

Estudio hidrodinámico de un reactor de lecho fluidizado en paralelo con diferentes configuraciones

JUÁREZ, Ana*†, ALVARADO, Arturo, VALLEJO, Norma y ALVARADO, Alejandro

Recibido 16 de Enero, 2015; Aceptado 09 de Marzo, 2015

Resumen

El tratamiento de efluentes industriales que involucran grandes volúmenes y una carga orgánica elevada, siguen siendo un problema sin una solución total. Se han propuesto reactores anaerobios de segunda generación que han atendido en parte el problema, sin embargo es necesario desarrollar nuevas tecnologías utilizando reactores de alta carga que a su vez puedan tratar mayores volúmenes en espacios reducidos. Los reactores de lecho fluidizado inverso resultan una alternativa atractiva, sin embargo su escalamiento requiere de mejoras que lo hagan competitivo. En este trabajo se realizó un estudio hidrodinámico en un reactor de lecho fluidizado en paralelo con diferentes configuraciones, evaluándose los aspectos hidrodinámicos de velocidad descendencial y expansión del lecho utilizando diferentes volúmenes de soporte. Los resultados preliminares indican que la configuración en paralelo presenta ventajas con respecto a la configuración tradicional, mientras que las pruebas hidrodinámicas presentan buena estabilidad al utilizar un 30% de soporte y un lecho semifluidizado inverso.

Estudio hidrodinámico, lecho fluidizado, configuración en paralelo

Abstract

Treatment of industrial effluents that involve large volumes and high organic loads remains a problem without a total solution. The issue was attended in part with second generation anaerobic reactors, however it is necessary to develop new technologies using high loading reactors which can treat higher volumes in reduced spaces. The inverse fluidized bed reactors are an attractive alternative, but in order to achieve an efficient scale up, improvements that make it competitive are required. In this work, a hydrodynamic study was performed in a fluidized bed reactor in parallel with different configurations, evaluating descentional velocity and bed expansion as hydrodynamic variables and using different volumes of support material. Preliminary results indicate that the parallel configuration has advantages over the traditional configuration, while the hydrodynamic tests show good stability when using 30% support and inverse semi fluidized bed.

Hydrodynamic study, fluidized bed, parallel configuration

Citación: JUÁREZ, Ana, ALVARADO, Arturo, VALLEJO, Norma y ALVARADO, Alejandro. Estudio hidrodinámico de un reactor de lecho fluidizado en paralelo con diferentes configuraciones. Revista de Energía Química y Física 2015, 2-2: 288-294

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: anpat_mar21@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Desde la antigüedad el problema de la contaminación ambiental ha sido múltiple, presentándose en formas muy diversas a través de efectos directos o indirectos que dañan seriamente la atmósfera, suelo, agua y seres vivos. Esto ha sido provocado en su totalidad o en parte por la acción humana. Por otro lado, el agotamiento de los combustibles fósiles y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero han dado lugar a una demanda urgente de energía limpia [Chong et al., 2012].

Los tratamientos biológicos aerobios y anaerobios constituyen dos grandes alternativas para la depuración de aguas residuales y residuos orgánicos biodegradables. Sin embargo, el tratamiento anaerobio resulta mucho más favorable económicamente por el hecho de no requerir aireación, y por la generación de biogás (metano y dióxido de carbono), que se puede utilizar como energía alternativa, lo que permite en muchos casos la autosuficiencia de las plantas de tratamiento [Cervantes-Zepeda et al., 2011].

La biodegradación anaerobia se lleva a cabo dentro de tanques totalmente cerrados, denominados reactores debido a la reacción bioquímica de descomposición que se realiza en ellos [Escudí et al., 2011]. En la generación más reciente de reactores anaerobios, los microorganismos se adhieren a un material de soporte formando biopelículas, que se expanden o fluidifican con altas velocidades de flujo, lo cual proporciona la ventaja de tratar efluentes con altas cargas volumétricas en menor tiempo a comparación de otros sistemas [Chun-Sheng et al., 2006]. El flujo ascendente o descendente del lecho de partículas de soporte se logra a través de una corriente de recirculación, lográndose de esta manera la fluidización.

