

# Optimización de la operación de la EDAR de Guardamar del Segura mediante la utilización de herramientas de simulación

Por: Héctor Rey Gosálbez, Ingeniero Químico (\*), Mónica de Gracia Igelmo, Doctora Ingeniero Industrial (\*\*), M<sup>a</sup> Asunción Larrea Urcola, Doctora en Ciencias Químicas (\*\*\*), J. Juan Morenilla Martínez, Doctor Ingeniero Industrial (\*\*\*\*), Ignacio Bernácer Bonora, Licenciado en Farmacia (\*\*\*\*), J. María Santos Asensi, Ingeniero Industrial (\*\*\*\*)

(\*) PROINTEC

Avda. de Europa, 12 – Bajo – Edificio Berlín. 30007 Murcia (España)

Tel. +34 968 23 02 83 / Fax +34 968 23 02 58

E-mail: [hector@prointec.es](mailto:hector@prointec.es)

Web: [www.prointec.es](http://www.prointec.es)

(\*\*) CEIT

Pº de Manuel Lardizabal 15, 20018 San Sebastián (España)

Tel. +34 943 21 28 00 / Fax +34 943 21 30 76;

E-mail: [mdegracia@ceit.es](mailto:mdegracia@ceit.es)

Web: [www.ceit.es](http://www.ceit.es)

(\*\*\*) ATM

Epele bailara, 29 20120 Hernani San Sebastián (España)

Tel. +34 943331838 / Fax +34 943331521

E-mail: [alarrea@atmsa.com](mailto:alarrea@atmsa.com)

Web: [www.atmsa.com](http://www.atmsa.com)

(\*\*\*\*) EPSAR

C/Alvaro de Bazán nº 10 Entlo. 46010 Valencia (España)

Tel. +34 963 604 555 / Fax +34 963 603 469

E-mail: [epsar@gva.es](mailto:epsar@gva.es)

Web: [www.epsar.cop.gva.es](http://www.epsar.cop.gva.es)

## RESUMEN

Este trabajo presenta las mejoras logradas en la EDAR de Guardamar del Segura (Alicante) en cuanto a ahorro energético y calidad del agua tratada después de aplicar las estrategias de operación analizadas en un simulador de operación. La EDAR ha sido modelada e implementada en la plataforma de simulación WEST. El modelo ha sido calibrado y validado experimentalmente para garantizar la capacidad predictiva del simulador, que ha servido para diagnosticar las estrategias de operación de la planta. Además, se han simulado distintos modos de operación más convenientes. Los resultados satisfactorios experimentados en la EDAR tras la aplicación de esta estrategia han demostrado el potencial de las herramientas de simulación como apoyo eficaz en la determinación

de las actuaciones necesarias para optimizar los costes de explotación sin sacrificar la calidad del agua tratada.

## **PALABRAS CLAVE**

Modelización, EDAR, agua residual, simulador, optimización, ahorro

## **ABSTRACT**

The present work shows the improvements obtained in the EDAR of Guardamar del Segura (Alicante) with regard to both the saving of the power and the efficiency of the purification. These improvements are the fruits of the application of the proposed strategies which are based on the study about the operation of the mentioned plant and require handling an operation simulator. The EDAR has been modelled and implemented in the platform of simulation WEST. The model has been calibrated and validated experimentally in order to guarantee the predictive capacity of the simulator that has served to detect and diagnose the problems of operation of the plant. In addition, it has been explored that there are more advisable strategies of operation considering the capacities of the plant and the possible scenes of operation. The satisfactory results obtained in the EDAR after the application of these strategies demonstrate the potential of the simulation tools, which, as an effective support in the determination of the necessary performances, enables to optimize the operation costs without sacrificing any quality of the treated water.

## **KEYWORDS**

Modelling, WWTP, wastewater, simulator, optimization, saving

## **1. INTRODUCCIÓN**

El empleo de herramientas de simulación para predecir el comportamiento dinámico de las EDAR tiene una gran utilidad en la explotación de plantas como herramienta de ayuda para la definición y exploración de las estrategias de operación más adecuadas. Este trabajo trata de analizar el efecto de las posibles estrategias de operación y cuantificar sus efectos en la estabilidad del proceso, calidad del efluente y costes de explotación.

La utilización eficiente de los simuladores de operación de EDAR requiere disponer de predicciones realistas del comportamiento dinámico de la planta específica, lo que conlleva una adecuada calibración experimental de los modelos matemáticos utilizados. Dicha calibración consiste básicamente en la estimación de los valores de los parámetros desconocidos del modelo matemático que logran que sus predicciones reproduzcan lo mejor posible las observaciones experimentales.

