

Solución de segundo orden para predecir la propagación del frente de espuma en el proceso de recuperación mejorada de petróleo

Carlos Torres-Ulloa¹ and Paul Grassia¹

¹Dept. of Chem. and Proc Engineering, University of Strathclyde, James Weir Building, 75 Montrose St, Glasgow G1 1XJ, UK.

El modelo de crecimiento impulsado por presión (o conocido en inglés como “pressure-driven growth model”) se emplea para estudiar el frente de propagación en el proceso de recuperación mejorada de petróleo mediante el uso de espuma (o conocido en inglés como “foam improved oil recovery” y/o “foam IOR”). Específicamente, se presenta una solución analítica del modelo, aproximada al segundo orden en el tiempo, en el límite del tiempo inicial ($t \ll 1$). El frente de espuma se puede representar, en cualquier momento, por un número arbitrario de puntos materiales cuyo movimiento ocurre en la dirección normal al frente, movimiento que disminuye con la profundidad (ver Figura 1). Dado que los puntos en el frente migran hacia abajo, se abre un espacio entre la parte superior del depósito y el punto más alto originalmente en el frente. Para llenar el espacio, se deben inyectar nuevos puntos en el frente desde el límite superior [1]. Como consecuencia, el frente se divide en dos regiones: una región inferior (compuesta de puntos originales en el frente desde el tiempo cero) y una región superior (compuesta por los puntos recién inyectados). Los estudios previos del modelo de crecimiento impulsado por la presión se han desarrollado utilizando coordenadas Lagrangianas [1] y Eulerianas [2], con el fin de determinar cómo se mueven los puntos recién inyectados en la región superior y cómo se unen con la región inferior. Dichos estudios prueban efectivamente la existencia de una esquina cóncava en el frente, donde se conectan las dos regiones. La solución Lagrangiana de primer orden [1] estima que la esquina cóncava inicialmente migra hacia abajo a una velocidad constante ya definida. Por otra parte también se ha postulado en [1] y [2], que la velocidad a la que la esquina cóncava se mueve hacia abajo disminuye con el tiempo. Sin embargo, la posición exacta de la esquina en el tiempo no se ha resuelto previamente para tiempos mayores. Para rastrear cómo esta esquina cóncava se mueve con el tiempo, se desarrolla una solución analítica de segundo orden, demostrando que el componente de velocidad vertical de la esquina disminuye con el tiempo. La solución de segundo orden también aclara la manera en que los puntos de material son extraídos o consumidos por la esquina cóncava [3]. La nueva solución analítica muestra concordancia con los datos numéricos Eulerianos tanto para tiempos pequeños como para tiempos de orden uno, validando así los resultados [3].

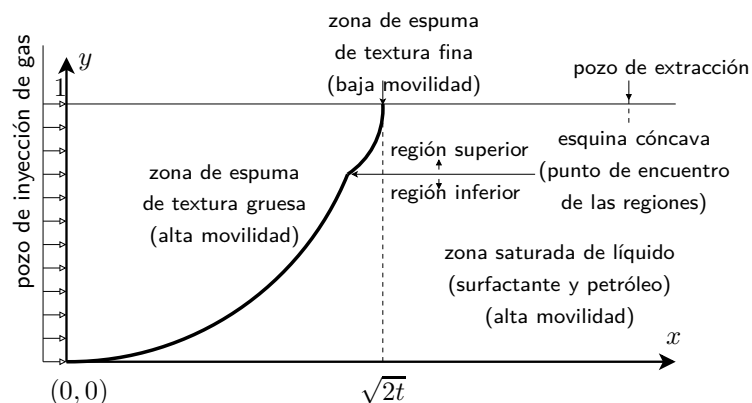


Figure 1: Esquema del frente de propagación de espuma a través en un dominio adimensional vertical $y \in [0, 1]$, y horizontal $x \in [0, \infty]$. La espuma se crea mediante la inyección de gas formando una región de textura fina de pequeño espesor y baja movilidad, la cual corresponde al frente de propagación. El frente corresponde a la curva sólida, que se divide verticalmente en dos regiones, separadas por una esquina cóncava. En la parte superior del frente ($y = 1$) la posición del frente en función del tiempo corresponde $x = \sqrt{2t}$.

References

- [1] P. Grassia, L. Lue, C. Torres-Ulloa, and S. Berres, “Foam front advance during improved oil recovery: Similarity solutions at early times near the top of the front,” *JFM*, vol. 828, pp. 527–572, 2017.
- [2] C. Torres-Ulloa, S. Berres, and P. Grassia, “Foam-liquid front motion in Eulerian coordinates,” *Proc. Roy. Soc. A*, vol. 474, no. 2220, pp. 2018–0290, 2018.
- [3] C. Torres-Ulloa and P. Grassia, “Breakdown of similarity solutions: a perturbation approach for front propagation during foam-improved oil recovery,” *Proc. Roy. Soc. A*, vol. 477, no. 2245, p. 20200691, 2021.