

Desafíos actuales en control automático de EDAR: nuevas oportunidades para el modelado matemático y la simulación

Autores: I. Irizar¹ y S. Beltrán¹

¹ Grupo de Monitorización de Aguas - División de Agua y Salud. CEIT-IK4. Pº de Manuel Lardizabal 15, 20018, Donostia -San Sebastián, España

e-mail: iirizar@ceit.es

Resumen

El cumplimiento normativo de la calidad del vertido ha sido tradicionalmente el único requisito funcional en la mayoría estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR). Esta situación ha cambiado de manera drástica en los últimos años sumándose, al requerimiento de calidad, especificaciones funcionales como son la optimización energética de la instalación o la recuperación de recursos. Ello ha traído consigo, por un lado, nuevas tecnologías de tratamiento caracterizadas por ser energéticamente muy eficientes aunque a costa de una mayor propensión a la inestabilidad. Es el caso por ejemplo de tecnologías como los procesos de nitrificación parcial/anammox o la digestión anaerobia en reactores de alta carga. Por otro lado, la concurrencia de múltiples objetivos reemplaza la operación local de cada proceso unitario por una operación global de la EDAR que tenga en cuenta todas las interacciones.

En este nuevo escenario de mayor exigencia operacional, el control automático adquiere especial relevancia. Considerado hasta ahora un elemento secundario, el cambio de paradigma al que se enfrentan las EDAR resulta propicio para explotar los beneficios del control realimentado, a saber: (1) garantizar la estabilidad en procesos de naturaleza inestable; (2) cumplir las especificaciones funcionales con mínimo consumo energético. Asimismo, unido a lo anterior y siempre con un enfoque práctico, el modelado matemático y la simulación también se convierten en herramientas indispensables para afrontar tanto el diseño de controladores automáticos como la exploración de estrategias óptimas de operación global. En el presente trabajo se expone una metodología de simulación desarrollada por Ceit-IK4 específicamente para el diseño sistemático de controladores automáticos de EDAR. Dicha metodología ha sido aplicada con éxito en numerosos casos prácticos y muy diversas tecnologías de tratamiento.

Palabras Clave Automatización, Eliminación de Nitrógeno, Procesos Anaerobios

Introducción

Hace ya más de diez años Ceit-IK4 desarrolla sus primeros algoritmos de control automático para estaciones depuradoras convencionales con eliminación de nitrógeno. La primera implantación a escala real de dichos algoritmos tiene lugar en la EDAR de Galindo-Bilbao la cual, con una capacidad de diseño de 1.5 Mh-e, constituye una de las mayores plantas operadas en España. Tal y como se recoge en Ayesa et al. (2006), el diseño, desarrollo e instalación de los controladores en la EDAR de Galindo fue un largo camino que comienza con una validación preliminar en planta piloto como paso previo a la validación definitiva en la planta real. En ambos casos, la simulación juega un papel decisivo y se puede decir que los estudios de simulación llevados a cabo en la EDAR de Galindo marcan el comienzo de la metodología de simulación para diseño de controladores automáticos en EDAR que desde entonces Ceit-IK4 ha ido perfilando a través de nuevos casos de uso (Irizar et al. 2014).

Desde la publicación del modelo de fangos activados ASM1 (Henze et al. 1987), el modelado matemático de procesos unitarios de EDAR ha sido un tema de permanente interés científico (Henze et al., 2000; Batstone et al. 2002; Eberl et al. 2006). La concepción práctica del modelado matemático a través de herramientas informáticas de simulación ha sido en general enfocada a la realización de estudios relacionados con el diseño y operación de EDAR. En lo que a control automático se refiere, el uso de estas herramientas es muy limitado y en general está vinculado al ámbito más académico. Son muy conocidos, por ejemplo, los protocolos de simulación estándar BSM1 y BSM2, dos procedimientos establecidos por la comunidad científica destinados a la validación objetiva de estrategias de control automático de EDAR (Jeppsson et al. 2006; Jeppsson et al. 2007). Siendo muchos los trabajos publicados en los que estos dos protocolos han sido utilizados, sin embargo, no hay evidencias de que la simulación haya calado como herramienta metodológica para la resolución de problemas de control en aplicaciones reales.