Las primeras versiones de simuladores dinámicos realizadas por el CEIT, para optimizar la explotación de EDAR, fueron aplicaciones informáticas específicas. Posteriormente se decidió escoger el simulador WEST como plataforma de desarrollo de aplicaciones de simulación para una EDAR, valorando su gran potencial para el diseño, operación y control de procesos, así como su flexibilidad para desarrollar y validar modelos propios

El empleo de este tipo de herramientas supone un avance tecnológico importante con el objetivo de optimizar el funcionamiento de las instalaciones. En este sentido, la ENTIDAD PÚBLICA DE SANEAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD VALENCIANA (EPSAR), apuesta por el uso de la modelización matemática para optimizar la explotación de sus plantas proponiendo entre otras actuaciones el estudio de la EDAR de Guardamar del Segura por parte de PROINTEC. Dicha planta se caracteriza por tener un caudal de agua con un carácter estacional importante y un reactor biológico de gran versatilidad, preparado para la eliminación de materia orgánica, nitrógeno y fósforo

Por otra parte, PROINTEC, empresa con más de 36 años de experiencia en el sector de la ingeniería civil y medio ambiente cuenta con un área especializada en el ámbito del tratamiento del agua, que incluye el empleo de simuladores para la explotación y diseño de EDAR. Tras un periodo de formación en este campo ha desarrollado, junto a CEIT y ATM, un primer simulador en WEST de la EDAR de Guardamar con el que se pretende:

- Verificar la capacidad de los simuladores de operación para predecir el funcionamiento de la planta
- Analizar su potencial como herramienta de decisión en los modos de operación de la EDAR ante diferentes escenarios y perturbaciones que puedan aparecer
- Comprobar en planta real las mejoras de rendimiento y beneficios predichos por el simulador

## 2. EDAR DE GUARDAMAR

### 2.1. Descripción de la instalación

La EDAR de Guardamar del Segura (**Figura 1**) tiene capacidad para tratar un caudal de agua de 11.000 m<sup>3</sup>/día, equivalente al generado por una población de 92.000 habitantes equivalentes. Se trata de una planta muy versátil, ya que puede operar según diferentes procesos (A<sup>2</sup>O, UCT, etc.). Para ello dispone de un amplio conjunto de cámaras y conducciones que permiten modificar las condiciones de operación y por tanto variar las posibilidades de eliminación biológica de nitrógeno y fósforo en función de las necesidades del proceso. Desde el año 2005 el tratamiento biológico secundario opera según el proceso conocido como Johannesburgo. La EDAR da servicio a una población costera que se duplica durante los periodos estivales, lo que produce un caudal de agua con marcado carácter estacional y una composición típicamente urbana. Por este motivo la planta fue diseñada con dos líneas paralelas e independientes capaces de tratar 5.500 m<sup>3</sup>/día cada una. Los meses de octubre a junio se opera con una línea y los meses de julio a septiembre con dos líneas. Los principales procesos unitarios que componen la EDAR de Guardamar se muestran en la **Figura 1**.

