

CARACTERIZACION DE EMPAQUETADURAS PARA REACTORES AEROBIOS DE PELICULA FIJA

C. Ramos Alvariño y E. Sánchez Hernández.

División de Estudios sobre Contaminación Ambiental. Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Avenida 25 y 158, Playa, Apartado Postal 6990, Ciudad de La Habana, Cuba.

Recibido: 21 de marzo de 1997.

RESUMEN. La forma geométrica de las empaquetaduras en los reactores aerobios de biopelícula fija (RABF) es importante en relación con la máxima superficie aprovechable para el crecimiento biológico, así como en la influencia en la hidrodinámica del fluido. Se calcularon los tiempos de retención hidráulicos en cinco empaquetaduras de los RABF. No se obtuvo una relación directa entre el área superficial específica y el tiempo de retención hidráulico. Para éste, la conformación de la empaquetadura es un factor importante. El comportamiento de los materiales de cpv-c y polietileno permiten reducir las estructuras y las empaquetaduras requeridas en los RABF comparados con los convencionales.

ABSTRACT. The geometric shape of packaging is important not only related to the maximum surface available for biological growth, but also the hydrodynamics of the aerobic fixed film reactors. The retention time in five trickling filters was measured. The retention time can not be related to the specific surface. The configuration of the package is an important factor regarding retention time. The superior performance of cpv-c and polyethylene media can significantly reduce trickling filter structural and media requirements for the RABF process over conventional media.

INTRODUCCION

En la mayoría de los modelos matemáticos, de los reactores aerobios de película fija, se ha empleado el tiempo de retención hidráulico (TRH) como uno de los factores fundamentales, ya que éste se relaciona con el contacto íntimo del agua residual y los organismos encargados de la depuración, lo cual influye en la eficiencia del tratamiento.¹⁻³ En la realidad, el tiempo de contacto es superior al hidráulico.

El conocimiento sobre las características del flujo permite disponer de la información para el diseño de los reactores. El tiempo de retención del fluido dentro del reactor, o sea, la distribución de tiempos de residencia de la corriente del fluido se puede determinar por el método experimental estímulo-respuesta.⁴

En la evaluación del TRH tienen importancia entre otros factores, las dimensiones y las formas de las empaquetaduras. Estas con variadas formas geométricas producen diferentes comportamientos hidrodinámicos del flujo que influyen en el grado de mezclado dentro de él, así como en las respuestas a los cambios de las cargas hidráulicas⁵. Existen discrepancias acerca de la relación directa que pueda existir entre el área superficial específica de una empaquetadura y el TRH alcanzado y si a valores más altos de éste se mejora la eficiencia del reactor aerobio de película fija.⁶⁻⁸

El trabajo tuvo como objetivos: comparar los tiempos de retención hidráulicos obtenidos en un reactor aerobio de biopelícula fija (RABF) empleando una empaquetadura de piedra y otras conformadas con materiales plásticos; correlacionar dichos parámetros con otras características propias de las empaquetaduras y del fluido, así como obtener información para futuros diseños de reactores de este tipo.

MATERIALES Y METODOS

Reactores aerobios de biopelícula fija a escala de banco

Para la realización de las diferentes experiencias se prepararon los RABF a escala de banco. Se rellenaron con

diferentes materiales, los cuales se conformaron de manera tal que aportaran diversas empaquetaduras.⁹

Los RABF consistieron en tubos de cloruro de polivinilo de 125 cm, con 9,8 cm de diámetro interno (Fig. 1). Las empaquetaduras dentro de los RABF presentaron una altura de 115 cm.

