



I-168 - APORTE DE DIFERENTES MECANISMOS EN LA REMOCIÓN DE SUSTANCIAS ORGÁNICAS TÓXICAS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Esperanza Ramírez Camperos⁽¹⁾

Ingeniera Química, Universidad Industrial de Santander (Colombia). Maestra en Ingeniería Ambiental (Universidad Nacional Autónoma de México). Investigadora en el IMTA, Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales.

Petia Mijaylova Nacheva

Ing.Civil, titulada del Instituto Superior de Ing.Civil de Sofía. Especialidad en tratamiento de aguas. Doctorado, Instituto Superior de Ingeniería Civil de Moscú. Investigadora en el IMTA, Subcoordinación de Calidad del Agua.

Jose Cruz G.

Ing. Químico. Estudiante de maestría de Ingeniería Ambiental. DEPMI-UNAM. Campus Morelos.

Pedro Evangelista

Ing. Químico. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca.

Marisol Rodríguez

Ing. Químico. Instituto Tecnológico de Zacatepec. Zacatepec. Morelos.



Dirección⁽¹⁾: Paseo Cuauhnahuac 8532, Colonia Progreso. Jiutepec, Morelos. C.P. 62550 - México - Tel y Fax (73) 19-43-66, e-mail: eramirez@tlaloc.imta.mx

RESUMEN

La remoción de sustancias orgánicas tóxicas es mas eficiente cuando se integran diferentes mecanismos en un proceso, como es el caso de la bio-oxidación aerobia con carbón activado en polvo. El presente trabajo utiliza el modelo propuesto por O'Brien (1992) para este proceso. La aportación de los diferentes procesos en forma individual en la remoción de las sustancias orgánicas tóxicas estudiadas fue el siguiente: Volatilización 55%, adsorción con carbón activado 55%, biodegradación 87%, Lodos activados con adición de 750 mg/l de carbón activado en polvo al sistema 93%, Lodos activados con adición de 750 mg/l de carbón activado en polvo y reposición de carbón que se pierde en el sistema 99%.

El modelo predice correctamente el aporte de cada mecanismo excepto la adsorción en carbón activado. En el proceso de lodos activados con carbón activado en polvo existen mecanismos de interacción biomasa – carbón que contribuyen a incrementar la eficiencia en la remoción de las sustancias tóxicas con eficiencias en el proceso mayores de 99%.

PALABRAS-CLAVE: Adsorción, Biodegradación, Carbón Activado, Coeficientes Cinéticos, Volatilización.

INTRODUCCIÓN

La remoción de sustancias orgánicas tóxicas presentes en aguas residuales puede realizarse por medio de diferentes procesos tales como la volatilización, la adsorción y la biodegradación. Estos procesos en forma independiente generalmente no alcanzan los estándares de calidad requeridos por la legislación para protección de la vida acuática y la salud. La integración de mecanismos dentro de un proceso contribuye a mejorar la eficiencia del mismo, como es el caso del proceso de la bio-oxidación aerobia con adición de carbón activado.

Dentro de este proceso es importante conocer cual es el aporte de cada mecanismo involucrado en la remoción de las sustancias tóxicas. El presente trabajo trata de determinar el aporte de los mecanismos involucrados en el procesos de lodos activados con adición de carbón activado y definir si hay interacciones entre los mismos o cada uno contribuye en forma independiente a la eficiencia del proceso.



MATERIALES Y MÉTODOS

La parte experimental de este trabajo, se realizó a nivel piloto, utilizando un sistema experimental compuesto por 4 tanques de aeración de 100 L, 4 sedimentadores de nivel variable, equipo de bombeo para la alimentación y recirculación de lodos y un equipo de suministro de aire compuesto por un compresor y un tanque hidroneumático para controlar el flujo y la presión del aire a la entrada de cada reactor. La composición del agua residual se determinó seleccionando 8 compuestos orgánicos muy utilizados dentro de la industria de síntesis orgánica con dos niveles presentes en las aguas residuales, tabla 1 (EPA,1990, EPA,1994, Ramírez *et al*, 1996). Para el estudio se seleccionaron los compuestos mas representativos por su toxicidad a la salud humana y la vida acuática. El cloroformo, el cloruro de metileno, el benceno, el tolueno y los xilenos, se clasifican como compuestos tóxicos prioritarios (EPA, 1994). Todos los compuestos se utilizan como solventes o como materia prima para la producción de otros compuestos, con excepción de la ortonitroanilina que es un compuesto semivolátil y se usa como colorante.

