



Título del Trabajo Fin de Máster:

***PROPUESTA DE SOLUCIONES A LOS
PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO
DE LA ESTACIÓN DEPURADORA DE
AGUAS RESIDUALES DE NOBLEJAS
(TOLEDO).***

Intensificación:

TRATAMIENTO DE AGUAS

Autor:

DÍAZ REGAÑÓN, JESÚS

Director/es:

ASENSI DASÍ, ENRIQUE JAVIER

Fecha: SEPTIEMBRE, 2014



Título del Trabajo Fin de Máster:

PROPUESTA DE SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES DE NOBLEJAS (TOLEDO).

Autor: **DÍAZ REGAÑÓN, JESÚS**

Tipo	A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>	Lugar de Realización	VALENCIA
Director	ENRIQUE JAVIER ASENSI DASÍ	Fecha de Lectura	SEPT. 2014
Codirector1			
Codirector2			
Tutor	ENRIQUE JAVIER ASENSI DASÍ		

Resumen:

La estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de Noblejas, sita en la localidad toledana del mismo nombre, se inauguró en el año 2008 con capacidad para tratar un caudal de 1300 m³/día según diseño. Desde entonces hasta hoy día su explotación ha sido llevada por varias empresas que no han realizado el mantenimiento pertinente de las instalaciones, deteriorándose hasta el punto de no llegar a cumplir con los límites de vertido marcados en el Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

La EDAR cuenta con los siguientes elementos: desbaste, desarenador-desengrasador, balsa de homogeneización, tratamiento físico químico, decantador primario, balsas anaerobias, canal de oxidación, decantador secundario, espesador de fangos y centrífuga de deshidratación. La planta funciona en régimen de oxidación total, se utiliza un tiempo de retención celular elevado para obtener un fango seco estabilizado que no necesita ser digerido a posteriori. Además, está diseñada de forma que se pueda llevar a cabo la eliminación biológica de nitrógeno y fósforo, apoyándose esta última en la precipitación química. En la práctica, la eliminación biológica del fósforo no es posible con la disposición actual de los elementos.

En el siguiente Trabajo de Fin de Máster se ha buscado una solución al incumplimiento de los límites de vertido mediante la propuesta de cuatro alternativas de operación de la depuradora: mantener la distribución actual y utilizar precipitación química para eliminar fósforo; incluir la balsa de homogeneización en el tratamiento secundario y eliminar fósforo de forma biológica; reducir la zona aerobia del canal y usar precipitación química del fósforo; y reducir la zona aerobia e incluir la balsa de homogeneización para eliminar el fósforo biológicamente. Para conocer la idoneidad de estas propuestas se han realizado simulaciones con el programa informático DESASS, desarrollado por el grupo de investigación Calagua.

A partir de los resultados aportados por DESASS se realizó una valoración de los costes en reactivo, fango producido y horas de funcionamiento de maquinaria para decidir cuál de las alternativas propuestas es la más económica y produce mejores resultados. Finalmente, se decidió que la segunda propuesta, en la que se incluye la balsa de homogeneización al tratamiento biológico para lograr la eliminación biológica de fósforo, es mejor alternativa de las estudiadas.

ABSTRACT

Noblejas' Wastewater Treatment Plant (WWTP), located in the Toledo's town with the same name, was inaugurated in 2008 and was capable of process a 1300 m³/day flow, as it was designed. From then until now, several companies have taken its operation but they haven't executed the relevant maintenance of the plant, which has been deteriorated and now can't accomplish the quality discharge limits of the Real Decreto-Ley 11/1995, of December 28, that establishes the rules governing the treatment of urban wastewater.

The WWTP has the following elements: bar screen, aerated grit chamber with fat and grease removal, equalization basin, physico-chemical treatment, primary clarifier, anaerobic basins, oxidation ditch, secondary clarifier, sludge thickener and dewatering centrifuges. The plant is operated by extended aeration method using a high mean cell residence time to obtain sludge with a low level of organic matter and avoid the use of sludge digestion. Besides, the plant was designed with the purpose of oxidizing nitrogenous matter and removing phosphates biologically or chemically. With the actual disposition of the elements, it's impossible to remove phosphates biologically.

The next Master Thesis has found a solution to the non-completion of the quality discharge limits by proposing four different operation alternatives of the plant: maintaining the current distribution and using chemical precipitation in order to remove the phosphates, including the equalization basin into the secondary treatment and remove phosphates biologically, reducing the aerobic area in the ditch and use phosphates chemical precipitation and reducing the aerobic area and including the equalization basin to remove biologically the phosphates. In order to know the suitability of those proposals, it's been realized several simulations with the software DESASS, developed by the research group Calagua.

Starting from the results provided by DESASS an assessment of costs in reagent, produced sludge and plant working hours was done in order to decide which of the alternatives is cheaper and generates better results. Finally, the second proposal, which includes the equalization basin into the secondary treatment to remove the phosphates biologically, was chosen as the best alternative.

RESUM

La EDAR de Noblejas, situada en la localitat toledana del mateix nom, es va inaugurar l'any 2008 amb capacitat per a tractar un cabal de 1300 m³/día segons disseny. Des de llavors fins hui dia la seua explotació ha sigut dirigida per diverses empreses que no han realitzat el manteniment pertinent de les instal·lacions, deteriorant-se fins al punt de no arribar a complir amb els límits d'abocament establerts en el Real Decret-Llei 11/1995, de 28 de desembre, pel qual s'estableixen les normes aplicables al tractament d'aigües residuals urbanes.

La EDAR compta amb els següents elements: desbast, desarenador-desgreixador, bassa d'homogeneïtzació, tractament físic-químic, decantador primari, basses anaeròbies, canal d'oxidació, decantador secundari, espessidor de fangs i centrifugador de deshidratació. La planta funciona en règim d'oxidació total, s'utilitza un temps de retenció cel·lular elevat per a obtenir un fang sec estabilitzat que no necessita ser digerit a posteriori. A més, està dissenyada de forma que es puga dur a terme l'eliminació biològica de nitrogen i fòsfor, ajudant-se aquesta última en la precipitació química. En la pràctica, l'eliminació biològica del fòsfor no és possible amb la disposició actual dels elements.

En el següent Treball de Fi de Màster s'ha buscat una solució a l'incompliment dels límits d'abocament mitjançant la proposta de quatre alternatives d'operació de la depuradora: mantenir la distribució actual i utilitzar precipitació química per a eliminar fòsfor; incloure la bassa d'homogeneïtzació en el tractament secundari i eliminar fòsfor de forma biològica; reduir la zona aeròbia del reactor amb precipitació química del fòsfor i reduir la zona aeròbia; i incloure la bassa d'homogeneïtzació per a eliminar el fòsfor de forma biològica. Per a conèixer la idoneïtat d'aquestes

propostes s'han realitzat simulacions amb el programa informàtic DESASS, desenvolupat pel grup d'investigació Calagua.

Sobre els resultats aportats pel DESASS es va realitzar una valoració dels costos en reactiu, fang produït i hores de funcionament de maquinària per a decidir quina de les alternatives proposades és la més econòmica i eficient. Finalment, es va decidir que la segona proposta, en la que s'inclou la bassa d'homogeneïtzació al tractament biològic per a aconseguir l'eliminació biològica de fòsfor, és la millor alternativa de les estudiades.

Palabras clave:

EDAR / Noblejas / Tratamiento de aguas / Simulación de depuradora

Índice de contenidos.

