



Optimización de la eliminación biológica de nitrógeno y fósforo con reactor híbrido biopelícula-biomasa en suspensión en la EDAR de la Franca

Adrián Álvarez Rodríguez¹; Elena Campos Pozuelo²; Alberto Díaz Gutiérrez¹; Juan Ignacio Tejero Monzón³; Rubén Díez Montero³; Víctor Merediz Suarez⁴; Jesús Miguel Fernández Rodríguez⁴

SADYT | www.sadyt.com ▪ Universidad de Cantabria | www.unican.es ▪ Consorcio de Aguas de Asturias | www.consorcioaa.com

ANTECEDENTES

El Consorcio de Aguas de Asturias, con la finalidad de fomentar la investigación en Asturias, ofrece la posibilidad en los Pliegos que rigen la licitación de los contratos de Gestión de

los Servicios Públicos, de que los licitadores oferten la realización de estudios de investigación y/o desarrollo de nuevas tecnologías relacionadas con las actividades y procesos que se llevan a cabo en las instalaciones objeto del contrato, o sobre otras mate-

rias relacionadas con las competencias del Consorcio, valorando positivamente todas aquellas propuestas que permitan tanto la mejora de los procesos, como la optimización de recursos, y la mejora de la eficiencia energética.





La empresa Valoriza Agua (SACYR) a través de su filial SADYT ha resultado adjudicataria de la Gestión del Servicio Público para la Explotación, Mantenimiento y Conservación de la EDAR de La Franca e Instalaciones Asociadas, proponiendo la realización de una serie de actuaciones encaminadas a la optimización de la eliminación de nutrientes en las aguas depuradas, para lo cual se cuenta con la colaboración del Grupo de Ingeniería Ambiental de la E.T.S Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria, así como con el Departamento de I+D+i de Valoriza Agua.

INTRODUCCIÓN

En las aguas residuales hay una presencia de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en exceso que debe ser eliminada de forma específica. Su proceso de eliminación se conoce como eliminación biológica de nutrientes (BNR- Biological nutrient removal).

El exceso de nutrientes, ya sea por causas naturales o antropogénicas, puede provocar la eutrofización del medio alterando el ecosistema y llevando a una disminución de la biodiversidad por ocupación de nichos por parte de especies oportunistas. Las concentraciones admisibles en las aguas tratadas dependen de las características del medio receptor y son especialmente importantes cuando el vertido de agua tratada se realiza en un medio receptor sensible, como son los ríos "salmónidos", siendo este el caso del río Cabra, donde se realiza el vertido de la EDAR de La Franca. Debido a la naturaleza de este tipo de ríos, y con el fin de mantener las condiciones idóneas para las especies salmónidas, el efluente de las EDAR que realizan vertidos a este tipo de ríos presenta unos valores muy restrictivos en cuanto al contenido en Nitrógeno, tanto en valor total como en sus

Parámetro	Valor límite	
pH	entre	6 y 9
Sólidos en suspensión (mg/l)	menor de	15 mg/l
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	menor de	12 mg/l
DQO (mg O ₂ /l)	menor de	60 mg/l
Amonio total (mg NH ₄ /l)	menor de	5 mg/l
Nitratos (mg NO ₃ /l)	menor de	90 mg/l
Nitrógeno total kjeldahl (mg N/l)	menor de	7 mg/l
Nitrógeno total (mg N/l)	menor de	25 mg/l
Fósforo total (mg P/l)	menor de	2 mg/l
Coliformes fecales (UFC/100 ml)	menor de	100 UFC/100 ml

diversas formas moleculares (nitrógeno Kjeldahl, amoniacal, nitratos) y, sobre todo, fósforo total.

SITUACIÓN PREVIA

La EDAR de La Franca, diseñada para una población de 5.000 habitantes equivalentes, trata las aguas residuales procedentes de las principales poblaciones del municipio de Ribadeba, realizando el vertido de su efluente al río Cabra en las proximidades de la Playa de La Franca, el cual cuenta de

acuerdo a la Planificación Hidrológica con buen estado ecológico, y como la mayoría de los de Asturias, en él se persigue garantizar una calidad de agua apta para la vida de especies salmonícolas.

En la figura 1 se muestra una vista aérea de la EDAR.

La línea de agua consta de un pretratamiento mediante dos plantas compactas en paralelo para el desbaste y desarenado-desengrasado. A continuación se sitúa un rototamiz para la eliminación de pequeños sólidos.