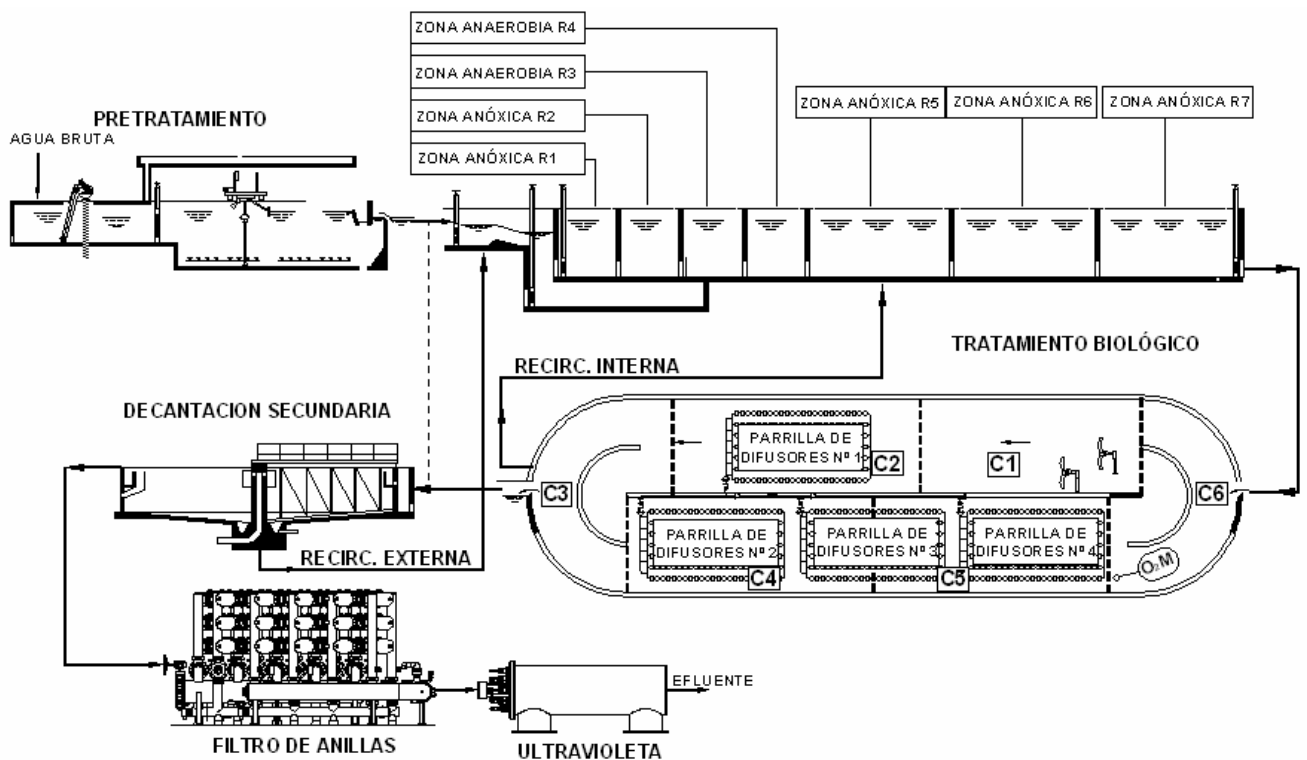


Figura 1. Vista general de la E.D.A.R. de Guardamar

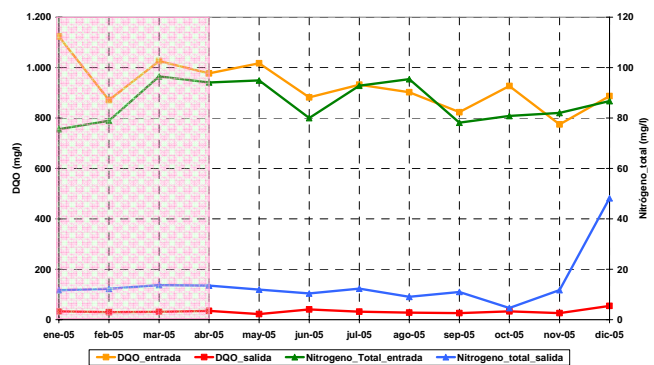
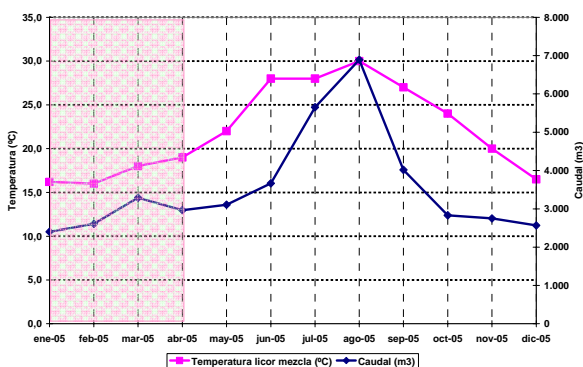
- Pretratamiento compuesto por tamizado de finos y desarenador – desengrasador.

- ❑ Tratamiento secundario, tipo carrusel, con eliminación biológica de nitrógeno y fósforo, dotado de dos líneas con capacidad unitaria de 3.963 m<sup>3</sup> y dos decantadores de 31,5 m de diámetro.
- ❑ Tratamiento terciario mediante filtros de anillas y desinfección mediante radiación ultravioleta.
- ❑ Línea de fangos compuesta por espesadores por gravedad y deshidratación mediante centrífugas.

## 2.2. Resultados experimentales

Los valores medidos de demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y demanda química de oxígeno (DQO) en el agua de entrada rondan los 500 y 1000 mg/l respectivamente mientras que los valores de nitrógeno y fósforo total a la entrada se sitúan en torno a 85 y 15 mg/l, coincidiendo todos ellos con los valores previstos en el proyecto de construcción.

Los datos analíticos de explotación de la planta durante el año 2005 se reflejan en las **Gráficas 2, 3 y 4**. El caudal de entrada (**Gráfica 2**) se caracteriza por una clara punta en el periodo de Semana Santa (en el que se sigue trabajando con una única línea) seguido por dos meses de transición (mayo-junio) hasta el mes julio, en el que el caudal prácticamente se duplica, momento en el que se procede a operar con dos líneas de tratamiento independientes y paralelas. Una vez que finaliza el periodo estival (octubre), la EDAR pasa de nuevo a operar con una única línea de tratamiento. La **Gráfica 2** recoge también la variación de la temperatura ambiental que afecta significativamente al rendimiento de la EDAR y debe tenerse en cuenta para el diseño de los modos de operación.



**Gráfica 2.** Variación de la temperatura y caudal de agua de entrada a planta.

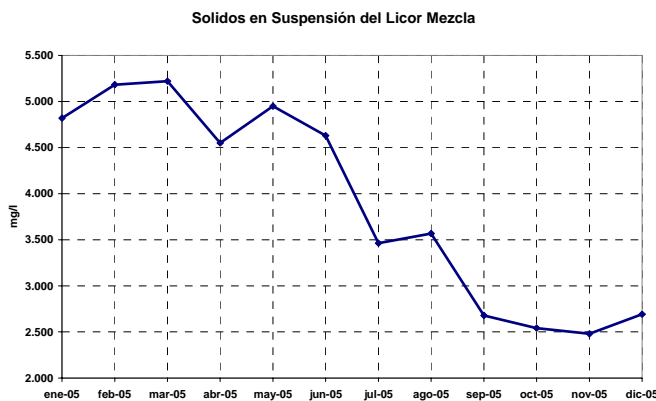
**Gráfica 3.** Variación de la DQO y Nitrógeno total a la entrada y salida de la EDAR

La **Gráfica 3** muestra la adecuada operación de la EDAR, con valores de DQO y Nitrógeno total del agua tratada por debajo de los valores límite de vertido (125 y 15 mg/l respectivamente) durante la mayor parte del año.