1.- Introducción.....	2
2.- Objetivos.....	6
3.- Antecedentes administrativos.....	7
4.- Marco legislativo.....	8
5.- Metodología.....	11
5.1.- Toma de datos.....	11
5.2.- Simulación de la EDAR.....	11
6.- Descripción y funcionamiento actual de la EDAR.....	13
6.1.- Rejas.....	16
6.2.- Desarenador-Desengrasador.....	17
6.3.- Balsa de Homogeneización.....	20
6.4.- Tratamiento Físico-Químico.....	21
6.5.- Decantador Primario.....	24
6.6.- Balsas Anaerobias.....	26
6.7.- Canal de Oxidación.....	27
6.8.- Decantador Secundario.....	32
6.9.- Espesador de Fangos.....	35
6.10.- Centrífuga de Deshidratación.....	36
7.- Caracterización del agua de entrada y salida de la EDAR.....	39
8.- Simulación del estado actual de la EDAR.....	50
9.- Soluciones propuestas.....	54
9.1.- Alternativa 1.....	58
9.2.- Alternativa 2.....	63
9.3.- Alternativa 3.....	68
9.4.- Alternativa 4.....	73
10.- Selección de la alternativa óptima.....	74
11.- Conclusiones.....	76
12.- Bibliografía.....	77

1.- Introducción.

La ordenación y gestión de los recursos hídricos del planeta ha sido desde siempre un objetivo prioritario para cualquier sociedad. Ésta se ha realizado históricamente bajo directrices orientadas a satisfacer la demanda existente en cantidades suficientes, bajo una perspectiva de política de oferta. El agua demandada se ha tomado de las fuentes superficiales (ríos y lagos principalmente) o subterráneas.

El incremento de la demanda de agua a lo largo de los años como herramienta para el impulso económico y social de la población derivó directamente en una mayor oferta del recurso, sin tener en cuenta factores tales como el aumento del nivel de contaminación de los sistemas naturales de donde es tomado tras el vertido de los efluentes residuales.

Con el tiempo, la degradación de los ecosistemas acuáticos que recibían altas cargas contaminantes se hizo patente y se comenzaron a proponer soluciones. Entre ellas destaca la construcción de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), instalaciones cuya función es la de reducir la carga contaminante que tienen los efluentes residuales antes de llegar a las aguas naturales.

Para lograr este objetivo, las EDAR cuentan con una serie de elementos diseñados de tal forma que separan la carga contaminante del resto del agua a partir de una serie de procesos unitarios, que se clasifican en físicos, químicos y biológicos. Estos procesos se agrupan en lo que se denomina métodos de tratamiento y que pueden incluir un único tipo de proceso o combinar varios, dando lugar a los llamados procesos físico-químicos, por ejemplo.

A su vez, los métodos de tratamiento se agrupan de manera que la eliminación de la carga contaminante característica presente en esas aguas residuales sea lo más eficaz posible. Las múltiples combinaciones y diseños de los métodos dan lugar a los diferentes esquemas de tratamiento. La configuración de un esquema depende de una valoración de factores tales como el análisis técnico del tratamiento, las necesidades del cliente, la experiencia del diseñador, la normativa existente, la disponibilidad de suministro del equipo, la posible reutilización de instalaciones existentes, la disponibilidad de personal cualificado, los costes de la construcción y los costes de operación y mantenimiento (Ferrer Polo, Seco Torrecillas 1992a) .

En general, los distintos tratamientos de aguas residuales se dividen en pretratamientos, primarios, secundarios y avanzados o terciarios, además del tratamiento de los fangos producidos. A continuación se realizará una breve descripción de los procesos que se tratarán en este Trabajo Fin de Máster.

En el pretratamiento suele consistir en un sistema de enrejado que elimina los contaminantes de mayor tamaño. Pueden clasificarse en dos tipos: gruesos, utilizados como primera unidad de tratamiento a fin de proteger todos los equipos de la planta; y finos, también llamados tamices, que producen la primera eliminación de sólidos suspendidos en la planta y, por tanto, de los distintos contaminantes asociados a ellos (materia orgánica, nitrógeno y fósforo entre otros).

A continuación se pueden encontrar los canales desarenadores, en los cuales se separan las arenas del agua residual mediante el proceso de sedimentación con el objetivo de proteger los

equipos que se encuentran más adelante. En este caso, las partículas a sedimentar no interactúan entre ellas por lo que se da la llamada sedimentación de partículas discretas o de tipo I. El desarenador puede usarse también para la separación de grasas y flotantes del agua. Para aumentar la eficiencia del sistema se puede inyectar aire de manera que se produzca un flujo helicoidal que permita la sedimentación de las arenas y mantenga la materia orgánica, de menor peso molecular, en suspensión.

Al pretratamiento también se le puede añadir una balsa de homogeneización con la función de proteger los elementos posteriores a raíz de laminar las puntas de caudal que llegan a la EDAR y homogeneizar la calidad del agua entrante mediante su mezcla.

El tratamiento primario consiste en la eliminación de sólidos suspendidos y la carga contaminante asociada a ellas con la posibilidad de llevar a cabo la eliminación de sustancias tóxicas que puedan poner en peligro el tratamiento biológico posterior. Dicha eliminación se produce mediante la combinación de procesos químicos y físicos tales como la precipitación, la coagulación y la floculación.

La precipitación consiste en la formación de sustancias precipitadas a partir de otras que aparecen en el agua residual tras añadir una sustancia denominada agente precipitante. En aguas residuales se suele utilizar para eliminar fosfatos o metales pesados.

La coagulación se define como la desestabilización mediante la compensación de las fuerzas repulsivas debidas a la carga de las partículas coloidales que da lugar a la agregación inicial de materia coloidal y materia finamente dividida en suspensión, mediante coagulantes inorgánicos (Ferrer Polo, Seco Torrecillas 1992b).

La floculación consiste en la aglomeración de la materia coloidal desestabilizada como respuesta al choque de partículas producido en una agitación suave del medio acuoso.

Ambos procesos de precipitación y coagulación suelen darse de forma conjunta en el tratamiento primario de una EDAR ya que muchas reacciones de precipitación química requieren de un proceso de coagulación-floculación de los precipitados formados para poder separarlos eficazmente de la fase acuosa. Además, los compuestos utilizados como coagulantes (como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico) suelen actuar a su vez como agentes precipitantes.

La separación definitiva de los flóculos formados del medio acuoso en el que se encuentran se realiza por medio de un decantador primario donde se produce la sedimentación de tipo II en la que las partículas floculadas se siguen atrayendo y según aumentan su tamaño aumenta también su velocidad de sedimentación.

El tratamiento secundario consiste en la eliminación de la materia orgánica, y en ocasiones los nutrientes, mediante procesos biológicos en los que se utilizan microorganismos. Estos microorganismos crecen utilizando los contaminantes del agua como fuente de carbono y/o como fuente de energía, dando lugar a biomasa, dióxido de carbono y otros compuestos inocuos.

El sistema más característico de tratamiento biológico son los llamados fangos activados, en los cuales los microorganismos se encuentran en suspensión en el agua. Dependiendo del tamaño de la población emisora del agua residual, de la carga contaminante de éste y los recursos económicos disponibles se decide la selección del tipo de tratamiento más adecuado. Para poblaciones pequeñas se suele instalar un proceso de fangos activados con oxidación total de la materia orgánica mediante canales de oxidación. Su principal ventaja está en la estabilización de los fangos en el reactor, evitando así una posterior digestión de éstos con la consiguiente simplificación en la operación de la planta además del ahorro en construcción y mantenimiento. Como desventaja presenta la mayor necesidad de espacio para instalar el reactor y un mayor consumo de oxígeno para que los microorganismos puedan oxidar la materia orgánica al completo (Ferrer Polo, Seco Torrecillas 2003).

Este sistema puede complementarse con otros para ser capaz de eliminar nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo del agua residual. En estos casos, se alternan las condiciones de los reactores en cuanto a oxígeno y nitratos para favorecer el metabolismo de los microorganismos capaces de transformar estos nutrientes presentes en el agua en sustancias inocuas, como el N_2 , o incorporararlos a su biomasa y ser eliminados con el fango.