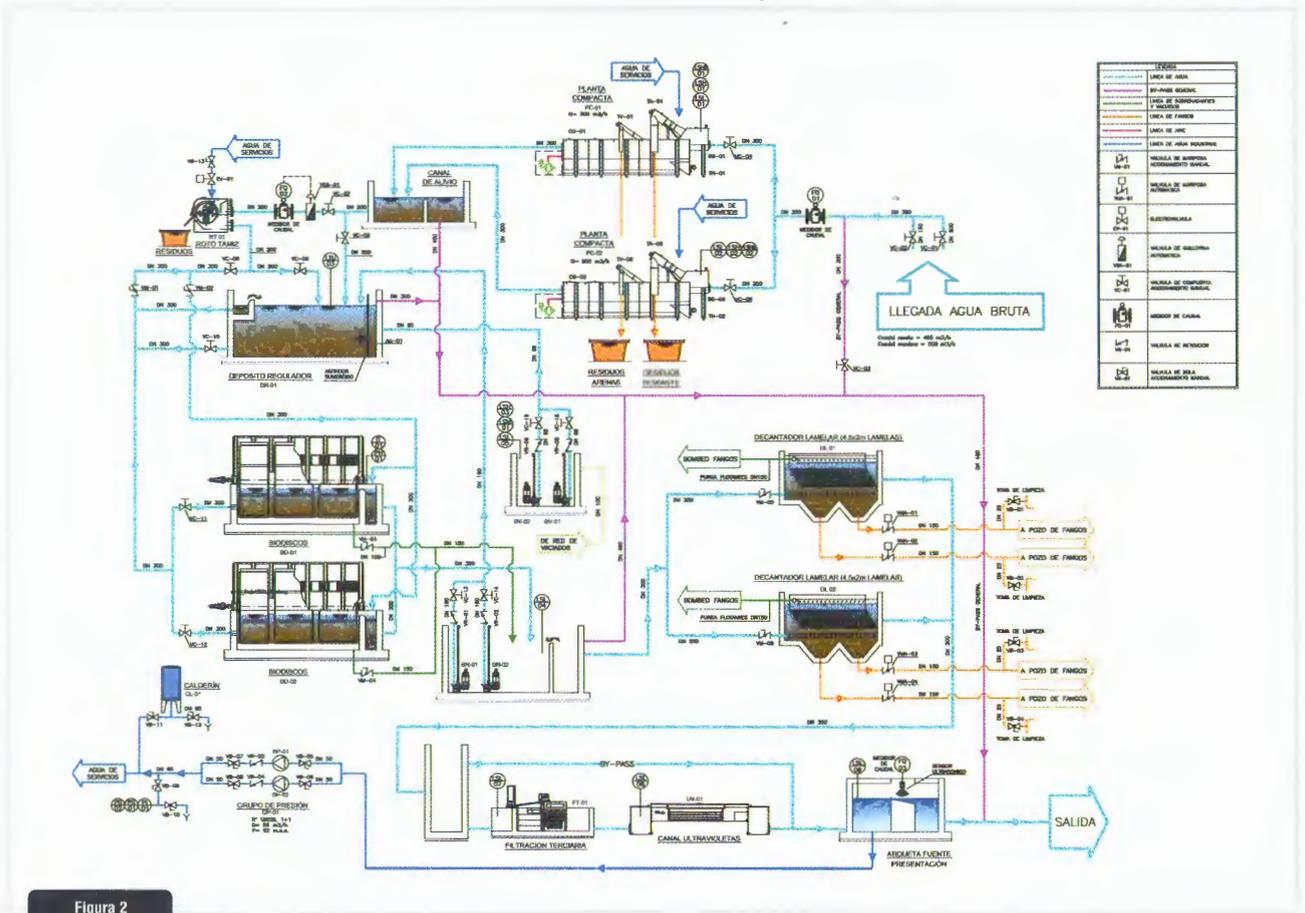


Figura 2

Tras el pretratamiento el agua bruta pasa a un tanque regulador agitado con un volumen de 126 m³ que recibe todas las recirculaciones y vaciados de la instalación.

La eliminación biológica de contaminantes se realiza mediante dos líneas de biodiscos de 4 etapas con una superficie total de 30.600 m². A continuación se produce la separación sólido-líquido en dos decantadores lamelares con una superficie total efectiva de 140,7 m².

Por último se cuenta con un tratamiento terciario compuesto por una microfiltración en un tamiz rotativo y un tratamiento de desinfección por ultravioleta previamente al vertido al río Cibra.

Tanto el diseño de los procesos de la instalación, como las fluctuaciones de las características del agua residual que recibe, ocasionadas por el régimen

pluviométrico de Asturias, en combinación con el fuerte incremento de población en época estival como consecuencia de la afluencia turística a la zona coincidiendo con los periodos de menor pluviometría, ocasionan que la planta presente ciertos desequilibrios en la eliminación de nutrientes.

Así, a pesar de que se consigue una alta eficacia en la nitrificación, por lo que las diversas formas moleculares en las que se presenta el nitrógeno son oxidadas, sin embargo, y aunque la EDAR cuenta con una recirculación desde la salida del proceso aerobio (biodiscos) hacia el tanque de regulación que incorpora nitratos a dicho tanque, al no haber retención y acumulación de biomasa en el punto en el que está instalada no sirve para aumentar significativamente la biomasa desnitrificante heterótrofa.

En la figura 3 se recogen las concentraciones durante el año 2014, a la entrada y salida, de amonio, siendo el rendimiento de la nitrificación muy alto excepto en épocas estivales en las que los valores se desvían de la bisectriz, indicando un deterioro en la nitrificación al soportar los biodiscos cargas de DBO₅ muy elevadas

En la figura 4 se detallan las concentraciones de nitrógeno total para el mismo año.

En cuanto al fósforo, no se ha considerado ningún proceso de eliminación en el diseño de la EDAR.

SOLUCIÓN ADOPTADA

Con el fin de dar solución a las limitaciones expuestas en relación a la eliminación de nutrientes, El Consorcio ha valorado la necesidad de acometer re-