Respecto al fósforo, su nivel en el agua tratada no sufre variaciones significativas en ningún periodo del año porque actualmente se realiza un afino mediante un post-tratamiento químico con sales de hierro que refuerza su eliminación. No obstante, dentro de las mejoras a estudiar para la EDAR se

considerarán aquellas que mejoran la eliminación biológica de fósforo sin necesidad de aditivos químicos.

Al analizar los niveles de sólidos suspendidos totales en el reactor (SSTLM) (**Figura 4**) llama la atención su elevada concentración durante los primeros meses del año (5.000 mg/l) frente a valores de SSTLM mucho más bajos (en torno a 2.500) durante el último trimestre.



**Figura 4.** Variación los sólidos en suspensión en el reactor

Un alto nivel de concentración de sólidos implica un elevado consumo eléctrico para mantener la concentración de oxígeno disuelto en el reactor, mientras que un bajo nivel de sólidos afecta al rendimiento de eliminación de nitrógeno en el tanque. El nivel de sólidos afecta además a la producción de fangos y al rendimiento de los decantadores secundarios.

Para realizar el estudio de la planta en estado estacionario (con características constantes del agua de entrada) se seleccionó un periodo con variaciones mínimas en el caudal y características del agua bruta, con pocos cambios operacionales y sin incidencias notables de planta. El periodo seleccionado corresponde al primer cuatrimestre (enero-abril) del año 2005, los valores medios de las condiciones de operación en ese periodo se muestran en la **Tabla 1**.

<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN 2005 (1<sup>er</sup> Cuatrimestre)</b>		
	Unidad	Valor
Temperatura (T)	°C	17,2
Edad fango (SRT)	días	36
Caudal influente ( $Q_{IN}$ )	m <sup>3</sup> /d	2.820
% a cámara Anóxica R1	%	100
% a cámara Anaerobia R2	%	0
Caudal recirc.externa ( $Q_{RE}$ )	m <sup>3</sup> /d	9.557
% a cámara Anaerobia R3	%	0
% a cámara Anaerobia R4	%	100
Caudal recirc.interna ( $Q_{RI}$ )	m <sup>3</sup> /d	3.506
Caudal de purga ( $Q_{Purga}$ )	m <sup>3</sup> /d	119
Punto consigna oxígeno disuelto ( $OD_{SP}$ )	mg/l	2,5

**Tabla 1.** Datos de operación durante el primer cuatrimestre del 2005

### 2.3. Modelado matemático

La selección del modelo matemático debe adecuarse a los objetivos específicos de su utilización (en este caso el diagnóstico de su operación y la optimización de los costes de explotación) y a la información experimental disponible. El modelo para reproducir la EDAR de Guardamar se centró

en el tratamiento biológico por ser el punto clave dentro del funcionamiento global de la planta y el proceso unitario de mayor flexibilidad operacional para aplicar los posibles modos de operación.