Un esquema de funcionamiento que permite la eliminación de ambos compuestos es el denominado esquema JHB (Johanesbourg), en el cual el agua residual entra directamente al segundo reactor (o compartimento), que se encuentra en situación anaerobia. De esta manera, casi toda la materia orgánica del afluente es utilizada por las bacterias PAO para acumular PHA en su organismo. A continuación se encuentra un reactor anóxico al cual se recirculan nitratos desde el reactor anaerobio posterior para favorecer su desnitrificación. En este reactor aerobio se produce la mayor parte de la degradación de materia orgánica, la nitrificación del amonio a nitratos y el paso de los fosfatos al interior de las bacterias PAO en forma de polifosfatos. Por último, el fango que se recircula desde el fondo del decantador va a parar a un primer reactor que se encuentra en condiciones anóxicas, ya que lleva nitratos. En él también se produce la desnitrificación. De esta manera, el efluente liberado al medio tendría unas bajas concentraciones de nutrientes y se disminuye el riesgo de eutrofización de las zonas de vertido.

La decantación secundaria es muy parecida a la decantación primaria, sólo que en este caso se produce una sedimentación de tipo III o sedimentación zonal. En este caso, la interacción de las partículas tiende a disminuir la velocidad de sedimentación y se forman agregados que dejan ver una interfase diferenciada entre el fango que sedimenta y el líquido sobrenadante. Las partículas que quedan por encima de la interfase suelen sedimentar de forma discreta o floclada.

Los fangos obtenidos tras un proceso de oxidación total se encuentran estabilizados, es decir, la concentración de materia orgánica en ellos es baja, por lo que sólo es necesaria su compactación. Para ello se utilizan los espesadores por gravedad, que funcionan con el mismo sistema de sedimentación zonal pero a mayores concentraciones, dando lugar a lo que se llama compactación o sedimentación de tipo IV. En este caso, la decantación de las partículas es muy lenta debido a los pocos huecos que hay en el fango para que el agua clarificada

ascienda. Para facilitararlo se instalan unas picas en los decantadores que crean aberturas en el fango para que esta agua pueda ascender.

En último lugar se encontraría la deshidratación de fangos, que consiste en eliminar del fango espesado la mayor cantidad de agua posible para reducir su peso y volumen y disminuir así los costes de transporte. Una de las formas más utilizadas es mediante máquinas centrífugas, que consisten en un tambor cilíndrico-cónico de eje horizontal que gira a gran velocidad y utiliza la fuerza centrífuga para eliminar el fango más seco que queda pegado a la pared interior con ayuda de un tornillo helicoidal. Una vez deshidratados, los fangos se almacenan hasta ser transportados a un vertedero o a un uso posterior, como el agrícola, siempre que se cumpla con los niveles de contaminación presentes en la legislación.

2.- Objetivos.

El objetivo del siguiente Trabajo de Fin de Máster es optimizar el funcionamiento de la EDAR de Noblejas, situada en la provincia de Toledo, y garantizar una correcta depuración del agua residual que llega a la misma preparándola para la eliminación biológica de nutrientes.

En primer lugar se caracterizará el agua de entrada para conocer la carga contaminante que llega a la EDAR procedente del municipio. También se realizará una descripción de la EDAR, caracterizando los elementos que la componen y los procesos que se dan en ellos, así como los equipos mecánicos e hidráulicos que en ella se encuentran.

A continuación se enumerarán las deficiencias encontradas en el funcionamiento de dicha depuradora, tanto estructurales debidas a una mala proyección como derivadas de un mal uso o mantenimiento deficiente de las instalaciones y los equipos. A estos problemas se les buscará una solución adecuada que les permita cumplir con su función de la mejor manera posible.

Por último se realizará una simulación del funcionamiento de la EDAR mediante el programa informático DESASS con los parámetros de la situación inicial de la depuradora y probando las soluciones propuestas. El efluente deberá tener calidad suficiente para los límites de vertido a cauce (teniendo en cuenta DQO, DBO y sólidos en suspensión) y a zona sensible (a los anteriores se les unen el fósforo y el nitrógeno), por si en un futuro fuera necesario debido a un cambio en la legislación.

3.- Antecedentes administrativos.

A fecha de 15 de julio de 2008 se firma el Acta de Recepción de Obra de las EDAR de Noblejas, Villarrubia de Santiago, Villatobas y Santa Cruz de la Zarza, en la provincia de Toledo. Desde esta fecha hasta hoy, el mantenimiento de dichas depuradoras ha sido responsabilidad de varias empresas adjudicatarias tras presentarse a concurso público. La UTE formada por FACSA, empresa del grupo Gimeno, y Construcciones Lozoya es adjudicataria del servicio de explotación y mantenimiento de las estaciones depuradoras de aguas residuales en el mes de agosto de 2013 por un período de 6 meses.

El caudal medio de tratamiento según el pliego de prescripciones técnicas (PPT) de las EDAR de Noblejas, Villarrubia de Santiago y Santa Cruz de la Zarza es de 474.500, 470.000 y 876.000 metros cúbicos anuales, respectivamente, sirviendo a una población equivalente de 9.750, 5.100 y 18.000 habitantes. Hoy día la población de estos municipios es menor de la proyectada, siendo de 3.614, 4.841 y 2.769 habitantes, respectivamente (Fuente: INE), pero el caudal a tratar es similar.

Los continuos vaivenes de empresas adjudicatarias de la explotación de las EDAR y la falta de pago a las mismas por parte de la Agencia del Agua de Castilla-La Mancha, órgano administrativo de coordinación y ejecución de las actuaciones en materia hidráulica de la región, han derivado en una ineficaz gestión de las mismas con un elevado deterioro de los elementos y maquinaria que las componen. En última instancia, esto se refleja en una mala calidad del efluente tratado, que en su mayoría no cumple los requisitos recogidos en el Anexo I del Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas (Fuente: BOE).

De las tres EDAR explotadas por la empresa, la depuradora de Noblejas (Imagen 1) es la más completa de todas y sobre la que se realizará el siguiente Trabajo Fin de Máster. Esto se debe a que la localidad tiene un importante polígono industrial sobre el que se preveía un crecimiento durante la época de construcción de la depuradora, por lo que se incluyó un tratamiento primario en la misma para proteger los elementos biológicos. La situación económica provocó que no se llevara a cabo dicha ampliación del polígono y se llegaron a cerrar alguna de las industrias, por lo que este tratamiento primario no se ha puesto en funcionamiento.



Imagen 1: Vista general de la EDAR de Noblejas.

4.- Marco legislativo.

La protección de la calidad las aguas superficiales y subterráneas ha sido un tema de gran relevancia durante la realización de la legislación desde el nivel europeo al nivel local, llegando a desarrollarse una serie de normas con una elevada complejidad y especificidad. Estas características han dado lugar a que pueda hablarse con propiedad de una disciplina diferenciada que podría denominarse Derecho de Aguas.

Toda la legislación aplicable en nuestro país puede clasificarse en tres grandes grupos: europea, estatal y autonómica. En algunos lugares también existe una legislación local de aguas, más específica.

De mayor a menor generalidad, la normativa que hace referencia a los temas tratados en este trabajo es la siguiente:

Ley 29/1985 de Aguas, de 2 de agosto, modificada por la **Ley 46/1999, de 13 de diciembre, de modificación de la Ley de Aguas**. Estas leyes establecen las competencias respecto al control de los vertidos al dominio público hidráulico, las competencias y relaciones entre los Organismos de Cuenca y las Comunidades Autónomas, regulan la posibilidad de ceder temporalmente los derechos de uso del agua y definen los objetivos de la protección del dominio público hidráulico entre los que se incluye el establecimiento de programas de control de calidad.

