

Implementación de los modelos bioquímicos ASM1 y ASM2d en un modelo CFD de etapa secundaria de una EDAR

J. Climent¹, R. Martínez¹, L. Basiero², G. Berlanga² y S. Chiva^{1*}

¹ Dpto. Ingeniería Mecánica y Construcción Universidad Jaume I de Castellón de la Plana. Avda. Vicente Sos Baynat s/n. C.P. 12071 Castellón de la Plana, Castellón.

² SOCIEDAD FOMENTO AGRÍCOLA CASTELLONENSE, S.A (FACSA), C/ Mayor, 82-84, C.P.12001, Castellón (Spain).

*schiva@uji.es

Resumen

Actualmente existen diferentes herramientas de simulación de procesos en EDAR ampliamente utilizadas para el diseño, operación, funcionamiento y optimización de los procesos que tienen lugar en una EDAR, especialmente en la etapa secundaria. Por otra parte, en el campo de la modelización existen una serie de herramientas de cálculo 3D más potentes y complejas, basadas en la mecánica de fluidos computacional (Computational Fluid Dynamics, CFD), que a diferencia de los simuladores tradicionales en EDAR, permiten contemplar la hidrodinámica de los tanques reproduciendo el comportamiento del flujo de forma detallada. Esto permite realizar una mejor aproximación hidrodinámica en reactores biológicos, lejos de la tradicional aproximación mediante el modelado de tanques en serie completamente agitados.

Las ventajas del software CFD en el modelado de la hidrodinámica de los tanques están más que constatadas; además, se les ha implementado los modelos bioquímicos *Activated Sludge Models* (ASM1 y ASM2d). Así, con una única herramienta, se podrá disponer de la información de comportamiento bioquímico del reactor a partir del comportamiento hidrodinámico real detallado. En este estudio se mostrará el trabajo de implementación y validación de los modelos bioquímicos en software CFD para diferentes configuraciones de reactores biológicos y tasas de rendimiento biológico de depuración, así como su aplicación a un caso real. Se presentarán diferentes aproximaciones para incluir el efecto de la aireación y de la transferencia de oxígeno. Como parte de la etapa secundaria se incluirá el modelado de decantadores secundarios, los cuales contemplan la sedimentación del fango de forma detallada, reproduciendo el comportamiento transitorio del manto de fangos y el gradiente de concentración de sólidos suspendidos (SST) en su interior. Se incluirá la descripción del trabajo experimental en una planta real para la validación de los modelos.

Palabras Clave: Aireación, ASM, CFD, Modelización, Decantación

1. Introducción

El diseño y la operación de un sistema de fangos activos se basa frecuentemente en los modelos ASM los cuales son implementados sobre modelos hidráulicos ideales como los de tanques en serie, obteniendo modelos capaces de reproducir la mayoría de los procesos bioquímicos que tienen lugar en un reactor biológico [4]. Por otra parte, las técnicas de simulación CFD se presentan como herramientas potentes capaces de reproducir la hidrodinámica de forma detallada, incluso en escenarios complejos, en los que la forma y el tamaño de la geometría tienen una fuerte influencia sobre el rendimiento de la degradación de contaminantes [2]. Los autores señalan que es precisamente en la integración de modelos físicos, químicos y/o biológicos donde el CFD presenta un mayor interés en cuanto a las ventajas que aportan a la simulación. Sin embargo, por ahora debe ser contemplada como una herramienta de apoyo a la simulación de procesos, útil en el diseño y en la resolución de problemas [6]. Los modelos CFD pueden reproducir el comportamiento del fluido definiéndolo con más de una fase [7]; así, se puede estudiar la interacción entre la fase gas-liquido, analizando la transferencia de masa tan importante en el proceso de aireación [1] y/o la interacción liquido-sólido, atendiendo al movimiento de las partículas en suspensión tanto en reactores como en la etapa de decantación secundaria. Se pueden destacar como principales desventajas en la simulación CFD: el tiempo de computación, la curva de aprendizaje y la complejidad en la validación de los modelos [5].

