

Eliminación biológica de materia orgánica y nutrientes en sistemas de fangos activados

J. Manga*, J. Ferrer**, A. Seco***

Resumen

Una modificación al modelo N° 2 de fangos activados (ASM2) ha sido implementada en una herramienta informática (DESASS) para el diseño y simulación de sistemas de fangos activados. DESASS ha sido utilizado para describir el comportamiento de una planta piloto de fangos activados orientada a la eliminación de materia orgánica y nutrientes. La planta piloto ha sido operada en tres edades del fango diferentes (16, 14 y 12 días). La excelente concordancia entre los valores simulados y los experimentales (régimen estacionario) permite afirmar que DESASS representa satisfactoriamente el comportamiento metabólico de las poblaciones en sistemas de fangos activados para la eliminación biológica de materia orgánica y nutrientes, por lo que éste puede utilizarse en tareas de diseño de este tipo de sistemas para el tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: Modelo N° 2 de fangos activados (ASM2), nitrógeno, fósforo, eliminación de nutrientes, modelación matemática, diseño.

Abstract

A modification to activated sludge model No. 2 (ASM2) has been implemented in a user-friendly software Desass for design and simulation of activated sludge systems. Desass has been used to describe the behavior of pilot-scale plant for nutrient and organic matter removal. The pilot plant was operated at three different sludge ages (16, 14 and 12 days). Comparison of experimental data and simulation results show that Desass is effective to study the performance of activated sludge systems for nutrient and organic matter removal. The simulation results show Desass as suitable for design task

Key words: Activated sludge model N° 2 (ASM2), nitrogen, phosphorus, nutrient removal, models, design.

Fecha de recepción: 1 de agosto del 2001

* Grupo de Investigación en Tecnologías del Agua. División de Ingenierías, Universidad del Norte. (jmanga@uninorte.edu.co).

** Departamento Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia (España).

*** Departamento Ingeniería Química, Universitat de València (España).

INTRODUCCIÓN

El diseño de los sistemas de fangos activados para la eliminación biológica de nutrientes es un problema complejo en el que intervienen múltiples factores (características del agua residual influente, configuración del sistema, condiciones de operación, entre otros). Las tareas de diseño pueden facilitarse a través del uso de modelos matemáticos, los cuales son herramientas útiles en el diseño y control de los sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales.

Debido al elevado número de procesos que toman lugar en los sistemas de fangos activados para la eliminación de materia orgánica y nutrientes, los modelos matemáticos son particularmente interesantes en la descripción del comportamiento de este tipo de sistemas de tratamiento. Aunque en la bibliografía se han propuesto diferentes modelos que incluyen la eliminación biológica de nutrientes [1, 2, 3], el más ampliamente aceptado por la comunidad científica es el modelo ASM2 [1], propuesto por la *IWA Task Group On Mathematical Modelling For Design And Operation Of Biological Wastewater Treatment Processes*. El ASM2 es un modelo mecanicista que describe matemáticamente los procesos de eliminación biológica de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. El ASM2 ha sido utilizado por muchos investigadores para el diseño de sistemas de eliminación biológica de nutrientes.

El ASM2 presenta algunas limitaciones, como son la de no considerar: a) el proceso de desnitrificación por parte de las bacterias acumuladoras de polifosfatos (PAO) [4, 5]. Recientemente, estos procesos fueron adicionados al modelo ASM2 [6]. b) el papel fundamental que juega el glicógeno en el metabolismo de las PAO [7, 8]. Ambos aspectos se encuentran descritos en diversos estudios que se recogen en la bibliografía. Además, en algunas situaciones –por ejemplo, elevados tiempos de retención celular, presencia de glucosa en el reactor anaerobio, baja relación P/C en el influente y una relación de tiempos de retención hidráulico anaerobio/aerobio elevada–, el modelo no realiza predicciones satisfactorias. Esto se debe a que no considera la existencia de una población de microorganismos que presentan un comportamiento muy similar al de las bacterias PAO, pero carecen del ciclo metabólico del fósforo. A esta población se le conoce como bacterias acumuladoras de glicógeno (GAO), y pueden llegar a ser dominantes y deteriorar el proceso de eliminación biológica de fósforo [9, 10, 11].