Los materiales de soporte son variados e incluyen arena, material plástico, cerámica, carbón y otros tipos de materiales. Ejemplos de estos sistemas, son los reactores de lecho fluidizado (LF) de flujo ascendente o descendente (inverso), lecho de lodos granular expandido (EGSB), reactor de biopelícula en suspensión por una corriente de aire (BAS) y reactor de circulación interna (IC) [Nicolella et al., 2000].

Los sistemas convencionales de tratamiento anaerobio ofrecen excelentes eficiencias de remoción, sin embargo no reúnen los criterios necesarios para la sustentabilidad de las inversiones en México y países en vías de desarrollo, donde los recursos de capital y mano de obra calificada son limitados. Por ello surge la necesidad de adoptar tecnologías de tratamiento modernos capaces de remover los principales contaminantes, con bajos costo de construcción, mantenimiento, económicamente factibles y autosostenibles [Villegas y Pérez, 2004].

Actualmente los Reactores de Lecho Fluidizado Inverso (RLFI) son mayormente empleados para el tratamiento biológico anaerobio, por ser un sistema capaz de trabajar a altas cargas volumétricas, en espacios reducidos, en menor tiempo y con menores requerimientos energéticos en comparación con otros sistemas [Sokoł et al., 2008]. Sin embargo, a nivel industrial aún no pueden ser utilizados, debido a que los grandes volúmenes de aguas residuales, provocan que las dimensiones de los reactores aumenten considerablemente. Conforme el tamaño de un RLFI incrementa se dificulta mantener un flujo adecuado para lograr una expansión homogénea del lecho sin pérdida del material de soporte en el efluente.

También se requerirían más bombas y de mayor potencia para tener una buena fluidización, lo que incrementaría el costo de capital y energético.

Por lo anterior, el objetivo de este proyecto es el estudio hidrodinámico de un sistema de lecho fluidizado en paralelo con diferentes configuraciones para lograr mayor estabilidad que en el sistema de lecho fluidizado inverso convencional, en base a las características de fluidización y expansión del lecho.

Metodología a desarrollar

Primera etapa

Dispositivo experimental

El reactor esta conformado por tres tubos de acrílico en paralelo, cada uno con capacidad de 333 mL, individualmente tienen la función de un lecho fluidizado. Un diagrama esquemático del reactor se muestra en la Figura 1.

La recirculación del efluente se realiza con una sola bomba marca Aquasub con capacidad de 450 L/h y altura máxima de 0.90 m, ésta alimenta un tanque de distribución que a su vez proporciona el flujo de alimentación a cada sección de los lechos fluidizados inversos.

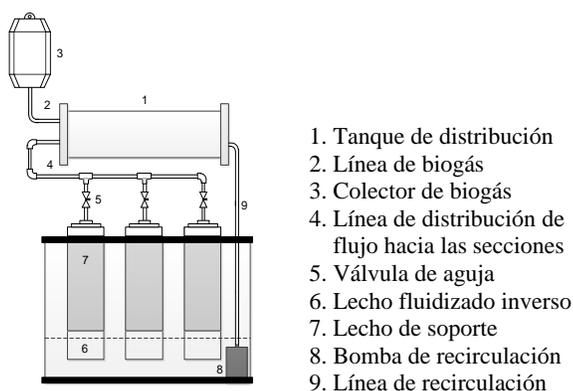


Figura 1 Diagrama esquemático del reactor

Para regular el flujo se utilizó una válvula de aguja de 1/8" marca Parker®, en base al número de vueltas a la aguja se determinó la velocidad y el flujo (Tabla 1).

