



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Fabricación de morteros de revoque de material reciclado en un mezclador Spouted Bed

Autor: María José San José Álvarez

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

Otros autores: Erik Echaniz (Universidad del País Vasco); Sonia Álvarez (Universidad del País Vasco); Unai López de Vergara (Universidad del País Vasco)



RESUMEN:

El reciclaje de materiales de construcción, impensable hace tan solo unos años, empieza a configurarse como una actividad con expectativas importantes. Una de las aplicaciones del material reciclado es la utilización de éste para la elaboración de morteros de albañilería. Se han realizado estudios en los que se han utilizado en la elaboración de morteros áridos reciclados procedentes de la construcción (Álvarez Cabrera, et al., 1997), obteniendo unos resultados realmente satisfactorios y demostrando que presentan un comportamiento similar a los morteros fabricados con áridos obtenidos industrialmente en cualquier cantera. Dada la laguna existente en la bibliografía en cuanto a utilización de nuevos sistemas de mezclado para la elaboración de morteros, en este trabajo se han realizado diversas mezclas de morteros provenientes de material virgen. La obtención de una mejor mezcla daría lugar a un mortero de propiedades fisicoquímicas óptimas para su uso en la construcción (Hincapie y Aguja, 2003). Con este fin se ha elegido la tecnología de spouted bed (San José et al., 1994) como método de contacto más adecuado como sistema de mezcla de los diferentes componentes del mortero. Se ha estudiado el comportamiento de lechos constituidos por morteros de revoque con un 9 % de agua en contactores spouted beds de diferente geometría y en diferentes condiciones de operación para tener en cuenta la aportación del agua en la mezcla y su posible variación fluidodinámica. Referencias Álvarez Cabrera, J.L., Urrutia, R., Andres y Lecusay, D. (1997). Morteros de albañilería con escombros de demolición. *Materiales de construcción*, 41(246), 43-51. Hincapie, A.M., Aguja, E.A. (2003). Agregado reciclado para morteros. *Universidad Eafit*, Vol. 39, No. 132, 76-89. Universidad EAFit. Medellín, Colombia. San José, M.J., Olazar, M., Peñas, F.J., Bilbao, J., Segregation in conical spouted beds with binary and ternary mixtures of equidensity spherical particles. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 33, 1838-1844.



INTRODUCCIÓN

El reciclaje de materiales de construcción, impensable hace tan solo unos años, empieza a configurarse como una actividad con expectativas importantes. Una de las aplicaciones del material reciclado es la utilización de éste para la elaboración de morteros de albañilería. Se han realizado estudios en los que se han utilizado en la elaboración de morteros áridos reciclados procedentes de la construcción (Álvarez Cabrera, et al., 1997), obteniendo unos resultados realmente satisfactorios y demostrando que presentan un comportamiento similar a los morteros fabricados con áridos obtenidos industrialmente en cualquier cantera.

Dada la laguna existente en la bibliografía en cuanto a utilización de nuevos sistemas de mezclado para la elaboración de morteros, en este trabajo se han realizado diversas mezclas de morteros provenientes de material virgen. La obtención de una mejor mezcla daría lugar a un mortero de propiedades fisicoquímicas óptimas para su uso en la construcción (Hincapie y Aguja, 2003).

Con este fin se ha elegido la tecnología de spouted bed (San José et al., 1994) como método de contacto más adecuado como sistema de mezcla de los diferentes componentes del mortero dado que el método de contacto de los reactores Spouted Beds presenta la ventaja de poder procesar materiales de difícil manejo (adherentes, con distribución de tamaños de partícula, térmicamente sensibles) (Olazar et al., 1992, 1993; San José et al., 1991, 2002a, b). Se ha estudiado el comportamiento de lechos constituidos por diferentes materiales de construcción con un 9 % de agua en contactores spouted beds de diferente geometría y en diferentes condiciones de operación para tener en cuenta la aportación del agua en la mezcla y su posible variación fluidodinámica.

EQUIPO EXPERIMENTAL

El equipo experimental diseñado a escala de planta piloto, Figura 1, consta básicamente de una soplante que suministra un caudal de $300 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$ a una presión de 15 kPa. La medida del caudal se realiza con dos rotámetros, utilizados en los intervalos de 2,5 a 30 y de 30 a $250 \text{ Nm}^3/\text{h}$, respectivamente y mediante dos medidores de flujo másico en el rango de 0 a 15 l/min y de 0 a 65 l/min, respectivamente. Un sistema de válvulas permite seleccionar el rotámetro y medidor de flujo másico para el rango de caudal deseado. La exactitud de la medida es 0.5%.

