



**Aprovechamiento térmico por combustión de
residuos de Industria de tratamiento y
transformación de la madera en un combustor
Spouted Bed cónico**

Autor: Maria J. San José Álvarez

Institución: Universidad del País Vasco

Otros autores: Sonia, Alvarez Perez (Universidad del País Vasco); Iris, García Manzano (Universidad del País Vasco); F. Javier Peñas (Universidad del País Vasco);

Resumen

Teniendo como propósito determinar el comportamiento de un combustor spouted bed cónico para el aprovechamiento térmico por combustión de residuos de la industria de tratamiento y transformación de la madera, se ha realizado un amplio estudio fluidodinámico con lechos de residuos de virutas de pino en amplias condiciones de operación y de temperatura, determinando los diferentes regímenes y las condiciones de operación estable. Se ha llevado a cabo la combustión de residuos de virutas de pino en un combustor spouted bed cónico y se ha probado el buen comportamiento del combustor para el aprovechamiento térmico por combustión de residuos de la industria de tratamiento y transformación de la madera en base a las altas eficacias de combustión obtenidas.

Palabras claves: spouted bed cónico; obtención de energía; residuos de industria de la madera

INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de elaboración de la madera se genera una cantidad de residuos superior al 30 % del tronco utilizado, constituida por serrín y corteza. La gestión y tratamiento de estos residuos no suele ser el más adecuado, ya que en la mayoría de los casos se envían a vertedero o se incineran indiscriminadamente. Además, los residuos acumulados constituyen un foco para la propagación de enfermedades, así como peligro de incendio. Asimismo, la acumulación de calor por altas temperaturas podría provocar pirólisis a baja temperatura, con emisión de gases contaminantes. El proceso de conversión de la biomasa en energía útil, se lleva a cabo mediante una serie de procesos termoquímicos: combustión, gasificación y pirólisis. Los sistemas de combustión generan calor, que puede ser utilizado directamente o bien aprovecharse en la producción de vapor y electricidad.

La aplicabilidad de la tecnología de spouted bed se ha probado en trabajos anteriores para el tratamiento de sólidos grandes y adherentes (Olazar et al., 1992; Olazar et al., 1993); con amplia distribución de tamaños de partícula con baja segregación (San José et al., 1994) obteniéndose buenos resultados para el tratamiento de biomasa (San José et al., 2002; San José, et al., 2006a; Olazar, San José, Bilbao., P9700662, 1997), de residuos de corcho (San José et al, 2006b) y de serrín y virutas de madera (Olazar et al, 1994).

En este trabajo se ha puesto a punto un nuevo reactor spouted bed cónico para la obtención de energía mediante la combustión de residuos de serrería en una instalación diseñada a escala de planta piloto, provista de dos ciclones de alta eficiencia.

EQUIPO EXPERIMENTAL

La unidad experimental, diseñada al efecto a escala de planta piloto, Figura 1, consta de una soplante para la impulsión del gas, dos rotámetros y medidores de flujo másico para la medida del caudal, válvulas para regular el caudal, sondas para la medida de la presión estática y dinámica, un precalentador eléctrico para calentar el aire de entrada al combustor y está provista de dos ciclones de alta eficiencia para la recogida de los sólidos finos.

La temperatura del aire suministrado por la soplante se miden a la entrada y a la salida del contactor mediante dos termopares. Además, se dispone de un detector de conductividad térmica (Alhborn MT8636-HR6) para la medida de la humedad del aire tanto a la entrada como a la salida del contactor. Asimismo los valores de temperatura y humedad del aire se almacenan en la tarjeta de datos Alhborn Almeno 2290-8 lo que permite determinar su evolución con el tiempo.

El combustor utilizado, Figura 1 está construido en acero inoxidable de alta resistencia a la temperatura, AISI-310S y aislado térmicamente. Las dimensiones del reactor son: ángulo del cono, $\gamma = 36^\circ$, diámetro de la base del combustor, $D_i = 0.03$ m; diámetro de entrada del gas, D_o en el intervalo 0.015-0.03 m y valores de altura de lecho estancado entre 0.05 y 0.20 m.