Se prohíbe con carácter general el vertido directo o indirecto de aguas y de productos residuales que puedan contaminar las aguas salvo que cuenten con previa autorización administrativa, las cuales establecerán las condiciones en que deben realizarse. Entre estas condiciones están las instalaciones de depuración necesarias, los elementos de control de su funcionamiento, los límites cuantitativos y cualitativos de calidad del efluente y el importe del canon de vertido.

El último desarrollo reglamentario de esta ley se realiza mediante el **Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo**, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI Y VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

Directiva 2000/60/CE de 23 de octubre por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Tiene por objetivo unificar las actuaciones en materia de gestión de aguas para proteger las aguas tanto a nivel cuantitativo como cualitativo y homogeneizar objetivos ambientales en la unión europea.

El objetivo ambiental común a mencionado consiste en alcanzar el denominado “buen estado” de todas las masas de agua antes del año 2015. Para ello se han de establecer medidas para reducir vertidos de sustancias prioritarias, suprimir totalmente vertidos de sustancias peligrosas prioritarias, reducir la contaminación de las aguas subterráneas y paliar efectos de inundaciones y sequías.

En definitiva, se pretende garantizar el suministro suficiente de agua, superficial o subterránea, con una buena calidad de la misma derivada del uso sostenible del recurso.

Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales y Directiva 98/15/CEE por la que se modifica la Directiva 91/271/CEE. Esta Directiva establece las medidas necesarias que los Estados miembros han de adoptar para garantizar que las aguas residuales urbanas reciben un tratamiento adecuado antes de su vertido.

De forma resumida, la Directiva establece dos obligaciones claramente diferenciadas: en primer lugar las “aglomeraciones urbanas” deberán disponer, según los casos, de sistemas de colectores para la recogida y conducción de las aguas residuales y, en segundo lugar, se prevén distintos tratamientos a los que deberán someterse dichas aguas antes de su vertido a las aguas continentales o marinas.

En la determinación de los tratamientos a que deberán someterse las aguas residuales antes de su vertido, se tiene en cuenta las características del emplazamiento donde se producen. De acuerdo con esto, los tratamientos serán más o menos rigurosos según se efectúen en zonas calificadas como “sensibles”, “menos sensibles” o “normales”.

La transposición de la Directiva 91/271/CEE al Derecho español, está contenida en el **Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.** Por su parte, el **Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo**, desarrolló el contenido del anteriormente citado, mediante la incorporación de los Anexos contenidos en la Directiva 91/271/CEE, que no habían sido incorporados inicialmente. Para incorporar al ordenamiento jurídico español la Directiva 98/15/CE, resultó necesario realizar ciertas modificaciones del Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, lo que se llevó a cabo mediante el **Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre.**

Los requisitos de vertido que se deben cumplir aparecen reflejados en la Tabla 1 y Tabla 2:

Parámetros	Concentración (mg/L)	% mínimo de reducción
DBO ₅	25	70-90
DQO	125	75
SST	35	90

Tabla 1: Requisitos de vertido de estaciones depuradoras que no vierten en zona sensible.

Parámetros	Concentración (mg/L)	% mínimo de reducción
P total	2	70-80
N total	15	80

Tabla 2: Requisitos de vertido de estaciones depuradoras que vierten en zona sensible y cuya población es menor de 100.000 h-e

Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. El aumento de la calidad del efluente en la depuración de aguas residuales hizo necesaria la elaboración de esta norma que tiene por objeto regular la reutilización del agua depurada, permitiendo unos usos y restringiendo otros. Además, se establecen unos criterios de calidad para que esta agua pueda ser tomada en los usos permitidos.

Directiva 86/278/CEE relativa a la protección del medio ambiente y en particular de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura. Esta norma tiene por objeto regular la utilización de los lodos de depuradora en agricultura de modo que se eviten efectos nocivos en los suelos, en la vegetación, en los animales y en el ser humano, al mismo tiempo que se estimula su utilización correcta. Para ello establece unas concentraciones límite de ciertos contaminantes que pueden estar presentes en los fangos de una depuradora.

La transposición de la Directiva 86/278/CEE al Derecho español, está contenida en el **Real Decreto 1310/1990**, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. Debido al largo período transcurrido desde la puesta en marcha de esta norma y, sobre todo, a la aprobación de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados se desarrolla la **Orden AAA/1072/2013, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario**. Esta Orden regula la utilización de los fangos de depuradora en agricultura y obliga a realizar una documentación de control de calidad de los mismos en los que, además de incluir los contaminantes ya aparecidos en el anterior decreto, se miden valores de materia orgánica, nitrógeno, fósforo o potasio entre otros.

Ley 12/2002, de 27 de junio, Reguladora del Ciclo Integral del Agua en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. El objetivo de esta Ley es el establecimiento de un marco normativo que rija la política de abastecimiento de agua, de saneamiento y de depuración de las aguas residuales en Castilla-La Mancha, así como la ordenación de las infraestructuras correspondientes en cuanto a su planificación, ejecución, gestión y financiación.

En materia de ordenación del saneamiento y la depuración, las finalidades concretas de esta Ley son conseguir los parámetros de calidad de agua depurada recomendados por la UE y fomentar su reutilización, contribuir al buen estado ecológico de los recursos hídricos de la comunidad, establecer mecanismos disuasorios y de prevención de la contaminación, integrar los sistemas de saneamiento y depuración para aumentar la eficiencia de la gestión y contribuir a la consecución de los objetivos previstos en el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales Urbanas.

5.- Metodología.

La metodología empleada en la elaboración de este trabajo se puede dividir en dos fases:

5.1.- Toma de datos.

La realización de prácticas en ésta y otras depuradoras durante el período comprendido entre los meses de agosto y noviembre de 2013 sirvió para realizar un reconocimiento completo de la EDAR. A lo largo de este tiempo se realizaron análisis y mediciones de los siguientes parámetros contaminantes:

- DQO: Semanal. Afluyente y efluente.
- DBO₅: Semanal. Afluyente y efluente.
- pH: Semanal. Afluyente y efluente.
- Nitrógeno total: Semanal. Afluyente y efluente.
- Fósforo total: Semanal. Afluyente y efluente.
- Amonio: Semanal. A partir del mes de noviembre. Afluyente y efluente.
- Nitratos: Semanal. A partir del mes de noviembre. Afluyente y efluente.
- Sólidos suspendidos totales: Semanal en afluyente y efluente. Mensual reactor y espesador.
- Sólidos suspendidos volátiles: Mensual. Reactor.
- V₃₀: Diaria. Reactor.

También se realizó una recopilación de las características técnicas de la maquinaria utilizada en el proceso de depuración (bombas, agitadores, soplantes, difusores, etc) y su estado de funcionamiento actual. Estos datos fueron sacados de los libros de instrucciones y características en los casos en los que se disponía de los mismos o contactando con los fabricantes en los que no.

Con toda esta información se ha elaborado una descripción del funcionamiento actual de la EDAR de Noblejas caracterizando el agua de entrada a partir de los datos analíticos, valorando la idoneidad del diseño de los distintos elementos conforme a la calidad y caudal del agua de entrada y teniendo en cuenta los elementos mecánicos que necesitan repararse, cambiarse o llevar un mantenimiento más adecuado.

5.2.- Simulación de la EDAR.

Para simular el funcionamiento actual de la EDAR y poder proponer mejoras en el mismo para así aumentar su eficiencia se utiliza el programa informático DESASS.

El programa de simulación DESASS (Desing and Simulation of Activated Sludge Systems), ha sido desarrollado por el grupo de investigación Calagua, con el apoyo de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana y las empresas Sear y Aquagest. Esta herramienta informática es un simulador de EDAR urbanas configurado bajo Windows, diseñado y optimizado para la investigación de los procesos de eliminación de materia orgánica y nutrientes.

