

# Modelado del secado de lodos de la industria papelera en un secadero Spouted Bed cónico

eman ta zabal zazu



Universidad del País Vasco UPV  
Euskal Herriko Unibertsitatea EHU

María J. San José, Sonia Alvarez, Iris García, Francisco J. Velasco González

Dpto. de Ingeniería Química. Universidad del País Vasco

Aptdo. 644. 48080 Bilbao. Spain. Tel. 34-94-6015362.

Fax. 34-94-6013500. e-mail: mariajose.sanjose@ehu.es

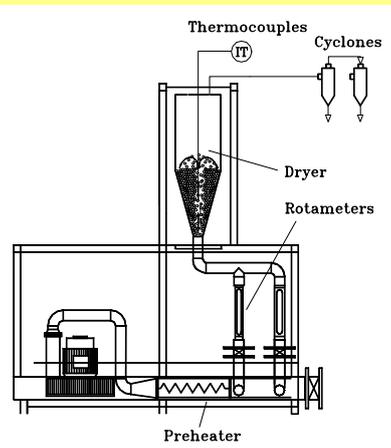


ZTF-FCT  
Zientzia eta Teknologia Fakultatea  
Facultad de Ciencia y Tecnología

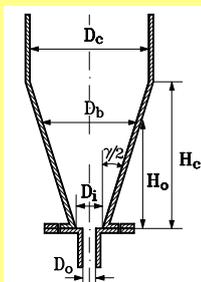
## INTRODUCCION

- La prevención de la contaminación de la industria papelera constituye una preocupación a nivel mundial (European Commission, 2013), siendo los lodos el subproducto generado en mayor cantidad, por lo que su gestión requiere tratamientos alternativos a la aplicación en agricultura y a la valorización energética (Bajpai, 2012). Además, estos lodos contienen un alto contenido de humedad lo que incrementa los costes de transporte para su valorización en agricultura y dificulta la posible valorización energética posterior siendo el secado térmico la primera etapa de los procesos de valorización energética que reduce el contenido de humedad. Además, dado el gran tonelaje anual de lodos industriales producido, la valorización de estos lodos no sólo disminuiría el volumen de residuos sino que se llegaría a darle valor económico al residuo, cumpliendo la legislación medioambiental vigente en materia de residuos, además de una mejora de la economía de este sector Industrial por la disminución del coste de gestión de los lodos a vertedero.
- La aplicabilidad de la tecnología de Spouted Bed se ha probado con éxito para el secado de lodos residuales de la Industria Papelera (San José et al., 2010a, 2010b, 2013a, 2014) y de sarmientos (San José et al., 2013b). El buen comportamiento de estos contactores, se basa en el vigoroso movimiento cíclico de las partículas, lo que elimina las desventajas del tratamiento de materiales adherentes y/o con amplia distribución de diámetro de partícula como los lodos residuales.
- En este trabajo se ha realizado un diseño de experimentos factorial a dos niveles (Montgomery, 2005) para analizar la influencia de los factores geométricos del contactor y de las condiciones de operación en el tiempo de secado de lodos residuales en un secadero spouted bed cónico, con objeto de determinar los valores de los parámetros que optimizan el tiempo de secado. Los resultados del modelo se han comprobado con valores experimentales de tiempos de secado. Además, se ha relacionado el tiempo de secado con el tiempo de ciclo, tiempo empleado por una partícula en describir un ciclo completo en el secadero.

## EQUIPO EXPERIMENTAL



☑ Lodos residuales



Factores geométricos del contactor

Diagrama esquemático de la unidad experimental

Parámetro	Símbolo	Valores
Diámetro de columna	$D_c$ (m)	0.36
Diámetro de la base	$D_b$ (m)	0.03
Angulo de la base	$\gamma$ (deg)	36
Diámetro de entrada del gas	$D_0$ (m)	0.015, 0.02, 0.03
Altura de lecho estancado	$H_0$ (m)	entre 0.03 y 0.25

## CONDICIONES EXPERIMENTALES

☑ Materiales sólidos

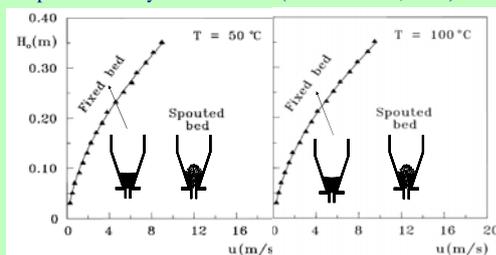
	Diámetro medio de Sauter $d_s$ $10^{-3}$ (m)	Densidad $\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidad $\epsilon_0$
Lodo	2.81	1123	0.35

☑ Temperatura del gas

Temperatura de entrada del gas, T, entre 20 y 120 °C.

