas en la banda de goma. La separación entre las placas puede regularse por medio de un sistema de ocho abrazaderas tipo "U" dotadas con tornillos micrométricos.

Completa el equipo un compresor de aire, capaz de lograr una presión de hasta 8 at.,

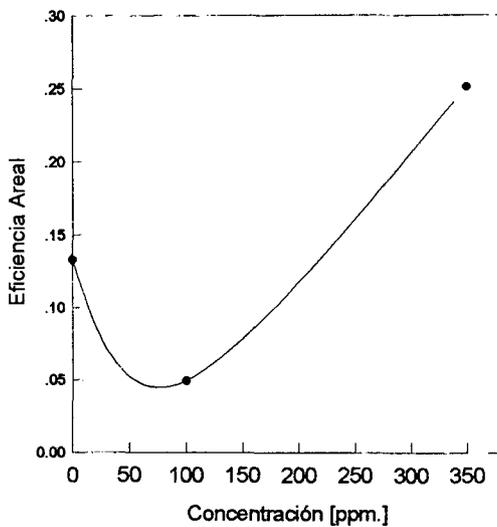


Figure 1 . Eficiencia areal en función de la concentración para una presión de 0.5 at y una separación entre placas de 0.7 mm

equipado con regulador y filtro de presión, lo que permite variar la presión de inyección y que es utilizado para inyectar a presión constante el líquido empujante. La totalidad de la experiencia es filmada mediante una cámara de Video Panasonic M8000, conectada a PC mediante una plaqueta Video Spigot.

La celda apoya sobre una bandeja destinada a recibir el petróleo producido, y está iluminada desde abajo con una fuente difusa para asegurar la visualización y el registro óptico del fenómeno.

Resultados experimentales

Se prepararon soluciones poliméricas: 0, 100 y 350 ppm de xantano en agua destilada.

Se realizaron sucesivas experiencias colocando el petróleo entre las placas y empujando con agua destilada y con cada una de las soluciones xantánicas.

Las experiencias fueron realizadas a una permeabilidad constante, de 41,36 mD. lo que equivale a una separación entre las placas decas: 0.7 mm

En cada experiencia la presión se mantuvo constante y se realizaron ensayos a 0.125 atm., 0.25 atm. y 0.5 atm.

Cada una de las imágenes obtenidas fueron procesadas por computadora.

Los resultados obtenidos para el caso de una presión de 0.5 atm. y una separación de 0.7 mm. se muestran en la tabla I.

Con- cen- trac. [ppm.]	Visco- sidad xanta- no η_x [cp.]	Viscosi- dad petróleo η_p [cp.]	Tensión interfas. σ [dyn/cm.]	Long. de onda crítica λ_c [mm.]	Rela- ción de movili- dades M_p/M_x
0	0.7	145	28.71	0.71	5.10^{-3}
100	1.19	145	14.6	0.65	8.10^{-3}
350	13	142	40	2.6	9.10^{-2}

Con los datos obtenidos en cada una de las filmaciones se realizaron diferentes gráficas.

La eficiencia areal en función de la concentración para una presión de 0,5 at. lo que se muestra en la figura 1. La eficiencia areal en

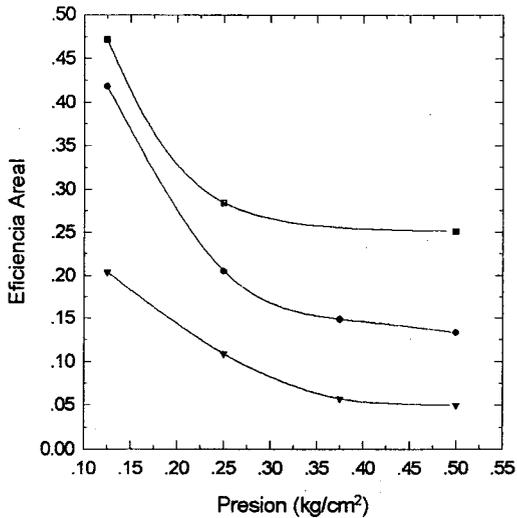


Figura 2. Eficiencia areal en función de la presión para: ● 0 ppm de xantano, ● 100 ppm de xantano y □ 350 ppm de xantano

Las figuras 3 y 4 son gráficas de la variación de la tensión interfacial y la dimensión fractal, en función de la concentración, respectivamente, para las mismas condiciones de permeabilidad y presión mostradas en la figura 1.