El programa tiene implementado un algoritmo de modelación matemática basado en un modelo biológico general que incluye el modelo de fangos activados número 2 modificado (ASM2d) de la IWA junto con un modelo de fermentación y digestión anaerobia de los fangos desarrollado por el propio grupo de investigación (Siegrist), lo que en conjunto denominan el sistema BNRM2. Incluye además la posibilidad de considerar los procesos biológicos que tienen lugar en los decantadores y espesadores junto a los procesos de sedimentación y compresión del fango.

Para la utilización de DESASS es necesario llevar a cabo una adaptación de los parámetros de calidad medidos en laboratorio a los que utiliza el programa. Para ello se ha realizado una caracterización del agua utilizando dichos datos de laboratorio junto a parámetros típicos de un agua residual urbana tales como el porcentaje de la parte soluble y suspendida o la relación DBO_{lim} y DBO_5 .

6.- Descripción y funcionamiento actual de la EDAR.

La EDAR de Noblejas se encuentra en el municipio del mismo nombre, situado en la zona nororiental de la provincia de Toledo, a 737 metros sobre el nivel del mar. Forma parte de la comarca de la Mesa de Ocaña, denominada así por su carácter llano sobreelevado respecto del vecino valle del Tajo. La extensión del término municipal es de 69,76 Km² y actualmente cuenta con una población de 3.614 habitantes.

El crecimiento demográfico ha sido acusado durante los últimos años y se prevé nuevos aumentos de población en los venideros. Estos datos resultan muy significativos y profundamente alentadores para el futuro del municipio. Actualmente, de los 3.614 habitantes con los que cuenta el municipio el 52 % son hombres y el 48% mujeres. La población inmigrante supone el 12% de dicha población y las nacionalidades más numerosas proceden de Marruecos (58%), Rumanía (25%) y países de América del Sur, como Colombia, Perú, Ecuador o Paraguay (5%). Dicho colectivo está integrado y convive armónicamente formando parte de la realidad social y económica del municipio: desarrollando distintos puestos de trabajo, participando en acciones formativas o incluso regentando negocios propios.

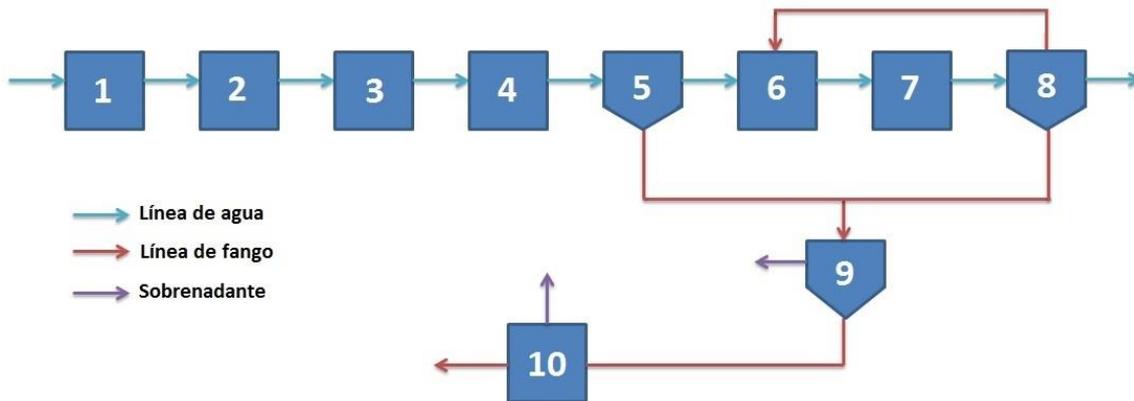
En cuanto a la actividad económica, Noblejas ha sido un municipio tradicionalmente agrícola destacando el cultivo de viñedos, olivares y cereal, siendo el vino quien le ha dado fama y reconocimiento. A mediados del siglo XVIII Noblejas se convirtió en un potente motor del comercio vinícola a Madrid y la Granja, manteniéndose hasta el siglo XX cuando se instala en la localidad una importante industria bodeguera moderna, Bodegas Bilbaínas S.A., con capital exclusivamente bilbaíno y que se mantiene hasta la época actual. Otra actividad derivada de la agricultura es la elaboración de aceite desarrollada por una cooperativa local (Fuente: Ayto. de Noblejas).

La situación geográfica de Noblejas junto con la construcción de unas buenas redes de comunicación (autovías y ferrocarril) ha propiciado un importante desarrollo industrial, principalmente agroalimentaria y logística, implantándose una serie de empresas multinacionales que han generado y generan riqueza y empleo en el municipio y resto de la comarca. Entre ellas destacan Senoble España S.A., multinacional francesa que elabora productos lácteos y que cuenta con una plantilla de más de 400 trabajadores; General Electric Wind Energy S.L, multinacional americana que fabrica turbinas eólicas; Tallo Verde S.L., empresa francesa líder en el sector de producción de gama de verduras; el grupo de alimentación Berlys, uno de las más importantes empresas españolas especializada en la producción y comercialización de productos precocinados y congelados de panadería, bollería y pastelería o los recientes parques de maquinaria de Acciona y Sacyr. Tanto Senoble como Tallo Verde y Berlys cuentan con depuradoras propias dentro de sus instalaciones, la EDAR municipal recoge el vertido perteneciente al núcleo urbano, las empresas agrícolas y algunas pequeñas industrias, por lo que se puede afirmar que el agua residual que entra a la depuradora es típica urbana.

En general, todo el término municipal de Noblejas es llano, presentando algunos barrancos de pendientes considerables en la mitad norte del término. En esta zona se encuentra ubicada la EDAR, vertiendo su efluente al barranco de Fuente Nueva, afluente del arroyo del Carril que a su vez desemboca en el río Tajo. El entorno del arroyo del Carril forma parte del Lugar de

Importancia Comunitaria (LIC) “Vegas, cuevas y páramos del sureste de Madrid”, por la directiva 92/43/CEE. Por tanto, aunque el vertido de la EDAR no se haga directamente a una zona protegida la alcanza a menos de 500 m de distancia, por lo que es importante la eliminación de los nutrientes para evitar la degradación de la calidad del agua de la zona.

El esquema de tratamiento que sigue la EDAR de Noblejas para depurar el agua que recibe tanto del núcleo urbano como de las industrias es el siguiente:



En donde:

1. Rejas
2. Desarenador-Desengrasador
3. Balsa de Homogeneización
4. Tratamiento Físico-Químico
5. Decantador Primario
6. Balsas Anaerobias
7. Canal de Oxidación
8. Decantador Secundario
9. Espesador de Fangos
10. Centrífuga de Deshidratación

Como se puede apreciar en la Imagen 2, en la EDAR se han construido cuatro edificios:

- Edificio de desbaste y deshidratación: En su interior se encuentra el sistema de desbaste, la centrífuga de deshidratación, el bombeo de fangos a deshidratación, el equipo de preparación de polielectrolito, las bombas dosificadoras y el cuadro eléctrico de la planta. Cuenta con un equipo de ventilación y purificación de aire mediante carbón activado para evitar la inhalación de vapores nocivos si se trabaja en su interior durante periodos de tiempo prolongados. El cableado eléctrico se encuentra en malas condiciones ya que la atmósfera del edificio es corrosiva provocando el deterioro de los cables, lo que puede conllevar a fallos en el control de los distintos elementos. Adosado al edificio se encuentra el desarenador-desengrasador.

- Edificio de las soplantes: Contiene las tres soplantes que suministran aire al canal de oxidación y el cuadro eléctrico de las mismas. Además, se colocó un polipasto para las posibles operaciones de mantenimiento que pudieran necesitar las soplantes. El sistema de ventilación del edificio no funciona, alcanzándose altas temperaturas en su interior que pueden poner en peligro el funcionamiento de las máquinas.
- Edificio del grupo de presión: En su interior se encuentran dos electrobombas centrífugas verticales y un depósito de membrana de 300 L que sirven para dar presión al efluente y que se utilizan para servicios internos de la EDAR como la limpieza del decantador o el riego de zonas verdes. Actualmente sólo una de ellas se encuentra en funcionamiento.
- Edificio de control: Desde ahí se deberían controlar todos los elementos de la EDAR así como visualizar los datos que tomasen los medidores de pH y oxígeno instalados. Actualmente el SCADA de control no está conectado y todos los sistemas han de accionarse manualmente en los cuadros de control situados en el edificio de desbaste y deshidratación y el edificio de las soplantes. También se encuentra un taller de reparación, sala de reuniones, baños y un laboratorio.

