

DETERMINACION DE LA VARIACION DEL ESPESOR DE FILM RESIDUAL DE AGUA CON EL NUMERO CAPILAR EN UN PROCESO DE DRENAJE.

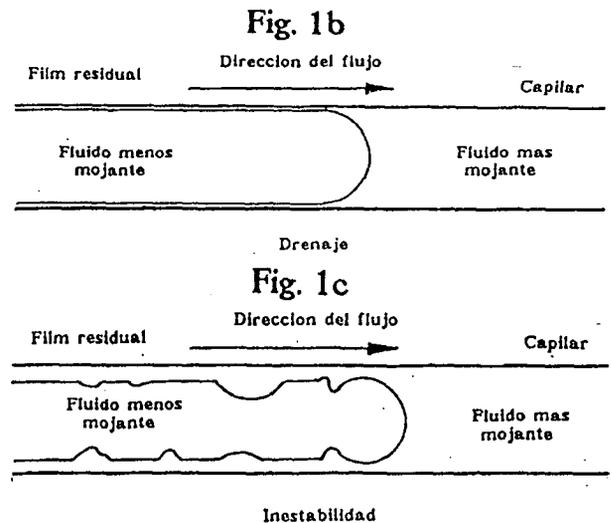
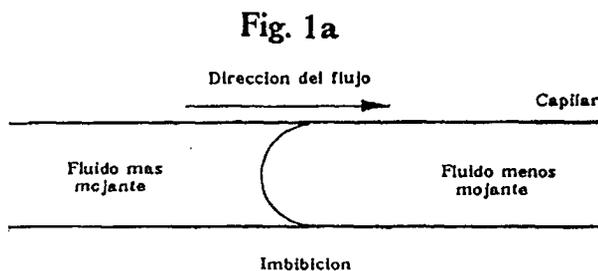
M. Cachile, R. Chertcoff, A. Calvo, M. Rosen, Grupo de Medios Porosos,
 Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Buenos Aires,
 Paseo Colón 850, 1063 Buenos Aires.

Se implementó un nuevo método experimental, utilizando un trazador radiactivo (iodo 131) que permitió determinar el espesor del film residual de agua luego de un proceso de drenaje con ciclohexano. Se utilizaron tubos capilares de vidrio de mojabilidad controlada de diámetro interno de 1.1 y 1.5 mm. Por este método se midieron espesores entre 1.5 y 11 micrones, para velocidades de inyección entre 0.07 y 4.5 cm/s. Resultados que, al contrastarse con la teoría, dan un buen acuerdo.

I. INTRODUCCION

La influencia de la mojabilidad en el desplazamiento de fluidos en medios porosos es un factor de importancia tanto en recuperación de petróleo como en hidrología. Sin embargo, es difícil analizar el efecto de la misma en medios porosos reales, sobre todo debido a la dificultad de controlar el estado de la superficie en la compleja geometría poral interna. Por ello, se modela el medio poroso, al que se puede representar en primera aproximación como un sistema de capilar se interconectados.

Resultados previos¹ obtenidos al estudiar flujos en medios porosos reales y modelados en laboratorio, dan información sobre la deformación de los frentes de avance de un fluido mojante en el caso de imbibiciones, según el grado de mojabilidad del mismo respecto de la pared poral. Entendemos por "imbibición", el proceso por el cual, un fluido mojante desplaza otro menos mojante que inicialmente satura mayoritariamente el medio. Y utilizamos el término "drenaje", para caracterizar el desplazamiento de un fluido mojante por uno menos mojante.



En la Fig. 1.a y 1.b se muestran los meniscos que se observan en el interior de un capilar para cada uno de estos procesos.

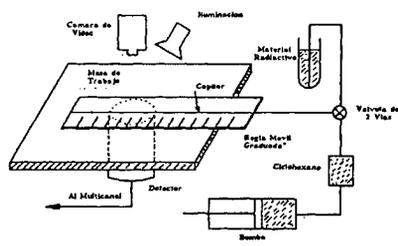
No sólo la mojabilidad en forma directa modifica las condiciones en que avanza un frente durante una imbibición o un drenaje, sino que la historia de las sucesivas imbibiciones y drenajes realizados, también cambia el tipo de interacción fluido-pared.