Carga de N-NH₄ eliminada vs. aplicada 2014

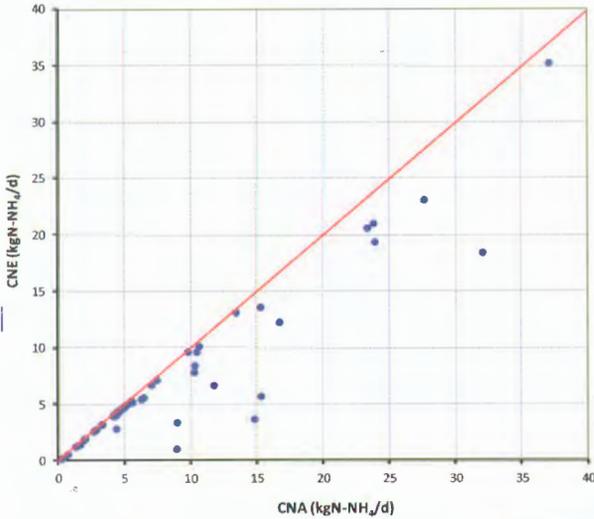


Figura 3

Carga de NT eliminada vs. aplicada 2014

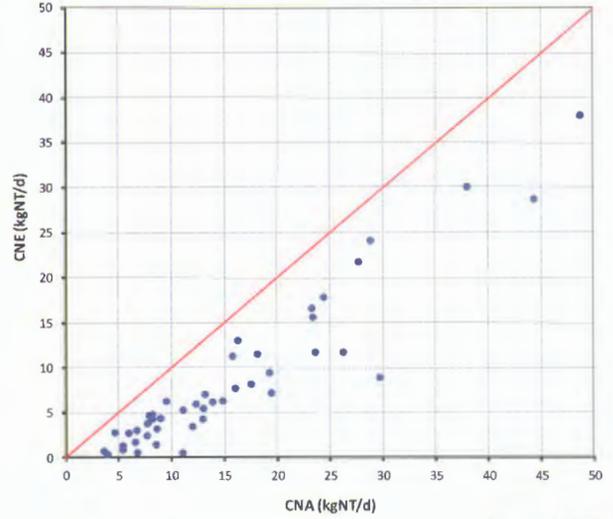


Figura 4

formas relativamente importantes en las instalaciones, incluyendo la implementación de una nueva línea para la eliminación de fósforo por vía química.

Sin embargo, la propuesta de investigación efectuada por Sadyt consistente en el estudio a escala industrial de la reconversión del proceso de la EDAR a un sistema híbrido de biopelícula y biomasa en suspensión mediante una serie de reformas totalmente reversibles que suponen un impacto mínimo sobre las instalaciones consistentes en:

- La implementación de una nueva recirculación externa de fangos desde los decantadores lamelares.
- La reconversión del tanque regulador, compartimentando el mismo para generar una zona anaerobia seguida de una zona anóxica. A la primera de ellas llega el agua bruta tras el pretratamiento y la nueva recirculación. A la segunda zona se incorpora el influente desde la zona anaerobia y una corriente con alta carga en nitratos desde la salida de los biodiscos. Esto permite conseguir una configuración tipo A2O con una cámara anaerobia de 33,6 m³ y una anóxica de 92,4 m³.

Esta modificación permite la conversión de la EDAR a un proceso híbrido. Los procesos híbridos combinan en un mismo tren de tratamiento los procesos de fango activo y biopelícula, ya sea en un mismo reactor o en diferentes etapas. Han sido utilizados y cada vez son más populares, especialmente por su idoneidad y adaptabilidad en casos de ampliación de plantas existentes que han de mejorar o ampliar su proceso de tratamiento. Los procesos integrados permiten hacer uso de las instalaciones sin desechar el proceso existente (fango activo o biopelícula), reforzándolo con un proceso complementario (biopelícula o fango

activo, respectivamente). El objetivo es minimizar las debilidades de los procesos individuales y aprovechar las ventajas de ambos.

Así la EDAR de La Franca funciona como un proceso integrado al disponer de biomasa en suspensión en la antigua cámara de regulación reconvertida a reactor anóxico/anaerobio, y en las cámaras de los biodiscos, y biomasa en biopelícula en los propios biodiscos. De esta manera los reactores de biodiscos se convierten en híbridos.

Los principales argumentos para establecer como idónea esta propuesta y no otra son:

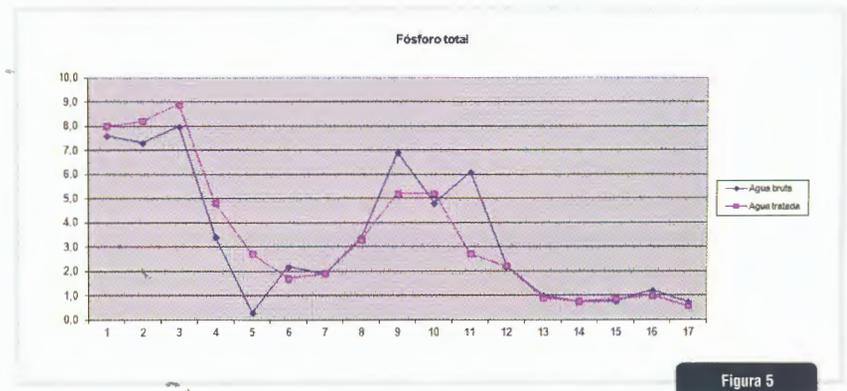


Figura 5

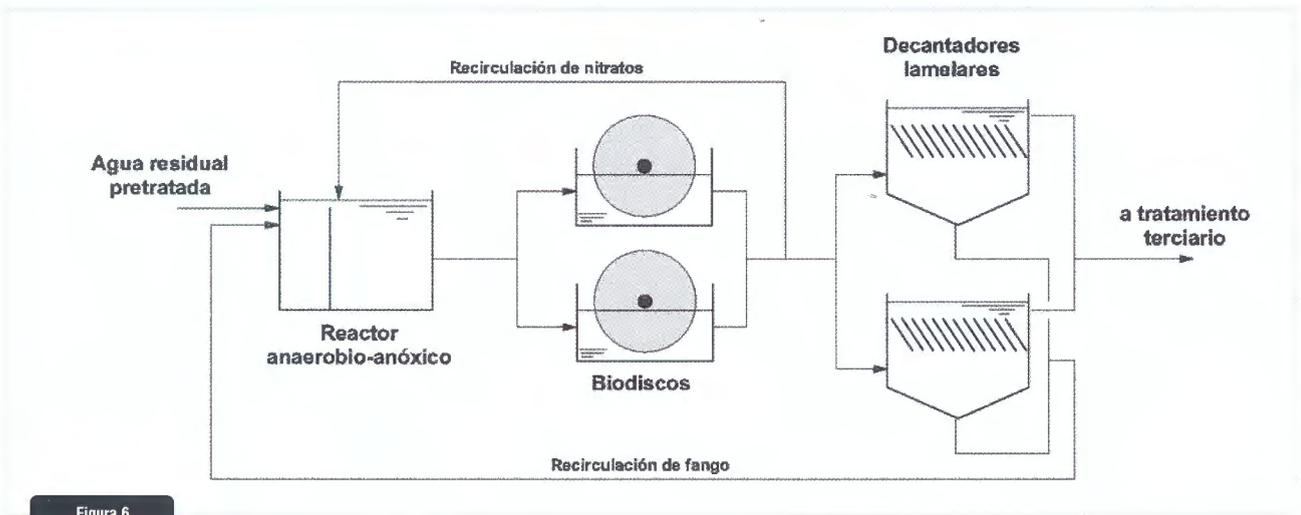


Figura 6

- La modificación es mínima: constando únicamente de la instalación de una pantalla deflecora que permita la división del tanque regulador en dos zonas diferenciadas, la modificación de la recirculación interna desde los biodiscos para llevarla a la entrada de la nueva zona anóxica, la instalación de una nueva recirculación desde los decantadores hasta la zona anaerobia y la instalación de un agitador adicional para asegurar la suspensión de la materia en ambas zonas.
- La posibilidad de eliminación de fósforo mediante vía biológica podrá hacer innecesario la instalación de un sistema de eliminación por vía química.
- En caso de no alcanzar los rendimientos necesarios el riesgo para la planta es mínimo.
- La zona anaerobia podría funcionar como selector anaerobia, lo que repercutiría en una mejora de la sedimentabilidad del fango en suspensión.

La literatura básica en el campo apenas contempla la posibilidad de operar un reactor de biodiscos como híbrido. ^{*1}Tchobanoglous et al. (2003). Por otra parte, la posibilidad de recircular el fango activo a un lecho bacteriano ha sido reportado por ^{*1}Tchobanoglous et al. (2003), dando lugar al

denominado Activated biofilter. En cambio, no se cita tal posibilidad en un reactor de biodiscos.

Sin embargo, existen varias experiencias desde hace varias décadas, tanto a escala laboratorio y piloto como a escala real. En el ^{*2}Fixed Film Forum (Harrison, 2015) se describe el denominado Activated RBC, que consiste en la “activación” de un sistema de biodiscos al recircular el fango del decantador secundario a la primera etapa de biodiscos. Esta “activación” proporciona biofloculación, mejorando la eliminación de sólidos en suspensión. Se consigue también aumentar la capacidad del sistema y mejorar la calidad del efluente. Adicionalmente, se cita que varias plantas han combinado el proceso de biodiscos con un fango activo aerobio previo o posterior a los biodiscos, mejorando la sedimentabilidad del fango y la nitrificación del proceso global.

^{*3}Su y Ouyang (1996) experimentaron un proceso tipo A2O para eliminación de nutrientes, pero con sistema híbrido al disponer tanto de biomasa en suspensión como biodiscos en los tres reactores (anaerobio, anóxico y aerobio). En los reactores anaerobio y anóxico los biodiscos se encontraban completamente sumergidos, mientras que

en el reactor aerobio parcialmente sumergidos. El reactor aerobio disponía de aireación adicional, manteniendo la concentración de oxígeno disuelto por encima de 1,6 mg/L. La experimentación fue a escala laboratorio y tratando agua residual sintética. La concentración de sólidos en suspensión se mantuvo entre 1500 y 2000 mg/L. Los resultados fueron satisfactorios, concluyendo los autores que con este concepto se pueden modificar plantas existentes para eliminación de nitrógeno y fósforo sin grandes inversiones ni crecimiento de reactores.

^{*4}You y Ouyang (2005) experimentaron un proceso híbrido tipo A2O para eliminación de carbono, nitrógeno y fósforo. El reactor aerobio era híbrido al disponer de biodiscos. También disponía de aireación, manteniendo 2 mg/L de oxígeno disuelto. La experimentación fue a escala laboratorio y tratando agua residual sintética, obteniendo unos resultados excelentes.

^{*5}Akhbari et al. (2011) también experimentaron un proceso tipo A2O combinando biodiscos y fango activo, pero en este caso se utilizaron tres reactores híbridos de biodiscos sumergidos (anaerobio, anóxico y aerobio). El tercero (aerobio) disponía de difusores para aireación, alcanzando



un valor medio de oxígeno disuelto durante la experimentación de 5,2 mg/L. El sistema se experimentó a escala laboratorio tratando agua residual sintética. Los biodiscos estaban completamente sumergidos, por lo que se trata de un proceso híbrido de lecho sumergido. Esta misma experimentación fue utilizada para la obtención de un modelo matemático y la determinación de sus constantes cinéticas ^{*6}(Akhbari et al., 2012).

^{*7}En la EDAR de Michigan (USA). Neu (1994) reporta un incremento en la eliminación de amonio y mayor capacidad del proceso biológico al incorporar recirculación de sólidos a los reactores de biodiscos

En base a esto se ha construido el modelo de la modificación de la EDAR de La Franca con el software BioWin

Process Simulator v4.1 (EnviroSim Associates Ltd., Ontario, Canada). Teniendo en cuenta las siguientes condiciones iniciales:

- Se ha implementado toda la EDAR en una única línea con los volúmenes y caudales globales, para minimizar la complejidad del modelo.
- Dado que el software BioWin no dispone de modelo de biodiscos, los reactores de biodiscos han sido descritos media Media Bioreactors adoptando la superficie específica y la fracción de llenado tal que proporcione la superficie real de los biodiscos. Este tipo de reactor contempla el funcionamiento en modo híbrido, con biomasa en suspensión y en biopelícula en el mismo reactor. Para representar los cuatro paquetes o etapas de biodiscos se han utilizado cuatro reactores en serie, ca-

da uno con su correspondiente volumen y superficie de biodiscos.

- La decantación secundaria se ha representado mediante un decantador ideal.
- Todos los procesos biológicos han sido descritos de acuerdo al modelo por defecto BioWin General Model (ASDM) con los parámetros y valores por defecto. Se trata de un modelo teórico, ya que no se ha llevado a cabo su calibración con datos experimentales.

