

# AJUSTE ANALITICO DE LOS PERFILES DE CONCENTRACION DE UNA DISPERSION POLIMERICA EN UN MEDIO POROSO

S. Gabbanelli, N. Temprano, R. Chertcoff, M. Rossen.

*Grupo de Medios Porosos,  
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires,  
Paseo Colon 850, 1063 Buenos Aires.*

Se realizaron experiencias de desplazamientos de miscibles de dispersiones poliméricas en medios porosos unidimensionales. Las mismas, marcadas con un trazador radioactivo ( $^{131}\text{I}$ ) dan información del perfil de concentración en función del tiempo y la coordenada medida a partir de la cara de inyección. Estos perfiles se ajustan con soluciones de la ecuación de convección-dispersión modificada por la presencia de zonas muertas y de retención (Coats y Smith y retención). El ajuste resulta en buen acuerdo, obteniéndose información complementaria sobre: coeficientes de dispersión, velocidad intersticial media, coeficiente de transferencia de masa, porosidad efectiva al polímero y retención total en cada sección del lecho.

## I. INTRODUCCION

En procesos de Recuperación Asistida de Petróleo con agentes químicos se utilizan dispersiones hidrosolubles de polímeros para aumentar la eficiencia de dicha recuperación. En particular el Xanthano es un polímero biodegradable de amplia aplicación en este campo. En nuestro laboratorio se realizaron experiencias de barridos miscibles en lechos porosos utilizando esta dispersión polimérica marcada con un trazador radioactivo emisor  $\gamma$  ( $^{131}\text{I}$ )<sup>1</sup>.

Dichas experiencias se realizaron en un medio poroso no consolidado saturado previamente con agua. El lecho consiste en un cilindro de 0.41 m de largo y 0.05 m de diámetro relleno de microesferas de vidrio compactadas. El cilindro fue colocado horizontalmente. Desde el exterior del mismo se obtuvieron valores de actividad en función del tiempo a distancias prefijadas y medidas desde la cara de inyección. Esta actividad es directamente proporcional a la concentración. La experiencia se realizó aplicando una diferencia de presión  $\Delta p$  constante.

En la Fig.1, se muestran los resultados de la medición de actividad en función del tiempo, medidas a 5 cm. de la cara de inyección y superpuesto el ajuste obtenido. A tiempos cortos, los valores experimentales muestran la "S" características de los fenómenos de dispersión acoplados en este caso con convección y en presencia de zonas muertas o estancadas. A continuación, la curva crece abruptamente y este crecimiento lineal de la actividad, debe adjudicarse a un fenómeno de entrapamiento de

las moléculas del polímero. Dicha retención puede tener origen en un entrapamiento de tipo mecánico o hidrodinámico. La utilización de microesferas de vidrio garantiza la ausencia del fenómeno de adsorción del polímero. Asimismo, los resultados indican que la velocidad de retención disminuye a medida que nos alejamos de la cara de entrada.

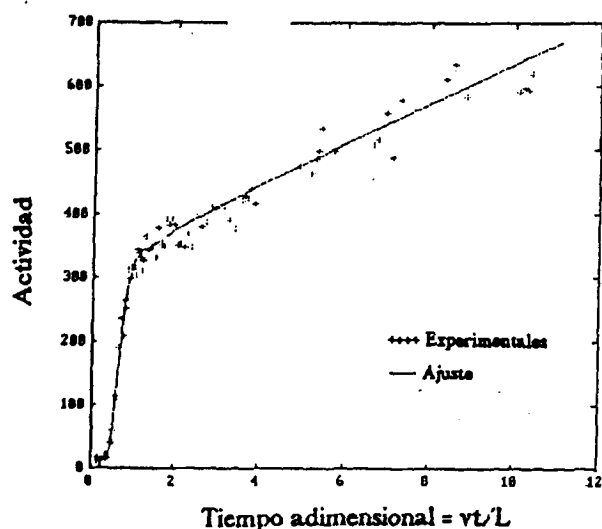


Fig. 1: Zona ajustada de la cara 5.

Este trabajo tiene por objeto ajustar matemáticamente los resultados obtenidos con estas dispersiones en el régimen transitorio.

