

TRANSFERENCIA DE CALOR EN REACTORES TRICKLE-BED: INFLUENCIA DE LA FORMA Y TAMAÑO DEL RELLENO

María J. Taulamet^{1,2*}, Néstor J. Mariani^{1,2}, Osvaldo M. Martínez^{1,2}, Guillermo F. Barreto^{1,2}

¹PROIRQ, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata, Argentina

²Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas "Dr. J. J. Ronco" (CINDECA) CCT-La Plata-CONICET- UNLP, calle 47 No. 257, CP B1900AJK, La Plata, Argentina.

mtaulamet@yahoo.com.ar

RESUMEN: Se realizaron medidas de transferencia de calor con un equipo experimental del tipo trickle bed. A partir de las mediciones experimentales realizadas de los perfiles radiales de temperatura para distintos tipos de relleno (esferas, cilindros, trilobulares), cubriendo como principales variables operativas los caudales de líquido y gas, altura de relleno y relación de aspecto (se cubrió un rango de 4 a 35, típico de sistemas con transferencia de calor con el exterior), se aplicará el modelo bidimensional pseudohomogéneo para interpretar el fenómeno de transferencia de calor. Los parámetros correspondientes al modelo serán ajustados por regresión de la información experimental, para generar finalmente correlaciones con fines predictivos.

PALABRAS CLAVE: Reactores *trickle-bed*, transferencia de calor, modelo bidimensional pseudohomogéneo.

Los reactores trifásicos de lecho fijo con flujo descendente de gas y líquido, trickle-bed (RTB), son extensamente utilizados en plantas químicas, petroquímicas, en la industria petrolera, en procesos bioquímicos, electroquímicos y de tratamiento de efluentes [1].

A pesar de su extensa utilización, la simulación de estas unidades dista de poder llevarse adelante en forma totalmente confiable, siendo la complejidad fluidodinámica una de las principales razones que generan incertidumbres. La fluidodinámica se caracteriza a través parámetros que, por su parte, afectan fuertemente los parámetros de transporte destinados a representar el comportamiento del lecho. Entre los mismos, se destacan aquellos que definen la transferencia de calor.

En diversos procesos, como la síntesis de MIBK (metil-isobutil cetona) o el proceso SMDS (Shell Middle Distillates Synthesis) que convierte gas natural a hidrocarburos sintéticos mediante una síntesis de tipo Fischer-Tropsch [2], es necesario transferir calor con un medio externo, utilizando RTB de tipo multitubular. En estos casos la transferencia de calor se convierte en un proceso determinante del comportamiento global del reactor. También resulta relevante estar en condiciones de cuantificar ajustadamente la velocidad de transferencia de calor en los reactores de escala laboratorio y banco en los cuales se estudia el comportamiento de un catalizador, ya que suele requerirse que el reactor trabaje en forma isotérmica. A pesar de la importancia que adquiere en estas situaciones una correcta evaluación de la transferencia de calor, no se dispone de herramientas completamente confiables que permitan llevar a cabo la estimación de los parámetros que posibilitan tal evaluación.

En una revisión reciente [3] se ha analizado críticamente la información disponible en la literatura abierta sobre transferencia de calor en RTB. Entre las principales conclusiones se destacó la escasez de estudios experimentales con partículas que presenten una geometría diferente a la esférica, muchas de las cuales, como las partículas multilobulares, son extensamente empleadas en RTB a nivel industrial.

En este contexto, en nuestro grupo se vienen llevando a cabo estudios experimentales sistemáticos referidos a la transferencia de calor en RTB que permiten alcanzar correlaciones confiables de los parámetros de transferencia de calor. En un trabajo previo [4] se presentaron resultados exclusivamente para partículas esféricas. El objetivo de esta contribución es presentar los resultados experimentales obtenidos al emplear partículas con diferentes geometrías (cilindros y trilobulares), comparar los resultados con los obtenidos para esferas y alcanzar correlaciones de los parámetros del modelo bidimensional pseudohomogéneo (conductividad efectiva radial y coeficiente de transferencia de calor en la pared) que incluyan las diversas formas de partícula estudiadas.

El equipo experimental consiste en un lecho relleno, donde fluyen en corriente descendente agua y aire, empleados como fluidos modelo, alimentados a temperatura ambiente. El lecho está rodeado por una camisa por la que circula agua caliente a alta velocidad, a fin de que la variación de temperatura de la misma sea muy pequeña. La camisa está dividida en tres secciones, de manera de lograr diferentes alturas efectivas para la transferencia de calor. Se llevan a cabo medidas de temperatura de entrada de los fluidos, al lecho y camisa, así como un perfil radial de temperatura en el interior del lecho a la salida en dos posiciones angulares. Como rellenos se han empleado esferas de vidrio de diferentes tamaños (diámetros de 11.0, 6.3, 3.0, 1.5 mm), cilindros de vidrio de dos tamaños (diámetros: 2 y 8.74 mm, longitudes: 6.5 y 11.8 mm, respectivamente) y un catalizador comercial de forma trilobular (diámetro: 2.6 mm, longitud: 6.6 mm). El diámetro del tubo es de 51.4 mm, lo que conduce a relaciones de aspecto, diámetro de tubo a diámetro de partículas, en un rango de 4 a 35. Los rangos de caudales de gas y líquido permitieron cubrir condiciones de régimen de alta y baja interacción.