El sólido utilizado, Figura 2, perteneciente al grupo B de la clasificación de Geldart, ha sido material residual de la industria de transformación de la madera, virutas de pino, de

diámetro medio de partícula de Sauter $\overline{d}_S = 1.01 \text{ mm}$, densidad $\rho_s = 540 \text{ kg/ m}^3$, P.C.S.= 4.800 Kcal/Kg y 12% de humedad en base seca.

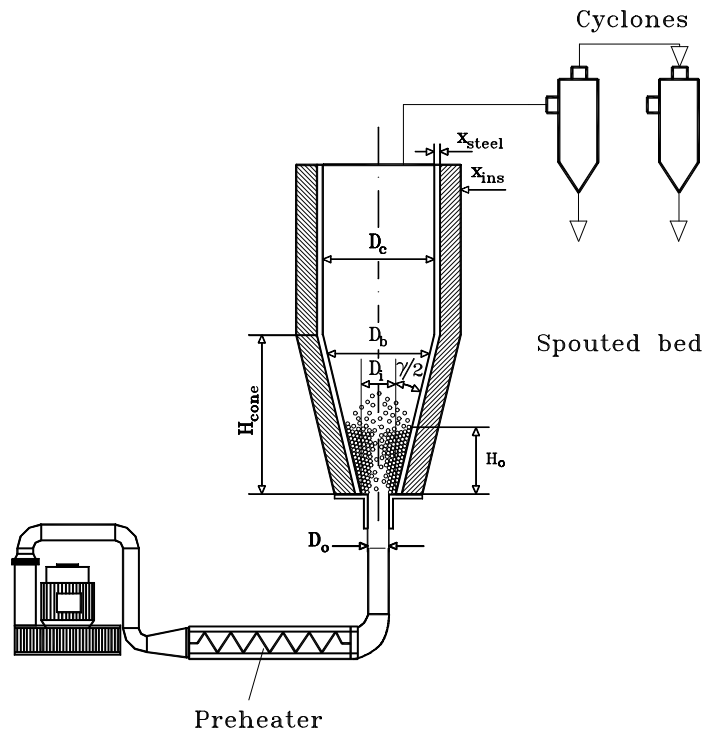


Figura 1. Equipo experimental



Figura 2. Virutas de pino

RESULTADOS

Se ha llevado a cabo un estudio experimental de estabilidad en un amplio rango de condiciones de operación con objeto de determinar las condiciones de operación estable y los regímenes de operación estable con lechos de virutas de pino a temperaturas del aire de entrada desde la temperatura ambiente hasta 100 °C.

Los mapas de operación en los que se representa la altura de lecho estancado, H_o , frente a la velocidad del gas, u para un lecho constituido por virutas de pino de diámetro medio de Sauter de, $\overline{d}_S = 1.01 \text{ mm}$, con una humedad del 12% en base seca a diferentes temperaturas del gas a la entrada $T = 25, 50, 75$ y 100 °C se muestran en la Figura 3. Los puntos que delimitan la transición entre los diferentes regímenes, se han obtenido experimentalmente, aumentando la velocidad del gas para cada altura de lecho estancado.