La medida de pérdida de carga se envía a un transductor diferencial de presión (Siemens Teleperm). Este transductor envía la señal de 4-20 mA a un colector de datos (Alhorn Almeno 2290-8), conectado a un ordenador donde se registran los datos y se procesan por medio del programa AMR-Control. Este programa también registra y procesa los datos de velocidad del aire, lo que permite la representación de curvas continuas de pérdida de carga frente a la velocidad del aire.

Se ha trabajado con cinco contactores cónicos, Figura 2, con ángulo del cono, γ , comprendido entre 28° y 45° , diámetro de la entrada al contactor, $D_i = 0.06 \text{ m}$; diámetro de entrada del gas, $D_o = 0.03, 0.04$ y 0.05 m ; altura de la sección cónica, H_c , comprendida entre 0.36 y 0.60 m; diámetro de la sección cónica $D_c = 0.36 \text{ m}$; altura de lecho estancado, H_o , entre 0.10 y 0.30 cm.

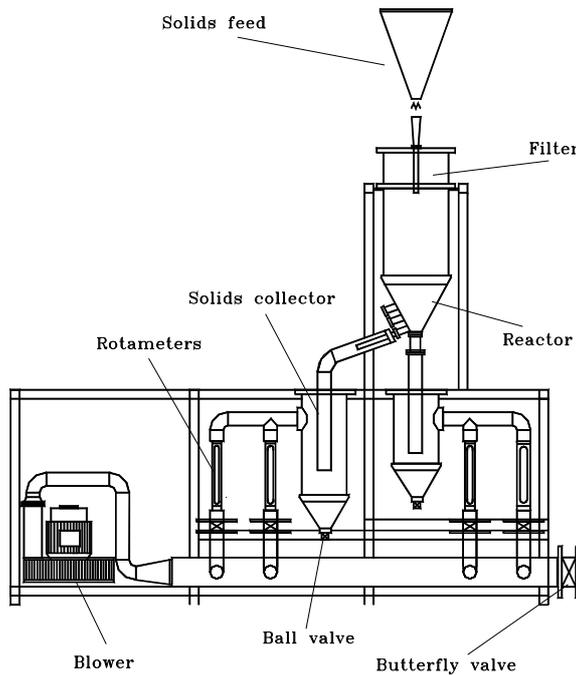


Figura 1. Equipo experimental

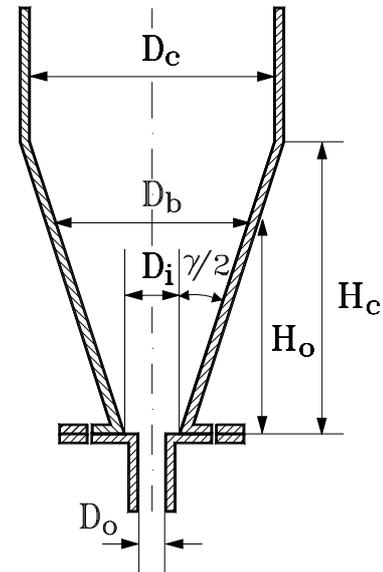


Figura 2. Diagrama esquemático de un contactor cónico spouted bed

En la Tabla 1 se recogen los materiales de construcción, empleados en la fabricación de morteros, con diferentes diámetros de partícula.

Tabla 1. Densidad de materiales de construcción

Material	ρ_s (kg/m ³)
Arena	2650
Cal hidráulica viva, en polvo	850-1150
Cemento Portland	1400
Escorias de coque	600
Grava	1750
Ladrillos comunes	1350-1600
Polvo de ladrillos	1000
Porcelana	2400
Caliza	2700
Yeso en polvo	1200

ESTUDIO FLUIDODINÁMICO

Para determinar el comportamiento de lechos constituidos por morteros en contactores spouted beds cónicos se han realizado experimentos de mezclado de diferentes materiales de construcción y diferentes tamaños de partícula.