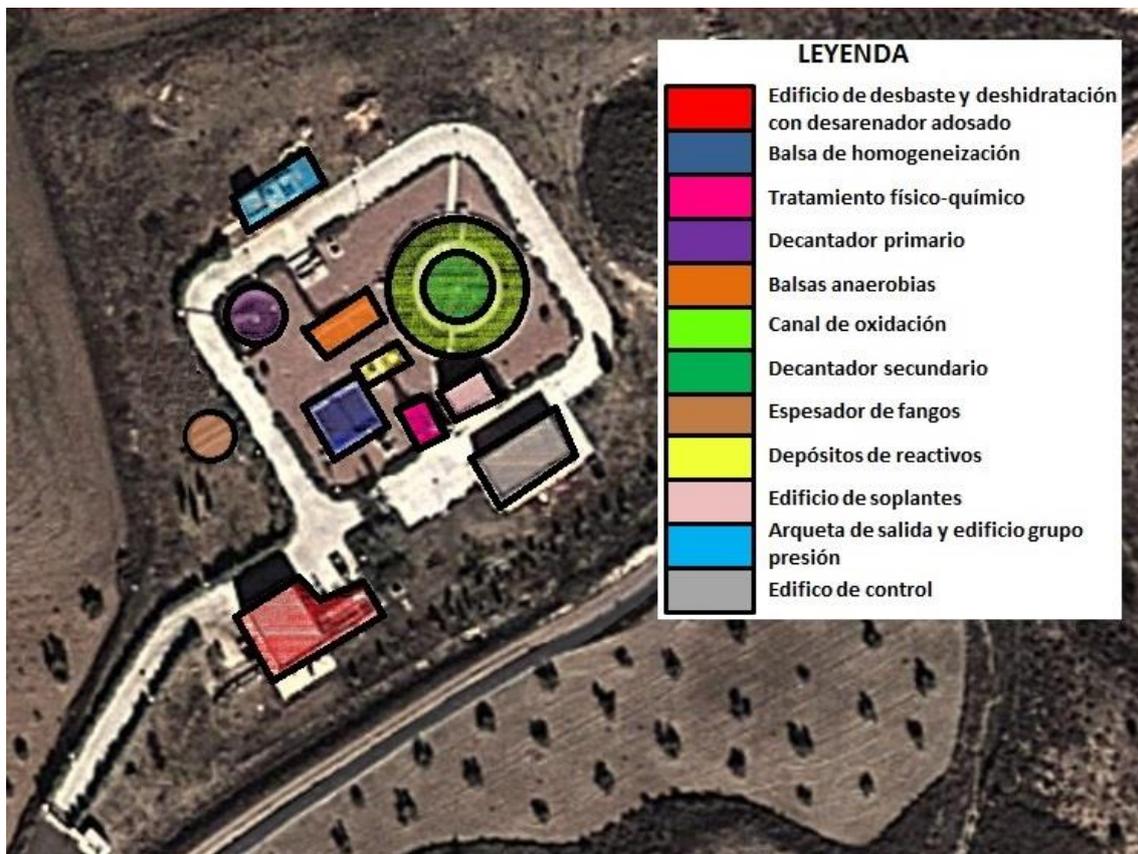


Imagen 2: Vista aérea de la EDAR de Noblejas e identificación de los elementos que la componen.

El tratamiento biológico funciona en régimen de oxidación total, por lo que no es necesaria una digestión de fangos posterior. Normalmente cuando se da este tipo de tratamiento secundario no se incluye un tratamiento primario del agua residual, pero en este caso se hizo una excepción debido a la industria existente en el pueblo. Para evitar el riesgo de la pérdida del cultivo bacteriano del reactor biológico se incluyó un tratamiento físico-químico de

coagulación-floculación que permite la precipitación de metales que pueden resultar tóxicos para los microorganismos mediante la adición de cloruro férrico (FeCl_3).

A lo largo de este apartado se procede a caracterizar el agua residual que llega a la EDAR y a describir detalladamente los distintos elementos que forman parte de todo el proceso de depuración de la misma:

6.1.- Rejas.

En primer lugar se encuentra la arqueta de entrada del agua bruta, que cuenta con un by-pass general para evitar que el agua residual circule por la EDAR cuando hay una avería en la misma. De este punto salen dos canales de desbaste con las medidas de la Tabla 3.

Canal	
H	1,0 m
W	0,5 m

Tabla 3: Medidas del canal de desbaste.

- Canal principal de desbaste: consta de una reja de limpieza automática y de un tamiz continuo autolimpiable (Imagen 3). Los elementos que quedan atrapados en la reja o el tamiz se llevan mediante un tornillo sin-fin hasta un contenedor. Tanto a la entrada como a la salida hay situadas sendas compuertas murales automáticas. Las características de las rejas se muestran en la Tabla 4.

Reja autolimpiable		Tamiz autolimpiable	
a (espacio)	4,0 cm	a (espacio)	0,3 cm
e (barrote)	1,2 cm	e (barrote)	0,6 cm
Nº espacios	10	Nº espacios	56
Nº barrotes	9	Nº barrotes	55

Tabla 4: Características de los elementos de desbaste del canal principal.

-Canal de by-pass: utilizado en caso de avería del canal principal. Consta de una reja de gruesos de limpieza manual y de una reja de finos también de limpieza manual (Imagen 3). Tanto a la entrada como a la salida hay situadas sendas compuertas murales automáticas. Las características de las rejas aparecen en la Tabla 5.

Reja de gruesos		Reja de finos	
a (espacio)	6,0 cm	a (espacio)	1,5 cm
e (barrote)	1,5 cm	e (barrote)	1,0 cm
Nº espacios	7	Nº espacios	20
Nº barrotes	6	Nº barrotes	19

Tabla 5: Características de los elementos de desbaste del canal secundario.

Tomando como referencia el caudal medio y punta que llega a la EDAR y contando con una colmatación media de las rejas del 30%, se calcula la velocidad media de paso del agua y la pérdida de carga (Δh) producida en éste elemento. El ángulo que forman las rejas con el eje horizontal es de 60° y se toma como valor β el típico para unas rejas de forma cuadrada, que es de 2,4.

Δh canal principal		Δh canal secundario	
V_{MED}	0,16 m/s	V_{MED}	0,29 m/s
V_{PTA}	0,33 m/s	V_{PTA}	0,59 m/s
β	2,4	β	2,4
θ	60 °	θ	60 °
$\Delta h(Q_{MED})$	0,012 m	$\Delta h(Q_{MED})$	0,018 m
$\Delta h(Q_{PTA})$	0,049 m	$\Delta h(Q_{PTA})$	0,073 m

Tabla 6: Velocidad de paso y pérdida de carga producida por los elementos de desbaste.



Imagen 3: Canal principal de desbaste (izquierda) y canal de by-pass (derecha).

La velocidad media mínima recomendada es de 0.6 m/s, muy superior a los resultados obtenidos y reflejados en la Tabla 6. Esto da lugar a una sedimentación de sólidos en el canal de desbaste que deben ser retirados de forma manual por el operario de planta para evitar futuros problemas. Por otro lado, las pérdidas de carga que produce este elemento en agua residual se recomienda que se encuentren entre los 0. 1 y 0.4 m. Debido al menor valor de velocidad y al ancho del canal, este valor también se encuentra por debajo del recomendado.