## RESULTADOS

- Se han delimitado los diferentes regímenes de lechos de partículas de lodo húmedo en un secadero spouted bed cónico a diferentes temperaturas de secado a partir de la desviación standard de las fluctuaciones de la presión.
- A partir del lecho fijo, obtenido cuando la desviación standard aumenta súbitamente, al aumentar la velocidad del gas, se obtiene el régimen estable de spouted bed, caracterizado por pequeñas fluctuaciones de la desviación standard. La velocidad correspondiente al comienzo de este régimen es la velocidad mínima de spouting.
- Los sistemas son estables a todas las alturas de lecho estancado estudiadas, definiendo la situación inestable cuando la desviación standard de las fluctuaciones de presión es mayor de 100 MPa (San José et al., 1992).



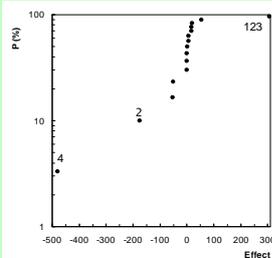
● La velocidad mínima de spouting aumenta tanto con la altura del lecho estancado como con la temperatura del gas a la entrada.

Mapa de operación y esquema de circulación de partículas de lodo con un contenido de humedad de 103% (base seca) en un secadero spouted bed cónico a diferentes regímenes. Sistema experimental:  $\gamma=36^\circ$ ,  $D_0=0.03$  m a diferentes temperaturas de entrada,  $T=50$  y  $100$  °C.

- Con objeto de optimizar el proceso de secado de partículas de lodo húmedo en un secadero spouted bed cónico a baja temperatura, se han variado a dos niveles las variables que pueden tener efecto mediante un diseño de experimentos factorial  $2^k$ .

### Factores de diseño y niveles

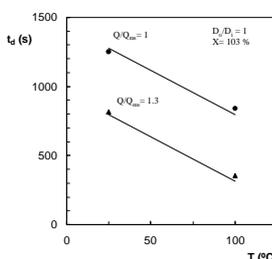
No.	Factor	Nivel 1	Nivel 2
1	$D_0/D_i$ (m)	0.5	1
2	$Q/Q_{ms}$ (m <sup>3</sup> /h)	Minimum spouting 1	Spouting moderado 1.3
3	X (wt %)	1	2
4	T (°C)	25	100



● De la representación de la probabilidad normal de los 16 efectos ordenados (efectos principales e interacciones) se deduce que la mayoría de los efectos son despreciables ya que están distribuidos normalmente con media cero y próximos a la línea recta, por lo que se explican por ruido aleatorio.

● Únicamente los efectos principales 2 y 4 y la interacción de las variables 123 son significativos.

### Probabilidad normal de los efectos



● A partir de la influencia de los factores, se obtiene el modelo de regresión para predecir los valores del tiempo de secado:

$$\hat{t}_d = 793.5 - 26.11x_1 - 88.11x_2 - 27.21x_3 - 239.98x_4 + 153.21x_1x_2x_3$$

● Se muestra el buen ajuste de los valores experimentales de tiempos de secado (puntos) de partículas gruesas humedad a los valores calculados (líneas).

● El tiempo de secado disminuye al aumentar la relación del caudal de gas y la temperatura del gas.

Tiempo de secado frente a la temperatura del gas. Valores experimentales (puntos), valores calculados (líneas). Sistemas experimentales:  $D_0/D_i = 1$ , lodos con  $X = 103$  %, para diferentes  $Q/Q_{ms}$ .

## BIBLIOGRAFIA

- Bajpai, P., 2012. En Biotechnology for Pulp and Paper Processing. Bajpai, P. Ed., New York: Springer, pp. 349-373.
- Box M.J., 1965. A New Method of Constrained Optimization and a Comparison with others Methods. Comput. J. 1, 42-52.
- European Commission, 2013. Best Available Techniques: Document for the Production of Pulp, Paper and Board. Institute for Prospective Technological Studies, Seville.
- Montgomery, C., Runger, G.C., 2003. En: Applied Statistics and probability for engineers, 3ª ed., New York: John Wiley & Sons.
- Montgomery, D.C., 2005. New York, McGraw Hill Corporation.
- San José, M.J., Olazar, M., Aguayo, A.T., Arandes, J.M., Bilbao, J., 1992. In Fluidization VII, New York, 381-388.
- San José, M.J., Alvarez, S., López, L.B., Olazar, M., Bilbao, J., 2010a, Drying 2010 (Vol B), 1242-1248.
- San José, M.J., Alvarez, S., Ortiz de Salazar, A., Morales, A., Bilbao, J., 2010b. Chem. Eng. Transactions, 21, 145-150.
- San José, M.J., Alvarez, S., Peñas, F.J., García, I., 2013a. Chem. Eng. Sci., 100, 413-420.
- San José, M.J., Alvarez, S., García, I., Peñas, F.J., 2013b. Fuel, 110, 178-184.
- San José, M.J., Alvarez, S., García, I., Peñas, F.J., 2014. Chem. Eng. Res. Des. 92(4), 672-678.