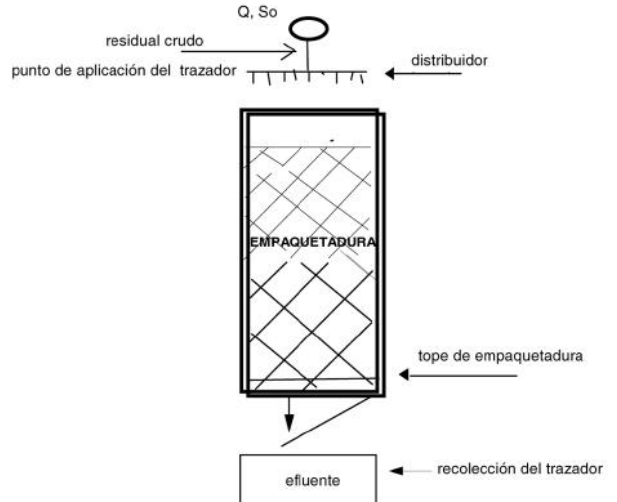


Fig. 1. Esquema de un RABF. So: concentración de la materia orgánica del residuo crudo; Q: flujo

El líquido se suministra por la parte superior del reactor mediante el empleo de bombas peristálticas, haciéndolo gotear a un dispositivo oradado que gira continuamente, situado en la parte superior de la empaquetadura, el cual permite su distribución uniforme sobre la superficie. Por este punto se suministra el trazador.

Los materiales utilizados como empaquetadura fueron: piedra, polietileno, poliéster y cloruro de polivinilo. En la tabla I se muestran el ordenamiento y la forma de estos materiales dentro del RABF. Todos los materiales plásticos empleados constituyen desechos no aprovechables en la producción de una empresa de artículos plásticos.

TABLA I
Ordenamiento y forma de los materiales de las empaquetaduras

Material	Ordenamiento	Forma
Piedra	azar	gravilla 12-16 mm
Poliétileno	azar	cubos (2x2x2) cm
Poliéster	vertical	enrejado oradado
Cloruro de polivinilo-c (cpv-c)	azar	cilindros, largo 2 cm, diámetro interno 125 mm
Cloruro de polivinilo-t (cpv-t)	vertical	tubos, largo 115 cm, diámetro interno 125 mm

Para la determinación de las dimensiones de cada empaquetadura se realizaron mediciones de acuerdo con las características de sus formas geométricas.⁹ Con las dimensiones de los soportes se calcularon las áreas superficiales específicas (m^2 empaquetadura/ m^3 empaquetadura) y las oquedades {espacio libre (%) = $[(V_{total} - V_{empaquetadura})/V_{total}] \cdot 100$ } para cada empaquetadura.⁹

Pruebas hidráulicas

Determinación del TRH y del coeficiente de dispersión. Se efectuaron las pruebas hidráulicas a los reactores rellenos con los diversos materiales.⁹ Para la determinación del TRH y del coeficiente de dispersión, se utilizó el método de investigación de estímulo-respuesta al sistema mediante una perturbación impulso. Con este objetivo se empleó como trazador una disolución salina saturada, la cual no perturbaba el fluido en el reactor y cuya variación en el tiempo se determinó por la medición de la conductividad a las muestras drenadas por la parte inferior del RABF.

Los conceptos que se utilizaron fueron: la media, la amplitud de la distribución que se determina por la varianza σ^2 y el coeficiente de dispersión.⁵ Los cálculos se realizaron según las ecuaciones definidas⁵ para columnas rellenas y abiertas a la atmósfera.

Las curvas C se obtuvieron al graficar la conductividad de la muestra drenada a partir de la adición del trazador a diferentes intervalos de tiempo.

Las características hidrodinámicas de los fluidos se determinaron en el intervalo de flujos (Q) que correspondían a las cargas hidráulicas $(B_H)d e 1y3 ,7 m^3/(m^3 \cdot d)$ (intervalo de interés para la evaluación futura del funcionamiento de los RABF con aguas residuales).

El cálculo de los parámetros estadísticos se realizó mediante programas de computación.¹⁰ Los resultados de las experiencias se compararon mediante pruebas estadísticas.¹

RESULTADOS Y DISCUSION

Se lograron $318 m^2/m^3$ de área superficial específica en la empaquetadura de piedra lo que significó el sacrificio del espacio libre hasta el 49 % (Tabla II).