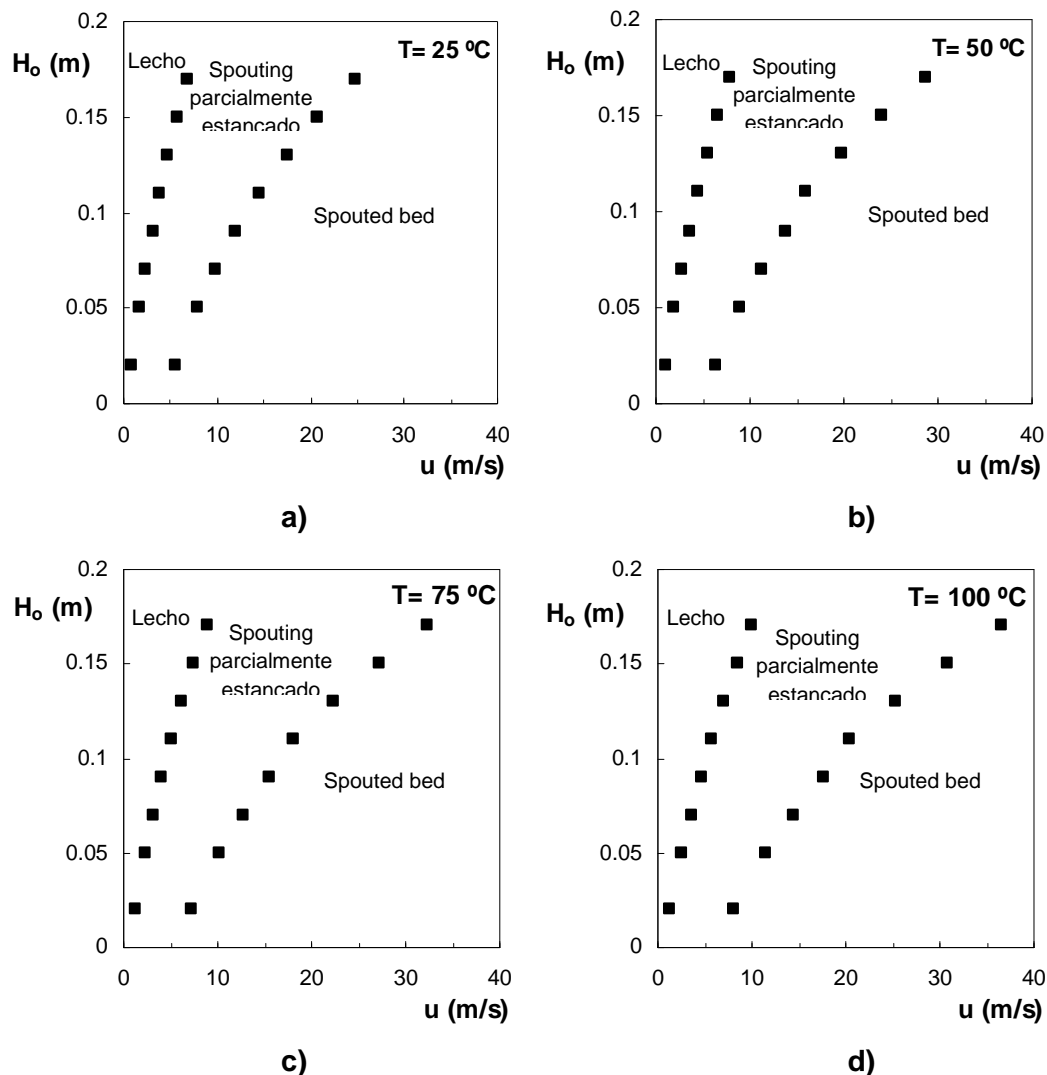


Figura 2 Mapa de operación para lechos de virutas de pino de $\overline{d_S}$ de 1.01 mm con un 12% de humedad (base seca). Sistema experimental: $\gamma = 36^\circ$, a diferentes temperaturas de entrada del gas (a) $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$, (b) $T = 50\text{ }^\circ\text{C}$; (c) $T = 75\text{ }^\circ\text{C}$; (d) $T = 100\text{ }^\circ\text{C}$.

En la Figura 3 se observa que partiendo del lecho fijo, al aumentar el caudal del gas el sistema pasa por un estado de transición en el que el lecho está parcialmente estancado y si se sigue aumentando la velocidad del gas se alcanza la velocidad mínima de spouting correspondiente al inicio del régimen estable de spouted bed. Se observa que la zona correspondiente al lecho parcialmente estancado es estrecha y que disminuye al disminuir la altura del lecho estancado. Asimismo, se observa que los sistemas son estables a todas las alturas de lecho estancado estudiadas y que al aumentar la altura de lecho estancado, la velocidad mínima de spouting aumenta por lo que la zona de operación en régimen estable de spouted bed disminuye. Además, al aumentar la temperatura del gas a la entrada, la velocidad necesaria para alcanzar el régimen de

spouted bed es superior, lo que provoca una disminución de la región de operación estable.

Para realizar la combustión se ha precalentado previamente el combuster hasta la temperatura de combustión de cada sistema experimental (350-550 °C) mediante una corriente de aire calentada en una resistencia eléctrica. Una vez alcanzada la temperatura de combustión se ha alimentado la cantidad deseada de virutas de pino.