Se ha medido la evolución de la pérdida de carga con la velocidad del gas en una gran variedad de sistemas experimentales correspondientes a lechos de materiales de construcción. En la Figura 3 se han representado los resultados de pérdida de carga en el lecho frente a la velocidad del gas para un sistema representativo de un lecho constituido por una mezcla de mortero de revoque con un contenido de agua del 9% y de diámetro de partícula representativo, diámetro medio de Sauter \overline{d}_S de 1.81 mm para diferentes

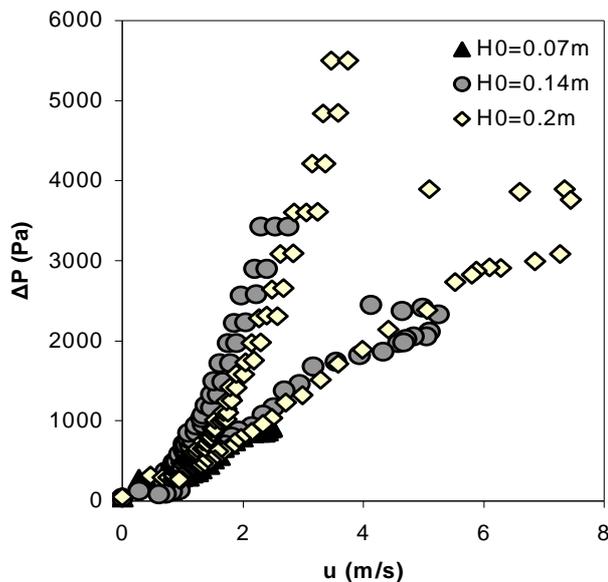


Figura 3 Evolución de la pérdida de carga con la velocidad del gas para lechos de una mezcla de mortero de revoque con un 9% de agua de \overline{d}_S de 1.81 mm. Geometría del contactor: $\gamma = 28^\circ$, $D_o = 0.03$ m.

valores de la altura de lecho estancado, H_o .

Los resultados obtenidos para lechos de mortero de revoque son cualitativamente similares a los correspondientes a lechos de materiales de mayor densidad (San José, 1991; Olazar et al., 1992) con una pronunciada histéresis cuando desciende la velocidad desde el régimen de spouted bed. La pérdida de carga aumenta con el flujo de gas hasta alcanzar su valor máximo, a partir del cual disminuye hasta el valor correspondiente a la operación estable, la cual se mantiene constante con el aumento de velocidad en un intervalo relativamente amplio.

Se han delimitado las condiciones de operación estable y los regímenes de operación en lechos de diferentes materiales de construcción y diferentes tamaños de partícula y se han representado mediante mapas de operación en los que se representa la altura de lecho estancado, H_o , frente a la velocidad del gas, u . 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.

En la Figura 4 se muestra como ejemplo el mapa de operación para un lecho de morteros de revoque con un 9% de agua para tener en cuenta la aportación del agua en la mezcla y su posible variación fluidodinámica, para un ángulo de contactor $\gamma = 28^\circ$ y diámetros de entrada $D_o = 0.03$ y 0.05 m. Comenzando en el lecho fijo, al aumentar la velocidad del gas pasa por un estado de transición en el que el lecho está parcialmente estancado y si se sigue aumentando la velocidad del gas se obtiene el 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. Además, se aprecia que este sistema es estable a todas las alturas 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.

La influencia de los factores geométricos (ángulo y diámetro del contactor) es similar a la obtenida para lechos de esferas de vidrio y otros sólidos más densos (Olazar et al., 1992). Por lo tanto, el régimen de operación estable aumenta al aumentar el ángulo entre 28 y 45° y al disminuir el diámetro de la entrada de gas entre 0.05 y 0.03 m. Se observa que con cualquiera de los diámetros de entrada con los que se ha experimentado, el lecho no presenta en ningún caso inestabilidades. Por tanto, se puede trabajar en régimen de operación estable con las mezclas con una gran variedad de condiciones experimentales.