2. Materiales y Métodos

2.1 Medidas experimentales

La simulación CFD comporta la realización de ensayos experimentales para la validación de modelos. Una técnica muy extendida en la validación de la hidrodinámica y que se ha realizado con éxito es la de los trazadores inertes, la cual permite caracterizar el flujo a partir de la distribución del tiempo de residencia (DTR), detectar defectos en el comportamiento del mismo (cortocircuitos, volúmenes muertos, grado de mezcla insuficiente, etc.) y elaborar modelos hidrodinámicos [8]. En el caso de la decantación secundaria, se han realizado ensayos para obtener de forma experimental la velocidad de sedimentación [9]. Además, para calibrar un modelo CFD se pueden obtener experimentalmente perfiles de velocidad en el interior de los reactores y decantadores utilizando un velocímetro, en este caso el velocímetro acústico de alta resolución *Vectrino Nortek*.

Por otra parte, existen diferentes tipos de sondas y análisis físico-químicos que se pueden utilizar para obtener información del funcionamiento de la etapa secundaria. De esta manera, se han realizado análisis en el laboratorio para medir la concentración de contaminantes, así como el uso de sondas como *SONATAX* y *SOLITAX* para medir la altura del manto de fangos y la concentración de sólidos suspendidos (SST) correspondientemente, para validar modelos CFD a escala real en decantación secundaria. Por último, se han realizado medidas de viscosidad con el reómetro *BOHLIN CVO 120 HG* para definir el comportamiento no-newtoniano del fluido frente a cambios en el gradiente de velocidad y considerar la variación de la viscosidad en función de SST [10].

2.2 Modelado en CFD

Se muestran dos modelos CFD-ASM en 3D desarrollados para reproducir la hidrodinámica y el comportamiento bioquímico en dos configuraciones diferentes de reactor biológico. Por una parte, se ha elaborado un modelo de una única fase líquida para analizar el rendimiento del proceso de desnitrificación de una zona anóxica que consta de dos tanques conectados en serie, a la cual se le ha modificado la geometría tras detectar un cortocircuito hidráulico. Así, se ha calculado la evolución de la concentración de un trazador inerte en el tiempo y comparada con la obtenida experimentalmente, medida en la salida del segundo tanque. Se puede introducir en el modelo como una variable transportada definiendo una *perturbación en pulso* a la entrada. Así, después de evaluar la hidrodinámica, se puede calcular mediante los modelos ASM1 y ASM2d la distribución de las concentraciones de las variables de estado y determinar la eficiencia en la desnitrificación.

Por otra parte, se presenta un modelo CFD para reproducir el proceso de aireación bajo diferentes aproximaciones, dependiendo de cómo se defina el término fuente de oxígeno. Así, se ha definido un primer modelo mediante una única fase líquida introduciendo el oxígeno a través de un término constante SOTR (kgO_2/h); posteriormente, se ha definido un modelo bifásico (gas-líquido) con el que se puede definir el coeficiente global de transferencia de oxígeno ($k_L a$) desde el aire, definido como una fase gas dispersa en el líquido. Para ello se han definido los diferentes procesos así como las variables de estado contempladas en los modelos ASM [3]. Éstas se pueden incluir como variables transportadas sobre el flujo e implementar la tasa de variación de la cada variable mediante un término fuente. Los valores de las constantes cinéticas y de los coeficientes estequiométricos se han introducido como valores por defecto a 20°C [4].

Por último, se ha elaborado un modelo CFD en 3D para reproducir el comportamiento de un decantador secundario en el que incluyendo la velocidad de sedimentación mediante un *modelo de drift*, estudiando la evolución dinámica del manto de fangos atendiendo a su altura y a la distribución de SST.

3. Resultados y Discusión

3.1 Análisis hidrodinámico

Se observa la DTR calculada antes y tras la modificación geométrica de la zona anóxica (figura 1) así como las medidas experimentalmente a la salida del segundo tanque. Se observa cómo se elimina el cortocircuito detectado y se modifica la DTR hacia un tiempo medio de residencia mayor.

Para calibrar hidrodinámicamente el modelo CFD se han medido velocidades en diferentes puntos del interior del tanque. Se muestra mediante la (figura 2) los resultados calculados sobre los medidos en la línea vertical en amarillo (figura 3). Mediante esta figura se puede observar la detección del cortocircuito con ayuda de una variable *RTD* que representa el tiempo medio de residencia en el tanque.

