

## Tratamiento térmico de residuos de las industrias vinícola y papelera en un reactor spouted bed cónico

Autor: María José San José

Universidad del País Vasco

Otros autores: Sonia Alvarez (Universidad del País Vasco); Raquel López (Universidad del País Vasco)

Tipo: Comunicación técnica escrita/Póster

Temática: Energía, eficiencia y cambio climático  
Residuos

### Resumen

Con objeto de determinar la aplicabilidad de la tecnología de spouted bed para el aprovechamiento de residuos de la industria vinícola y de la industria papelera, se ha llevado a cabo la combustión de lechos homogéneos de estos residuos y la co-combustión de sus mezclas en un combustor spouted bed cónico con temperaturas del aire de entrada de 500 °C. Los altos valores de eficacia de combustión calculado a partir de las concentraciones de los gases de la corriente de salida prueban el buen comportamiento del spouted bed cónico para la obtención de energía de estos residuos de biomasa.

Palabras clave: combustión; eficacia; residuos vinícolas y de papelera; spouted beds cónicos; valorización energética

### 1. Introducción

Los procesos industriales generan gran cantidad de biomasa residual, susceptible de valorización. El sector vinícola genera gran cantidad de residuos orgánicos, principalmente hollejos y raspones, lías y vinazas (Wine Institute, 2017). Asimismo, el proceso de fabricación del papel genera gran cantidad de residuos, de los cuales el 70% corresponde a lodos de destintado, con un alto porcentaje de humedad.

Una alternativa de aprovechamiento de los residuos es el tratamiento térmico para la obtención de energía. La tecnología de Spouted Beds se ha utilizado de forma satisfactoria para el aprovechamiento de residuos de biomasa por secado en spouted beds cónicos (San José et al., 2010a, 2010b, 2013a, 2017) y por combustión (San José et al., 2013b, 2014a, 2014b, 2018). A pesar del buen comportamiento de los lechos en contactores spouted beds, muchas de las aplicaciones implican el tratamiento de mezclas de sólidos de diferente tamaño de partícula y/o densidad con tendencia a segregarse. A pesar de que diversos autores han estudiado la segregación en spouted beds convencionales (Santos et al., 2013; by Du et al. 2016) y en spouted beds cónicos de mezclas binarias y ternarias de esferas de vidrio (Bacelos y Freire, 2006; Olazar et al., 1993; San José et al., 1994), hay escasos estudios sobre segregación de mezclas de biomasa residual en spouted beds cónicos (Xabier et al. 2016).

En este trabajo se ha aplicado de forma satisfactoria la tecnología de Spouted Bed para la obtención de energía mediante combustión de lechos homogéneos de hollejos y raspones del sector vinícola y de lodos de destintado de la industria papelera y la co-combustión de sus mezclas en un combustor spouted bed cónico con temperaturas del aire de entrada a 550 °C. Asimismo, se ha cuantificado el grado de mezcla de mezclas binarias de residuos de las industrias vinícola y papelera con diferentes porcentajes en peso.

## 2. Equipo experimental

La combustión se ha llevado a cabo en una planta, Figura 1, cuyo componente principal es el combustor cónico de acero inoxidable AISI-310 y ángulo del cono 36°, Figura 2, aislado externamente con fibra de cuarzo para reducir las pérdidas de calor. Los factores geométricos del combustor cónico se muestran en la Tabla 1. La planta consta de una soplante, dos ciclones de alta eficacia, un medidor de flujo másico una resistencia eléctrica para precalentar el lecho y termopares para la medida de la temperatura del gas a la entrada y la salida del combustor y en diferentes posiciones radiales y longitudinales dentro del combustor. El contenido de humedad del aire a la entrada y la salida del combustor se ha determinado mediante detectores de conductividad térmica (Alhborn MT8636-HR6) a la entrada y a la salida.