Análisis de los resultados

Analizando la eficiencia areal en función de la concentración (figura.1), se observa que para la solución de 100 ppm de xantano en agua destilada, la eficiencia de barrido es inferior a la de 0 ppm. En ambos casos el fluido empujante es newtoniano y el petróleo se encuentra en la zona newtoniana, para los gradientes de velocidades usados. Esto podría deberse a la disminución de la tensión interfacial (ver tabla 1) lo que desestabiliza la interfase.

La relación entre tensión superficial y concentración no sigue la teoría general propuesta por Gibbs y las ecuaciones empíricas⁽¹⁷⁾, que generalmente se ajustan bien a las curvas que relacionan la concentración con tensión superficial, tampoco se cumplen en estos casos.

Se puede concluir, que, a bajas concentraciones

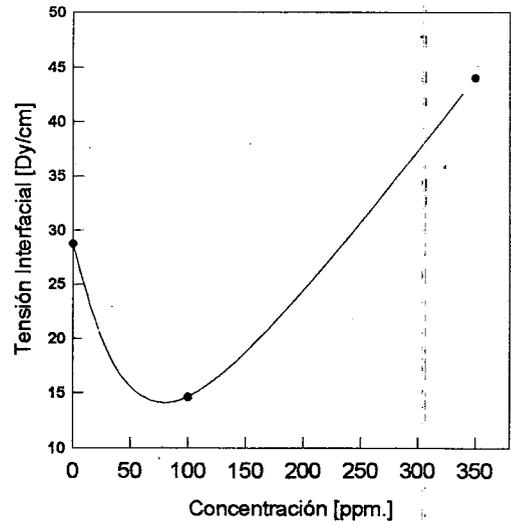


Figure 3. Tensión interfacial en función de la concentración para una presión de 0,5 at y una separación entre placas de 0.7 mm

de polímero, no hay mejora en la eficiencia areal, a pesar del buen efecto sobre el flujo fraccional⁽¹⁸⁾

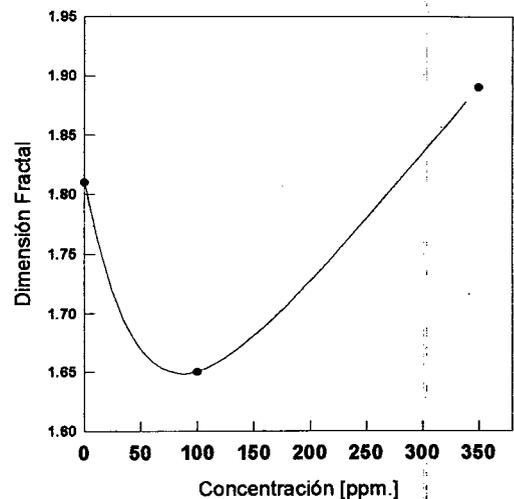


Figure 4-Dimensión fractal en función de la concentración para una presión de 0,5 at. y una separación entre placas de 0.7 mm.

A 350 ppm se observa una mejor eficiencia areal. Como, en este caso, la tensión interfacial es mayor que la de 0 ppm, la inestabilidad que se genera en la interfase es menor. Además, el

agregado de xantano aumenta la viscosidad del agua, lo que mejora la relación de movilidades y ello también contribuye a la mejora de la eficiencia areal. Las viscosidad con que se comportaron ambos fluidos y que figuran en la TABLA 1, fueron obtenidas de la curva de viscosidad en función del gradiente de corte, una vez calculado el mismo para la velocidad medida en la experiencia, ya que en este caso, ambos fluidos son no newtonianos.