Para el rediseño y comprobación de funcionamiento de la EDAR se han analizado los resultados de operación del año 2014 y se han definido tres escenarios con sus correspondientes datos de partida. La definición de estos escenarios tiene como objetivo permitir analizar el funcionamiento de la EDAR: (i) de manera in-



Stemm
GRABS

EQUIPOS STEMM PARA MANIPULACION DE GRANELES



**PULPOS, CUCHARAS BIVALVA, PINZAS Y EQUIPOS ESPECIALES
ACCIONAMIENTO A CABLES Y ELECTROHIDRAULICO**

www.stemm.com

STEMM EQUIPOS INDUSTRIALES, S.L. PNO. APATTA, 20.400 IBARRA (ESPAÑA)
TELÉFONO: +34 943 335 033 FAX: +34 943 333 506 E-MAIL: info@stemm.com

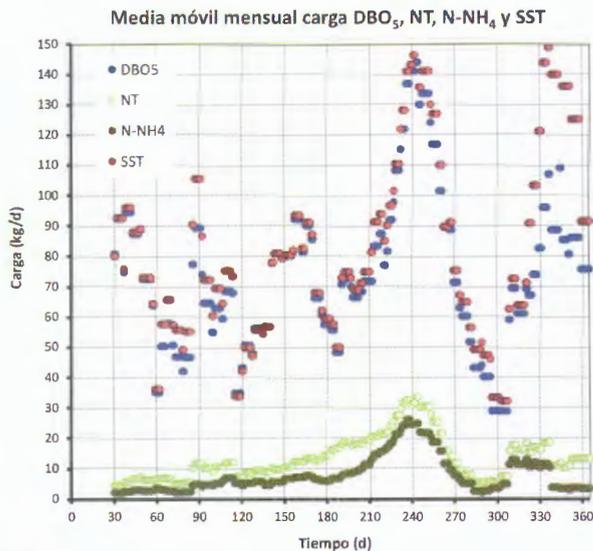


Figura 7

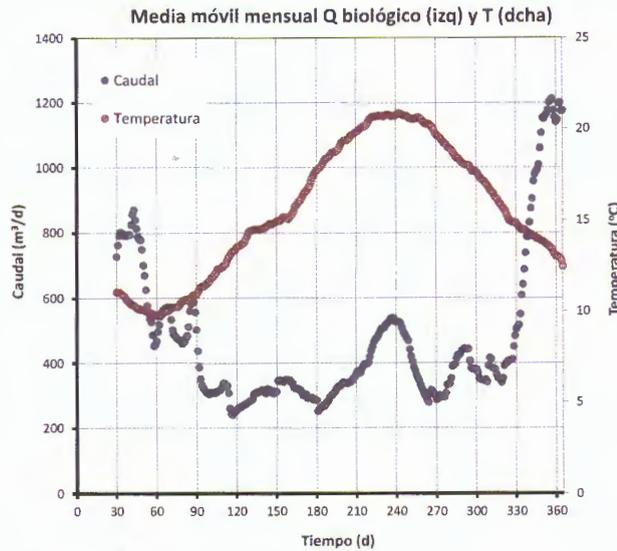


Figura 8

dependiente en estaciones con condiciones significativamente diferentes; y (ii) en condiciones extremas para comprobar el cumplimiento de los objetivos de tratamiento. Los tres escenarios seleccionados se describen a continuación

Escenario PROYECTO: Corresponde al escenario de funcionamiento con las condiciones indicadas en el proyecto de construcción de la EDAR de La Franca. Los datos de partida utilizados son los recogidos en la memoria del proyecto y utilizados para el dimensionamiento de la EDAR con la estimación de crecimiento de la población y de las industrias vertientes para el año horizonte. Se han utilizado las condiciones correspondientes a la Fase 2 del proyecto, prevista para un caudal medio de 1250 m³/d y una carga de 5000 h-e.

Escenario ESTIVAL: A partir de las características del agua residual afluente a la EDAR en el año 2014 se ha establecido como estación representativa de condiciones estivales la comprendida entre el día 180 y el día 300 (figura 6 y 7). Este periodo abarca

el mayor pico de carga de DBO₅, que coincide con los picos de carga de sólidos en suspensión, nitrógeno y con las máximas temperaturas registradas. Para evitar los episodios extremos puntuales y poder analizar la evolución de carga, caudal y temperatura mantenidos durante cierto tiempo, se han empleado medias móviles mensuales. De esta manera, el escenario ha sido representado por el máximo valor de las medias móviles mensuales durante el periodo analizado. Para el caudal se ha utilizado el percentil

85% de los valores diarios, ya que se observa una coincidencia entre el pico de caudal y el de cargas. Para la temperatura se ha utilizado el percentil 85% de las medias móviles semanales, por la misma razón de coincidir el pico de temperatura con el de las cargas, pero sobre una base de tiempo semanal por considerarse un periodo más representativo para la evolución de la temperatura del agua.

Escenario INVERNAL: De manera similar al caso anterior se ha caracterizado el periodo representativo

Parámetro	Unidad	Proyecto	Estival	Invernal
Q	m ³ /d	1.250,0	569,0	1.136,0
Carga DBO ₅	kg/d	300,0	144,0	109,0
Carga SS	kg/d	350,0	150,7	176,9
Carga NTK	kg/d	62,5	33,6	18,4
Carga PT	kg/d	25,0	2,8	1,9
DBO ₅	mg/l	240,0	253,1	96,0
SST	mg/l	280,0	264,9	155,7
BTK	mg/l	50,0	59,1	16,2
PT	mg/l	20,0	4,9	1,7
SSV ⁽¹⁾	mg/l	224,0	211,9	124,6
T	°C	15,0	20,8	13,2