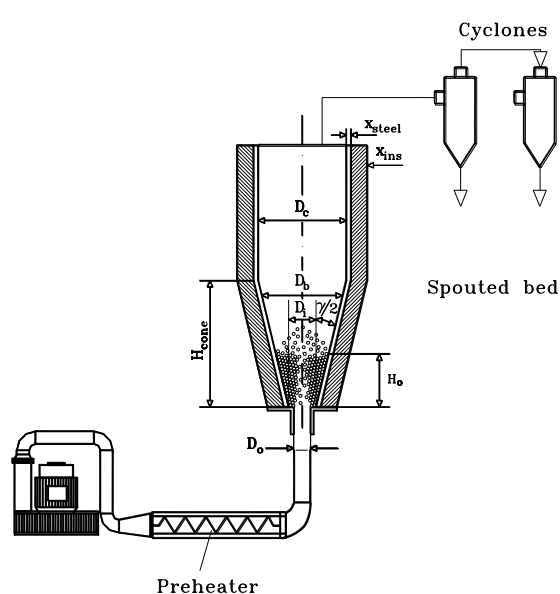


Figura 1. Planta piloto experimental

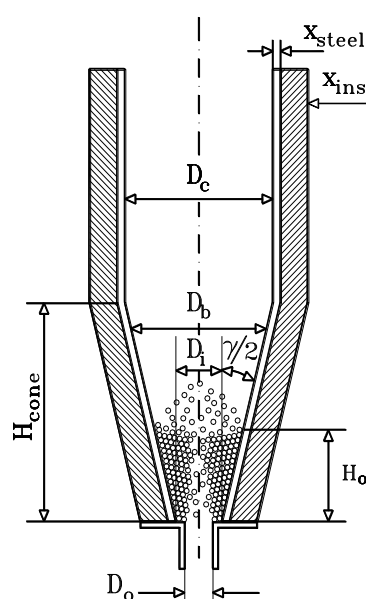


Figura 2. Geometría del combustor spouted bed cónico y esquema de movimiento de las partículas

Tabla 1. Factores geométricos del combustor cónico

<i>Combustor cónico spouted bed</i>		
Diámetro superior del cono	$D_c$ (m)	0.23
Angulo del contactor	$\gamma$ (deg)	36
Diámetro de entrada del gas	$D_o$ (m)	0.015, 0.02 and 0.03
Diámetro de la base del contactor	$D_i$ (m)	0.03 m
Diámetro superior del lecho estancado	$D_b$ (m)	$D_i + 2 H_o \tan (\gamma/2)$
Altura de la sección cónica	$H_{cono}$ (m)	0.31
Altura del lecho estancado	$H_o$ (m)	entre 0.03 y 0.20 m
Espesor de la pared del contactor	$X_{steel}$ (mm)	2
Espesor del aislante	$X_{ins}$ (mm)	14

La biomasa residual utilizada, Figura 3, ha consistido en hollejos y raspones de densidad,  $\rho_s$ , 1050 kg/m<sup>3</sup>, diámetro de partícula,  $d_p$ , entre 3 y 7 mm y contenido de humedad del 150% (base seca) y lodos de destintado de densidad,  $\rho_s$ , 1123 kg/m<sup>3</sup>, diámetro de partícula,  $d_p$ , entre 2 y 5 mm y contenido humedad del 100% (base seca). El contenido de humedad de los sólidos se ha determinado mediante el higrómetro Mettler Toledo HB43-S Halogen.



(a)



(b)

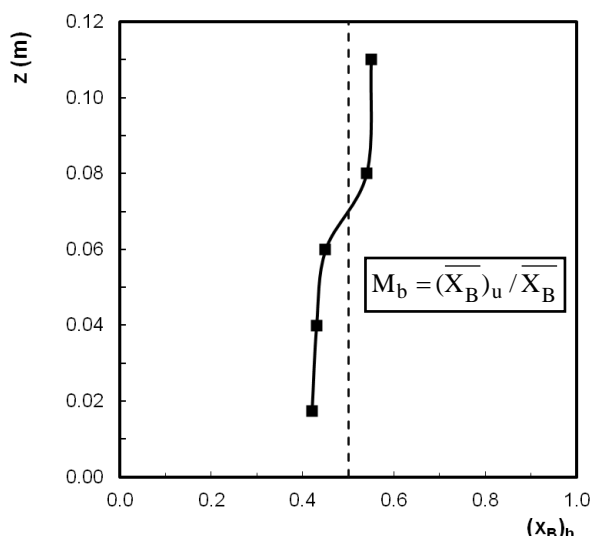
**Figura 3.** Biomasa. (a) Hollejos y raspones y (b) lodos de destintado

Con objeto de cuantificar el índice de mezcla de las mezclas binarias de hollejos y raspones y de lodos de papelería, los sólidos se muestreaban en diferentes posiciones longitudinales y radiales con una bomba de succión y después de separar los componentes de cada muestra, se determinaba gravimétricamente la proporción de cada muestra y se devolvían las muestras al lecho.