La composición de los gases de combustión, O₂, CO₂, CO (% en volumen) y NO y SO₂ (ppm), se ha analizado continuamente con el tiempo mediante el analizador de gases TESTO 350. A partir de la medida de los gases se han determinado los valores de eficacia de combustión mediante la ecuación (1). Los valores de eficacia de combustión están comprendidos en el rango 85-92%, lo que prueba el buen comportamiento del combuster spouted bed cónico para el tratamiento térmico por combustión de residuos de la industria de tratamiento y transformación de la madera.

$$\eta = \frac{\text{CO}_2}{\text{CO} + \text{CO}_2} 100 \quad (1)$$

CONCLUSIONES

En base al estudio experimental de estabilidad llevado a cabo en planta piloto en un amplio rango de condiciones de operación y temperatura, se ha probado el buen comportamiento del combuster cónico spouted bed para el aprovechamiento térmico por combustión de residuos de la industria de tratamiento y transformación de la madera.

Los sistemas experimentales estudiados son estables en el rango de condiciones de operación y temperatura del gas de entrada estudiado. La velocidad mínima de spouting aumenta con la altura de lecho estancado y con la temperatura del gas de entrada, por lo que la zona de operación en régimen de spouted bed estable disminuye.

El comportamiento del combuster en la obtención de energía de residuos de aserradero ha sido apropiado y los altos valores de eficacias de combustión obtenidos a partir del análisis de los gases de la combustión predicen una contribución a la mejora del medio ambiente atmosférico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo con la financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación en el Proyecto TRA2009-0318 y Proyecto CTQ2010-18697 y del Departamento de Industria, Comercio y Turismo del Gobierno Vasco Proyecto SA-2010/0009.

NOMENCLATURA

D_b, D_o, D_i, D_c	Diámetro superior del lecho estancado, diámetro de la entrada al contactor, diámetro de la base del contactor y diámetro de la columna, respectivamente, L
d_p	Diámetro de partícula, L
d_S	Diámetro medio de Sauter, L
H_{cil}, H_{con}, H_o	Altura de la sección cilíndrica del combustor, de la sección cónica del combustor y del lecho estancado, respectivamente, L
T	Temperatura, °C
u	Velocidad del aire referida a D_i , LT^{-1}
x_{steel}, x_{ins}	Espesor de la pared del combustor y del aislante, L
γ	Angulo del contactor cónico, grados.
ρ, ρ_s	Densidad del aire y del sólido, ML^{-3}
μ	Viscosidad del aire, $ML^{-1}T^{-1}$

BIBLIOGRAFÍA

- Olazar, M., San José, M.J., Aguayo, A.T., Arandes, J.M. and Bilbao, J., 1992. Ind. Eng. Chem. Res. 31(7), 1784-92.
- Olazar, M., San José, M.J., Peñas, F.J., Aguayo, A.T. and Bilbao, J., 1993. Ind. Eng. Chem. Res., 32, 2826-2834
- San José, M.J., Olazar, M., Peñas, F.J. and Bilbao, J., 1994. Ind. Eng. Chem. Res., 33, 1838-1844.
- Olazar, M., San José, M.J., LLamosas, R., and Bilbao, J., 1994. Ind. Eng. Chem. Res. 33, 993-1000.
- San José, M.J., Alvarez, S., Morales, A., Lopez, L.B., Ortiz de Salazar, A., 2009. Catal. Today, 147, 162-169.
- San José, M.J., Alvarez, S., Aguado, R., Bilbao, J., 2002. Inf. Tecnol., 13(2), 127-131.
- San José, M.J., Álvarez, S., Ortiz de Salazar, A., Olazar, M., Bilbao, J. Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion, Bridgwater, A.V., Boocock, D.G.B., Eds. Newbury Berks, UK: CPL press. vol. 1, pp. 228-236(2006a).
- San José, M.J., Alvarez, S., Ortiz de Salazar, A., Morales, A., Bilbao, J., 2006b. Int. J. Chem. React. Eng., 4, A15, 1-7.

