

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Un nuevo combustor Spouted Bed cónico para el aprovechamiento térmico de residuos de poda de viñedos

Autor: María José San José Alvarez

Institución: Universidad del País Vasco e-mail: mariajose.sanjose@ehu.es

Otros Autores: Sonia, Alvarez Perez (Universidad del País Vasco); Luis B., López García (Universidad del País Vasco); Iris, García Manzano (Universidad del País Vasco); Haritz Altzibar Manterola (Universidad del País Vasco)



RESUMEN

Con objeto de determinar el comportamiento de un nuevo combustor spouted bed cónico para el aprovechamiento térmico de residuos de poda de viñedos por combustión, se ha llevado a cabo un estudio fluidodinámico con lechos homogéneos de residuos de poda de viñedos, analizando la evolución de los diferentes regímenes y se han determinado las condiciones de operación estable. Asimismo, se ha probado la validez de la ecuación propuesta en trabajos anteriores para lechos de esferas de vidrio y materiales granulares para el cálculo de la velocidad minima de spouting para el tratamiento térmico de lechos de residuos de poda de viñedos. Se ha llevado a cabo la combustión de residuos de poda de viñedos en un combustor spouted bed cónico y se ha analizado la evolución de los gases de combustión.

Palabras Clave: Spouted bed cónico, nuevo combustor, aprovechamiento térmico, residuos de poda de viñedos, obtención de energía de residuos de viñedos.



INTRODUCCIÓN

La vid es el principal cultivo de la superficie ocupada por fruta dulce y viñedo con un 64.08% del total. En 1999 en España (FAO, 2000) existían 1163000 ha de viñedos con una producción de residuos de 5420700 ton. Los sarmientos provenientes de la poda de la vid presentan un contenido medio-bajo de humedad y un alto contenido en celulosa y lignina. La mayor parte de estos residuos se quema en la propia explotación tras ser retirados del campo y en mucha menor proporción se utiliza como combustible en barbacoas. En España se va implantando lentamente de forma alternativa la aplicación de estos materiales al suelo, previa fragmentación y triturado a modo de acolchado orgánico de lenta descomposición o se procede a su incorporación superficial en el suelo mediante el laboreo adecuado.

En trabajos anteriores se ha probado la operatividad de tecnología de spouted bed 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, 2006a), de residuos de corcho (San José et al, 2006b) y de serrín y trozos de madera (Olazar et al, 1994). En este trabajo se ha puesto a punto un nuevo reactor spouted bed cónico para la combustión de sarmientos residuales de campos de Castilla.

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 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.

El combustor utilizado, mostrado en la Figura 2 está construido en acero inoxidable de alta resistencia al calor, AISI-310S y aislado térmicamente. Las dimensiones del reactor son: ángulo del cono, $\gamma = 36^{\circ}$, diámetro de entrada del gas al combustor, D_o, = 0.03 m.

El sólido utilizado, perteneciente al grupo D de la clasificación de Geldart, ha sido sarmiento troceado de diámetros d_p= 25 mm, de d_p= 65 mm y de mezclas de ambos, $\overline{d_S}$ = 36 mm, con humedad del 25% en base seca, densidad ρ_s = 540 kg/m³. Se ha trabajado con alturas de lecho estancado entre 0.05 y 0.35 m.







RESULTADOS





Figura 2. Diagrama esquemático de un combustor cónico spouted bed

En la Figura 3 se muestra la evolución de la situación de las partículas de sarmiento de diámetro medio de Sauter, $\overline{d_s}$ = 36 mm, en los diferentes regímenes al aumentar la velocidad del aire. A partir del lecho fijo, Figura 3a, al aumentar la velocidad del gas se obtiene el régimen estable de spouted bed, Figura 3b, siendo la velocidad mínima de spouting la velocidad correspondiente al comienzo de este régimen. Si se continua aumentando la velocidad, las zonas de spout y anular comienzan a confundirse progresivamente (zona de transición) y se obitne el movimiento esquematizado en la Figure 3c. La transición evoluciona hasta que no se pueden distinguir la zona de spout de la zona anular y la porosidad del lecho es uniforme, esta nueva situación corresponde al inicio del régimen de spouted bed diluido (jet spouted bed). La velocidad mínima de spouted bed diluido es la correspondiente al comienzo de este régimen. Una vez alcanzado este régimen, cuyo movimiento se esquematiza en la Figura 3d, se mantiene estable a altas velocidades del gas.

Figura 3. Situación de las partículas en el combustor en los diferentes regímenes.



Teniendo como finalidad probar la aplicabilidad del regimen de spouting para el aprovechamiento de residuos de poda de viñedos en un combustor spouted bed cónico, se han determinado las condiciones de operación estable y los regímenes de operación estable con lechos de sarmiento a temperaturas desde la temperatura ambiente hasta temperaturas de 100 °C del aire de entrada. En la Figura 4 se muestran 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 sarmiento de diámetro medio de Sauter de , $\overline{d_S}$ =

36 mm, con una humedad del 25% en base seca a diferentes temperaturas del gas de entrada. Las líneas de transición entre los diferentes regímenes, representadas mediante líneas continuas, se han obtenido experimentalmente, aumentando la velocidad del gas para cada altura de lecho estancado.



Figura 4 Mapa de operación para lechos de sarmiento de $\overline{d_S}$ de 36 mm con un 25% de humedad (base seca). Sistema experimental: γ = 36°, a diferentes temperaturas de entrada del gas (a) T= 25 °C, (b) T= 50 °C; (c) T= 75 °C; (d) T= 100 °C.



