



Proceso de valorización de residuos de la industria de transformación de la madera en un combustor spouted bed cónico

Autor: María José San José

Universidad del País Vasco

Otros autores: Sonia Alvarez; Raquel López

Tipo: Comunicación técnica escrita/Póster

Temática: Energía, eficiencia y cambio climático
Residuos

Resumen

Se ha probado que la combustión en spouted beds cónicos es una tecnología factible para el tratamiento térmico de residuos de la industria de transformación de la madera. El objetivo del trabajo ha consistido en evaluar la eficacia de la combustión y los productos gaseosos obtenidos a partir de residuos de la industria de transformación de la madera como virutas, serrín, esquirlas y ramas. Se ha obtenido el régimen de spouted bed aumentando la velocidad del gas hasta la correspondiente a bajas fluctuaciones de pérdida de carga del lecho. Los experimentos de combustión se han llevado a cabo en un rango de temperaturas entre 400 y 600 °C, con un exceso de aire (20%) superior al caudal mínimo de spouting. Se han obtenido eficacias entre 68-90% que muestran la aplicabilidad de la tecnología de spouted bed cónico para la valorización energética de estos residuos.

Palabras clave: combustión; eficacia; residuos; industria de transformación de la madera; spouted beds; valorización energética

1. Introducción

La preocupación medioambiental por el calentamiento global ha dado lugar a una amplia investigación sobre fuentes de energía renovables que reemplacen a los combustibles fósiles, cuyas emisiones contribuyen al efecto invernadero (Ramanathan y Feng, 2009), una de las principales causas del calentamiento global. Existe un interés creciente en la biomasa lignocelulósica para la producción energética debido a que son fuentes de energía renovables con bajas emisiones. En la última cumbre del clima de París, COP21, se adoptó un acuerdo para que la temperatura del planeta no aumente más de 2 °C respecto a los valores de la era preindustrial y mejor si el aumento fuera inferior a 1.5 °C. En el proceso de combustión de biomasa es importante eliminar el contenido de humedad previo a la combustión, en una primera etapa de secado, para evitar problemas causados por las fluctuaciones de humedad (Bahadori et al., 2012). En los últimos años ha habido un creciente énfasis en la aplicación de la tecnología de Spouted Bed a procesos a alta temperatura como la valorización energética de residuos de biomasa, de lodos (San José et al., 2010a, 2010b, 2013a, 2014a), de árboles frutales (San José et al., 2014b) y de sarmientos (San José et al., 2013b).

La tecnología de spouted bed es un método de contacto caracterizado por un movimiento de circulación del sólido. En un combustor spouted bed cónico en régimen de spouted bed se distinguen tres zonas en el lecho. Los sólidos ascienden por la zona de spout



hasta la fuente y caen a la superficie superior de la zona anular en diferentes posiciones radiales. En la zona anular las partículas descienden y se incorporan a la zona anular en todas las posiciones longitudinales de la interfase zona de spout-zona anular, siendo la incorporación principal en el fondo del combustor. A continuación los sólidos ascienden de nuevo por la zona de spout. En la Figura 1 se muestran las zonas del lecho y el movimiento de las partículas en régimen de spouted bed. El buen contacto gas-sólido en corrientes paralelas en la zona de spout y en contracorriente en la zona anular evita problemas tales como segregación (San José et al., 1994) y defluidización.

Con objeto de aumentar la eficacia de la combustión, se han determinado las condiciones que permiten obtener el régimen de spouted bed a partir de medidas de las fluctuaciones de la pérdida de carga del lecho, aumentando la velocidad desde 0 hasta el valor máximo. Asimismo, se han determinado los rangos del flujo del gas en el régimen de spouted beds y se han representado en mapas de rango de temperatura de combustión.