⁽¹⁾80% de los SST



Tabla 3

	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SS (mg/L)	N-NO ₃ (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	NT (mg/L)	NTK (mg/L)	PT (mg/L)	pH	Coliformes fecales (UFC/100 mL)
Media	9.5	35.6	10.6	11.3	4.6	19.3	7.3	3.5	7.8	641
Máximo	29.0	105.0	30.0	27.4	34.5	44.8	43.8	8.9	8.3	2200
Mínimo	3.0	13.0	3.0	0.1	0.0	5.1	0.6	0.6	7.3	5
Desviación estándar	4.6	17.6	5.4	8.0	8.5	8.7	9.6	2.8	0.2	773
Valor límite de emisión 1	12	60	15	20.32	3.89	25	7	2	9	100
Nº de muestras	53	54	54	54	54	54	54	17	54	17
Nº de muestras no conformes	9	3	7	7	15	15	14	10	0	9
Nº máximo de muestras no conformes	5	6	6	6	6	6	6	3	6	3

de condiciones invernales, correspondiente al resto de días del año una vez excluida la estación ESTIVAL. Este periodo abarca los picos de caudal en tiempo de lluvia, los cuales coinciden aproximadamente con otros picos de cargas. De igual manera que en el caso anterior se han utilizado

los valores máximos de las medias móviles mensuales de carga y el percentil 85% de los valores diarios de caudal durante el periodo analizado. En cambio, no se produce una coincidencia entre los picos de caudal y carga con respecto a picos de temperatura, por lo que para este último pa-

rámetro se ha tomado el valor medio de la media móvil semanal.

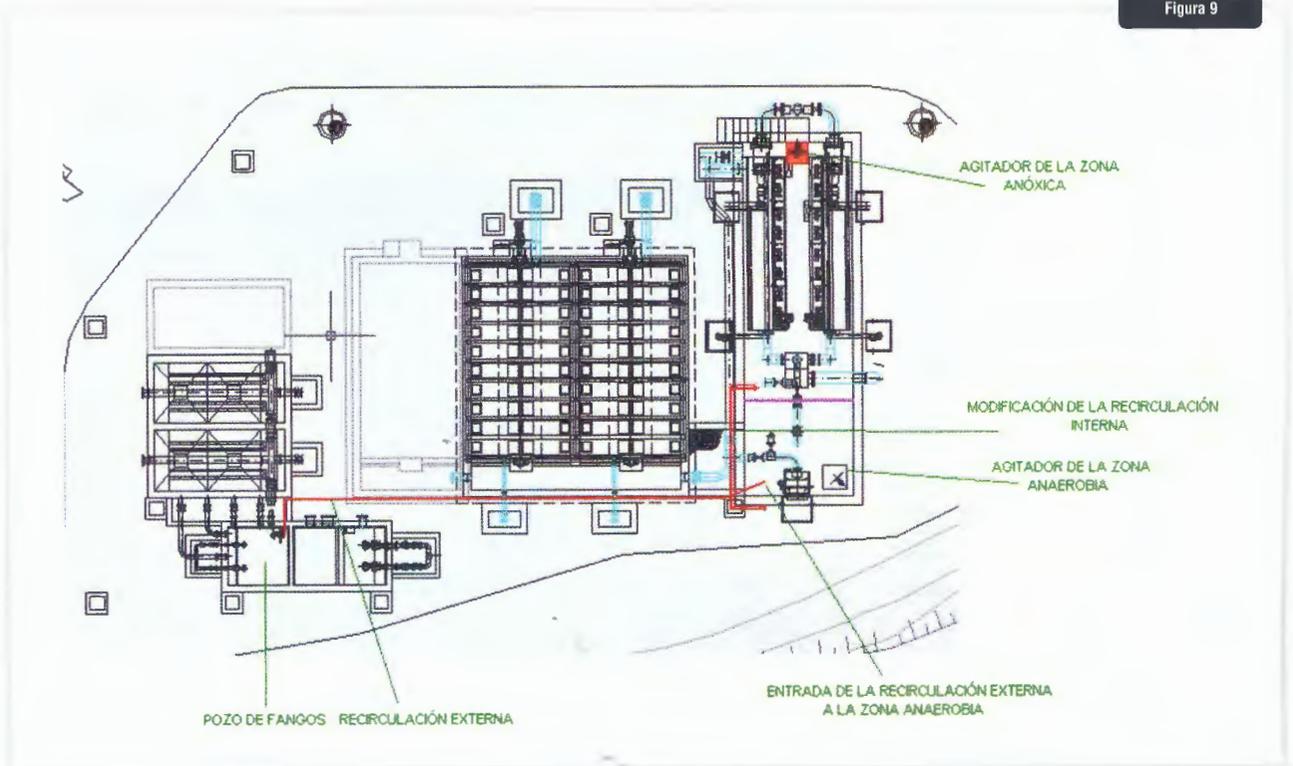
RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En primer lugar, la EDAR tendría dificultades en cumplir los objetivos de tratamiento con los caudales y cargas contempladas en el proyecto, incluso con la conversión del tanque de homogeneización en reactor anóxico, ya que no se produce una nitrificación satisfactoria. Esto se atribuye a la excesiva

carga afluente a los reactores de biodiscos, superior a la recomendada para nitrificación.

En cambio, con las condiciones de operación correspondientes al año 2014 y la conversión del tanque de homogeneización en reactor anóxico, la EDAR es capaz de cumplir con los

Figura 9





requisitos del efluente en los dos escenarios estacionales. En ambos casos se consigue una nitrificación prácticamente completa ($N-NH_4 < 0,5$ mg/L), y el reactor anóxico consigue desnitrificar satisfactoriamente manteniendo la concentración de nitrógeno total inferior a 15 mg/L en el escenario ESTIVAL, e inferior a 5 mg/L en el escenario INVERNAL.

En cuanto a la eliminación de fósforo, se consiguen efluentes en todos los casos con concentración de fósforo total inferior a 1 mg/L. Los resultados son similares convirtiendo el tanque de homogeneización en un reactor anóxico o convirtiéndolo en un reactor anaerobio-anóxico, lo cual indica que en las condiciones simuladas no es necesaria la actividad biológica de eliminación de fósforo mediante organismos acumuladores de fósforo. Esto se puede deber a la baja concentración de fósforo en el afluente y al aumento de la biomasa en el sistema debido a la presencia de fango en suspensión, de manera que mediante la retención de fósforo particulado y la asimilación por parte de la biomasa se consigue reducir la concentración en el efluente por debajo del valor requerido. Cabe destacar que en el escenario INVERNAL ha sido necesario incrementar las cargas afluentes de DBO_5 y de PT un 25% y un 40%, respectivamente, para evitar errores en la simulación debido a inconsistencia en la caracterización del afluente.