Recientemente se ha reportado una modificación al modelo ASM2 que incluye los anteriores procesos y permite representar la competición entre las PAO y las bacterias GAO en los sistemas de fangos activados para la eliminación biológica de nutrientes [12].

Esta modificación al modelo ASM2 ha sido implementada en el simulador DESASS (*Design and Simulation of Activated Sludge Systems*), desarrollado por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (España). En este trabajo, DESASS ha sido utilizado para describir el comportamiento de un sistema de fangos activados para la eliminación de materia orgánica y nutrientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se operó una planta piloto con el fin de estudiar los procesos de eliminación de materia orgánica y nutrientes. Dicha planta fue diseñada y puesta en marcha en la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de Pinedo (Valencia) y presenta una configuración UCT modificado (véase figura 1):

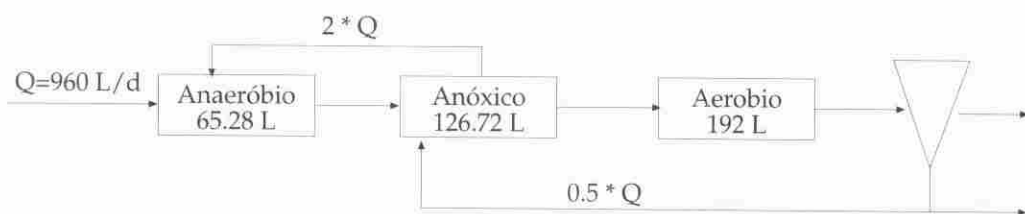


Figura 1. Configuración planta piloto

El volumen útil total de la planta es de 500 litros, de los cuales 384 corresponden al reactor biológico. Los tiempos de retención hidráulico (TRH) de las zonas anaerobia, anóxica y aerobia son de 1.6, 3.2 y 4.8 horas, respectivamente. El sistema fue alimentado con agua residual urbana. Al agua residual influente a la planta le fueron añadidas concentraciones de fósforo soluble y ácido acético para el estudio del proceso de eliminación biológica de nutrientes. La planta piloto fue operada en tres edades del fango diferentes (16, 14 y 12 días).

En la tabla 1 se muestra la caracterización del agua residual influente a la planta piloto, obtenida durante la campaña de muestreo para el seguimiento del estado estacionario del sistema.

Tabla 1Valores medios de entrada a la planta (*Caracterización ASM2*)

T.R.C (días)	16	14	12
S_F (mg DQO/L)	42.3	27.0	71.0
S_A (mg DQO/L)	82.2	80.0	80.0
S_{NH_4} (mg N/L)	14.8	15.0	17.7
S_{PO_4} (mg P/L)	7.6	5.0	7.7
S_I (mg DQO/L)	38	23	25
S_{ALK} (mole HCO_3^- /L)	3	5	5
X_I (mg DQO/L)	29	16	25
X_S (mg DQO/L)	57	65	60

En las tablas 2, 3 y 4 se presentan los valores experimentales medios de la planta piloto para los diferentes períodos de operación.

La mayoría de las técnicas analíticas utilizadas en este trabajo están en concordancia con la APHA [13].

DESASS

DESASS (*Design and Simulation of Activated Sludge Systems*) es un simulador de fangos activados diseñado y optimizado para la investigación de los procesos de fangos activados, para la evaluación de sistemas de fangos activados, para la operación de entrenamiento de personal y para propósitos educativos, con un particular énfasis en la velocidad de cálculo, presentación gráfica y fácil manejo. DESASS presenta un entorno de trabajo de fácil uso y permite evaluar sistemas de fangos activados, pudiéndose representar desde sistemas tan sencillos como la eliminación de materia orgánica hasta procesos más complejos en los que se incluye la eliminación biológica de nitrógeno y fósforo.