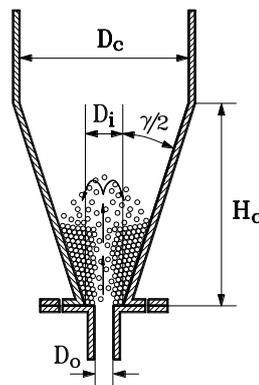


Figura 1. Geometría del combustor spouted bed cónico y esquema de movimiento de las partículas

2. Equipo experimental

El tratamiento térmico de residuos de biomasa se han llevado a cabo en un combustor spouted bed cónico a temperaturas entre 400 y 600 °C. En la Figura 2 se muestra la planta piloto experimental descrita en trabajos anteriores (San José et al., 2013a, 2013b, 2014a, 2014b) que dispone de una soplante, una resistencia para precalentar el aire, un alimentador de sólido, varios termopares, dos ciclones de alta eficacia, y tres rotámetros para medir el caudal en el rango 20-250 Nm³/h. Las temperaturas del gas se han medido mediante termopares colocados a la entrada y a la salida del combustor (San José et al., 2013b, 2014a, 2014b). Además, el contenido de humedad del aire se ha medido a partir de detectores de conductividad térmica (Alhborn MT8636-HR6) a la entrada y a la salida.

En las Figuras 1-2 se muestra el combustor spouted bed usado con una zona cónica de operación y una cilíndrica libre para la expansión de los gases. El combustor es de acero inoxidable de alta resistencia AISI-310S con aislamiento externo de fibra de vidrio de 0.05 m. Los factores geométricos del combustor son: ángulo del cono, $\gamma = 36^\circ$; diámetro de



entrada del contactor, $D_i = 0.03$ m; diámetro de entrada del gas, D_o , entre 0.01 m y 0.03 m y altura del lecho estancado, H_o , de 0.05 a 0.20 m.

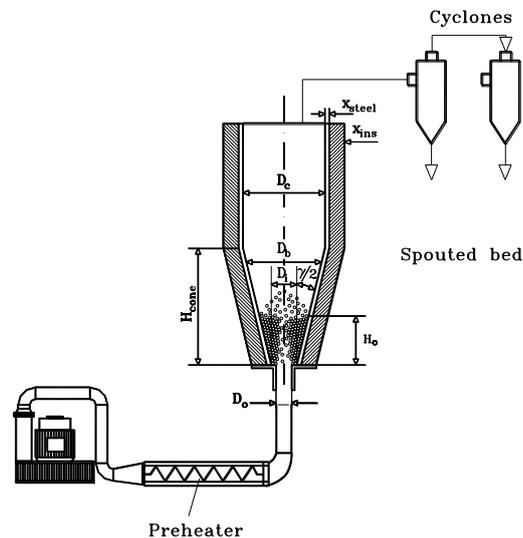


Figura 2. Planta piloto experimental con el combustor spouted bed cónico

Los residuos de la industria de transformación de la madera estudiados han sido serrín, ramas, virutas y esquirlas (código LER 03 01 04) de densidad, ρ_s , 540 kg/m^3 , de tamaños de partícula del sólido, d_s , 4-5 mm, todos ellos correspondientes a la Clasificación D de Geldart. Las condiciones térmicas de combustión de los materiales se encuentran en el rango de temperaturas entre 400 y 600 °C, con un exceso de aire hasta un 20% superior al mínimo de spouting.

Las velocidades mínimas de spouting y mínima de spouted bed diluido se han determinado por observación visual del lecho (San José et al., 2015) a partir de las curvas de pérdida de carga frente a la velocidad del aire. Los valores de pérdida de carga se han medido con un transductor diferencial de presión (Siemens Teleperm), conectado a un ordenador donde se procesan los datos mediante el software AMR (San José et al., 2013a, 2013b, 2014a, 2014b).

Teniendo como objetivo llevar a cabo la combustión de residuos de la industria de transformación de la madera, se ha calentado el combustor spouted bed cónico mediante aire caliente hasta la temperatura deseada en el rango 400-600 °C y a continuación se han alimentado los residuos. El caudal de aire empleado es muy superior al correspondiente a las condiciones estequiométricas, variando desde el correspondiente a la velocidad mínima de spouting hasta un 20% por encima de este valor.

Durante la etapa previa de combustión el sólido se seca a 105 °C, hasta pesada constante. La humedad del sólido se ha determinado mediante el higrómetro Mettler Toledo HB43-S. Con objeto de caracterizar el proceso de combustión con el tiempo se han analizado las concentraciones de los gases efluentes (O_2 , CO_2 , CO , NO , and SO_2) mediante el analizador de gases Testo 350.