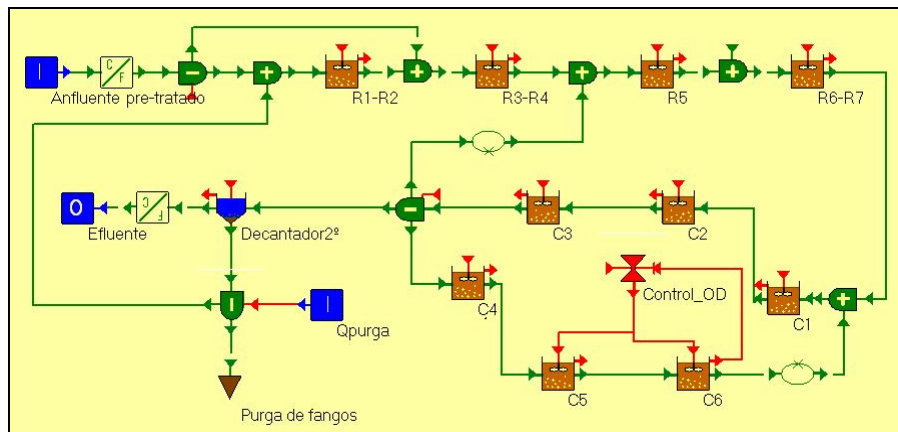
El modelo debe incorporar las transformaciones bioquímicas en los reactores y la descripción de los fenómenos de transporte entre los diferentes elementos de la planta. Las reacciones biológicas que tienen lugar en el seno de los tanques y el carrusel se modelaron según el modelo ASM2d de fangos activados (Henze *et al.*, 2000). Este modelo permite la simulación dinámica de los procesos biológicos combinados para la eliminación de DQO, nitrógeno y fósforo en sistemas de fangos activados. La hidrodinámica del carrusel se modeló mediante un lazo de reactores de mezcla completa en serie ya que tanto la experiencia como la bibliografía demuestran que el empleo de modelos hidráulicos simplificados es suficiente para aplicaciones de simulación relacionadas con la operación y control de estos procesos. El máximo número de tanques en serie necesarios y suficientes para reproducir un carrusel sin perder capacidad predictiva son 10 (Abusam *et al.*, 1999). Sin embargo el análisis de los datos reales de operación mostraron que a lo largo del carrusel apenas se apreciaba un gradiente de concentración de oxígeno disuelto por lo tanto era posible reducir el número de tanques de mezcla completa en serie para reproducir el carrusel.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el modelo matemático incluyó cuatro tanques en serie para reproducir la zona no aireada de la línea de agua y seis tanques en serie con recirculación para simular el funcionamiento del carrusel. La aireación de las diferentes zonas del carrusel se modelaron a través del parámetro  $K_{La}$ , el cual está determinado por un lazo de control, tal y como ocurre en la planta real. Un sensor de oxígeno disuelto colocado a la salida del canal de oxidación, tal y como se puede apreciar en el plano de la EDAR (**Figura 1**), envía la medida al controlador. Esta medida de oxígeno disuelto se compara con el *set point* indicado por el controlador, el cual manipula el caudal de aireación de las parrillas de difusores N° 2, 3 y 4 para reducir la diferencia entre la medida y la referencia. Las otras dos parrillas se encuentran habitualmente cerradas, por lo tanto no reciben señal del controlador. Todos estos elementos y las conexiones hidráulicas de relevancia indicadas en la **Figura 1** han sido implementados en el software del simulador.

## 2.4. Implementación en plataforma de simulación

Se escogió la plataforma comercial de simulación WEST<sup>®</sup> para la implementación del modelo matemático descrito. Se trata de una herramienta informática específica para el modelado y simulación de los diferentes procesos y sistemas medioambientales que ha sido seleccionada por el CEIT como plataforma común de modelado por la gran cantidad de modelos que tiene disponibles y la posibilidad que ofrece para modificarlos y crear otros nuevos. Además, su entorno gráfico facilita la implementación de modelos de EDAR (mediante la selección de sub-modelos estándar) y el

desarrollo de interfaces de usuario personalizadas (mediante la flexible creación de gráficos para la visualización de resultados y la comunicación con otras herramientas informáticas como Excel).



**Figura 5.** Modelo de la EDAR de Guardamar en WEST

La **Figura 5** muestra la configuración desarrollada para la reproducción de la EDAR de Guardamar en WEST. Como puede apreciarse, cuatro tanques de mezcla completa representan las zonas R1 a R7 de la planta representada en la **Figura 1**. Con el fin de simplificar el modelo, las zonas con características similares (R1 y R2, R3 y R4, R6 y R7) se han unido en tanques únicos de mezcla completa. Los tanques C1 a C6 representan las seis zonas en las que se ha dividido el carrusel y el decantador secundario actúa como separador del agua clarificada (efluente) y el fango, el cual se recicla a la cabeza de planta (R1). La purga de fangos se realiza del decantador secundario, de la misma forma en que se efectúa en la planta real.

Se trató de reproducir de la manera más realista las conexiones hidráulicas y las diferentes características de la planta real:

- Es posible dividir el flujo de entrada para direccionarlo al tanque R1 y/o al tanque R3.
- La velocidad de circulación en el carrusel (0.25 m/s) se reproduce mediante el caudal de recirculación en las zonas (tanques) C1-C6.
- Existe un caudal de recirculación interna desde la zona C4 hasta el tanque R5 y un caudal de recirculación externa desde la salida de fangos del decantador hasta el tanque R1.
- El sensor de oxígeno envía los datos medidos en el tanque C6 al controlador (Control\_OD), el cual actúa en las zonas C5 y C6. Se han seleccionado estas zonas porque corresponden geoméricamente con las zonas del carrusel donde se sitúan las parrillas de difusores activas. La aireación de las zonas mediante el parámetro  $K_L a$  está totalmente controlada en función del set-point de oxígeno disuelto (en la zona C6) especificado en el controlador.

La interfaz de usuario se diseñó con el fin de poder modificar cómodamente las variables manipulables de operación y observar los efectos en aquellas variables de proceso que fueran comparables con los datos experimentales disponibles. La **Tabla 2** recoge la nomenclatura de las variables de proceso y las variables manipulables empleadas.

