

INESTABILIDADES VISCOSAS ENTRE FLUIDOS MISCIBLES EN MEDIOS POROSOS BIDIMENSIONALES

A.D' Onofrio, S. Obernauer^(*), N. Temprano, R. Chertcoff, M. Rosen^(**).

*Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires,
Paseo Colón 850, 1063 Buenos Aires.*

En experiencias de desplazamiento de soluciones poliméricas en lechos porosos, se presumió la presencia de digitación viscosa⁽¹⁾. Efectivamente cuando éstas eran desplazadas por agua (viscosidad menor) se observaron a lo largo del lecho perfiles de variación de concentración en función del tiempo, del tipo exponencial decreciente. Para interpretarlos se decidió utilizar una técnica de visualización del desplazamiento en un lecho poroso bidimensional.

En este trabajo se busca estudiar la estructura de esta digitación viscosa, observar la influencia de la velocidad y contrastar sus características con las producidas sobre soluciones acuosas de glicerina manteniendo la misma diferencia de viscosidades e igual relación de movilidades que en el caso de la dispersión polimérica.

Los parámetros que se estudian son en particular las velocidades de crecimiento transversal y longitudinal de los dedos.

INTRODUCCION

El fenómeno de inestabilidad por digitación viscosa se produce cuando un fluido desplaza a otro de mayor viscosidad y se manifiesta por la aparición de "dedos" cuya longitud crece con el tiempo (fig.1). Este tipo de inestabilidad se desarrolla en la zona de mezcla de los fluidos, ya que los mismos son miscibles. En la misma aparecen perturbaciones: gradientes locales de viscosidad, gradientes locales de presión, heterogeneidades, etc..

La digitación viscosa es un fenómeno en el que la no-linealidad se hace más marcada cuando la perturbación crece⁽²⁾⁽³⁾. Independientemente de los mecanismos (diferencia de viscosidades, de densidad, etc.) que gobiernen su aparición, estos dedos tienen características cualitativas comunes⁽⁴⁾ que permiten caracterizarlos, tales como: apantallamiento, coalescencia y división.

El fenómeno de digitación viscosa es de gran importancia en la recuperación secundaria y asistida de petróleo, ya que de la presencia y de la magnitud de esta digitación dependerá la eficiencia de la recuperación.

DESCRIPCION DE LAS EXPERIENCIA

En un medio poroso bidimensional (18cm x 16cm x 1cm) compuesto de microsferas de vidrio ($d = 350\mu$) compactadas, se realizaron las experiencias de digitación viscosa.

* Becario CONICET

** Investigador CONICET

El medio es saturado, inicialmente, con una dispersión polimérica de composición y viscosidad conocidas (ver tabla) la que es desplazada por una solución acuosa coloreada de rodamina.

La celda es colocada en posición horizontal, con iluminación difusa en la base. Una cámara fotográfica, permite tomar fotos sucesivas del avance del agua coloreada (fig.2).

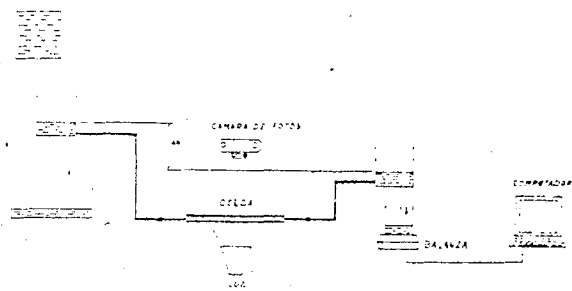


Figura 2: Esquema del dispositivo experimental.

La dispersión polimérica (xanthano) utilizada en estas experiencias es del tipo de las empleadas en recuperación asistida de petróleo⁽⁵⁾.

Para cada experiencia se mantuvo constante la diferencia de presión entre entrada y salida del medio poroso. Simultáneamente se midió el caudal.

Modificando la diferencia de presión, se pudo estudiar la influencia de la velocidad de desplazamiento en la estructura de los dedos. Otras experiencias realizadas con soluciones acuosas de glicerina sirven de referencia.

EXPERIENCIA	C [ppm]	ν [cp]	q [g/min]	$\Delta\nu$ [cp]	m
1 - xanthano	350	3.3	0.4-0.9	2.3	3.3
2 - xanthano	400	4.1	2.9-3.7	3.1	4.1
3 - xanthano	340	3.4	16	2.	3.4
4 - glicerina	42%	3.5	1.9	2.5	3.5
5 - glicerina	42%	3.2	17	2.2	3.2

TABLA DE REFERENCIA: Composición, ν : viscosidad, q: caudal, $\Delta\nu$: $\nu_x - \nu_{\text{agua}}$, movilidad: $m = \nu_x / \nu_{\text{agua}}$.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Las experiencias realizadas con xanthano (1,2 y 3 en la tabla) muestran en forma cualitativa para los tres caudales estudiados, las siguientes características:

En la de mayor caudal los dedos son más ramificados. En los tres casos la velocidad de crecimiento disminuye notablemente cuando uno de los "dedos" ha llegado al final de la celda. Esto se debe a un fenómeno de canalización.

En la fig. 3 se muestra el crecimiento relativo al frente de tres "dedos" en función del tiempo. Se eligió de cada experiencia el dedo que crece más rápidamente. El tiempo se normalizó al tiempo de llegada al otro borde del primer dedo para poder comparar la forma del crecimiento para diferentes caudales. Las longitudes de los mismos se midieron sobre la imagen, obtenida con un "scanner", sobre el que se superimpresió una grilla. Así se pudo mejorar la resolución de la medida.