Tabla 1: Composición del agua residual sintética en las concentraciones establecidas.

COMPUESTO	CONC.1 (mg/L)	CONC. 2 (mg/L)
Ortonitroanilina	10	20
Metil-etil-cetona	50	100
Cloroformo	3	10
Tolueno	10	20
Xileno	15	30
Cloruro de Metileno	5	50
Benceno	5	10
Metanol	96	192
DQO Promedio mezcla	268	509

El estudio de los procesos de desorción y adsorción con carbón activado se realizaron en continuo simulando la operación de un proceso de lodos activados, con una recirculación de 100% y un suministro de aire de 30L/min. Cada experimento terminaba al estabilizarse el sistema por 3 días consecutivos.

Tabla 2: Programa de monitoreo y control efectuado durante la desorción, la adsorción con carbón activado y la biodegradación.

PARÁMETRO	FRECUENCIA	INFLUENTE	TANQUE AERACIÓN	EFLUENTE	RECICLO
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	Diario	X		X	
pH	Diario	X		X	
Temperatura (°C)	Diario	X	X	X	
Sólidos Totales (mg/l)	Cada tercer día		X		X
Sólidos Suspendidos volátiles (mg/l)*	Cada tercer día		X		X
Tasa de respiración(mg/L-h)	Cada tercer día		X		
IVL (ml/g)	Cada tercer día		X		

Para el proceso de adsorción se seleccionó el carbón activado a utilizar, después de realizar estudios de adsorción con carbones de origen vegetal y mineral. El estudio de adsorción se realizó con el carbón seleccionado y aplicando una dosis de 750 mg/L, la cual se trató de mantener constante durante todas las corridas, controlando su concentración de acuerdo a las concentraciones de carbón determinadas tanto en el tanque de aeración, como en la línea de reciclo.

Para el estudio de la biodegradación, se formó una población mixta de microorganismos utilizando la biomasa procedente del reactor biológico de una planta de lodos activados que trata aguas residuales municipales. El agua residual sintética junto con los nutrientes y micronutrientes requeridos, (Eckenfelder, 1995) se alimentó a los reactores que operaron en régimen batch durante la etapa de aclimatación. La



aclimatación de la biomasa al agua residual se hizo por medio de incrementos sucesivos de la DQO, hasta poder alimentar al reactor el agua residual sin diluir. Posteriormente los reactores se pusieron en continuo con una recirculación del 100% y 30L/min de aire. Se trabajaron las dos concentraciones bajo el régimen de aeración extendida (TRH=1día), inicialmente se realizó el estudio de la bio-oxidación aerobia, posteriormente se hizo el estudio adicionando una dosis única de carbón activado al sistema (750 mg/L) y por último se realizó el estudio con la misma dosis de carbón pero reponiendo todo el carbón perdido en el efluente por carbón nuevo. Durante todo el experimento no se desechó biomasa del sistema.

Para evaluar el aporte de cada uno de los mecanismos estudiados se consideró el modelo propuesto por O'Brien(1992) para la remoción en un proceso de lodos activados con adición de carbón activado en polvo (LA-CAP). El modelo considera un reactor completamente mezclado que trabaja en estado estacionario. La remoción biológica sigue una cinética de primer orden. La adsorción es lineal a bajas concentraciones de sustrato y la volatilización es proporcional de la concentración de los compuestos en el tanque de aeración.

