

Expansión del lecho en la degradación térmica de lodos de depuradora en un nuevo sistema de contacto fluido-sólido en reactor spouted bed cónico

M.J. San José*, S. Alvarez, R. López
Grupo red META: UPV/EHU María José San José

Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad del País Vasco, UPV/EHU. Apartado 644. 48080 Bilbao

(*) mariajose.sanjose@ehu.es

Resumen

Se ha estudiado la expansión del lecho en la degradación térmica de lodos de depuradora en un nuevo sistema de contacto fluido-sólido. El estudio se ha llevado a cabo en un reactor spouted bed de geometría cónica en diferentes condiciones de operación (caudal de fluido, densidad del material, masa de lecho) aumentando el caudal de fluido desde el régimen de spouted bed hasta el régimen de spouted bed diluido (jet spouted bed). Se han comparado los resultados con los obtenidos en reactores de lecho fluidizado y en reactores spouted beds cilíndricos y cilíndricos de base cónica (convencionales). Se ha analizado el efecto de las variables de operación (densidad del sólido y masa del lecho) en la evolución de la porosidad del lecho.

Palabras Clave: Degradación térmica, expansión del lecho, lodos de depuradora, residuos urbanos, spouted beds

Introducción

Los procesos de depuración de las aguas residuales generan una gran cantidad de lodos residuales con un alto contenido de humedad, lo que incrementa los costes de transporte y dificulta una posterior valorización energética.

El tratamiento térmico sería una alternativa adecuada para la gestión de los lodos que no sean aptos para su aplicación agrícola. La tecnología de Spouted Bed es especialmente útil para aplicaciones que requieren un movimiento vigoroso del sólido como sólidos adherentes, de textura irregular y con una amplia distribución de tamaños de partícula como los lodos.

Esta tecnología es apropiada para el tratamiento térmico con objeto de obtener energía, reducir el volumen de los residuos y obtener diferentes productos. Los Spouted Beds han sido aplicados con éxito en el tratamiento de residuos por secado (Epstein and Grace, 2011; San José et al., 2010a, 2013a); y por tratamiento térmico (Chielle et al., 2016; San José et al., 2013a, 2013b, 2014a, 2014b).

El estudio de la expansión del lecho presenta gran interés para el diseño de los contactores Spouted Beds de geometría cónica para el tratamiento de lodos de depuradora por su carácter pastoso, adherente y agregativo. En este trabajo se ha estudiado la expansión de lechos en la degradación térmica de lodos de depuradora.

Materiales Y Métodos

El estudio de la expansión de lechos de lodos de depuradora se ha llevado a cabo en una unidad diseñada a tal efecto a escala de planta piloto, cuyo componente principal es un reactor spouted bed de geometría cónica.

La instalación además dispone de una soplante, una resistencia eléctrica para el calentamiento del fluido, termopares, y dos ciclones de alta eficacia para la recogida de los sólidos finos. El flujo del fluido se mide mediante dos rotámetros y un medidor de flujo másico controlados por ordenador con una precisión de $\pm 0.5\%$.

Los sólidos empleados han sido: - lodos de depuradora con un contenido de humedad variable entre 100 y 115% en base seca (medida con un higrómetro Mettler Toledo HB43-S Halogen), diámetro medio de Sauter de 4.37 mm y densidad 1252 kg/m³ y, -esferas de vidrio de diámetro de partícula comprendido entre 1 y 6 mm y densidad 2420 kg/m³.

El estudio experimental de la expansión se ha llevado a cabo en condiciones de operación estable aumentando la velocidad del fluido desde el lecho fijo hasta el régimen de spouted bed diluido (jet spouted bed). Se ha determinado la porosidad del lecho desde la condición de lecho fijo hasta la condición de spouted bed diluido a partir de las medidas de altura del lecho obtenidas por filmación para cada sistema experimental estudiado.

Las velocidades mínimas correspondientes a los regímenes de spouted bed y de spouted bed diluido se han obtenido a partir de la evolución de la pérdida de carga con la velocidad del gas (San José et al., 2015).

En este estudio se han empleado lechos homogéneos de lodo de depuradora y lechos de esferas de vidrio con dos masas del lecho diferente 50 y 100 g, ya que para mayores masas de lecho no se alcanzaría el régimen de spouted bed diluido con la unidad experimental utilizada.

Resultados y Discusión

En las Figuras 1 se han representado los valores experimentales de porosidad, ϵ , obtenidos en la expansión del lecho frente a la relación entre las fuerzas de arrastre y fuerzas gravitacionales, F_D/F_G , para un sistema tomado como ejemplo, en un contactor spouted bed de ángulo $\gamma= 36^\circ$, diámetro de entrada del fluido, $D_o= 0.03$ m, con lechos homogéneos de lodos de depuradora, Figura 1, y de esferas de vidrio, Figura 2, de masas, $M= 50$ y 100 g.