## II. MODELO MATEMATICO

Coats y Smith<sup>2</sup> propusieron un modelo matemático capaz de representar un flujo miscible a través de un medio poroso que tuviera en cuenta los fenó-

menos de dispersión- convección con presencia de zonas estancadas. Este modelo se presenta con dos ecuaciones diferenciales parciales: la primera es una clásica ecuación de dispersión-convección a la que se le agrega un término que indica la presencia de un volumen inmóvil; la segunda ecuación representa la transferencia de masa por difusión entre las zonas móvil e inmóvil.

Si el fenómeno de adsorción está presente durante el desplazamiento de la dispersión polimérica, Sorbie<sup>3</sup> agrega a estas ecuaciones un término que lo representa. Se supone una relación del tipo  $\Gamma(c) = \lambda c$ , donde  $\Gamma$  es la cantidad de soluto adsorbido (g/g),  $\lambda$  es una constante y  $c$  es la concentración local del polímero, es factible obtener una solución exacta para  $c$  en función de la posición y el tiempo.

Nosotros hemos adoptado este modelo resignando un significado diferente al término de adsorción: el de entrapamiento. Como fue dicho más arriba, de la observación de la Fig. 1, se infiere un comportamiento de tipo lineal para la retención, similar al que presentan ciertos fenómenos de adsorción.

Con las consideraciones expresadas, el modelo matemático queda expresado:

$$(1 + \rho \lambda / \phi) \delta c / \delta t = K \delta^2 c / \delta x^2 - v \delta c / \delta x - \alpha / f \phi (c - c^*)$$

$$(1 - f) \delta c^* / \delta t = \alpha / \phi (c - c^*)$$

donde  $c$  es la concentración de la zona móvil,  $c^*$  es la concentración de la región inmóvil;  $\rho$  es la densidad del vidrio (g/cm<sup>3</sup>), material con el que fue realizado el lecho;  $\phi$  es la porosidad fracción de volumen poral, (adimensional);  $\lambda$  es la constante de proporcionalidad entre la cantidad de moléculas de polímero y la concentración de la zona móvil (cm/g), considerando una ley de entrapamiento del tipo  $\Gamma(c) = \lambda c$ ;  $K$  es el coeficiente de dispersión (cm<sup>2</sup>/s);  $V_m$  es la velocidad media superficial (v/f $\phi$ ) de la región móvil (cm./s);  $\alpha$  es el coeficiente de transferencia de masa entre las regiones móvil e inmóvil (s<sup>-1</sup>) y  $f$  es la fracción de volumen poral de la zona móvil (adimensional).

Las condiciones iniciales del problema son:

$$t = 0 : c = 0$$

y las condiciones de contorno

$$c(0,t) = \begin{cases} C_{iny} & 0 < t < t_{iny} \\ 0 & t > t_{iny} \end{cases}$$

$$c(x,t) \rightarrow 0 \quad x \rightarrow \infty$$

donde  $C_{iny}$  es la concentración de la dispersión del polímero inyectada y  $t_{iny}$  es el tiempo de inyección.

El modelo se resolvió utilizando la transformada de Fourier para su inversión.

### III. AJUSTE

El ajuste de los valores experimentales se realizó estimando los parámetros  $\lambda, K, V_m, \alpha$  y  $f$ . Dicha estimación se realizó mediante la búsqueda del mínimo de una función  $F$  definida por

$$F(\lambda, K, v, \alpha, f) = \sum_i (C_{exp}(t) - C_{calc}(t))^2$$

siendo  $C_{exp}(t)$  la concentración media en una posición fija del medio poroso y  $C_{calc}(t)$  la solución del modelo matemático calculada para la misma posición (Tabla 1).

En la Fig.2 se puede observar la buena concordancia de los valores experimentales de la concentración con la curva obtenida mediante el ajuste matemático. Y, en la Tabla 1 se muestran los valores finales de los parámetros de ajuste.

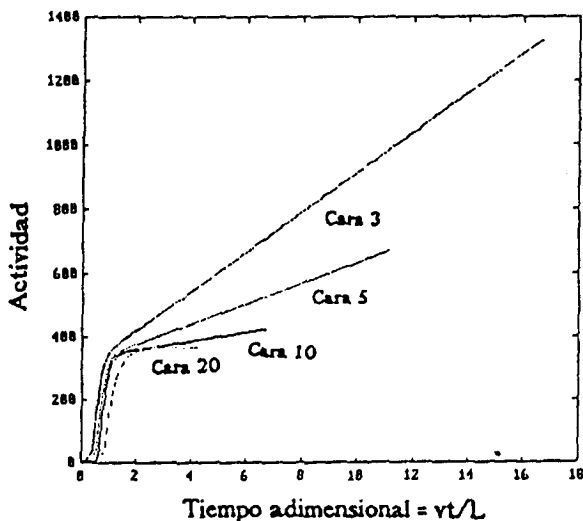


Fig. 2: Ajustes de las caras 3,5,10 y 20.