En la fig.2 puede observarse que, en todos los casos, la eficiencia de barrido, disminuye al aumentar la presión. La velocidad y la presión están relacionadas por la ley empírica de Darcy. El aumento de velocidad provoca un aumento de inestabilidad, que explica lo observado,

En la fig.4 puede observarse que, al inyectar la solución de 350 ppm. de xantano en agua para empujar al petróleo, la dimensión fractal D del fingering es mayor (1.89) que para agua destilada (1.81), lo que expresa una mejor eficiencia. Para 100 ppm. D resultó menor (1.65), lo que indica una mayor ramificación de los dedos. Estos resultados coinciden cualitativamente con los obtenidos por el método tradicional, pero da una mayor información ya que pueden tomarse más puntos experimentales, lo que explica cómo la geometría fractal del fenómeno puede aplicarse, para lograr una comprensión adecuada del mismo.

Según Kjems⁽¹⁸⁾, la longitud de onda crítica depende de la diferencia de viscosidades, y ésta de la concentración del polímero⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾ y de la presión de inyección por ser no newtonianos. En la Tabla 1 del presente trabajo se observa que para la solución de 350 ppm, tanto la viscosidad como la longitud de onda crítica son mayores que en los otros casos. Esto expresa que para esta concentración la inestabilidad es menor, tal como resulta de los otros análisis. Puede notarse que la forma de las curvas de las figs. 1,3 y 4, son similares, lo que indica que la tensión interfacial juega un papel muy importante en la eficiencia areal obtenida,

De lo expuesto, surge el interés por estudiar más profundamente la relación entre tensiones interfaciales, movilidades y eficiencia de barrido a mayores concentraciones, a permeabilidad y presión variables.

En un futuro sería de interés analizar el rol de la tensión interfacial mediante la utilización de otros modelos experimentales como Celda de Hele-Shaw con esferas de vidrio aglutinadas entre las placas y otros sistemas no convencionales (R.M.N., Tomografía computada, etc.) de determinación de fingering viscoso.

Bibliografía

- 1-E. Peters and C. Reid.: SPE. May, 558-563, (1990)
- 2- F. Fayers, M. Blunt and M. Christie: Revue de L'Institut Francais du Pétrole. Vol. 46, N 3, Mai-Juin. (1991)
- 3- F. Fayers, M. Blunt and M. Christie, SPE.. May. 195-203 (1992)
- 4 - M. Blunt, J. Barker, B. Rubin, M. Mansfield, Y. Culverwell and M. Christie SPE Febrary, 73-80, (1994).
- 5 - Fayers, Jouaux and Tchelepi.: In Situ 18 , 1,1-31 (1994).
- 6 - J. Nittmann, G. Daccord and H. Stanley: Nature, 314. March, 141-144 (1985)
- 7- J. Nittmann, G. Daccord and H. Stanley, Fractals in Physics. Elsevier Science Publishers B.V., 193-202, (1986)
- 8 - E. Peters and S. Cavalero, SPE, September 225-230, (1990)
- 9 - M. Vartuli, N. Temprano, R. Chertcoff y M. Rosen: Revista Petroquímica, 78, 5260-5270 (1991)
- 10 - G. Daccord, J. Nittmann and H. Stanley.: Nature 316. Jun. 203-210, (1985.)
- 11 - P. Sigmund, H. Sharma, D. Sheldon and K. Aziz: SPE. May, 401-409, (1988).
- 12 - M. Stoneberger and E. Claridge, SPE. November 1221-1232, (1988)
- 13 - E. Chikhiiwala and Y. Yortsos, SPE. November, 1268-1278, (1988)
- 14 - Berry, Little and Salt, SPE, November, 429-436, (1991)

- 15 - PavoneSPE. May , 187-194, (1992)
16 - J.K. Kjems: "Fractals and Disordered Systems" Springer- Verlag . A. Bunde - S. Havlink. 263-294, (1991).
17 - Jirgensons-Straumains, "Compendio de Química Coloidal", Editorial Continental. Bs.As. (1965)
18 - Castiglione E. B. y Fornés A., Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, XXIII, 1, 62-64, (1996)
19 - Needham and Doe, SPE. December, 1, 503-1507, (1987)
20 - R. Seright and B. Henrici, SPE. Febrary, 52-60, (1990)