Apostando desde sus comienzos por la simulación como sello distintivo en el diseño de controladores de EDAR, Ceit-IK4 ha abordado desde esta perspectiva el control de las más importantes tecnologías de tratamiento de aguas y fangos. A los algoritmos de control de EDAR convencionales ya mencionados, hay que añadir el diseño de controladores automáticos para procesos SBR (Irizar et al., 2009), para sistemas ATAD (Zambrano et al. 2009), para sistemas biopelícula o para procesos de nitrificación parcial y anammox. El caso más reciente es el diseño de un algoritmo de control automático para reactores anaerobios IC, realizado en el marco de un proyecto de investigación liderado por las empresas Veolia Water Systems Ibérica y MSI Grupo. En el siguiente apartado se describe la metodología de simulación utilizada en todos estos trabajos, haciendo especial hincapié en aquellas cuestiones críticas para que la misma resulte efectiva en la práctica.

Materiales y métodos

La Figura 1 ilustra el procedimiento general de diseño de controladores de EDAR en base a simulaciones. Se trata de un procedimiento iterativo que comienza con la programación de un simulador específico del proceso a controlar, prosigue con un estudio por simulación de la estructura de control y termina con la sintonización de los parámetros de control. Una vez concluido el diseño por simulación del controlador, el siguiente paso es industrializar los algoritmos en un dispositivo físico que se pueda integrar en el sistema de automatización de la planta real. Por último, no es extraño que la validación del producto de control en condiciones reales ponga de manifiesto algunas carencias en sus prestaciones.

Para subsanarlas es necesario recurrir de nuevo a la simulación y sintonización de los parámetros del controlador.

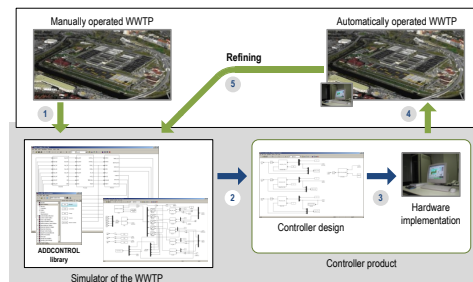


Figura 1. Metodología general de diseño de controladores de EDAR

Simulador de planta

La programación del simulador de planta conlleva una tarea crítica denominada “calibración del modelo de planta” la cual consiste en tratar de reproducir por simulación el comportamiento de la planta en un período operacional representativo. La selección del período operacional tiene su importancia pues debe ser lo suficientemente extenso para que la validación por simulación del controlador sea realista. Por otra parte, la selección del período seleccionado estará también condicionada a la disponibilidad de datos de planta fiables y en cantidad suficiente para poder llevar a cabo la calibración. En cualquier caso, cuando el objetivo último es desarrollar productos de control, dos lecciones aprendidas con los años y relacionadas con la calibración de planta son éstas: (1) la calibración debe adaptarse a los datos de planta disponibles y no al contrario; y (2) la calibración no debe ser cuello de botella en la aplicación de la metodología. En este sentido, dado su enfoque práctico, un aspecto en el que la metodología de simulación de Ceit-IK4 ha ido mejorando con su aplicación a más casos de uso ha sido precisamente el procedimiento de calibración. Si en las primeras aplicaciones la calibración implicaba varios meses de trabajo, en las más recientes el proceso de calibración se ha realizado en apenas una semana.

Condicionar la calibración a los datos disponibles supone incorporar en el modelo de planta el concepto de incertidumbre. Además, la cantidad y calidad de estos datos determinará el grado de incertidumbre del simulador de planta calibrado. La cuantificación del rango de incertidumbre del modelo calibrado se realiza normalmente mediante la combinación de técnicas de análisis estadístico con simulaciones tipo Montecarlo (Mannina et al., 2011). La Figura 2 muestra, por ejemplo, el ajuste por simulación de los sólidos suspendidos en el licor mezcla correspondiente al estudio por simulación realizado en la EDAR de Mekolalde (Bergara).

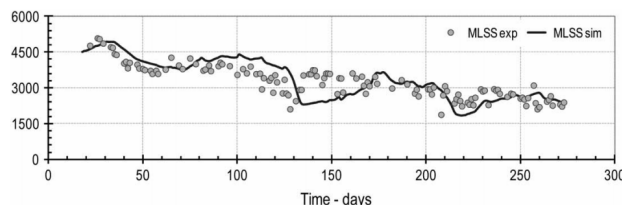


Figura 2. Calibración del simulador de planta de la EDAR de Mekolalde (Bergara)

Estructura de control

Dentro de la metodología Ceit-IK4, el diseño de la estructura de control es una tarea cuya solución, aunque se puede sistematizar en parte, radica más en contar con un conocimiento profundo de los fundamentos de la tecnología a controlar. Además la elección del esquema de control depende de cómo están definidas las especificaciones en cada caso concreto y en cómo dichas especificaciones se pueden trasladar a variables medibles. Análogamente, la selección del emparejamiento de entrada y salida es otro aspecto para el que, aunque existen técnicas específicas de resolverlo, un conocimiento experto del proceso a controlar resulta indispensable.