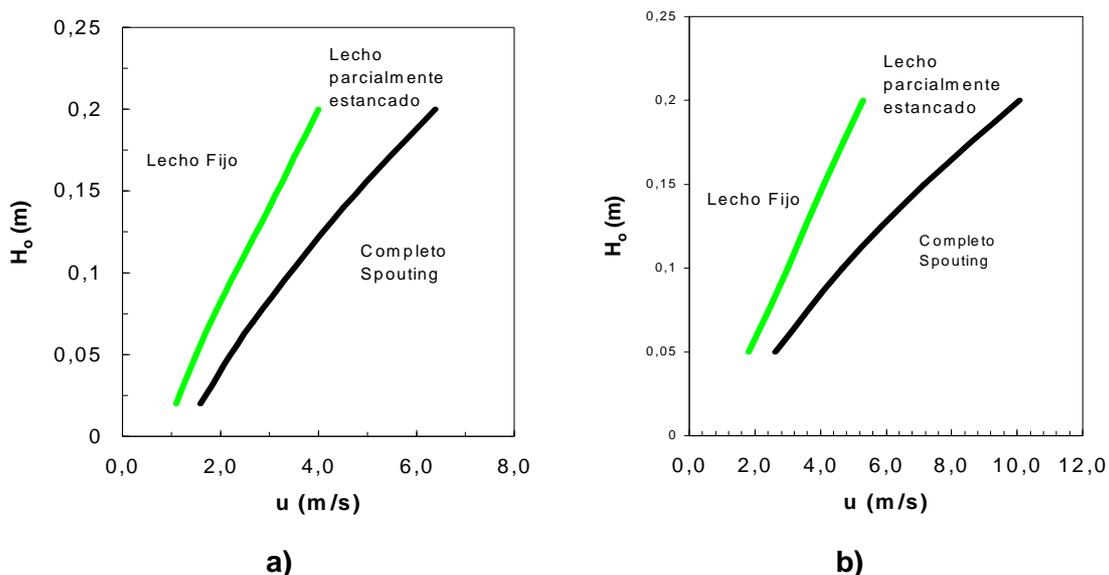
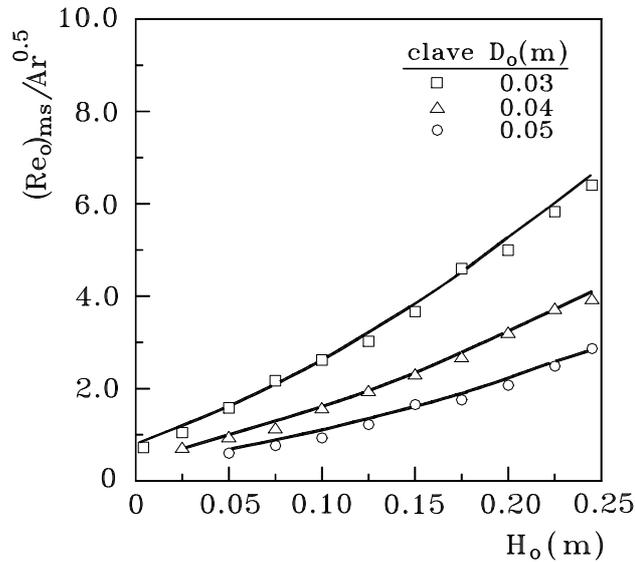


Figura 4 Mapa de operación para lechos de una mezcla de mortero de revoque con un 9% de agua de \overline{d}_S de 1.81 mm. Geometría del contactor: $\gamma = 28^\circ$. a) $D_o = 0.03$ m, b) $D_o = 0.05$ m.

Se ha probado la validez de la ecuación propuesta en trabajos anteriores para el cálculo de la velocidad mínima de spouting (Olazar et al., 1992) para el cálculo de la velocidad de completo spouting, para lechos constituidos por mezclas de materiales de construcción sin segregación apreciable.

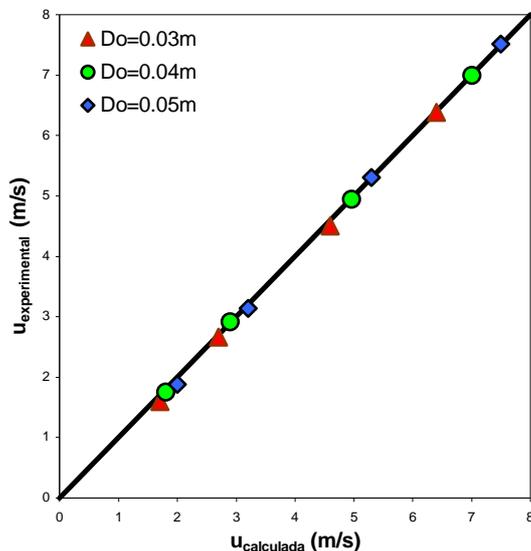
$$(\text{Re}_o)_{ms} = 0.126 \text{Ar}^{0.5} (D_b/D_o)^{1.68} [\tan(\gamma/2)]^{-0.57} \quad (1)$$

La ecuación relaciona el módulo de Reynolds con los factores geométricos del lecho y el módulo de Arquímedes y fue propuesta como consecuencia de un amplio estudio experimental. Los resultados experimentales se ajustan a la ecuación con un coeficiente de regresión r^2 de 0.94 y un error relativo máximo del 6%. La Figura 5 muestra como ejemplo la calidad del ajuste de los resultados correspondientes a mezcla de mortero de revoque con un 9% de agua de \overline{d}_S de 1.81 mm.



Los puntos corresponden a los resultados experimentales del módulo $[(Re_o)_{ms} / Ar^{0.5}]$ para diferentes valores de la altura del lecho estancado y el diámetro de entrada del gas. Las líneas se han calculado con el ecuación 1.