IMPLEMENTACIÓN

En otoño de 2015 se procede a la implantación de la solución adoptada, para lo cual se instala una pantalla deflektor que permite dividir el tanque regulador original en dos cámaras. La pantalla está fabricada en PRFV con refuerzos mecánicos construidos en perfilera de PRFV y anclajes a pared de acero inoxidable AISI 316, con unas

dimensiones de 4 metros de ancho por 1,83 metros de alto. Además consta de 3 huecos inferiores para el paso del agua desde la zona anaerobia hacia la zona anóxica con unas dimensiones de 0,30 metros por 0,20 metros.

Para garantizar la mezcla de los sólidos en suspensión en las nuevas zonas se traslada el agitador instalado en origen a la zona anóxica y se instala un nuevo agitador en la nueva zona anaerobia.

En cuanto a las líneas de recirculación, tal y como se ha señalado anteriormente, se cuenta con una recirculación desde la salida de la zona aeróbica (biodiscos) hacia el tanque regulador, esta línea se modifica para dirigirla hacia la zona anóxica. Por otro lado, se instala una nueva línea desde la arqueta de fangos purgados hacia la zona anaerobia construida en PVC de presión DN 63.

Para el control del proceso se instalan sendos caudalímetros en las líneas de recirculación.

PARÁMETROS INICIALES DE FUNCIONAMIENTO

El control de los caudales de recirculación no es automático, si no que se ha

de regular manualmente, con el tiempo de respuesta que conlleva una operación manual. Esto supuso una dificultad y un riesgo para la correcta operación de las recirculaciones en caso de condiciones de caudal afluente con variaciones diarias significativas. Por ello se consideró que un caudal de recirculación, tanto interna como externa, constante puede resultar más práctico y seguro, cuya consigna se puede cambiar en función de las condiciones y resultados de operación a medio plazo.

En el caso de la recirculación externa, para definir el caudal de operación se ha de tener en cuenta la influencia de los episodios o temporadas de lluvia. Durante estos episodios o temporadas los sólidos en suspensión pueden verse arrastrados desde los reactores hasta la decantación secundaria, necesitando un caudal de recirculación más elevado que en condiciones normales para retornar el fango activo a los reactores.

Teniendo en cuenta que la arqueta de fangos se encuentra llena, a nivel con los decantadores, con un volumen de aproximadamente 16 m^3 . Para evitar problemas físicos (sedimentación y acumulación de fango en la arqueta) y bió-

Tabla 4

Mes	[O ₂] (mg/l)		MLSS (mg/l)		Caudal recirc. (m ³ /día)	
	Anóxica	Anaerobia	Anóxica	Anaerobia	Interna	Externa
2015						
Octubre	2,53	2,58	1.106,4	1.024,6	781,6	290,9
Noviembre	3,19	2,99	1.374,4	1.374,0	623,1	342,0
Diciembre	4,12	3,58	701,2	691,7	497,2	401,3
2016						
Enero	5,59	5,46	267,2	260,8	727,5	244,7
Febrero	5,91	4,87	264,9	240,1	720,5	293,1
Marzo ¹	-	-	126,1	106,7	582,2	375,9
Abril	3,81	3,00	823,2	754,6	946,6	244,9
Mayo	1,83	1,54	1.827,4	1.229,9	1.021,5	221,4

¹No se puede tomar datos de la concentración de oxígeno por avería de la sonda de medida



Tabla 5

Mes	[P _T] (mg/l)			[P _T] (mg/l)		
	Entrada	Salida	Rendimiento	Entrada	Salida	Rendimiento
	2014			2015		
Octubre	4,30	3,90	9,30%	4,00	2,93	26,75%
Noviembre	2,50	1,60	36,00%	5,01	3,17	36,73%
Diciembre	0,90	0,80	11,11%	4,57	2,86	37,42%
	2015			2016		
Enero	1,40	1,30	7,14%	3,38	1,99	41,12%
Febrero	1,10	0,80	27,27%	3,03	1,76	41,91%
Marzo ¹	1,30	0,90	30,77%	1,95	1,33	31,79%
Abril	3,89	2,71	30,33%	2,29	1,88	17,90%
Mayo	7,85	4,16	47,01%	5,00	3,65	27,00%

Tabla 6

Mes	[N _T] (mg/l)			[N _T] (mg/l)		
	Entrada	Salida	Rendimiento	Entrada	Salida	Rendimiento
	2014			2015		
Octubre	36,70	18,00	50,95%	43,30	29,70	31,41%
Noviembre	27,90	11,20	59,86%	41,90	21,70	48,21%
Diciembre	11,00	8,50	22,73%	32,00	22,50	29,69%
	2015			2016		
Enero	16,60	14,90	10,24%	24,20	14,60	39,67%
Febrero	18,20	11,40	37,36%	16,30	13,60	16,56%
Marzo ¹	13,00	11,40	12,31%	15,20	11,10	26,97%
Abril	38,60	29,10	24,61%	18,10	13,50	25,41%
Mayo	40,60	32,30	20,44%	33,80	19,80	41,42%

Tabla 7

Mes	[DBO ₅] (mg/l)			[DBO ₅] (mg/l)		
	Entrada	Salida	Rendimiento	Entrada	Salida	Rendimiento
	2014			2015		
Octubre	144,0	6,0	95,83%	136,7	8,3	93,93%
Noviembre	146,0	7,6	94,79%	145,3	1,7	98,83%
Diciembre	55,0	4,3	92,18%	126,5	3,8	97,00%
	2015			2016		
Enero	67,0	8,0	88,06%	94,7	1,5	98,42%
Febrero	34,0	8,0	76,47%	70,7	3,1	95,62%
Marzo ¹	37,4	3,4	90,91%	55,5	2,9	94,77%
Abril	177,1	11,5	93,51%	77,3	5,2	93,27%
Mayo	223,6	12,1	94,59%	176,9	12,2	93,10%

lógicos (desarrollo de procesos anaerobios, generación de metano, generación de olores, y liberación de fosfato) se estimó que se debía renovar el volumen de la arqueta garantizando un tiempo de retención hidráulico (TRH) menor de 1 hora, lo cual supone un caudal de recirculación mayor de 16 m³/h. Por ello se adoptó un caudal de recirculación externa constante de 17 m³/h.