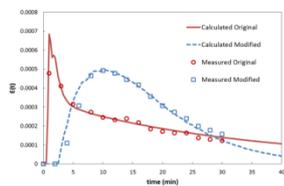


Fig. 1 DTR en ambos casos

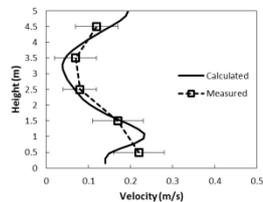


Fig 2. Perfil de velocidades

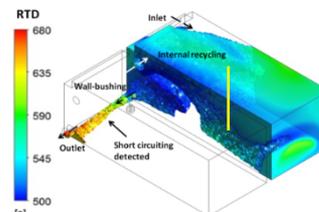


Fig 3. Cortocircuito detectado

Se han implementado y comparado los modelos ASM1 y ASM2d, obteniendo resultados muy parecidos para las diferentes tasas de reacción. Se muestran los rendimientos de la tasa de desnitrificación (figura 4) para la configuración de la zona anóxica modificada.

Se observa una tendencia similar, siendo máxima la reacción en el primer tanque y mínima en el segundo (zona superior). Por otra parte, se muestra mediante la variable que representa la materia orgánica rápidamente biodegradable (S_s , en el modelo ASM1), una mayor eficiencia en la desnitrificación (figura 5), debido a una mayor degradación de S_s en la configuración modificada (izquierda).

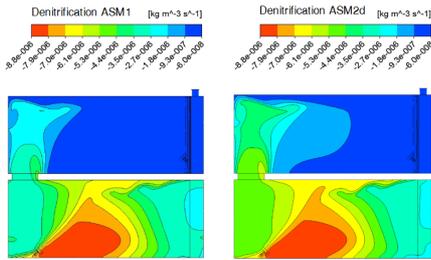


Fig 4. Tasa de desnitrificación para ASM1 y ASM2d

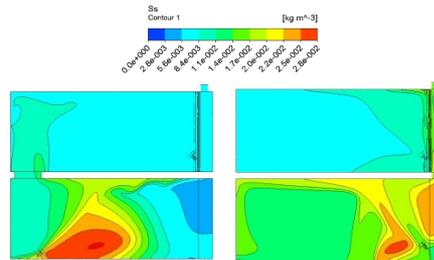


Fig 5. Materia orgánica rápidamente biodegradable para ambos casos

3.2 Aproximaciones de la aireación

Se observa la fase gas calculada por el modelo CFD bifásico mediante el cual se ha estudiado el comportamiento de las plumas (figura 6) así como la zona aireada en la superficie (figura 7).

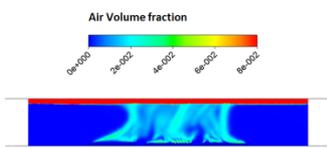


Fig 6. Plumas de aire desde los difusores hasta lámina libre situada a 5m de altura

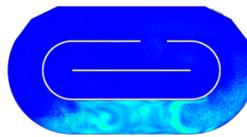


Fig 7. Distribución de la fase gas en superficie

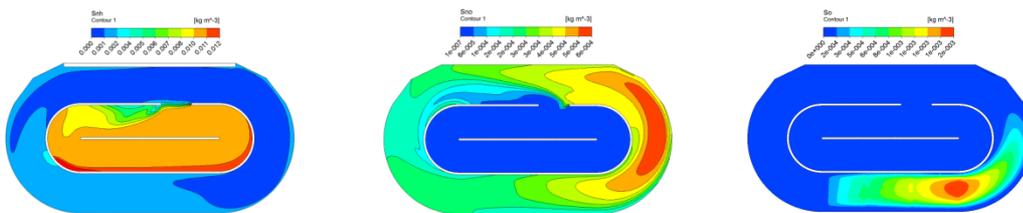


Fig. 8. Distribución de las variables de estado: amonio S_{nh} (izq.), nitrato S_{no} (centro) y oxígeno S_o (drcha.)

Se muestra los resultados del modelo CFD-ASM en una fase introduciendo el oxígeno (S_o) mediante un término SOTR (kgO_2/h), pudiendo identificar las zonas óxicas y anóxicas y calcular las variables que representan la nitrificación-desnitrificación (figura 8).