Velocidad	Flujo (mL/min)
1	16
2	34
3	100
4	126
5	144
6	232
7	288
8	328

Tabla 1 Flujos utilizados en las pruebas hidrodinámicas

Pruebas hidrodinámicas

Como medio de soporte se empleó Extendsphere™, el cual consiste en pequeñas partículas de sílice con una burbuja de aire en el interior. Tiene una densidad de 0.69 g/mL y un diámetro promedio de partícula de 170 μm [Alvarado-Lassman, 2008], con una superficie específica muy grande de 20,000 m²/m³. Este soporte fue seleccionado porque tiene una densidad inferior al agua y su forma esférica permite una expansión más homogénea del lecho.

Las pruebas se realizaron con 10, 20, 30 y 40% de soporte en base al volumen útil de los RLFI como se muestra en la Tabla 2.

% volumen	mL Extendsphere™	cm de lecho
10	29	1.8
20	57	3.6
30	86	5.4
40	118	7.2

Tabla 2 Volúmenes de soporte

Se colocó el soporte en los RLFI y se esperó aproximadamente unos 30 min a que el lecho se compactará, después se hicieron pasar diferentes flujos de agua a través del mismo por la parte superior de menor a mayor, esperando entre cada uno a que el lecho compactará para tomar correctamente la medición del lecho expandido.

Segunda etapa

Dispositivo experimental

Durante el desarrollo de las pruebas hidrodinámicas en la primera etapa de este trabajo, el funcionamiento del reactor fue apropiado, sin embargo se detectaron ciertas oportunidades de mejora para el control y distribución del flujo en las tres secciones. Por ello se incremento la relación altura diámetro de 21/5 a 60/5 de los tubos, con la finalidad de observar el fenómeno de la fluidización y expansión del lecho más fácilmente.

Pruebas hidrodinámicas

Para las pruebas hidrodinámicas se llevo a cabo el mismo procedimiento que en la primera etapa, con 25, 30 y 35% de soporte en base al volumen útil de los RLFI, siendo el 30% el que obtuvo mejores resultados.

Con la finalidad de mejorar la distribución del flujo y expansión del lecho, se realizarón pruebas con dos configuraciones; lecho fijo y lecho semifluidizado. Una placa difusora en la parte superior del lecho fluidizado soporta el lecho fijo que se compone de tubos de polietileno corrugado. El lecho semifluidizado se forma restringiendo la expansión del lecho fluidizado por medio de una placa perforada que se ubica en la parte inferior del lecho.

Resultados

Primera etapa

Las diferentes pruebas hidrodinámicas que se desarrollaron se muestran en la Tabla 3. Todos los experimentos fueron realizados por triplicado.

Cantidad de soporte (%)	Velocidad descensional (m/h)							
	0.60	1.28	3.77	4.75	5.43	8.75	10.86	12.37
10	x	x	x	x	x	x	x	x
20	x	x	x	x	x	x	x	x
30	x	x	x	✓	✓	✓	✓	-
40	x	x	x	x	-	-	-	-

✓ Expansión, x Sin expansión, - Excede expansión

Tabla 3 Condiciones hidrodinámicas experimentales

Al utilizar 10 y 20% de soporte con altas velocidades ocurrió una ligera expansión, que al transcurso de 30 min el lecho nuevamente se compactó. En el caso del 40% de soporte y velocidades más altas de 5.43 m/h causó pérdidas considerables de soporte. Con 30 % de soporte y velocidades mayores a 4.75 m/h y menores a 10.86 m/h, se observó una adecuada y gradual expansión del lecho. Teniendo en cuenta la velocidad descensional y la expansión del lecho, una cantidad de soporte igual al 30% del volumen de trabajo del reactor presenta buena estabilidad. La expansión relativa del lecho (30% de soporte) se muestra en la Tabla 4, esta se define por la relación de la altura del lecho estático a la altura de la columna (H/Ho).