El motor del tamiz está averiado y no cumple con su función autolimpiable, por lo que actualmente el agua residual está entrando a la depuradora a través del canal de by-pass, menos eficiente a la hora de separar los elementos gruesos.

6.2.- Desarenador-Desengrasador.

A continuación, se encuentra el desarenador-desengrasador (Imagen 4), dotado con un puente móvil para extracción de arenas y grasas y dos aireadores sumergibles. En este elemento se produce la sedimentación de forma discreta de partículas como arenas o gravas, separándose de la materia orgánica que se queda en suspensión debido a las inyecciones de aire que también facilitan la flotación de grasas y aceites. Esta separación alarga la vida útil de la EDAR ya que evita que la arena entre a los elementos mecánicos posteriores y se acumule en las conducciones.



Imagen 4: Vista del desarenador-desengrasador.

Las dimensiones del desarenador se muestran en la Tabla 7.

Dimensiones	
$S_{\text{DESARENADOR}}$	11,3 m ²
L	7,5 m
$W_{\text{DESARENADOR}}$	1,5 m
H	2,0 m
$V_{\text{DESARENADOR}}$	22,5 m ³
$W_{\text{DESENGRASADOR}}$	1,0 m
W_{TOTAL}	2,5 m
S_{TOTAL}	18,8 m ²

Tabla 7: Dimensiones reales del desarenador-desengrasador.

Se puede observar que la relación longitud-ancho es 3:1, típica en el diseño de desarenadores aireados. La relación profundidad ancho se encuentra entre los valores típicos 1:1 y 2:1, siendo de 1,25:1. Con estos valores se calcula el tiempo de retención hidráulico (θ) a caudal medio y caudal punta, así como las necesidades de aireación del elemento a partir de los valores típicos de aire a inyectar por longitud (0.3 Nm³/min*m) y por volumen de tanque (1 Nm³/h*m³).

Tiempo Retención Hidráulico		Necesidades de aireación	
θ_{MED}	30,7 min	Q_{LONGITUD}	135,0 Nm ³ /h
θ_{PTA}	15,4 min	Q_{VOLUMEN}	22,5 Nm ³ /h
		$Q_{\text{AIRE REAL}}$	135,0 Nm ³ /h

Tabla 8: Tiempo de retención hidráulico y necesidades de aireación del desarenador-desengrasador.

Como se puede observar en la Tabla 8, el tiempo de retención hidráulico en el desarenador aireado es el típico para estos elementos, que corresponde a un θ_{PTA} de 15 min.

El desarenador lleva instalados dos aireadores sumergibles que aportan un caudal de aire de 60 Nm³/h cada uno, es decir, en total inyectan 120 Nm³/h. Este valor es menor que las necesidades del elemento, que ascienden a 135 Nm³/h, pudiendo producirse sedimentación de materia orgánica.

Para extraer las arenas sedimentadas en el fondo del desarenador, el puente móvil lleva asociada una bomba vertical de 20 m³/h de caudal máximo y altura manométrica de 3 mca que vierte a un clasificador de arenas (Imagen 5). Este las separa y lava para depositarlas en un contenedor.

Por su parte, las grasas son arrastradas con una rasqueta superficial que se mueve con el puente desarenador hasta un extremo desde el que pasan a un concentrador de grasas (Imagen 5) para su evacuación.

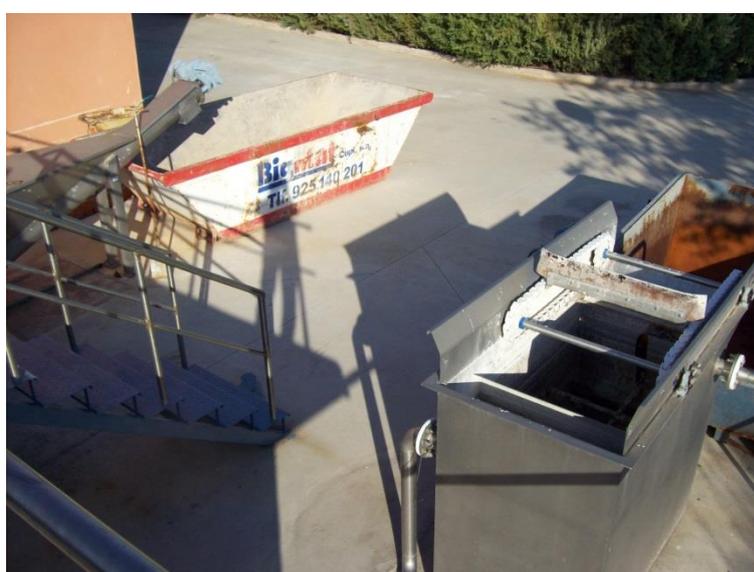


Imagen 5: Clasificador de arenas (izquierda) y concentrador de grasas (derecha).

La producción diaria estimada de arenas y grasas según los valores típicos de un ARU y el caudal de entrada a la EDAR aparecen reflejados en la Tabla 9.

Arena sedimentada		Grasas recogidas	
Arena en ARU	0,015 l _{ARENA} /m ³	Grasas en ARU	25 ml _{GRASAS} /m ³
Q _{ARENA}	15,8 l _{ARENA} /d	Q _{GRASAS}	26,4 l _{GRASAS} /d

Tabla 9: Producción diaria estimada de arenas y grasas.

Aunque el diseño de este elemento es apropiado existen deficiencias en su funcionamiento derivadas de un mantenimiento deficiente de la planta:

- La bomba extractora de arenas no funciona. Esta situación ocurre desde hace más de un año, por lo que todas las arenas sedimentadas se encuentran en el fondo del desarenador disminuyendo su volumen y, por tanto, el tiempo de retención hidráulico del mismo. Esto deriva en una mala sedimentación de las arenas entrantes, que pasan a los siguientes elementos y pueden llegar a causar averías en los aparatos mecánicos u obstrucciones en las conducciones de la EDAR.

- Uno de los aireadores sumergidos no funciona. Esto provoca que junto a las arenas también sedimente materia orgánica que no debería, llegando a causar malos olores por su putrefacción.
- El puente desarenador no efectúa el recorrido completo. En parte se debe a la acumulación de arenas en el fondo que han obstruido el carril que sigue. Al no poder llegar al final del recorrido las grasas no son llevadas al extremo del canal y no se extraen, pasando a los elementos siguientes.
- El clasificador de arenas y el concentrador de grasas están apagados. Al no poder recibir los residuos por las deficiencias descritas se decidió apagar las máquinas. Al permanecer tanto tiempo sin funcionar es probable que al volver a arrancar no funcionen correctamente.

6.3.- Balsa de Homogeneización.

Con el objetivo de laminar las puntas de caudal y homogeneizar las características del agua de entrada para así mejorar la eficiencia de la EDAR, se ha instalado una balsa de homogeneización (Imagen 6) en serie. La balsa tiene una arqueta de entrada con aliviadero de emergencia y un aireador sumergible que realiza las funciones de aireación y agitación para evitar la sedimentación y la degradación anaerobia de la materia orgánica entrante.

Las dimensiones de la balsa aparecen en la Tabla 10.

Dimensiones	
L	9,6 m
W	8,6 m
H	4,0 m
V	330,2 m ³

Tabla 10: Dimensiones de la balsa de homogeneización.

Actualmente el agitador de la balsa no funciona (Imagen 6), provocando que los sólidos que lleva el agua residual sedimenten en la balsa y degradándose materia orgánica de forma anaerobia con los malos olores que este proceso conlleva. Como ya se ha comentado en el apartado anterior, los fallos en el funcionamiento del desarenador dan lugar a una mala sedimentación de las arenas que terminan decantando en esta balsa.