También en estas Figuras se han indicado las porosidades correspondientes al inicio de los regímenes de spouted bed ($\epsilon < 0.5$) y de spouted bed diluido (jet spouted bed) ($\epsilon > 0.9$) y se han representado esquemas de la circulación de partículas en el reactor cónico en estos regímenes.

Como se observa en la expansión desde el lecho fijo hasta el régimen de spouted bed diluido (jet spouted bed), la porosidad del lecho aumenta de forma sinusoidal con la relación entre las fuerzas de arrastre y fuerzas gravitacionales, hasta el régimen de spouted incipiente el aumento casi no es apreciable, posteriormente el aumento es prácticamente proporcional hasta el régimen incipiente de spouted bed diluido y a partir del cual el aumento de la porosidad es menor que proporcional. Se aprecia que al aumentar la masa del lecho de 50 a 100 g, aumenta ligeramente la porosidad del lecho.

Con objeto de comparar la expansión de los contactores spouted beds cónicos con la expansión de otros lechos estudiados en la bibliografía, en la Figura 2 se han añadido las curvas de expansión para lecho fluidizado (Richardson and Zaki, 1954), para contactores spouted beds cilíndricos de base cónica (Kmiec, 1975) y para contactores spouted beds cilíndricos (San José, 1993).

La curva de expansión correspondiente a lechos de esferas de vidrio en el reactor spouted bed cónico está comprendida entre la del lecho fluidizado y la del spouted bed cilíndrico, a bajas porosidades se aproxima más al lecho fluidizado y a altas porosidades al spouted bed cilíndrico.

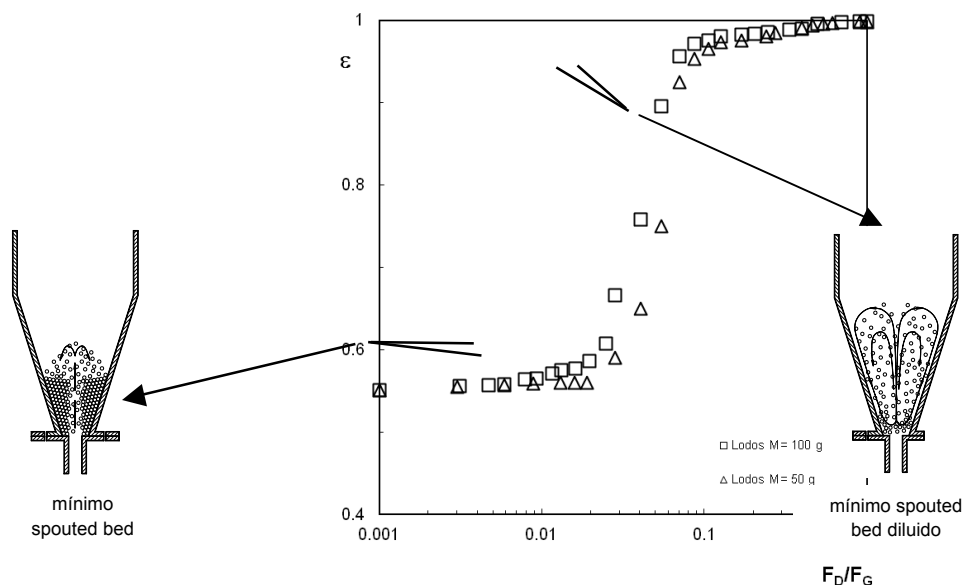


Figura 1. Evolución de la expansión de lechos de lodos de depuradora y circulación de partículas en el reactor cónico en el régimen de spouted bed y de spouted bed diluido (jet spouted bed). Geometría del contactor: $\gamma= 36^\circ$, $D_o= 0.03$ m.