Como se ha dicho, los esquemas de control son muy variados en función de la tecnología de tratamiento a controlar y de los objetivos de control. Así, en los diferentes casos en los que Ceit-IK4 ha aplicado su metodología se han obtenido desde esquemas clásicos de realimentación de la salida, a esquemas basados en observadores de estado (Beltrán *et al.* 2009), o algoritmos de optimización en tiempo real no basados en modelos.

Sintonización

Con la estructura de control diseñada, el paso final de diseño por simulación consiste en sintonizar los parámetros del controlador. Hay que tener en cuenta que las prestaciones del controlador dependerán totalmente de los valores asignados a dichos parámetros. Es por ello que contar con un procedimiento adecuado de sintonización resulta clave en aplicaciones reales. Si bien existen métodos empíricos de sintonización, éstos no son efectivos en las EDAR al tratarse de procesos sometidos de forma permanente a grandes perturbaciones. De nuevo, la simulación se convierte en un elemento fundamental para abordar la sintonización con garantías. Las técnicas de sintonización por simulación pueden ser muy variadas, Ceit-IK4 cuenta con la suya propia y en ella se persigue reducir al máximo el ancho de banda del controlador garantizando las especificaciones de seguimiento de referencia y de rechazo de perturbaciones. El resultado es un controlador que minimiza el esfuerzo de control y, con ello, el consumo energético.

Resultados y discusión

Los algoritmos de control desarrollados para la EDAR de Galindo-Bilbao con la metodología de simulación Ceit-IK4 están instalados actualmente en otras cuatro EDAR, todas ellas de un tamaño superior a 50000 h-e. Son la EDAR de Mekolalde (Guipúzcoa), la EDAR de Navarrosillos (Madrid), la EDAR de Velilla de San Antonio (Madrid) y la EDAR de Chelas (Lisboa). Próximamente, los algoritmos se instalarán en una segunda planta portuguesa: la EDAR de Castelo Branco. En todos los casos, la instalación de los algoritmos de control vino precedida por una sintonización por simulación de los parámetros de control.

La Figura 3 muestra los valores de calidad del efluente en el período anterior y posterior a la activación de los algoritmos. Se aprecia cómo con los algoritmos de control la calidad del efluente mejoró de forma notoria a la vez que se redujeron las fluctuaciones en dicha calidad. En estos momentos las prestaciones de los algoritmos están siendo evaluadas en las EDAR de Navarrosillos, Velilla de San Antonio y Chelas. Las estimaciones obtenidas por simulación señalan que, en términos medios, la eliminación de nitrógeno podría mejorar en un 30% con una reducción del consumo energético entre el 15% y el 20%.

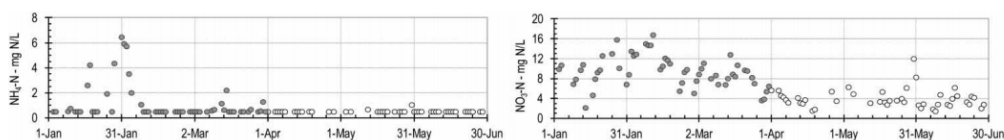


Figura 3. Calidad del efluente en la EDAR de Mekolalde antes (puntos grises) y después de la activación de los algoritmos de control (puntos blancos)

La misma metodología de simulación ha sido empleada para diseñar un algoritmo de control automático de la carga para reactores anaerobios IC. El algoritmo diseñado está siendo validado en uno de los reactores anaerobios IC que operan en la papelera que la empresa SAICA tiene en Zaragoza. Hay que destacar que un uso efectivo de la simulación permite dar el salto directamente a la planta real sin pasar previamente por validaciones intermedias en planta piloto.

Conclusiones

Desde una orientación eminentemente práctica, la simulación es una herramienta que aporta gran valor no sólo al dimensionamiento de EDAR sino también al diseño de controladores automáticos. La metodología de simulación descrita en este trabajo es una muestra de su gran potencial para atacar de forma sistemática problemas de control de muy diversas tecnologías de tratamiento.

Por otra parte, es altamente probable que estas metodologías acaben imponiéndose una vez que la tendencia en depuración de aguas parece dirigirse hacia nuevas tecnologías que, por su naturaleza inestable, no podrán ser operadas sin la ayuda de controladores automáticos.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer tanto al Gobierno Vasco (Programa Gaitek/Hazitek) como a la Unión Europea (Programa CIP-EIP-Eco-Innovation-2013, Grant Agreement 630386) la financiación de algunos de los resultados aquí mostrados.