3.3 Decantación secundaria

Se muestra el modelo CFD del decantador secundario (figura 9) mediante el cual se ha calculado el comportamiento hidrodinámico en régimen transitorio. Así, se puede observar la altura del manto de fangos y la distribución de SST a un tiempo dado. La simulación proporciona información relevante como la concentración de recirculación expresada en (kg/m^3).

Por otra parte, se ha calculado durante 1,8 días la evolución de la altura de manto de fangos (SBH) y se ha comparado satisfactoriamente con la medida experimentalmente (figura 10). Se puede observar la fuerte dependencia de ésta respecto de la curva de caudal influente.

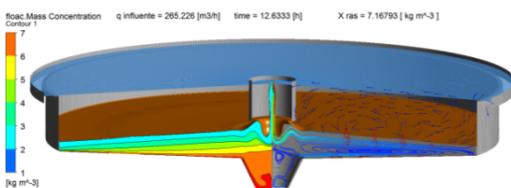


Fig. 9. Modelo CFD decantador secundario

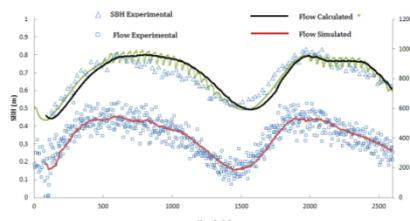


Fig.10. Caudal influente y altura del manto de fangos medida experimentalmente y calculada

4. Conclusiones

Se han presentado diferentes modelos CFD de la etapa secundaria de una EDAR mostrando el alto potencial de estas herramientas, capaces de calcular la hidrodinámica en detalle y reproducir los procesos de mayor interés que tienen lugar en el reactor biológico y la decantación secundaria.

El comportamiento bioquímico tiene una fuerte dependencia de la hidrodinámica, lo que hace que los modelos CFD-ASM sean de gran utilidad a la hora de evaluar y cuantificar modificaciones geométricas, rediseño y optimización de los reactores biológicos.

De la misma forma, a partir de ensayos experimentales, la modelización CFD permite profundizar en el funcionamiento y la operación de la decantación secundaria. En consecuencia, la modelización CFD de la etapa secundaria, representa uno de los objetivos de mayor interés en la ingeniería aplicada al tratamiento de aguas residuales.

Referencias

1. Fayolle, Y., Cockx, A., Gillot, S., Roustan, M., Héduit, A., (2007). Oxygen mass transfer prediction in aeration tanks using CFD. *Chemical Engineering Science* 62 (24), 7163-7171.
2. Glover, G.C., Printemps, C., Essemiani K. and Meinhold J. (2006). Modelling of wastewater treatment plants – how far shall we go with sophisticated modelling tools? *Control Eng. Pract.* 13, 853-861. France
3. Henze M., Gujer W., Mina T. and M. C. M. van Loosdrecht (2000). *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3. Scientific and Technical Report series.* London, IWA Publishing
4. Jeppsson, U., (1996), *Modelling aspects of wastewater treatment processes, Department of industrial electrical engineering and automation, Lund institute of technology.*
5. Karpinska, A.M., John Bridgeman (2016). CFD-aided modelling of activated sludge systems – A critical review. *Water Research* 88, 861-879.
6. Laurent, J., Samstag, R.W., Ducoste, J.M., Griborio, A., Nopens, I., Batstone, D.J., Wicks, J.D., Saunders, S. and Potier, O. (2014). A protocol for the use of computational fluid dynamics as a supportive tool for wastewater treatment plant modelling. *Water Science & Technology.*
7. Lei L., Ni J. (2014). Three-dimensional three-phase model for simulation of hydrodynamics, oxygen mass transfer, carbon oxidation, nitrification and denitrification in an oxidation ditch. *Water Research* 53, 200-214.
8. Levenspiel O. (1999). *Chemical Reaction Engineering.* Wiley, New York.
9. Ramin E., Wágner D.S., Yde L., Binning P.J., Rasmussen M.R., Mikkelsen P.S., Plósz B.G. (2014). A new settling velocity model to describe secondary sedimentation. *Water Research* 66, 447–458.
10. Ratkovich, N., Horn W., Helmus F.P., Rosenberg S., Naessens W., Nopens I., Bentzen T.R. (2013). Activated sludge rheology: A critical review on data collection and modelling. *Water Research*, 463-482.