La combustión de lechos homogéneos de hollejos y raspones, de lodos de destintado y la mezcla al 50% en peso se ha llevado a cabo en un combustor spouted bed cónico en discontinuo en el régimen de spouted bed a temperatura de 500 °C precedido de un secado a 105 °C. Se ha calculado la eficacia de combustión a partir de la concentración de CO<sub>2</sub> y CO (% volumen) medidos con el analizador de gases Testo 350. Se ha probado la aplicabilidad de esta tecnología para la obtención de energía de estos residuos en base a los valores de eficacia de combustión obtenidos.

### 3. Resultados

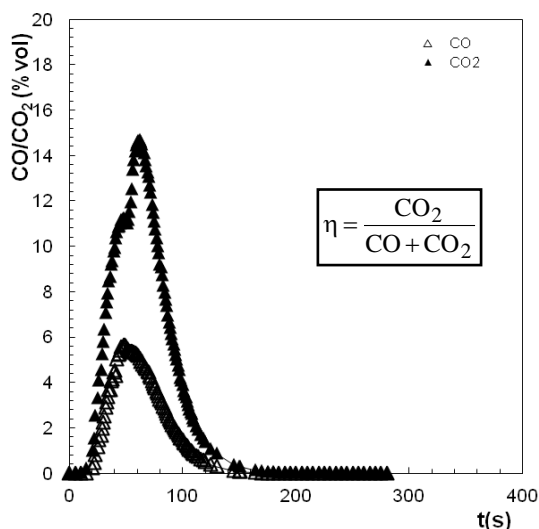
Se ha determinado la segregación de mezclas binarias de residuos de la industria vinícola y de la industria papelería. En la Figura 4 se muestran a modo de ejemplo los resultados experimentales de la fracción media en peso de las partículas de mayor tamaño,  $(\bar{x}_B)_z$  frente a la altura del lecho para una mezcla binaria de hollejos y raspones y de lodos, donde el valor inicial de la concentración de la mezcla se representa mediante una línea vertical discontinua. El alto índice de mezcla,  $M_b$ , obtenido en estos sistemas favorece la homogeneidad del lecho y mejora el rendimiento del tratamiento térmico de la mezcla de residuos de la industria vinícola y papelería.



**Figura 4.** Valor medio de la fracción en masa de la partícula de mayor tamaño,  $(\overline{x_B})_z$ , a diferentes niveles. Sistema experimental:  $\gamma= 36^\circ$ ;  $D_o= 0.03$  m;  $H_o= 0.12$  m;  $u= 1.02$   $u_{ms}$ ; mezcla binaria de hollejos y raspones con lodos de papelería al 50% en peso.

Se ha realizado la combustión de hollejos y raspones, de lodos de destintado y de la mezcla al 50% de ambos residuos en un combustor spouted bed cónico en el régimen de spouted bed, tras un secado previo a  $105$   $^\circ\text{C}$ , a temperatura  $500$   $^\circ\text{C}$  y se ha medido la concentración de los gases de combustión con el tiempo. En la Figura 5 se muestran a modo de ejemplo los perfiles de la concentración de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$  (% volumen) en los gases de combustión con el tiempo obtenidos en la combustión de un lecho compuesto por una mezcla al 50% en peso de hollejos y raspones con lodo de destintado a la temperatura de entrada del aire de combustión de  $500$   $^\circ\text{C}$ . Como se observa en la Figura, existe un retraso inicial de la señal desde la alimentación de la biomasa hasta el comienzo de la combustión, después la concentración del  $\text{CO}_2$  y del  $\text{CO}$  aumenta desde cero hasta un valor máximo, describiendo un pico afilado y posteriormente disminuye de nuevo hasta cero.

Se han calculado los valores experimentales de la eficacia de combustión de la biomasa residual a partir de la concentración media de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$  (% volumen) medida con el tiempo con el analizador de gases Testo 350 en los gases de combustión (San José et al., 2013b, 2014a, 2014b, 2018). Los valores experimentales de eficacia a  $500$   $^\circ\text{C}$  de lechos de mezclas de hollejos y raspones y de lodos de destintado son ligeramente inferiores a los valores experimentales de eficacia de lechos homogéneos de lodo de destintado siendo más cercanos a los de lechos homogéneos de hollejos y raspones, por lo que la adición de lodo de destintado aumenta la eficacia de la combustión.



**Figura 5.** Evolución de la concentración de CO<sub>2</sub> y CO (% volumen) en la corriente de gases de salida con el tiempo durante la combustión a 500 °C de una mezcla al 50% en peso de hollejos y raspones con lodo de destintado.