El objetivo de las experiencias aquí presentadas, es estudiar el espesor del film residual de un fluido mojante que queda en las paredes de capilares de mojabilidad controlada después de un drenaje. El mismo se mide en función de la velocidad de inyección del fluido menos mojante que desplaza al más mojante, que inicialmente satura al capilar.

Para ello, se dispone a punto un nuevo método que consiste en marcar el líquido inicial (más mojante) con un trazador radiactivo (emisor gamma).

II. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Se utilizaron capilares de vidrio soda-cal de 50 cm. de longitud y de 1.1 mm. de diámetro interno. Estos se colocaron horizontalmente sobre una placa graduada que se desplaza automáticamente frente a un detector en intervalos de 5 cm. (que es el ancho de la zona de colimación, en relación directa con la ventana del detector). Este desplazamiento del capilar se realiza con el objeto de obtener mediciones a lo largo del mismo (diez mediciones) y se repite en cada una de las tres etapas de las que consta cada experiencia (ver Fig. 2)



*Sistema de bombas y medir en materiales

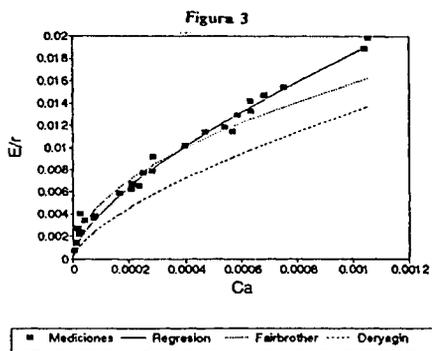
Fig. 2: Dispositivo experimental.

Dichas etapas son las siguientes:

- 1) Medición de la actividad de fondo.
- 2) Llenado del capilar a velocidad constante con agua marcada (^{131}I) y medición de la actividad debida a ella.
- 3) Drenaje del capilar con ciclohexano a velocidad constante y medición de la radiación residual (debida al film de agua marcada que queda en las paredes del mismo).

Durante la etapa de drenaje, se filma el menisco con una cámara de alta resolución para poder obtener con precisión su velocidad.

Para calcular el espesor del film, se usa una simple relación de volúmenes teniendo en cuenta que las actividades medidas son proporcionales a los mismos.



En la Fig. 3 se muestran los resultados experimentales obtenidos y la curva que mejor ajusta.

III. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Nuestros resultados, pueden expresarse por una relación de la forma

$$e = a r Ca^b$$

donde e es el espesor del film, r es el radio del capilar, a y b son constantes a determinar y Ca es el número capilar (adimensional) definido como:

$$Ca = \mu V / \gamma$$

donde μ es la viscosidad, V es la velocidad y γ es la tensión interfacial entre los dos fluidos. Para nuestro caso, los valores son $\mu \cong 1$ cp (para el agua y el ciclohexano a temperatura ambiente) y $\gamma \cong 43$ dyn/cm. Resulta $b \cong 0.56$, lográndose la mejor correlación para $Ca < 1.5 \cdot 10^{-4}$ con dicho exponente.

Analizando comparativamente, las dependencias del espesor del film con Ca , obtenidas por diferentes autores vemos que se obtuvieron expresiones del tipo:

1) $e \propto Ca$, corresponde a una relación de tipo empírico, obtenida por el grupo de la General Electric trabajando en el año 1922 con ceras por encima de su punto de fusión sobre cables². El inconveniente de trabajar con ceras, como los mismos autores aclaran, es que cuando esta comienza a solidificarse, su viscosidad cambia, con lo que una de las más importantes variables no está bajo control.