Las áreas superficiales obtenidas en las otras empaquetaduras tuvieron valores desde 221 hasta $1321 m^2/m^3$, con oquedades desde el 53 hasta el 92 % . Estos valores son muy importantes porque de ellos depende: la capacidad de área superficial donde se puede adherir la biopelícula encargada de la depuración de las aguas residuales, así como el espacio libre que permita el paso del aire y del agua residual en intercambio directo con la biopelícula.

TABLA II
Características de las diferentes empaquetaduras empleadas en los RABF

Material de empaquetadura	Area superficial específica (m^2/m^3)	Oquedad (%)
Piedra	318	49
Poliétileno	221	59
Poliéster	1321	89
Cpv-c	1252	92
Cpv-t	722	53

El TRH medio para las distintas empaquetaduras varió desde 11 hasta 72 min (Tabla III). Los mayores tiempos correspondieron a la de cpv-c y a la de piedra, para la carga hidráulica de $1 m^3/(m^3 \cdot d)$. Al aumentar esta a $3,7 m^3/(m^3 \cdot d)$ no se consideró de interés realizar las experiencias con las empaquetaduras que a $1 m^3/(m^3 \cdot d)$ presentaron los más bajos tiempos medios de retención (cpv-t y poliéster, ambas presentaron la dirección del fluido longitudinal y con poco intercambio de las corrientes). En el caso del poliéster hubiera sido más conveniente su empleo en el RABF de mayor diámetro, con un ordenamiento horizontal de las planchas.

Con el aumento de la carga hidráulica a $3,7 m^3/(m^3 \cdot d)$ el TRH medio disminuyó a valores entre 4-28 min . Al compararse por pares los valores correspondientes a este parámetro se encontraron diferencias significativas. Las empaquetaduras de piedra y de cpv-c presentaron valores similares aunque con diferencias significativas.

Los resultados en relación con los TRH resultaron comparables con los de otros autores, para condiciones de operación similares en cuanto a las cargas hidráulicas empleadas, las características del área superficial y la oquedad de la empaquetadura. Se observó un intervalo de tiempo un poco superior (8-60 min) a lo reportado por otros autores (2-20 min),^{6,12} los cuales han empleado como materiales de empaquetaduras industriales: Flocor-módulos CPV, Surfpac-módulos de poliestireno, Cloisonyle-tubos CPV, Flocor-platos de CPV corrugados y Flocor-tubos corrugados, diseñados para un intercambio rápido.

Las respuestas de las empaquetaduras de piedra y cpv-c fueron similares (con valores de las pendientes de 22,96 y 22,44, respectivamente), con variación significativa de los valores de TRH medio al aumentar la carga hidráulica, lo que representó una variación del tiempo de intercambio interno significativo, para una variación de flujo en la magnitud señalada (Fig. 2).

TABLA III
Características hidráulicas en los RABF con diferentes empaquetaduras, a dos cargas hidráulicas

Material de la empaquetadura	B_H [$m^3/(m^3 \cdot d)$]					
	13			,7		
	TRH (min)	σ^2 (min^2)	D/ μ LT	RH (min)	σ^2 (min^2)	D/ μ L
Piedra	66	32 668	0,85	4,04	32,27	0,38
Polietileno	38	1 941	0,29	28,2	1 019,4	0,24
Poliéster	28	1 085	0,31	*	*	*
Cpv-c	72	11 689	0,42	11,42	61,29	0,15
Cpv-t	11	175	0,29	*	*	*

* Experiencias no realizadas.

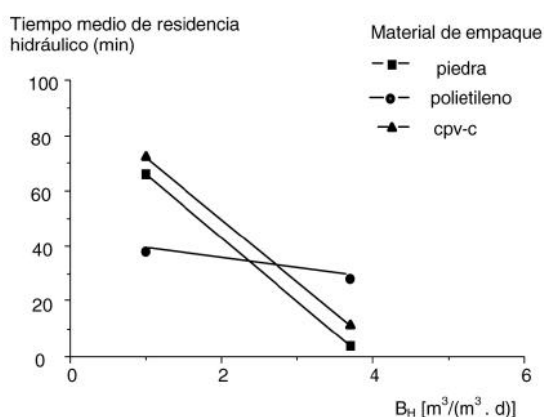


Fig. 2. Relación de la carga hidráulica con el TRH en tres empaquetaduras.