3. Resultados

Condiciones de operación

Se ha determinado el régimen de spouted bed de lechos de residuos de biomasa de la industria de transformación de la madera a partir de la evolución de la pérdida de carga con la velocidad del gas cuando las fluctuaciones de la desviación estándar de la presión son menores de 10 Pa (San José et al., 2015). La máxima pérdida de carga y su correspondiente velocidad son mayores para el serrín que para las esquirlas y estos últimos valores son mayores para los correspondientes a las virutas. Por otro lado, la velocidad mínima correspondiente a las esquirlas es la mayor y los valores correspondientes a las virutas son los menores.

Combustión de residuos de la industria de transformación de la madera

La combustión se ha llevado a cabo en el régimen de spouted bed delimitado por la velocidad mínima de spouting correspondiente a cada masa de lecho.

En la etapa previa de combustión, secado, el contenido de humedad disminuye desde el valor inicial del 60% hasta la humedad de equilibrio correspondiente a cada residuo.

Se ha calculado la eficacia de combustión de los residuos de transformación de la madera a partir de las concentraciones de CO₂, CO (% volumen) en los gases efluentes a cada temperatura estudiada mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\text{CO}_2}{\text{CO} + \text{CO}_2} \quad (1)$$

Se ha monitorizado la concentración de CO₂, CO (% vol) en la corriente gaseosa de salida con el tiempo durante el proceso de combustión.

Los resultados experimentales de eficacia de combustión obtenidos en el proceso de combustión de residuos de la industria de transformación de la madera estudiados a temperaturas del gas a la entrada de 400-600 °C varían entre 68 y 88%.

4. Conclusiones

Se ha delimitado el régimen de spouted bed, correspondiente a la velocidad mínima de spouting en base a las fluctuaciones de presión. Se ha probado que el reciclado de residuos de la industria de transformación de la madera (serrín, ramas, esquirlas y virutas) por combustión en un combustor spouted bed cónico a temperaturas entre 400 y 600 °C es adecuado.

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



Nomenclatura

D_b, D_c, D_i, D_o	diámetro superior del lecho estancado, diámetro de la columna, diámetro de la base del contactor y diámetro de la entrada al contactor, respectivamente (m)
d_s	diámetro medio de Sauter (m)
H_c	altura de la sección cónica (m)
H_o	altura del lecho estancado (m)
T	temperatura (°C)
u	Velocidad del aire referida a D_i ($m\ s^{-1}$)
u_{ms}	velocidad mínima de spouting referida a D_i ($m\ s^{-1}$)

Símbolos

ΔP	pérdida de carga del lecho ($kg\ m^{-3}s^{-2}$)
γ	ángulo del contactor (deg)
η	eficacia de combustión (-)

Bibliografía

- Decisión de la Comisión de 18 de diciembre de 2014 por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 2014/955/UE.
- Olazar, M., San José, M.J., Llamosas, R., Bilbao, J., 1994. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 33 (4), 993–1000.
- Ramanathan, V., Feng, Y., 2009. *Atmospheric Environment* 43 37–50.
- Bahadori, A., Zahedi, G., Zendeheboudi, S., Jamili, A., 2012. *Int. J. Sustainable Energy* 33(2), 349-356.
- San José, M.J., Olazar, M., Peñas, F.J., Bilbao, J. 1994. *Ind. Eng. Chem. Res.* 33 1838-1844.
- San José, M.J., Alvarez, S., Ortiz de Salazar, A. Morales, A. Bilbao, 2010a. *J. Chem. Eng. Trans.*, 21, 145-150.
- San José, M.J., Alvarez, S., López, L.B., Olazar, M., Bilbao, J., 2010b. En: *Drying 2010 (Vol B)*, A.S. Mujumdar, E. Tsotsa, T. Metzger, M. Peglow (Eds.) Barleben-Magdeburg: Docupoint GmbH, 2010, pp. 1242-1248.
- San José, M.J., Alvarez, S., García, I., Peñas, F.J., 2013a. *Fuel*, 110, 178–184.
- San José, M.J., Alvarez, S., Peñas, F.J., García, I., 2013b. *Chem. Eng. Sci.* 100, 413-420.
- San José, M.J., Alvarez, S., Peñas, F.J., García, I., 2014a. *Chem. Eng. J.*, 238(15), 227-233.
- San José, M.J., Alvarez, S., García, I., Peñas, F.J., 2014b. *Chem. Eng. Res. Des.* 92, 672–678.
- San José, M.J., Alvarez, S., 2015. *Chem. Eng. Technol.* 38(4), 709–714.