Variables manipulables			Variables del proceso		
Símbolo	Descripción	Unidad	Símbolo	Descripción	Unidad
$\% Q_{IN(R3)}$	Caudal de entrada directo a la zona anaerobia R3	%	$DQO_T$	Demanda química de oxígeno	mg/l
$Q_{RI}$	Caudal de recirculación interna	$m^3/d$	$N_T$	Nitrógeno total en el efluente	mgN/l
$Q_{RE}$	Caudal de recirculación externa	$m^3/d$	$P_T$	Fósforo total en el efluente	mgP/l
$Q_{PURGA}$	Caudal de purga	$m^3/d$	SSTLM	Sólidos suspendidos en el licor mezcla	mg/l
$OD_{SP}$	Set Point de oxígeno disuelto	$mgO_2/l$	SRT	Edad del fango	días
			OUR	Velocidad de consumo de oxígeno	$g/(m^3/d)$

**Tabla 2.** Simbología de las variables manipulables y de proceso

### 3. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

#### 3.1. Fraccionamiento del agua residual y calibración del modelo matemático

Tras seleccionar el primer cuatrimestre como el periodo de tiempo utilizado para realizar el estudio en estado estacionario se usan los valores medios correspondientes al agua bruta medidos a la entrada de la planta para caracterizar el agua de entrada en variables del modelo matemático. Para una correcta calibración del modelo se realiza un proceso iterativo de simulaciones y comparaciones con los resultados experimentales hasta que la predicción del modelo coincide con los resultados reales en planta.

Se adecuaron los valores de las fracciones para la caracterización del agua bruta obtenidos a partir de las analíticas disponibles del agua residual, tales como el sustrato soluble inerte ( $S_I=0,025$ ), el sustrato soluble fermentable ( $S_F=0,07$ ), el sustrato soluble rápidamente biodegradable producto de la fermentación ( $S_A=0,04$ ), el sustrato particulado inerte ( $X_I=0,16$ ), la biomasa heterótrofa ( $X_H=0,08$ ) y el sustrato particulado lentamente biodegradable ( $X_S=0,625$ ). También se modificaron los valores de dos parámetros cinéticos implicados en el proceso de eliminación del fósforo, concretamente el coeficiente de almacenamiento de polihidroxibutirato ( $q_{PHA}=6$ ) y el factor de reducción de la hidrólisis en condiciones anaerobias ( $\eta_{fe}=0,15$ ), en base a investigaciones previas en relación al modelado matemático de la eliminación de fósforo en los procesos de fangos activados (Larrea et al., 2002).

Con la caracterización descrita del agua y la calibración de los coeficientes cinéticos se obtuvieron los primeros resultados de la simulación, los cuales sirvieron de base para el estudio de los modos

de operación de la EDAR de Guardamar. En la **Tabla 3** se muestran estos resultados y se comparan con los datos experimentales de operación del primer cuatrimestre del año 2005.

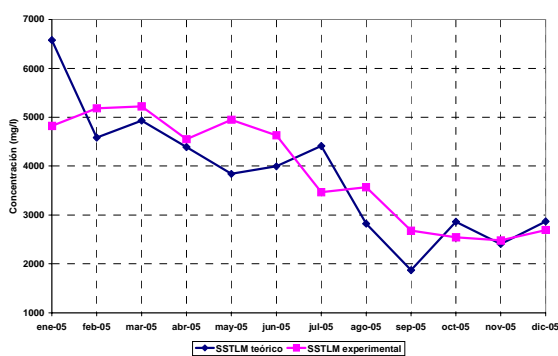
TABLA 3				
1 <sup>er</sup> Cuatrimestre	DATOS EXPERIMENTALES		PREDICIONES DEL MODELO	
	Entrada	Salida	Salida	
DQOt	1.044	32	34	mg/l
Nt	88,5	12,5	12,4	mg_N/l
Pt	12,9	1,8	1,8	mg_P/l
SSTLM		4.944	4.850	mg/l

**Tabla 3.** Comparación entre datos experimentales y los resultados de simulación del primer cuatrimestre del 2005

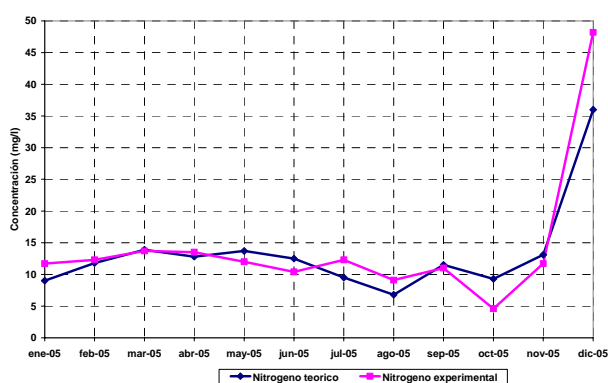
Tal y como se aprecia el ajuste ha sido muy bueno y se comprueba como el modelo ha sido capaz de predecir lo que ha sucedido en la planta.

### 3.2. Verificación del modelo con resultados experimentales mensuales

Para verificar la capacidad predictiva del modelo se realizaron simulaciones del comportamiento de la EDAR en otros periodos de tiempo del año 2005. Con este fin se realizó una simulación dinámica a lo largo del año modificando los datos analíticos de entrada y las condiciones de operación medias mensuales. Los resultados de dichas simulaciones a lo largo de todo el año 2005 para el nitrógeno total a la salida y SSTLM se muestran en las **Figuras 6 y 7** respectivamente. Se puede concluir que los resultados de la simulación se adecuaron razonablemente bien a los resultados reales de la EDAR.