El simulador tiene implementado el modelo N° 2 de fangos activados [1]. Sin embargo, debido a su flexibilidad en la incorporación de procesos, al simulador se le puede incluir cualquier modelo biológico. Esta característica se facilita mediante la utilización en la herramienta informática del formato de notación matricial propuesto por el grupo de trabajo de la IWA (*International Water Association*) para los procesos biológicos. Como se ha comentado, en este trabajo se ha implementado en DESASS una modificación al modelo ASM2 [12], para describir el comportamiento de la planta piloto de fangos activados para la eliminación biológica de materia orgánica y nutrientes. Esta modificación al modelo ASM2 incluye los siguientes grupos de

microorganismos: bacterias heterótrofas no acumuladoras de fósforo, bacterias autótrofas, bacterias P_{AO} y bacterias G_{AO}.

CALIBRACIÓN DEL MODELO

Los valores de los parámetros cinéticos y estequiométricos asociados a los distintos grupos de microorganismos fueron obtenidos a través de un extenso proceso de calibración.

La metodología de calibración utilizada consiste en la calibración selectiva de los parámetros de elevada influencia mediante experimentos en discontinuo (*batch*), realizados en laboratorio con biomasa real y agua residual real, bajo un amplio intervalo de condiciones de operación. Los experimentos en discontinuo se diseñaron con objeto de aislar procesos y facilitar la determinación de los parámetros de elevada influencia de esos procesos.

La metodología de calibración asegura una alta fiabilidad de los valores de los parámetros, ya que el procedimiento de calibración se realiza sometiendo la biomasa a un número elevado de situaciones diferentes.

SIMULACIÓN

Utilizando el programa DESASS se llevó a cabo la simulación del funcionamiento de la planta piloto para las tres edades del fango. Los resultados de las simulaciones del estado estacionario del sistema se presentan en las tablas 2, 3 y 4. Las concentraciones calculadas fueron comparadas con los valores experimentales medios de la planta piloto para los diferentes períodos de operación. Los resultados presentados en las tablas 2, 3 y 4 para amonio, nitrato, fósforo, SSV, SST indican una excelente concordancia entre los valores simulados y los experimentales (régimen estacionario).

Tabla 2

Comparación de los resultados de la simulación con los experimentales en el reactor anaerobio

	REACTOR ANAEROBIO					
	T.R.C 16 (días)		T.R.C 14 (días)		T.R.C 12 (días)	
	Valor Medido	Valor Simulado	Valor Medido	Valor Simulado	Valor Medido	Valor Simulado
SST(mg SST/L)	2286	2243	2047	1862	2054	2016
SSV(mg SSV/L)	1709	1663	1410	1252	1499	1445
DQO total (mg DQO/L)	2743	2568	2271	1935	2526	2233
Fósforo soluble (mg P/L)	28.3	27.8	24.9	24.5	30.1	30.6
Amonio (mg N/L)	9.8	11.3	15.5	12.1	11.5	14.8
Nitrato (mg N/L)	<0.2	0.0	0.7	0.0	0.8	0.0

Tabla 3

Comparación de los resultados de la simulación con los experimentales en el reactor anóxico

	REACTOR ANAEROBIO					
	T.R.C 16 (días)		T.R.C 14 (días)		T.R.C 12 (días)	
	Valor Medido	Valor Simulado	Valor Medido	Valor Simulado	Valor Medido	Valor Simulado
SST(mg SST/L)	3154	3362	2732	2783	2929	3019
SSV(mg SSV/L)	2308	2443	1850	1832	2112	2116
DQO total (mg DQO/L)	3744	3767	2710	2827	3226	3265
Fósforo soluble (mg P/L)	22.2	21.7	20.5	20.9	26.0	25.6
Amonio (mg N/L)	8.8	8.4	14.8	9.9	11.1	11.8
Nitrato (mg N/L)	<0.2	0.2	0.8	0.2	0.9	0.2

Tabla 4

Comparación de los resultados de la simulación con los experimentales en el reactor aerobio

	REACTOR ANAEROBIO					
	T.R.C 16 (días)		T.R.C 14 (días)		T.R.C 12 (días)	
	<i>Valor Medido</i>	<i>Valor Simulado</i>	<i>Valor Medido</i>	<i>Valor Simulado</i>	<i>Valor Medido</i>	<i>Valor Simulado</i>
SST(mg SST/L)	3236	3400	2766	2817	2992	3066
SSV(mg SSV/L)	2298	2418	1822	1802	2081	2086
DQO total (mg DQO/L)	3730	3723	2733	2776	3203	3213
Fósforo soluble (mg P/L)	2.5	2.1	0.4	0.3	1.9	1.0
Amonio (mg N/L)	<1.5	0.1	<1.5	0.1	<1.5	0.1
Nitrato (mg N/L)	7.8	7.2	9.6	8.6	15.0	10.2
DQO soluble (mg DQO/L)	40	47.2	28	32.8	35	33.9