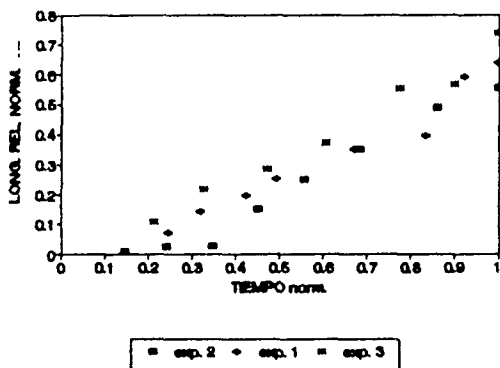


Figura 3: Gráficos de la posición de los "dedos" respecto del frente estable en función del tiempo normalizado. Se eligió de cada experiencia con xanthano el dedo que crecía más rápidamente para compararlos.

La posición del frente sin perturbar también pudo ser estimada a partir de la imagen de "scanner". Se midió el área total A barrida por agua. Se dividió cada área A por el ancho l de la celda y se obtuvo la posición del frente d sin perturbar.

En la fig. 4 se muestra una curva típica de la concentración media en función del tiempo para distintas posiciones (x) medidas a partir de la cara de entrada con una resolución de 4.5mm. La misma se obtuvo midiendo el área no coloreada de cada sección. Las curvas muestran un decrecimiento exponencial donde el exponente disminuye a medida que la posición estudiada está más lejos del borde de inyección. Este resultado coincide con el obtenido en lechos unidimensionales donde el polímero estaba marcado con un radiotrazador $\gamma(I_{131})$. Como conclusión, cuando en valor medio los perfiles de concentración en función del tiempo dan curvas del tipo de las aquí obtenidas, o sea exponenciales decrecientes, es lícito suponer la presencia de "dedos".

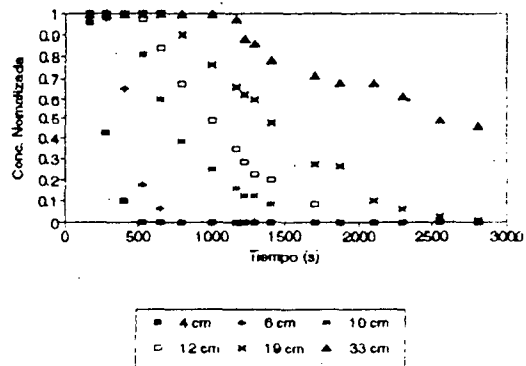


Figura 4: Gráfico de diferentes posiciones en la celda en función del tiempo para diferentes posiciones en la celda. Se muestra en este caso la de la experiencia número 2.

Si se representa, a partir de la figura 4, para cada posición el tiempo en que la composición del polímero se hace cero, se obtiene una relación lineal (fig.5). Esta permite determinar la velocidad de crecimiento transversal (v_t) de los "dedos"

$$v = L.k / n^\circ \text{ de dedos} \cdot x$$

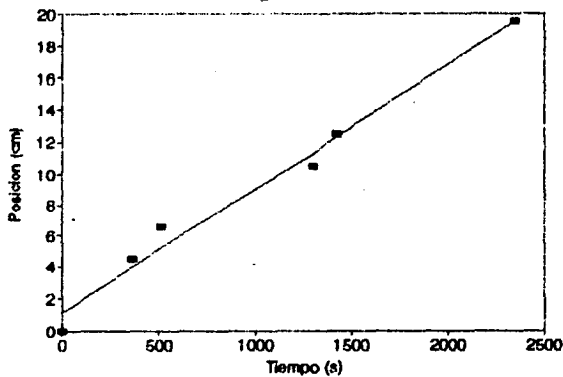


Figura 5: Gráfico de diferentes posiciones en la celda en función del tiempo en que tarda todo el polímero en ser desplazado en dicha posición.

Esto significa que para una dada posición (x) la velocidad es constante, lo que es coherente con la invariancia de la longitud de onda inicial (λ) durante las experiencias.

Los resultados de digitación viscosa con dispersiones poliméricas se contrastaron con los obtenidos con una solución acuosa de glicerina, en condiciones semejantes de viscosidad y movilidad.

En el caso de la glicerina, los "dedos" resultaron ser filamentosos, la longitud de onda es menor y están uniformemente distribuidas en todo el ancho de la celda. Eso significa que no hay un fenómeno de selección.

Suponemos que la diferencia de comportamiento observado entre el xanthano y la glicerina está relacionado con la diferente estructura molecular de ambos (diferencia de tamaño molecular $\approx 10^6$).

En cuanto a los mecanismos de interacción entre "dedos": apantallamiento, coalescencia y división, éstos no son notables, ya que la característica de estas experiencias es que la longitud de onda no varió a lo largo de las mismas.

Próximas experiencias permitirán correlacionar los resultados obtenidos y hacer un análisis cuantitativo⁽⁷⁾ de las propiedades no lineales de crecimiento de esta inestabilidad.



Figura 1

REFERENCIAS

- 1- M. Vartuli, N. Temprano, R. Chertcoff, M. Rosen; Revista Petroquímica. 9, 78,5260 (1991)
- 2- C.Tan, G.Homsy; Phys. Fluids. 29, 11, 3549 (1986)
- 3- R.Wooding; J.Fluid Mech. 39, 3, 477 (1969)
- 4- G.Homsy; Ann. Rev. Fluid. Mech. 19, 271 (1987)
- 5- G.Chaveateaux, N.Kolher; S.P.E. 22, 4745 (1974)
- 6- T.Maxworthy, J.Fluid Mech. 177, 207 (1987)
- 7- J.Nittman, G.Daccord, H.E.Stanley; Nature 314, 141 (1985)