Inicialmente los coeficientes cinéticos se calcularon considerando que son independientes de la composición y de la concentración de los compuestos, y de las interacciones entre mecanismos. Al encontrarse que no son independientes y que hay interacciones entre ellos, se calculó un nuevo coeficiente que estima la adsorción del carbón activado y las interacciones entre la biomasa y el carbón.

El análisis de los parámetros físicoquímicos se realizó de acuerdo con el Standard Methods (APHA,1995), y la metodología utilizada para la formación del biocultivo, tasa de respiración e índice volumétrico de lodos de acuerdo al manual de Control de Calidad Analítico (IMTA,1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El balance general utilizado en el modelo fue el siguiente:

Velocidad de acumulación de tóxicos en el reactor = Tóxicos en influente- tóxicos en efluente – Remoción por volatilización – Remoción por biodegradación – Remoción por adsorción sobre CAP

Velocidad de acumulación = $dVSe/dt$

Tóxicos en el influente= QSi

Tóxicos en el efluente= $Q Se$

Remoción por volatilización = $KvSeV$

Kv = Constante de volatilización, Se = Tóxicos en efluente, V = volumen del reactor

Remoción por biodegradación = $K_B SeXV$

K_B = Constante de biodegradación, X = SSVLM, V = Volumen del reactor

Remoción por adsorción sobre carbón activado= $K_A ScSeV$

K_A = Constante de adsorción, Sc = Concentración de carbón en el tanque de aeración, Se =tóxicos en el efluente

Considerando estado estacionario

$$QSi - QSe - KvSeV - K_B SeXV - K_A ScSeV = 0$$

Reemplazando y sustituyendo

$$Se = Si / (1 + Kv\theta - K_B X\theta - K_A Sc\theta)$$

θ = V/Q = Tiempo de retención hidráulico.



DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES CINÉTICOS

Los coeficientes cinéticos se obtuvieron realizando balances individuales para cada uno de los mecanismos y graficando el influente vs. efluente. Los resultados obtenidos para un TRH de 1 día y una concentración de 750 mg/L de carbón en el reactor se muestran en la tabla 3. Se observó incremento en los coeficientes de velocidad de reacción en los experimentos que tienen adición de carbón activado. El coeficiente en el experimento con una sola adición de carbón activado al reactor incrementa solo en un 30% con respecto al de biodegradación sin carbón, aquí se observa principalmente el efecto de bioregeneración del carbón. En el experimento con adición de carbón y recuperación del carbón perdido en el efluente por carbón nuevo, el incremento en el coeficiente de velocidad de reacción es de 16 veces, donde se aprecia la interacción entre la biomasa y el carbón y la adsorción del carbón activado recuperado. Esta recuperación de carbón nuevo fue de aproximadamente 1.3% en peso.

Tabla 3: Coeficientes Cinéticos obtenidos por mecanismo.

Mecanismo	Balance	Pendiente	K(d ⁻¹)	k(mg/l-h)
Volatilización	$S_i = S_e(1 + K_v\theta)$	$2.5798 = (1 + K_v\theta)$	1.5798	
Biodegradación	$S_i = S_e(1 + K_v\theta - K_B X\theta)$	$7.9435 = (1 + K_v\theta - K_B X\theta)$	5.3637	1.4899×10^{-4}
Adsorción C.A.	$S_i = S_e(1 + K_v\theta - K_A S_c\theta)$	$3.8937 = (1 + K_v\theta - K_A S_c\theta)$	1.3139	2.189×10^{-4}
(LA-CAP) ₁	$i = S_e(1 + K_v\theta - K_B X\theta - S_c\theta)$	$14.94 = (1 + K_v\theta - K_B X\theta - S_c\theta)$	7.03	
(LA-CAP) ₂	$S_i = S_e(1 + K_v\theta - K_B X\theta - S_c\theta)$	$95.56 = (1 + K_v\theta - K_B X\theta - S_c\theta)$	87.6	

Las figura 1 representan la determinación del coeficiente de volatilización. De igual forma se calcularon los coeficientes de biodegradación, adsorción y biodegradación con carbón activado en polvo.