Figura 5 Efecto de la altura de lecho estancado y del diámetro de la entrada del aire en el módulo $[(Re_o)_{ms} / Ar^{0.5}]$ para lechos de una mezcla de mortero de revoque con un 9% de agua de d_S de 1.81 mm. Puntos: valores experimentales. Líneas: valores calculados con el ec. 1. Angulo del contactor: $\gamma = 36^\circ$.



Como ejemplo del ajuste de los resultados de velocidad mínima de spouting a la ecuación (1), en la Figura 6 se han representado los valores teóricos de la velocidad mínima de spouting obtenidos con la ecuación (1) frente a los valores experimentales para lechos de mezclas de mortero de diámetro medio de Sauter $d_S = 1.81$ mm para diferentes valores del diámetro de la entrada y de la altura de lecho estancado. Como se observa para todos los diámetros de la entrada, el ajuste de los datos se acerca de manera aproximada a una línea recta de pendiente uno, lo que muestra la bondad del ajuste.

Figura 6. Comparación de los valores experimentales y teóricos de la velocidad mínima de spouting para lechos de mezclas de mortero de diámetro medio de Sauter, $d_S = 1.81$ mm. $D_o = 0.03, 0.04$ y 0.05 m, para diferentes valores de altura de lecho estancado.



CONCLUSIONES

La pérdida de carga obtenida para lechos de mortero de revoque en contactores spouted beds cónicos aumenta con el flujo de gas hasta alcanzar su valor máximo, a partir del cual disminuye hasta el valor correspondiente a la operación estable, la cual se mantiene constante con el aumento de velocidad en un intervalo relativamente amplio. Asimismo presenta una pronunciada histéresis cuando desciende la velocidad desde el régimen de spouted bed.

Los lechos constituidos por mezclas de materiales de construcción son estables para todas las condiciones estudiadas. Por lo tanto, los contactores spouted bed cónicos son adecuados para el manejo de mezclas de materiales de construcción en régimen de operación estable en un amplio rango de factores geométricos y condiciones de operación.

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.

Se ha probado la validez de las correlaciones determinadas en trabajos anteriores para lechos de mezclas de materiales de construcción.

NOMENCLATURA

Ar	Número de Arquímedes, $g d_p^3 \rho (\rho - \rho_s) / m^2$
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
$\overline{d_S}$	Diámetro medio de Sauter, L
H_c, H_o	Altura de la sección cónica del contactor y del lecho estancado, respectivamente, L
$(Re_o)_{ms}$	Módulo de Reynolds correspondiente a la velocidad mínima de spouting
u	Velocidad del aire referida a D_i , LT^{-1}
ϕ	Esfericidad de la partícula
γ	Angulo del contactor cónico, grados.
ρ_s	Densidad del sólido, ML^{-3}
ΔP	Pérdida de carga del lecho, $ML^{-3}T^{-2}$

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Cabrera, J.L., Urrutia, R., Andres y Lecusay, D. (1997). Morteros de albañilería con escombros de demolición. *Materiales de construcción*, 41(246), 43-51.
- Hincapie, A.M., Aguja, E.A. (2003). Agregado reciclado para morteros. Universidad Eafit, Vol. 39, No. 132, 76-89. Universidad EAFit. Medellín, Colombia.
- Olazar, M., San José, M.J., Aguayo, A.T., Arandes, J.M., Bilbao, J. *Ind. Eng. Chem. Res.* **31**(7), 1784-92(1992).
- Olazar, M., San José, M.J., Peñas, F.J., Aguayo, A.T., Bilbao, J. (1993) Stability and Hydrodynamics of Conical Spouted Beds with Binary Mixtures. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **32**, 2826-2834.
- San José, M.J., Olazar, M., Aguayo, A.T., Arandes, J.M, Bilbao, J. (1991) Design and Hydrodynamics of Conical Jet Spouted Beds, *In: Récent Progrès en Génie des*



Procédés, La Fluidisation, Laguerie, C. and Guigon, P. eds; Lavoisier-Technique et documentation: Paris, 1991, Vol 5, pp. 146-153.

San José, M.J., Olazar, M., Peñas, F.J., Bilbao, J., Segregation in conical spouted beds with binary and ternary mixtures of equidensity spherical particles. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 33, 1838-1844(1994).

San José, M.J., Aguado, R., Alvarez, S. y Olazar.M. (2002a) Spouted Bed Cónico para el Tratamiento de Carbón Información Tecnológica, 13(2), 127-131.

San José, M.J., Ortiz de Salazar, A., Alvarez, S. y Olazar.M. (2002b) Combustión de Serrín y Residuos Agroforestales en Spouted Beds Información Tecnológica, 13(2), 133-137.