El análisis de los datos experimentales se llevó a cabo empleando un modelo bidimensional pseudohomogéneo, lo que permitió, a través de un procedimiento de regresión, obtener los valores individuales de conductividad efectiva radial y coeficiente de transferencia de calor en la

pared para cada tipo de partícula y caudal de gas y líquido utilizado. Se obtuvieron correlaciones de ambos parámetros del modelo para relaciones de aspecto superiores a 15.

Para la conductividad efectiva radial la correlación alcanzada representa satisfactoriamente un conjunto amplio de datos experimentales obtenidos de diversas fuentes (los datos propios se adicionaron a una base de datos más amplia generada en el trabajo [3]) incorporando correctamente la influencia de propiedades geométricas y operativas observadas experimentalmente. La desviación promedio entre los valores medidos y predichos de resultó de 15.62 %. En la Fig.1 se presenta el parity plot que compara valores experimentales con los predichos por la correlación.

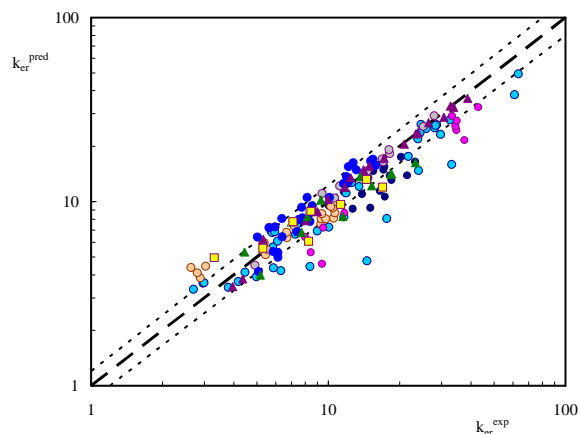


Figura 1. Comparación entre valores experimentales y calculados de la conductividad térmica radial efectiva.

Para el coeficiente de transferencia de calor en la pared, utilizando datos experimentales propios, se alcanzó una correlación única para partículas esféricas, cilíndricas y trilobulares. La desviación promedio entre los valores medidos y predichos resultó de 15.19 %. La comparación entre valores experimentales y predichos se presenta en la Fig. 2.

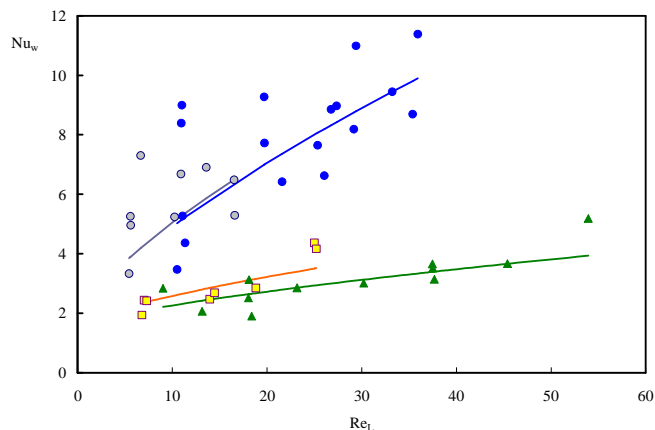


Figura 2. Comparación entre valores experimentales (puntos) y predichos por la correlación propuesta (líneas continuas)

Por otra parte, para relaciones de aspecto más bajas se observó, en acuerdo con [4], que el modelo bidimensional pseudohomogéneo convencional no resulta satisfactorio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el aporte financiero de las siguientes instituciones ANPCyT- MINCyT (PICT'11 - 1641), CONICET (PIP 0304) y UNLP (PID 11/1177). N. J. Mariani, O. M. Martínez y G. F. Barreto son investigadores del CONICET, M. J. Taulamet es becaria del CONICET.

REFERENCIAS

- [1] V. Ranade, R.V. Chaudhari, P.R. Gunjal, *Trickle Bed Reactors - Reactor Engineering and Applications*, Elsevier, **2011**.
- [2] R. Krishna, S.T. Sie, "Strategies for Multiphase Reactor Selection", *Chem. Eng. Sci.*, **49**, **1994**, 4029-4065.
- [3] M.J. Taulamet, N.J. Mariani, G.F. Barreto, O.M. Martínez, "A critical review on heat transfer in trickle bed reactors", *Rev Chem Eng.* **31(2)**, **2015**, 97-118.
- [4] N.J. Mariani, G.D. Mazza, O.M. Martínez, A.L. Cukierman, G.F. Barreto, "On the influence of Liquid Distribution on Heat Transfer Parameters in Trickle Bed Systems", *Can. J. Chem. Eng.*, **81**, **2003**, 814-819.