### IV. CONCLUSIONES

De la aplicación del modelo a los datos experimentales, podemos concluir que,

- En las zonas de dispersión y entrapamiento donde se aplicó el modelo, los resultados son satisfactorios y el ajuste resulta rico en información.
- La velocidad de entrapamiento (Fig.3) sigue aproximadamente una ley hiperbólica con la distancia, lo que puede justificarse un fenómeno de separación cromatográfica.

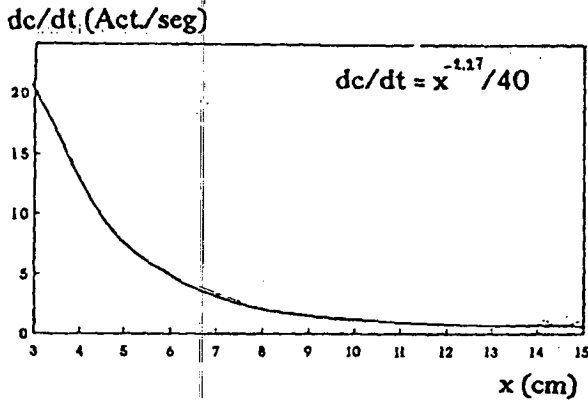


Fig. 3: Velocidad de entrapamiento vs. distancia

Cara (cm)	f	$\lambda$ (cm <sup>3</sup> /g)	K (cm <sup>2</sup> /s)	$\alpha$ (1/s)	$v_m$ (cm/s)
3	0.51	0.12	$0.8 \cdot 10^{-7}$	$7.90 \cdot 10^{-7}$	$2.30 \cdot 10^{-4}$
5	0.55	0.10	$2.0 \cdot 10^{-7}$	$4.00 \cdot 10^{-7}$	$1.83 \cdot 10^{-4}$
7	0.64	0.09	$3.3 \cdot 10^{-7}$	$3.50 \cdot 10^{-7}$	$1.80 \cdot 10^{-4}$
10	0.62	0.08	$6.9 \cdot 10^{-7}$	$1.65 \cdot 10^{-7}$	$1.60 \cdot 10^{-4}$
15	0.66	0.06	$2.2 \cdot 10^{-7}$	$0.90 \cdot 10^{-7}$	$1.28 \cdot 10^{-4}$
20	0.81	0.05	$1.8 \cdot 10^{-5}$	$0.15 \cdot 10^{-7}$	$0.86 \cdot 10^{-4}$

Tabla I: Parámetros estimados con el ajuste.

- El orden de magnitud de  $\alpha$  ( coeficiente de transferencia de masa entre las zonas móviles e inmóviles), indica la disminución de la transferencia con

- las zonas muertas, que puede estar relacionado con el efecto cromatográfico arriba mencionado.
- La fracción del fluido móvil (f) aumenta a lo largo del medio en concordancia con la disminución de  $\alpha$ .
- La velocidad local de entrapamiento en cada sección, en cambio, sigue una ley lineal. Esto se verifica por el buen acuerdo obtenido entre los valores experimentales y el modelo matemático propuesto.
- Las velocidades estimadas ( $v_m$ ) son aproximadamente constantes para todo el lecho, resultando coherente para un desplazamiento miscible.
- La constante de proporcionalidad  $\lambda$  disminuye con la distancia a la cara de inyección indicando que el entrapamiento disminuye. Cabe señalar que las caras posteriores a la 20, presentan las mismas características de esta última, es decir, ya ni hay crecimiento de la actividad debido a la retención.

## REFERENCIAS

- 1.- M. Vartuli, N. Temprano, R. Chertcoff y M. Rosen. REVISTA PETROQUÍMICA, **78**, 5260-5266, (1991).
- 2.- K. Coats and B. Smith. SEPJ (March 1064) 73-84; Trans. AIME, 231.
- 3.- K. Sorbie, A. Parker and P. Clifford. SPEJ (August 1987) 281-304.