Las anteriores simulaciones se llevaron a cabo mediante el uso de un único vector de parámetros cinéticos y estequiométricos, y éstas han sido capaz de reproducir los valores experimentales obtenidos en planta piloto bajo tres diferentes tiempos de retención celular, cada uno de ellos con tres diferentes características del agua residual influente.

CONCLUSIONES

La excelente concordancia entre los valores simulados y los experimentales (régimen estacionario) permite afirmar que DESASS representa satisfactoriamente el comportamiento metabólico de las poblaciones estudiadas en el sistema de fangos activados para la eliminación biológica de nutrientes. El modelo matemático implementado en el simulador provee un mejor entendimiento de las interacciones entre las distintas poblaciones que toman lugar en los sistemas de fangos activados para la eliminación biológica de nutrientes. Los resultados obtenidos muestran que DESASS facilita las tareas de diseño de este tipo de sistemas para el tratamiento de aguas residuales.

Referencias

- HENZE, M., GUJER, W., MINO, T., MATSUO, T., WENTZEL, M. & MARAIS, G.V.R. (1995). Activated Sludge Model N° 2, IAWQ Scientific and technical report, IAWQ. London.
- BARKER, P.S. & DOLD, P.L. (1997) General model for biological nutrient removal activated-

- sludge system: model presentation. *Water Environment research*, 69 (5), 969-984.
- MAURER, M. & GUJER, W. (1998) Dynamic Modeling of enhanced biological phosphorus and nitrogen removal in activated sludge systems. *Water Quality International* (1998). Vancouver, Canadá, 192-199.
- KUBA, T., MURNLEITNER, E., VAN LOOSDRECHT M. C. M. & Heijnen J. J. (1996). A metabolic model for biological phosphorus removal by denitrifying organisms. *Biotechnology and Bioengineering*, 52 (6), 685-695.
- BARKER, P.S. & DOLD, P.L. (1996). Denitrification behaviour in biological excess phosphorus removal activated sludge system. *Water Research*, 30 (4), 769-780.
- HENZE, M., GUJER, W., MINO, T., MATSUO, T., WENTZEL, M., MARAIS, G & VAN LOOSDRECHT, M.C.M. (1999). Activated Sludge Model N° 2D, ASM2D. *Water Science and Technology*, 39(1), 165-182.
- MAURER, M., GUJER, W., HANY, R. & BACHMANN S. (1997). Intracellular carbon flow in Phosphorus Accumulating Organisms from activated sludge system. *Water Research*, 31(4), 907-917.
- FILIFE, C., DAIGGER G. (1998). Development of a revised metabolic model for the growth of phosphorus-accumulating organisms. *Water Environment Research*, 70 (1), 67-79.
- CECH, J.S., & HARTMAN, P. (1993). Competition between polyphosphate and polysaccharide accumulating bacteria in enhanced biological phosphate removal systems. *Water Research*, 27, 1219-1225.
- SATOH, H., MINO, T., & MATSUO, T. (1994). Deterioration of enhanced biological phosphorus removal by the domination of microorganisms without polyphosphate accumulation. *Water Science and Technology*, 30(6), 203-211.
- MINO, T., LIU, W. T., SATOH, H., & MATSUO, T. (1996). Possible metabolisms of polyphosphate accumulating organisms (PAOs) and Glycogen accumulating non-poly-p organisms (GAOS) in the enhanced biological phosphate removal process. Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent., 61/4a.
- MANGA, J., FERRER, J., GARCIA-USACH, F. & SECO, A. (2001). A modification to the activated sludge model No.2 based on the competition between phosphorus-accumulating-organisms and glycogen-accumulating-organisms. *Water Science and Technology*, Vol. 43, N° 11, pp. 161-172.
- APHA/AWWA/WEF. (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th ed. Washington, American Public Health Association/ American Water Works Association/ Water Environmental Federation.