#### 4. Conclusiones

La tecnología de spouted bed en geometría cónica es aplicable para el aprovechamiento térmico de mezclas de residuos de la industria vinícola, hollejos y raspones y de la industria papelera, lodos de destintado del papel.

Se han determinado los lechos de residuos de la industria vinícola y de la industria papelera que no presentan segregación para llevar a cabo el tratamiento térmico.

En base a los valores de eficacia de combustión (comprendidos entre 70 y 90%) a temperatura del aire de entrada al combustor de 500°C calculados a partir de las concentraciones de CO<sub>2</sub> y CO (% volumen) medidas durante el proceso de combustión de lechos homogéneos de hollejos y raspones y de lechos homogéneos de lodos de destintado y de la mezcla de ambos residuos al 50%, se ha probado el buen comportamiento del combustor spouted bed cónico para el aprovechamiento energético de mezclas de residuos de la Industria vinícola y de la Industria papelera. Además, se ha observado que la adición de lodos de papelera mejora la eficacia de la combustión de los lechos de hollejos y raspones.

*Agradecimientos al Ministerio de Ciencia e Innovación por la financiación y a la Unión Europea por la co-financiación con fondos FEDER de los Proyectos CTQ2014-59312-P y CTQ2017-89199-P.*

#### Nomenclatura

D<sub>b</sub>, D<sub>c</sub>, D<sub>i</sub>, D<sub>o</sub> diámetro superior del lecho estancado, del cono, de la base del contactor y de la entrada del gas, respectivamente (m)  
 d<sub>p</sub> diámetro de partícula (m)  
 H<sub>cono</sub>, H<sub>o</sub> altura de la sección cónica y del lecho estancado (m)

$M_b$	índice de mezcla
$t$	tiempo (s)
$X_{steel}, X_{ins}$	espesor de la pared del contactor y del aislante, respectivamente (m)
$u, u_{ms}$	velocidad del gas y velocidad mínima de spouting, respectivamente (m/s)
$X_B$	fracción másica de las partículas de mayor tamaño
$\left(\overline{X}_B\right)_z$	fracción másica de las partículas de mayor tamaño a diferentes alturas

## Símbolos

$\rho_s$	densidad de partícula ( $\text{kg/m}^3$ )
$\gamma$	ángulo del contactor (deg)
$\eta$	eficacia de combustión (-)

## Bibliografía

- Bacelos, M.S., Freire, J.T. Ind. Eng. Chem. Res. (2006) 45(2) 808.
- Du, W., Zhang, J., Bao, S., Xu, J., Zhang, L. Powder Technol. 301 (2016) 1159.
- Xavier, T.P., Libardi, B.P., Lira, T.S., Barrozo, M.A.S. Powder Technol. 299 (2016) 210.
- Monte, M.C., Fuente, E., Blanco, A., Negro C. Waste Management, 29, 2009, 293.
- Olazar, M., San José, M.J., Peñas, F.J., Aguayo, A.T., Bilbao, J. Ind. Eng. Chem. Res. (1993) 32 2826.
- San José, M.J., Olazar, M., Peñas, F.J., Bilbao, J. Ind. Eng. Chem. Res. 33 (1994). 1838.
- San José, M.J., Alvarez, S., Ortiz de Salazar, A., Morales, A., Bilbao, J. Chem. Eng. Transac. 21 (2010a) 145.
- San José, M.J., Alvarez, S., López, L.B., Olazar, M., Bilbao, J. In Drying (2010b) (Vol B), 1242.
- San José, M.J., Alvarez, S., Peñas, F.J., García, I. Chem. Eng. Sci. 100 (2013a) 413.
- San José, M.J., Alvarez, S., García, Peñas, F.J., Fuel 110(1) (2013b) 178.
- San José, M.J., Alvarez, S., Peñas, F.J., García, I, Chem. Eng. J. 238(15) (2014a) 227.
- San José, M.J., Alvarez, S., García, Peñas, F.J., Chem. Eng. Res. Des. 92 (2014b) 672.
- San José, M.J., Alvarez, S., López, R. Computer Aided Chem. Eng. 40, (2017) ,517.
- San José, M.J., Alvarez, S., López, R. Catal. Today, 305, (2018),13.
- Santos, K.G., Campos, A.V.P., Ferreira, L.V., Santana, R.C., Barrozo, M.A.S. Chem. Eng. Technol. (2013) 36(12) 2148.
- Wine Institute, OIV report on the world vitivinicultural situation (2017).