En el caso del caudal de recirculación de nitratos se ha llevado a cabo un análisis preliminar de los casos extremos para eliminación de nitrógeno, es decir, los casos con mayor concentración afluente de nitrógeno y/o mayor caudal afluente, de acuerdo a los datos históricos de operación de la planta. Se ha analizado la necesidad de recirculación para el cumplimiento de una concentración de nitrato en el efluente menor de 10 mgN/L. Se ha observado que sería necesario un caudal de recirculación de nitratos de 80 m³/h para cumplir ese objetivo en todos los casos excepto en algunos casos extremos excepcionales. Además, este caudal cumple las condiciones necesarias obtenidas en todos los escenarios de rediseño de la EDAR. Si se consideran sólo los escenarios correspondientes a las condiciones de operación actuales, un caudal de recirculación de nitratos de 50 m³/h cumpliría en tales escenarios la eliminación de nitrógeno deseada. Por lo tanto, para la puesta en marcha y como consigna inicial se estableció un caudal de recirculación de nitratos entre 50 y 80 m³/h.

En cuanto a la concentración de sólidos en suspensión, se ha estimado suficiente una concentración de 1 g/l en el caso de la zona anóxica y de 2 g/l en la zona anaerobia.

PRIMEROS RESULTADOS OBTENIDOS

En la tabla 4 se presentan los datos



relativos al periodo comprendido desde octubre de 2015 a mayo de 2016 en lo que se refiere a los parámetros de control de las zonas anóxica y anaerobia.

En las tablas 5,6 y 7 se presentan los datos de eliminación de fósforo total, nitrógeno total y DBO₅ correspondientes a los mismos meses en contraposición del mismo periodo del año anterior.

PRIMERAS CONCLUSIONES

- Durante el segundo año se observa un aumento en la concentración de contaminantes a la entrada.
- Durante el periodo comprendido entre los meses de diciembre y marzo es difícil mantener una concentración suficiente de sólidos en suspensión en el sistema por las elevadas precipitaciones.

- La concentración de oxígeno es demasiado elevada para garantizar procesos anóxicos y anaeróbicos en las nuevas cámaras. Se puede observar que la concentración de oxígeno es mayor en aquellos meses en los que la concentración de sólidos en suspensión es más baja, siendo esto debido al menor consumo del mismo por la biomasa en suspensión.

- En general el rendimiento de eliminación de fósforo total aumenta con la instalación del sistema de reactores híbridos.

- El rendimiento de eliminación de nitrógeno durante el segundo año es más bajo en los meses de octubre, noviembre y febrero y más elevado el resto de meses.

- El rendimiento de eliminación de DBO₅ en general es más elevado durante el segundo año, con la instalación de los reactores híbridos.

En definitiva, se puede concluir que, aunque no se han alcanzado los rendimientos esperados en eliminación de nutrientes, la capacidad de tratamiento de la planta ha aumentado al contar con un proceso adicional.

En la época estival, que es la que más problemas ha presentado históricamente por ser la que mayores cargas presenta, se espera que las actuaciones realizadas en la planta proporcionen una mejora significativa en la calidad de agua tratada, ya que al haber más carga se prevé un descenso de la concentración de oxígeno disuelto en los tanques anaerobio y anóxico que permita establecer realmente las condiciones para la eliminación de fósforo y la desnitrificación.

AGRADECIMIENTOS

Para este proyecto se ha contado con la colaboración del Grupo de Ingeniería Ambiental de la E.T.S Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria y

con el Departamento de I+D+i de Valoriza Agua.

Para el desarrollo del proceso se cuenta con la financiación del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), proyecto IDI-20151252, con cofinanciación de la Unión Europea (FEDER 2014-2020)

Se agradece la colaboración del Consorcio para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento del Principado de Asturias, al personal de la EDAR de La Franca y al personal de la Universidad de Cantabria.

REFERENCIAS

*1 Tchobanoglous, G.; Burton, F. L.; Stensel, H. D. (2003) Wastewater engineering: treatment and reuse, 4th edn. Metcalf Eddy, McGraw-Hill.

*2 Harrison, J. R. (2015) Fixed Film Forum (www.fixedfilmforum.com)

*3 Su, J. L.; Ouyang, C. F. (1996) Nutrient removal using a combined process with activated sludge and fixed biofilm. *Water Sci. Tech.* Vol 34, No. 1-2, pp. 477-486.

*4 You, S. J.; Ouyang, C. F. (2005) Simultaneous Wastewater Nutrient Removal by a Novel Hybrid Bioprocess. *J. Environ. Eng.* Vol 131, pp. 883-891.

*5 Akhbari, A.; Zinatizadeh, A. A. L.; Mohammadi, P.; Irandoust, M.; Mansouri, Y. (2011) Process modeling and analysis of biological nutrients removal in an integrated RBC-AS system using response surface methodology. *Chem. Eng. J.* Vol. 168, pp. 269-279.

*6 Akhbari, A.; Zinatizadeh, A. A. L.; Mohammadi, P.; Mansouri, Y.; Irandoust, M.; Isa, M. H. (2012) Kinetic modeling of carbon and nutrients removal in an integrated rotating biological contactor-activated sludge system. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* Vol. 9, pp. 371-378.

*7 Neu, K. E. (1994) Upgrading of Rotating Biological Contactor (RBC) systems to achieve higher effluent quality, including biological nutrient enrichment and reduction techniques. *Water Sci. Tech.* Vol 29, No. 12, pp. 197-206.