Velocidad	Velocidad descensional (m/h)	Lecho (cm)	% de expansión del lecho
1	0.60	5.4	30
2	1.28	5.4	30
3	3.77	5.4	30
4	4.75	11	61
5	5.43	14	77
6	8.75	16	88
7	10.86	18	100

Tabla 4 Expansión del lecho (30% de soporte)

En la Figura 2 se observa el perfil de la expansión relativa del 30% de soporte de Extendosphere™ contra la velocidad descendional. Conforme la velocidad aumenta gradualmente la expansión del lecho también, alcanzando hasta un 100% de la expansión.

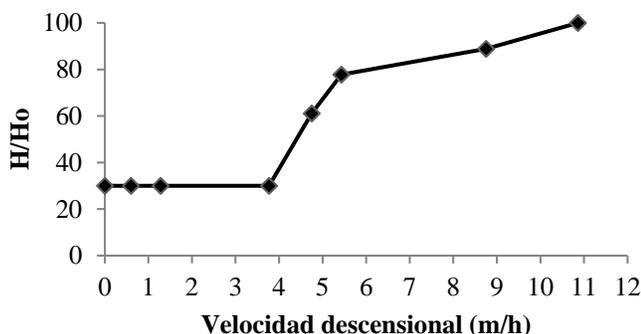


Figura 2 Expansión del 30% de soporte

Segunda etapa

Los resultados obtenidos de la expansión del lecho con un 30% de soporte y empleando tres tipos de configuraciones diferentes (sin placas, con lecho fijo y lecho semifluidizado) se muestran en las Tablas 5, 6 y 7. Todos los experimentos fueron realizados por triplicado.

Velocidad	Velocidad descendional (m/h)	Lecho (cm)	% de expansión
1	0.60	15	30.00
2	1.28	15	30.00
3	3.77	16	31.37
4	4.75	17	33.33
5	5.43	20	39.22
6	8.75	24	47.06
7	10.86	51	100.00

Tabla 5 Expansión del lecho (30% soporte) sin placas

Velocidad	Velocidad descendional (m/h)	Lecho (cm)	% de expansión
1	0.60	15	30.00
2	1.28	15	30.00
3	3.77	20	39.22
4	4.75	26	50.98
5	5.43	29	56.86
6	8.75	51	100.00

Tabla 6 Expansión del lecho (30% soporte) con lecho fijo

Velocidad	Velocidad descendional (m/h)	Lecho (cm)	% de expansión
1	0.60	17.5	30.00
2	1.28	19	34.31
3	3.77	28	37.25
4	4.75	30	54.90
5	5.43	37	58.82
6	8.75	50	98.04

Tabla 7 Expansión del lecho (30% soporte) con lecho semifluidizado

Cuando al lecho fluidizado no se colocó ninguna placa, el % de expansión fue solamente del 47%, con velocidades entre 0.60 m/h y 8.75 m/h sin tener perdida de soporte. El lecho fijo mejoró la distribución del flujo, se obtuvo un % de expansión del 57%, con velocidades entre 0.60 m/h y 5.43 m/h sin perdida de soporte. Con el lecho semifluidizado se obtuvo la mejor distribución del flujo, la expansión fue adecuada y gradual hasta llegar a un 98%, con velocidades entre 0.60 m/h y 8.75 m/h.

En la Figura 3 se observa el perfil de la expansión relativa del 30% de soporte contra la velocidad descendional de las tres configuraciones que se emplearon.