**Figura 6.** Comparación de los resultados experimentales y de simulación de los SSTLM en el reactor.



**Figura 7.** Comparación de los resultados experimentales y de simulación del nitrógeno total en el agua tratada.

### 3.3. Exploración por simulación de estrategias de operación

Una vez que la capacidad predictiva del modelo está garantizada por un adecuado procedimiento de calibración y validación experimental, los resultados de la simulación permiten explorar con realismo las estrategias de operación más convenientes ante los posibles escenarios de explotación de la planta.

Se realizaron simulaciones modificando las condiciones de operación del primer cuatrimestre del 2005. Los diferentes modos de operación y los resultados de simulación obtenidos con cada una de ellas se muestran en las **Tablas 4 y 5** respectivamente y se detallan a continuación.

- Modo 1: condiciones iniciales de operación.
- Modo 2: se modifica el fraccionamiento del caudal de entrada, de manera que el 30% se introduce en la primera cámara anóxica (R1) y 70% en la primera cámara anaerobia (R3). Con este reparto se pretende favorecer el crecimiento de microorganismos encargados de la eliminación de fósforo (PAO) en R3 aportándoles sustrato fácilmente biodegradable y mantener el 30% del sustrato en R1 para eliminar los nitratos de la recirculación y conseguir condiciones íntegramente anaerobias en las siguientes cámaras (R3 y R4).
- Modo 3: se aumenta el caudal de recirculación interna hasta un valor de 15.000 m<sup>3</sup>/d con la intención de reducir la eliminación de nitrógeno total al poner a disposición de la biomasa heterótrofa una mayor cantidad de nitratos.
- Modo 4: se reduce el valor de la consigna del oxígeno disuelto a 1,5 mg/l, con la intención de crear cierto gradiente de concentración de oxígeno disuelto a lo largo del carrusel. Esta modificación no sacrifica la adecuada eliminación de amonio, y sin embargo logra reducir el consumo energético de las soplantes y favorecer la desnitrificación simultánea en el carrusel.
- Modo 5: Además, según las simulaciones realizadas, una concentración de sólidos en el reactor de 2.500 mg/l es suficiente para la correcta operación de la planta biológica de depuración, por lo que se ha mantenido en este valor mediante la manipulación del caudal de purga.

-

Variables manipulables						
Modos	1	2	3	4	5	
$Q_{IN}$	2.820	2.820	2.820	2.820	2.820	m <sup>3</sup> /d
%Anox1	100	30	30	30	30	%
%Anaer1	0	70	70	70	70	%
$Q_{RI}$	9.557	9.557	15.000	15.000	15.000	m <sup>3</sup> /d
$Q_{RE}$	3.506	3.506	3.506	3.506	3.506	m <sup>3</sup> /d
$Q_{Purga}$	119	119	119	119	300	m <sup>3</sup> /d
$OD_{SP}$	2,5	2,5	2,5	1,5	1,5	mg/l

Tabla 4. Variables manipulables para distintos modos de operación

Variables del proceso						
Modos	1	2	3	4	5	
$DQOt$	34,6	34,6	34,6	34,6	30,5	mg/l
$Nt$	12,4	12,4	9,8	8,2	9,9	mgN/l
$Pt$	1,8	1,5	1,8	1,2	0,5	mgP/l
$SSTLM$	4850	4839	4838	4846	2514	mg/l
$SRT$	37	37	37	37	15	días
$OUR$	478	479	472	459	406	g/(m <sup>3</sup> /d)

Tabla 5. Resultados de simulación correspondientes a los cuatro modos de operación

#### 4. APLICACIÓN DE LAS MODIFICACIONES EN LA EDAR DE GUARDAMAR Y VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR SIMULACIÓN

A fecha 20 de abril del 2006 se procedió a aplicar las modificaciones propuestas en la EDAR de Guardamar. Los resultados obtenidos para los dos meses posteriores se detallan a continuación:

- Se aplicaron los modos 2, 3 y 4, a la vez que se aumentó el caudal de purga para reducir paulatinamente la concentración de sólidos en el reactor a un valor en torno a 2.500 mg/l. El proceso de eliminación de materia orgánica y de nutrientes no se vio afectado y no se sobrepasó ninguno de los límites marcados por la Directiva del Consejo 91/271 CEE.
- El consumo energético de la planta medido en kilovatio-hora por m<sup>3</sup> depurado descendió alrededor del 26% durante los meses mayo y junio (**Figura 8**).
- En los meses de mayo y junio se redujo el consumo energético de la planta en un 32% (ahorro de 2.915 €) y 25% (ahorro de 2.011 €) respectivamente, en relación a los mismos meses del año anterior (**Figura 9**).