El comportamiento de la empaquetadura de polietileno, (la cual ante la variación de la carga hidráulica mantuvo valores del tiempo medio de retención hidráulica similares, sin diferencias significativas entre sí) indicó que este material por su conformación, ante una variación abrupta del flujo pudiera operar con mayor estabilidad que los anteriores.

Los coeficientes de dispersión se encontraron en el intervalo de 0,15-0,85, lo cual describe el comportamiento de flujo pistón, característico del fluido en columnas rellenas abiertas con números de Reynolds y de Sherwood menores de 10 y 1, respectivamente.¹³ El coeficiente de dispersión más alto se obtuvo con la empaquetadura de piedra debido al valor de la amplitud.

Las Curvas C resultaron simétricas para los materiales de cpv-c, polietileno, poliéster y cpv-t y asimétricas para la piedra, lo que pudo ser originado por formación de canalizaciones del flujo o de zonas estancadas o muertas, no favorables para el funcionamiento del RABF, haciendo que los tiempos de retención fueran altos, sin que esto incidiera en un mayor intercambio interno. (Fig. 3). La conformación del material es lo que permite la eliminación de este fenómeno.

Al graficar el área superficial específica de cada empaquetadura en función de los TRH medios se comprobó que no existía una relación lineal entre ellos (Fig. 4). Esto quizás se pueda explicar por el hecho de que la conformación del material produzca la distribución del fluido en la empaquetadura de forma longitudinal, con un tiempo de recorrido (TRH medio) menor que en aquellas conformaciones que pro-

porcionen mayor recorrido del líquido. Además, puede que la conformación de la empaquetadura no permitiera un mojado completo de toda la superficie y el valor real de la superficie específica fuera menor que el calculado.

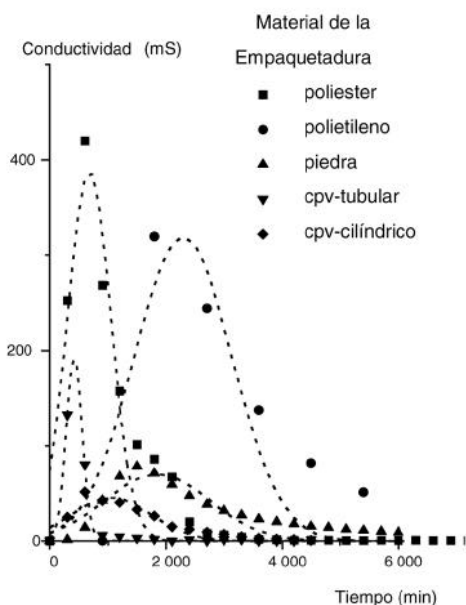


Fig. 3. Curvas C para diferentes empaquetaduras.

Lo anterior puede confirmar que el aumento, tan sólo, del área superficial específica del empaque en los RABF no representa un aumento en la eficiencia de tratamiento del agua residual, lo que le otorga mayor importancia al tiempo de retención hidráulico, al recorrido del fluido y al proceso de mezclado de estas corrientes dentro de la empaquetadura.

Con el empleo de las empaquetaduras conformadas de materiales plásticos se demostró que existen parámetros de interés como pueden ser: el comportamiento hidráulico, el tipo de fluido y los valores reales de las áreas superficiales específicas. Lo anterior proporcionó datos de importancia para el diseño de los RABF, entre los que se encuentra la reducción del volumen de los reactores y de los materiales de construcción en comparación con los RABF con empaquetaduras de piedra. Lo anterior se logra por el más bajo peso específico de los materiales plásticos en comparación

con el de piedra. Un empleo más efectivo de la empaquetadura proporciona: áreas superficiales que permiten una dinámica del fluido y tiempo de recorrido más favorables para el intercambio entre el aire, la biopelícula y el agua residual durante la percolación; mojado completo de toda la superficie de la empaquetadura y mayor aporte de oxígeno o espacio libre que permite el libre paso del aire, sin obstrucciones, imprescindible para un proceso aerobio.