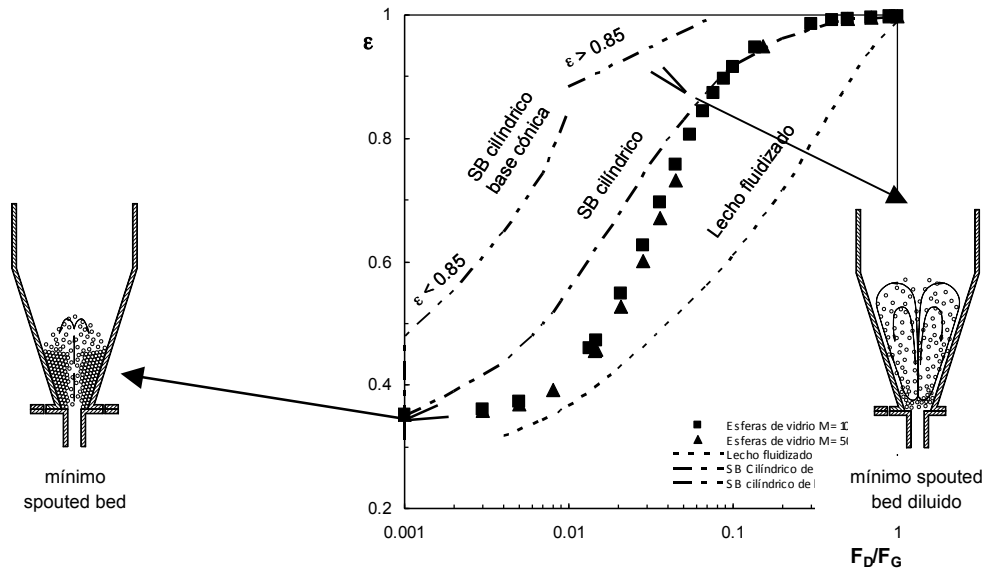


Figura 2. Comparación de la expansión de lechos esferas de vidrio y circulación de partículas en el reactor cónico en el régimen de spouted bed y de spouted bed diluido (jet spouted bed). Geometría del contactor: $\gamma = 36^\circ$, $D_o = 0.03$ m.

Conclusiones

La expansión del lecho es de especial interés para el diseño del equipo para la degradación térmica de lodos de depuradora en spouted beds cónicos. Al aumentar el caudal del fluido la porosidad del lecho aumenta pasando el sistema del régimen de spouted clásico al régimen de spouted bed diluido (jet spouted bed) pasando por un estado intermedio llamado régimen de transición.

La expansión de lechos uniformes de lodos de depuradora y de lechos de esferas de vidrio aumenta de forma sinusoidal con la relación entre las fuerzas de arrastre y fuerzas gravitacionales con un aumento prácticamente proporcional entre el régimen de spouted bed incipiente y el régimen de spouted bed diluido. De la comparación de las curvas de expansión se ha determinado que la porosidad del lecho es mayor con mayores masas del lecho, así como con materiales más densos.

Agradecimientos al Ministerio de Economía y Competitividad por la financiación del Proyecto CTQ2014-59312-P y a la Unión Europea por la cofinanciación con fondos FEDER.

Nomenclatura

D_o	diámetro de la entrada del fluido, m
M	masa del lecho, g
F_D/F_G	relación entre fuerzas de arrastre y gravitacionales, kg/m s^{-2}
γ	ángulo del contactor, $^\circ$
ϵ	porosidad del lecho

Referencias

- Chielle D.P., Bertuol D.A., Meili L., Tanabe E.H. and Dotto G.L. (2016) Spouted bed drying of papaya seeds for oil production. *LWT-Food Sci. Technol.*, 65, 852-860.
- Epstein R. and Grace, J.R. eds. 2011. *Spouted and Spout-Fluid Beds. Fundamentals and applications*. Cambridge University Press.
- San José M.J., Álvarez S., López L.B., Olazar M. and Bilbao J. (2010a). In *Drying 2010 (Vol B)*, Mujumdar, A.S., Series ed., Tsotsa, E. Metzger T., Peglow M. eds., pp. 1242-1248
- San José M.J., Álvarez S., Peñas F.J. and García I. (2013a). Cycle Time in Draft Tube Conical Spouted Bed Dryer for Sludge from Paper Industry. *Chem. Eng. Sci.*, 100, 413-420.
- San José M.J., Álvarez S., García I. and Peñas F.J. (2013b). A novel conical combustor for thermal exploitation of vineyard pruning wastes. *Fuel*, 110, 178-184.
- San José M.J., Álvarez S., Peñas F.J. and García, I. (2014a). Thermal exploitation of fruit tree pruning wastes in a novel conical spouted bed combustor. *Chem. Eng. J.*, 238(15), 227-233.
- San José M.J., Álvarez S., García I. and Peñas F.J. (2014b). Conical spouted bed combustor in clean valorization of sludge wastes from Paper industry for obtaining energy. *Chem. Eng. Res. Des.*, 92(4) (2014) 672-678.
- San José M.J. and Álvarez S. (2015). Bed pressure drop in conical spouted beds with a draft tube in thermal treatment of wastes of different particle diameter, density and shape. *Chem. Eng. Technol.*, 38(4), 709-714.
- Kmieć, A. (1975). Expansion of solid-liquid spouted beds. *Chem. Eng. J.*, 10, 219-223.
- San José M.J., Olazar M., Aguayo A.T., Arandes J.M. and Bilbao J. (1993). Expansion of spouted beds in conical contactors. *Chem. Eng. J.*, 51, 45-52.