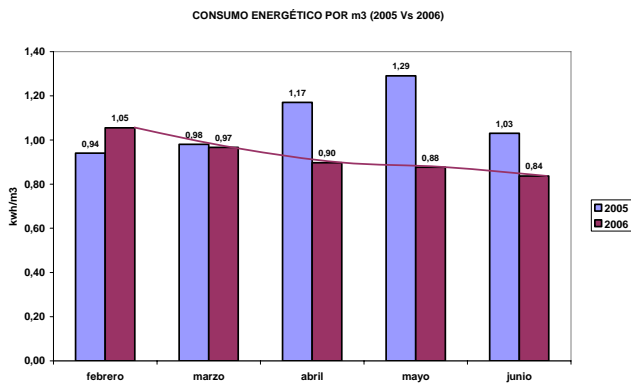


Figura 8. Evolución del ratio energético de la planta

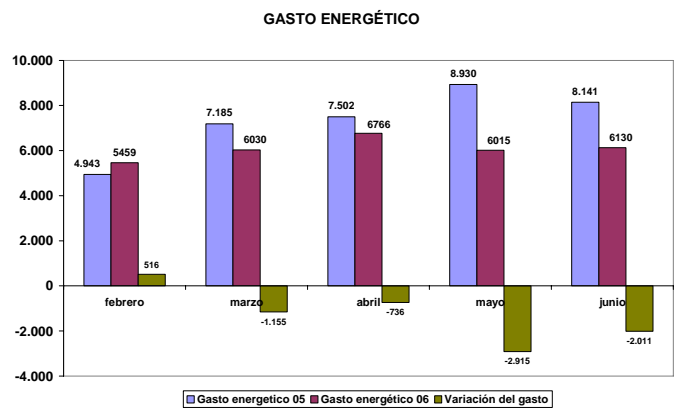


Figura 9. Evolución del gasto energético

## 5. CONCLUSIONES

Se ha modelado la planta de depuración biológica de la EDAR de Guardamar en la herramienta de simulación WEST<sup>®</sup>. El modelo de simulación desarrollado ha sido calibrado según datos reales de planta y ha sido utilizado para explorar su comportamiento ante diferentes modos de operación. Los principales logros conseguidos son:

- El modelo de simulación permite comprender y analizar el proceso de eliminación biológica de la materia orgánica y los nutrientes de la EDAR de Guardamar.
- El simulador predice adecuadamente la evolución de los SSTLM en los reactores y la concentración de nitrógeno total en el caudal de salida.
- Se ha comprobado, mediante simulación y posteriormente en planta real, que la concentración de SSTLM con la que la planta biológica era operada era excesiva para el diseño, el vertido y las condiciones climáticas específicas de la EDAR de Guardamar, lo cual supone un elevado consumo eléctrico adicional.
- Además, se ha optimizado la concentración de oxígeno disuelto en el reactor, lo cual supone reducir el consumo eléctrico.
- De toda la exploración realizada mediante simulación se seleccionó la estrategia de operación que estimaba mejores beneficios y se aplicó en planta real. En un corto periodo de tiempo, los resultados obtenidos corroboran la predicción del simulador en cuanto a la calidad del agua depurada y a la reducción de hasta un 32% en la factura eléctrica.

## 6. REFERENCIAS

- Henze M., Gujer W., Mino T. and van Loosdrecht M. (2000). *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. Scientific and Technical Report No. 9, IWA Publishing, London.
- Abusam A. and Keesman K.J. (1999). Effect of number of CSTR's on the modelling of oxidation ditches: steady state and dynamic analysis. In *Proceedings of the 13th Forum for Applied Biotechnology*, Gent, Belgium, Sept. 22-23, pp 91-94
- Larrea L., Irizar I. and Hidalgo M. E. (2002). Improving the predictions of ASM2d through modelling in practice. *Wat. Sci. Tech.* 45, No. 6, 199-209
- Ayesa E., Goya B., Larrea A., Larrea L., Rivas A. (1998). Selection of operational strategies in activated sludge processes based on optimization algorithms. *Water Science and Technology*, 37, 12, 327-334, 1998
- Larrea L., Larrea A., Ayesa E., Rodrigo J.C., López-Carrasco M.D., Cortacans J.A. (2001). Development and verification of design and operation criteria for the step feed process with nitrogen removal. *Water Science and Technology*, 43, 1, 261-268, 2001
- Petersen B., Gernaey K., Henze M., Vanrolleghem P.A. (2003). Calibration of activated sludge models. A critical review of experimental design. In *Biotechnology for the Environment: Wastewater Treatment and Modelling, Waste Gas Handling*. Eds. Agathos S.N. and Reineke W., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 101-186.
- Rivas A. (2000). *Optimización del diseño y la operación de estaciones depuradoras de aguas residuales mediante su modelación matemática y simulación*. Tesis Doctoral. Escuela Superior de Ingenieros de San Sebastián. Universidad de Navarra.
- Hulsbeek J.J.W., Kruit J., Roeleveld P.J., van Loosdrecht M.C.M. (2002). A practical protocol for dynamic modelling of activated sludge systems. *Wat. Sci. Tech.* 45(6), 127-136.
- Ayesa E., Goya B., Larrea A. (2005). Optimización del diseño, operación y control de las EDAR utilizando modelos matemáticos y herramientas de simulación. *Tecnología del Agua* 266, 74-79