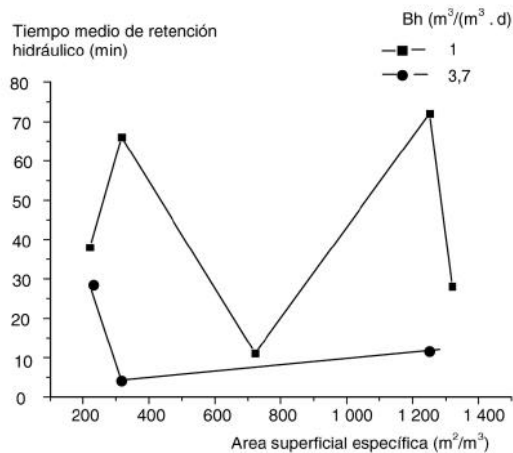


Fig. 4. Relación del área superficial con el TRH de las empaquetaduras, para dos cargas hidráulicas diferentes.

CONCLUSIONES

La conformación de materiales plásticos con variadas formas y aportes en áreas superficiales específicas y oquedades permitió estudiar comparativamente el empleo de la piedra como material de empaquetaduras de RABF.

Para una carga hidráulica de $1 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, los TRH se sitúan en el intervalo de 11 a 72 min. Mientras que para una carga hidráulica de $3 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ disminuyen entre 4 y 28 min.

Los coeficientes de dispersión indicaron un comportamiento de flujo pistón.

El comportamiento hidráulico de las empaquetaduras de pvc-c y de piedra resulta similar.

El material de polietileno logra mayor estabilidad del tiempo de retención del fluido ante las variaciones de la carga hidráulica.

No se obtuvo una relación directa entre el área superficial específica y el tiempo de retención hidráulico.

Se confirmó la influencia de la conformación del empaque sobre la efectividad del RABF al definir su hidrodinámica.

Con el empleo de empaquetaduras de materiales plásticos se logran resolver los problemas relacionados con el diseño, las dimensiones y el empleo racional de los materiales de construcción en los RABF.

BIBLIOGRAFIA

1. Cook E.E. and Fleming M.L. Trickle filter performance as related to media surface area. **Public Works**, 1, 69, 1974.
2. Joslin J.R., Sidwick J.M., Greene C. and Shearer J.R. High-rate biological filtration: a comparative assessment. **Water Pollut. Control**, 70, 383, 1971.
3. Gray N.F. Encyclopedia of Environmental Biology. Wastewater Treatment Biology. Vol. 3, Ed. Academic Press Inc, Dublin, 463-478, 1995.
4. Metcalf and Eddy Wastewater Engineering: Treatment, disposal, reuse. Ed. McGraw-Hill, New York, 533-537, 1991.
5. Levenspiel O. Chemical Reaction Engineering. Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 277-307, 1972.
6. Särner E. The importance of the specific surface of trickling filter medium. **Vatten**, 37, 310, 1981.
7. Eckenfelder W.W. and Barnhart E.L. Performance of high rate trickling filter using selected media. **J. Water Poll. Control Fed.**, 12, 1535, 1963.
8. Roesler J.F. and Smith R. A mathematical model for a trickling filter. Proceeding 24th Industrial Waste Conference, Ed. Ann Arbor Science, Ann Arbor, 550- 575, 1969.
9. Ramos C. Filtros Biológicos para el Tratamiento de Aguas Albañales. Tesis en opción al grado de Maestro en Ciencias, División de Estudios sobre Contaminación Ambiental, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, 1996.
10. MicroCal Software Inc. MicroCal Origin V. 3.0, 1993.
11. Complete Statistical System with Data Base Management and Graphics, 1986-1990.
12. Bruce A.M. and Merkens J.C. Further studies of partial treatment by high-rate biological filtration. **Water Pollution Control**, 5, 499, 1973.
13. Milán Z., Sánchez E., Weiland P., de Las Pozas C., Borja R., Mayarí R. y Rubirosa N. Ammonia removal from anaerobically piggery manure by ion exchange in columns packed with homoionic zeolite. **The Chemical Engineering Journal**, (accepted September 16th, 1996).