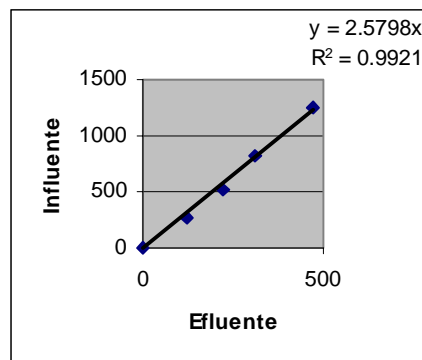


Fig 1. Determinación del coeficiente de volatilización. Parámetro DQO.

La tabla 4, muestra la predicción del modelo contra los resultados experimentales para cada uno de los mecanismos estudiados. Se observa poca correlación en los resultados obtenidos para el mecanismo de la adsorción. El modelo predice adecuadamente para los demás mecanismos.

Tabla 4: Predicción del modelo contra resultados experimentales

Mecanismo	Sinfluente(mg/L)	Sefluente(exp)	Sefluente(modelo)	%R _{exp}	%R _{modelo}
Volatilización	268	122	104	54.9	61.1
Volatilización	509	222	197	56.3	61.2
Adsorción	268	116	69	56.7	74.2
Adsorción	509	180	130.7	64.6	74.3
Biodegradación	268	36	33.7	86.5	87.4
Biodegradación	509	60	64	88.2	87.4
(LA-CAP) ₁	268	18	17.9	93.2	93.3
(LA-CAP) ₁	509	35.6	34	93.9	93.3
(LA-CAP) ₂	268	3.49	2.8	98.7	98.9
(LA-CAP) ₂	509	5.5	5.32	98.0	98.9

LA_CAP₁. Dosis única de Carbón activado. LA_CAP₂. Reposición de carbón activado.



La aportación de cada mecanismo determinada por el modelo se muestra en la tabla 5. Se observa que el aporte de la volatilización disminuye por la biodegradación y la adición de carbón activado al sistema de tratamiento.

Tabla 5: Aportación de cada uno de los mecanismos (%remoción DQO).

Proceso	Volatilización	Biodegradación	Interacción adsorción- biodegradación	Total
Lodos activados	19.8	66.9	----	86.7
(LA-CAP) ₁	10.6	35.75	47.23	93.58
(LA-CAP) ₂	2.0	7.0	89.0	99.0

CONCLUSIONES

La aportación de los diferentes procesos en forma individual en la remoción de las sustancias orgánicas tóxicas estudiadas fue el siguiente: Volatilización 55%, adsorción con carbón activado 55%, biodegradación 87%, LA-CAP sin reposición de carbón 93%, LA-CAP con reposición de carbón 99%.

El modelo predice correctamente el aporte de cada mecanismo en los diferentes procesos excepto la adsorción en carbón activado. En el proceso de lodos activados con carbón activado en polvo existen mecanismos de interacción biomasa –carbón que contribuyen a incrementar la eficiencia en la remoción de las sustancias tóxicas con eficiencias mayores 99%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adams C.E. and W.W. Eckenfelder (1975). A Kinetic Model for Design of Completely Mixed Activated Sludge Treating Variable Strength Industrial Wastewater. *Wat. Res.* 9, 37-42.
2. APHA (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Ed.
3. Eckenfelder, W. and Musterman J. (1995). Activated Sludge Process Design and Control. Technomic Publishing Company. Inc. Lancaster, 219p.
4. Grau, P., M. Dohanyos and J. Chudoba. (1975). Kinetics of Multicomponent Substrate Removal by Activated Sludge. *Wat. Res.* 9, 637-642.
5. López Socorro, Mijaylova Petia, Ramírez Esperanza y Cardoso Lina (1997). Manual de Control de Calidad Analítico. Publicación interna. IMTA.
6. O'Brien G. (1992). "Estimation of the Removal of Organic Priority Pollutants by the Powdered Activated Carbon Treatment Process". *Wat. Env. Res.*, **64** (7), 877-882.