2) $e \propto Ca^{1/2}$, relación también de tipo empírico, obtenida por Fairbrother³ en el año 1935 trabajando con capilares en equipos de electroendoósmosis. Este trabajo fue motivado por el problema de determinar la relación entre la velocidad aparente de una burbuja de aire y la velocidad real del fluido, fenómeno que está directamente relacionado con el espesor del film residual. El máximo valor de Ca con el que trabajaron los autores fue de 0.019.

El mismo problema fue estudiado en otras condiciones por Marcessault y Mason⁴, corrigiendo empíricamente la fórmula propuesta por Fairbrother. Posteriormente, Taylor⁵, que trabajó usando no ya burbujas, sino una columna de aire, verificó que la relación dada por Fairbrother es válida hasta $Ca \cong 0.1$ y para Ca mayores el exponente es menor.

3) $e \propto Ca^{2/3}$, relación deducida teóricamente en 1942 por Landau y Levich⁶ para placas planas, Deryagin⁷, en 1945, dedujo teóricamente una relación similar para capilares, realizando también experiencias que la verificaron. En el año 1965, White

y Tallmadge⁸, hicieron una corrección para altos números capilares a la ecuación original de Landau y Levich.

Bretherton⁹, en 1961, en estudios teórico experimentales, dedujo una relación equivalente a la dada por Deryagin, aunque con resultados experimentales no muy satisfactorios, verificando los resultados de Fairbrother y Taylor.

Hay que hacer notar aquí que ninguna de las experiencias presentadas fueron hechas en las mismas condiciones que las nuestras, ya que o bien el caudal no se mantuvo constante (velocidad del menisco constante), o fueron realizadas con meniscos líquido-aire como par de fluidos.

Finalmente, señalamos que como estas experiencias tienen por objeto poner de manifiesto la influencia de la mojabilidad de los fluidos respecto a la pared, fueron realizadas con líquidos de igual viscosidad.

IV. CONCLUSIONES:

En estas experiencias se varió Ca desde 10^{-6} hasta 10^{-9} . Para $Ca > 10^{-3}$ aparecen inestabilidades en el menisco (ver Fig 1 c) que no permiten aumentar la velocidad de trabajo.

Los resultados ajustan con $e \propto Ca^{0.56}$, próxima a los resultados de Fairbrother de origen empírico. Estos resultan contradictorios con los modelos teóricos, que en nuestra zona de trabajo prevén un exponente 2/3. Sin embargo, las experiencias de Taylor (1961) y Bretherton (1961), coinciden con

los resultados de Fairbrother en este rango.

Nuestras experiencias no indican hasta ahora dependencia alguna del espesor del film con la posición en el capilar. esto podría presuponerse ya que por el extremo de ingreso, pasa líquido no mojante durante un tiempo mayor que en el extremo de salida.

En experiencias posteriores, se intentará variar Ca modificando las viscosidades de los fluidos y poder ampliar el rango de trabajo.

Finalmente, se concluye que nuestro método de trabajo es preciso, directo y permite trabajar con rangos de velocidades de barrido y espesores bajos.

REFERENCIAS

- 1- A. Calvo, R. Chertcoff, M. Rosen, E. Guyon; *Revue Phys. Appl.*, **24** 553 (1989).
- 2- F. Goucher, H. Ward; *Phil. Mag.*; **22** 1003 (1992).
- 3- F. Fairbrother, A. Stubbs; *J. Chem. Soc.*, **1** 527 (1935).
- 4- R. Marchessault, S. Mason; *Ind. Eng. Chem.*, **52** 79 (1960).
- 5- G. Taylor; *J. Fluid Mech.*, **10** 161 (1961).
- 6- L. Landau, V. Levich; *Acta Physicochimica*, **17** 42 (1942).
- 7- B. Deryagin; *Acta Physicochimica URSS*, **13** 349 (1945).
- 8- D. White, J. Tallmadge; *Chem. Ing. Sci.*, **20** 33 (1965).
- 9- F. Bretherton; *J. Fluid Mech.*, **10** 166 (1961).