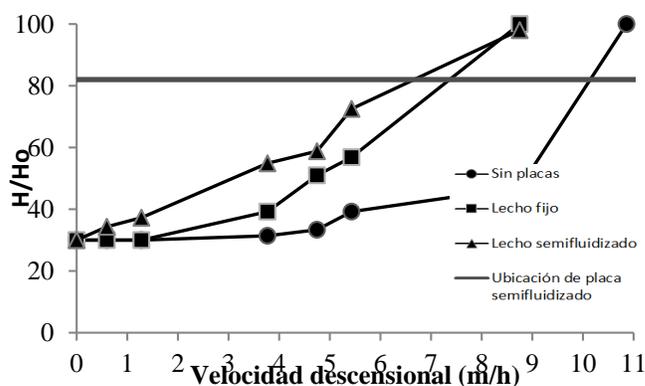


Figura 3 Expansión del soporte (30%) con diferentes configuraciones

La expansión mínima se observa en todas las configuraciones para las velocidades inferiores a 1.28 m/h, debido a la aglomeración de partículas y a velocidades superiores de 1.28 m/h incrementa gradualmente la expansión. Una velocidad de 5.43 m/h se puede establecer para una expansión del lecho adecuada, con un requerimiento mínimo de energía para el Extendosphere™.

Uno de los inconvenientes que aún se presentan en el sistema en paralelo es que requiere de un control mucho más sofisticado para realizar la distribución de flujo en las tres secciones, ya que el flujo individual depende de la expansión del lecho que a su vez depende de la colonización de cada sección. De acuerdo con [Schreyer y Coughlin, 1999] a medida que se realiza la colonización del medio de soporte, se observa estratificación del lecho lo que en nuestro caso se verá reflejado en un incremento de la densidad del soporte de manera dinámica lo que implica variaciones en la expansión utilizando el mismo flujo de alimentación.

Conclusiones

Evaluando los aspectos hidrodinámicos de velocidad descendional y la expansión del lecho, los resultados indican que al utilizar un 30% de soporte se presenta una buena estabilidad en la fluidización.

De las diferentes configuraciones que se emplearon, el lecho semifluidizado fue la que obtuvo mejores resultados, se observó una adecuada y gradual expansión del lecho que llegó a un 98% sin pérdidas de soporte.

En cuanto al sistema en paralelo aún presenta inconvenientes, requiere de un control más sofisticado para realizar la distribución de flujo en las tres secciones.

Referencias

- Alvarado-Lassman, A., Rustrián, E., García-Alvarado, M. A., Rodríguez-Jiménez, G. C. y Houbron, E. (2008). Brewery wastewater treatment using anaerobic inverse fluidized bed reactors. *Bioresource Technology*. 99(8), 3009-3015.
- Cervantes-Zepeda, A. I., Cruz-Colín, M. R., Aguilar-Corona, R., Castilla-Hernández, P. y Meraz-Rodríguez, M. (2011). Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada en un reactor UASB escala piloto. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10(1), 67-77.
- Chun-Sheng, W., Ju-Sheng, H. y Hsin-Hsien, C. (2006). Influence of internal biogas production on hydrodynamic behavior of anaerobic fluidized-bed reactors. *Water Research*. 46(1), 126-136.
- Chong, S., Kanti, S. T., Kayaalp, A. y Ming, A. H. (2012). The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment. *Water Research*. 46(11), 3434-3470.
- Escudié, R., Cresson, R., Delgenès., J. P. y Bernet, N. (2011). Control of start-up and operation of anaerobic biofilm reactors: An overview of 15 years of research. *Water Research*. 45(1), 1-10.
- Nicolella, C., van Loosdrecht, M. C. M. y Heijnen, J. J. (2000). Wastewater treatment with particulate biofilm reactors. *Journal of Biotechnology*. 80(1), 1-33.
- Villegas-Peña, O. G. y Pérez-Cortes, Y. (2004). Diseño teórico de un reactor híbrido mediante sistemas no convencionales para el tratamiento de las aguas negras. Tesis de Licenciatura. Instituto Politécnico Nacional.

Schreyer, H. B. y Coughlin, R. W. (1999). Effects of stratification in a fluidized bed bioreactor during treatment of metalworking wastewater. *Biotechnology and bioengineering*. 63(2), 129-140.

Sokoł, W., Ambaw, A. y Woldeyes, B. (2008). Biological wastewater treatment in the inverse fluidised bed reactor. *Chemical Engineering Journal*. 150(1), 63-68.