Como se observa en la Figura 4, comenzando en el lecho fijo, al aumentar la velocidad del gas se alcanza la velocidad mínima de spouting y se obtiene el régimen estable de spouted bed. Además, se aprecia que este sistema es estable a todas las alturas de lecho estancado estudiadas y que la velocidad mínima de spouting aumenta al aumentar la altura de lecho estancado, por lo que la zona de operación en régimen estable de spouted bed disminuye. Asimismo, se observa que la velocidad necesaria para alcanzar el régimen de spouted bed aumenta con la temperatura del gas a la entrada, por lo que la región de operación estable disminuye.

Los resultados experimentales de la velocidad minima de spouting en lechos constituidos por residuos de poda de viñedos, se han ajustado a la ecuación propuesta en trabajos anteriores para otros materiales (Olazar et al., 1992):

$$(\text{Re}_{o})_{\text{ms}} = 0.126 \text{ Ar}^{0.5} (\text{D}_{b}/\text{D}_{o})^{1.68} [\tan(\gamma/2)]^{-0.57}$$
(1)

donde
$$(\text{Re}_{o})_{ms} = \overline{d_{s}} u_{o} \rho / \mu$$
 (2)

El coeficiente de regresión de todos los datos experimentales es r^2 = 0.95, y el error máximo relativo es ±8%. La exactitud del ajuste prueba la aplicabilidad general de la ecuación 1, en un amplio rango de factores geométricos y condiciones de operación.

La combustión se ha llevado a cabo precalentando el combustor hasta la temperatura deseada (350-550 °C) haciendo pasar una corriente de aire precalentada mediante una resistencia eléctrica. Una vez alcanzada la temperatura deseada se alimenta la cantidad deseada de sarmiento.

En la Figura 5 se ha representado el caudal de aire correspondiente a los diferentes regímenes para diferentes temperaturas del gas de entrada con diferentes caudales de alimentación, Q = 10, 15 y 20 g/min, de sarmiento de diámetro medio de Sauter 0.36 mm. Se observa que comenzando en el lecho fijo, se alcanza el régimen estable de spouted bed para todas las temperaturas estudiadas y que al aumentar la temperatura del gas de entrada el caudal de aire necesario para alcanzar el régimen de spouted bed aumenta, por lo que disminuye la zona de operación. Un aumento del caudal de alimentación de sarmiento aumenta el caudal mínimo de aire, siendo este efecto más acusado a medida que aumenta la temperatura del gas a la entrada.





Figura 5. Efecto de la temperatura del gas de entrada en el régimen de spouted bed para sarmiento de $\overline{d_s}$ = 0.36 m con caudales de alimentación Q = 10, 15, 20 g/min.

El análisis de los gases de combustión se ha realizado continuamente con el tiempo mediante un cromatógrafo Hewlett-Packard 6890 II Agilent con un detector TCD, una columna Porapak Q, una válvula neumática de 6 puertos y un tamiz molecular. Del análisis de las concentraciones de O₂, CO₂, CO (expresadas como % en volumen) y de NO y SO₂ (expresadas en ppm) se ha determinado la buena eficacia de la combustión de residuos de poda de viñedos.

CONCLUSIONES

Se ha probado el buen comportamiento del combustor cónico spouted bed para el aprovechamiento térmico de residuos de poda de viñedos, basándose en el amplio estudio experimental de estabilidad en planta piloto en un amplio rango de condiciones de operación y temperatura.

Los sistemas experimentales estudiados son estables en el rango de temperatura del gas de entrada estudiado. La velocidad mínima de spouting aumenta al aumentar la altura de lecho estancado. Un aumento de la temperatura del gas de entrada provoca un incremento de la velocidad mínima de spouting, por lo que la región de operación estable disminuye. Este efecto es debido a que la velocidad del régimen de spouted bed estable sólo depende de la densidad del gas.

Se ha probado la validez de la ecuación propuesta en trabajos anteriores a temperatura ambiente para el cálculo de la velocidad minima de spouting de lechos de residuos de poda de viñedos con una humedad del 25% en base seca en un amplio rango de condiciones de operación y temperaturas.



El comportamiento del novedoso combustor en la obtención de energía de residuos de viñedos ha sido adecuado y el análisis de los gases de la combustión augura 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 (Proyecto TRA2009_0318 y Proyecto CTQ2010-18697).

NOMENCLATURA

Ar	Número de Arquímedes, g $d_p^3 \rho(\rho - \rho_s)/m^2$
$D_{b_i} D_{o_i} D_{i_i} D_{c_i}$	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
ds	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
Q, Q _{aire}	Caudal de alimentación de sarmiento y del aire, MT ⁻¹
(Re _o) _{ms} T	Módulo de Reynolds correspondiente a la velocidad mínima de spouting Temperatura, ºC
u, u _o	Velocidad del aire referida a D _i , y referida a D _o , LT ⁻¹
X _{ac} , X _{ais}	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

- FAO, 2000. FAO (2000) Global forest resources assessment. Rome, Italy. 357 p. (FAO Forestry Paper N°140).
- 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.
- Olazar, M., San José, M.J., Llamosas, R., and Bilbao, J., 1994. Ind. Eng. Chem. Res. 33, 993-1000.
- San José, M.J., Olazar, M., Peñas, F.J. and Bilbao, J., 1994. Ind. Eng. Chem. Res., 33, 1838-1844.

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., 2006a. 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.
- San José, M.J., Alvarez, S., Ortiz de Salazar, A., Morales, A., Bilbao, J., 2006b. Int. J. Chem. React. Eng., 4, A15, 1-7.