Hasta este momento, el agua residual ha pasado de un elemento al siguiente por gravedad, sin necesidad de ningún bombeo. El primero se encuentra a continuación, constituido por dos bombas sumergibles que se denominan bombas de reparto. Estas se encuentran instaladas en un pozo de hormigón de dimensiones en planta de 1,60 x 2,80 m y 4 m de altura útil y se encargan de enviar un caudal uniforme al tratamiento físico-químico posterior. Las características de las bombas aparecen reflejadas en la Tabla 11.



Imagen 6: Balsa de homogeneización. Se observa el agitador parado y suciedad flotando en el agua.

Bombas de reparto	
Marca y modelo	ABS AFP 1041.2-M30/4 (50 Hz)
Tensión nominal	400 V
Intensidad nominal	7 A
Potencia absorbida	4 kW
Potencia en eje	3 kW
V_{GIRO}	1450 min^{-1}
Q_{MAX}	145 m^3/h
H_{MAX}	12 m
$\cos \varphi$	0,81
\varnothing impulsor	220 mm
\varnothing descarga	100 mm

Tabla 11: Características técnicas de las bombas de reparto.

6.4.- Tratamiento Físico-Químico.

El tratamiento primario instalado en la EDAR comienza con un proceso físico-químico de coagulación-floculación para la eliminación de partículas coloidales en suspensión, la precipitación química de fósforo o la eliminación de metales pesados que puedan llegar a la EDAR procedentes de las industrias del municipio. La decantación de los flóculos formados se realiza en un decantador primario, aunque ambos elementos se encuentran en desuso y el agua residual pasa directamente al tratamiento biológico por un by-pass.

Las balsas de coagulación y floculación (Imagen 7) van equipadas con un agitador de mezcla rápida y uno de mezcla lenta, respectivamente. En la primera se añade un producto químico que actúa como coagulante, es decir, desestabiliza las partículas coloidales presentes en el agua residual para permitir la formación de agregados o flóculos por colisión y adherencia entre las partículas coaguladas con ayuda de un floculante.



Imagen 7: Tratamiento físico químico por coagulación (fondo) y floculación.

Las dimensiones y características de las balsas de coagulación y floculación se muestran en la Tabla 12.

Coagulación		Floculación	
L	1,2 m	L	3,0 m
W	1,2 m	W	3,0 m
H	1,6 m	H	2,0 m
V	2,3 m ³	V	18,0 m ³
θ_{MED} (diseño)	1 min	θ_{MED} (diseño)	15 min
θ_{MED} (real)	3,1 min	θ_{MED} (real)	24,6 min

Tabla 12: Dimensiones y tiempo de retención hidráulico del proceso de coagulación-floculación.

El dimensionamiento de los tanques se hizo en función de un tiempo de retención hidráulico fijado para el caudal de diseño, siendo de 1 minuto para la coagulación y de 15 para la floculación. La disminución del caudal real con respecto al de diseño hace que los tiempos de residencia sean mayores, siendo de 3 minutos en el tanque de mezcla rápida y de 24 minutos y medio en el de mezcla lenta.

Los productos químicos para los que está preparado su uso en este proceso son los siguientes:

- Coagulante: Cloruro férrico ($FeCl_3$). Posee un alto poder de formación de flóculos, usándose para la eliminación de fosfatos, la reducción de sólidos en suspensión o la precipitación de metales pesados. El equipo de dosificación de cloruro férrico está constituido por 1 depósito de almacenamiento de polietileno de 1.000 l de capacidad y 2 bombas dosificadoras de membrana mecánica (Imagen 8).



Imagen 8: Tanque de almacenamiento del cloruro férrico y bombas de dosificación (derecha).

- Floculante: polielectrolito catiónico. Es un compuesto químico de elevado peso molecular que facilita la adhesión de las partículas para que se formen flóculos de elevado tamaño. También se utiliza en la deshidratación de fangos. La EDAR cuenta con un equipo de preparación y dosificación de polielectrolito (Imagen 9) para la floculación y la deshidratación de los fangos, que está constituido por un equipo automático para la preparación en continuo de polielectrolito y 4 bombas dosificadoras de pistón, 2 llevan el compuesto al tratamiento físico-químico y 2 a la deshidratación. Las características técnicas del equipo de preparación del polielectrolito se muestran en la Tabla 13.

Equipo Polielectrolito	
Marca y modelo	TFB-Flygt POLISOL PLF 1700-Q
Producción máx	1700 l/h
Concentración	0,8 - 3,2 ‰
∅ Tornillo	26 mm
V _{GIRO}	6 - 32 min-1
P _{MIN}	1,5 bar
Tensión	400 V
Potencia	0,54 kW

Tabla 13: Características técnicas del equipo de preparación del polielectrolito



Imagen 9: Equipo de preparación del polielectrolito y bombas dosificadoras (fondo).

- Corrector de pH: Sosa ($\text{Na}(\text{OH})$). Al utilizar el Cloruro férrico como coagulante se produce una bajada en el pH del agua que hay que vigilar y, si fuera necesario, contrarrestar. El equipo de dosificación de sosa está constituido por 1 depósito de almacenamiento de polietileno de 1.000 l de capacidad y 2 bombas dosificadoras de membrana mecánica.

Las características de las bombas dosificadoras de los reactivos aparecen en la Tabla 14.

Bombas de dosificación				
Elemento	FeCl_3	NaOH	Poli (F-Q)	Poli (fango)
Marca	TFB-FLYGT	OBL	OBL	OBL
Modelo	MB 16 PP	MB 50	RBA 25	RBB 62
$V_{\text{GIRO}} (\text{min}^{-1})$	50	155	50	95
$Q_{\text{MAX}} (\text{l/h})$	16	50	20	250

Tabla 14: Características técnicas de las bombas dosificadoras.

Actualmente, sólo se encuentra en funcionamiento la preparación y dosificación de polielectrolito para acondicionar el fango para su deshidratación. Los tanques de FeCl_3 y NaOH se encuentran vacíos y las bombas no han funcionado más allá de los primeros meses después de la construcción de la EDAR, pudiendo tener problemas de funcionamiento o incluso estar completamente averiadas.

6.5.- Decantador Primario.

La sedimentación de las partículas floculadas en el elemento anterior se lleva a cabo en un decantador primario (Imagen 10) ejecutado en hormigón armado. El puente giratorio está dotado de una rasqueta superficial para la recogida de flotantes y su depósito en la tolva de recogida perimetral y de una rasqueta de fondo para el arrastre de los fangos sedimentados a la poceta central. Las dimensiones y características del decantador aparecen reflejados en la Tabla 15.

Dimensiones		Parámetros	
∅	8,5 m	CS _{MED}	0,8 m ³ /m ² h
H	3,5 m	CS _{P_{TA}}	1,5 m ³ /m ² h
S	56,7 m ²	CSV _{MED}	1,6 m ³ /mh
V	198,6 m ³	CSV _{P_{TA}}	3,3 m ³ /mh
Pte	10,0 %	θ _{MED}	4,5 h
		θ _{P_{TA}}	2,3 h

Tabla 15: Dimensiones y parámetros teóricos de funcionamiento del decantador primario.

Parámetros recomendados	
CS _{MED} ≤	1,3 m ³ /m ² h
CS _{P_{TA}} ≤	2,5 m ³ /m ² h
CSV _{MED} ≤	10,0 m ³ /mh
CSV _{P_{TA}} ≤	40,0 m ³ /mh
θ _{MED}	2 - 3 h
θ _{P_{TA}} ≥	1,0 h
H	2,5 - 4,1 m

Tabla 16: Parámetros de funcionamiento recomendados para una decantación primaria eficaz.



Imagen 10: Decantador primario. Se observa el agua acumulada en su interior.

Como se puede observar en la Tabla 15 y la Tabla 16, las dimensiones del decantador primario le permiten cumplir con creces con los parámetros mínimos recomendados de carga superficial (Cs), carga sobre vertedero (C_{sv}) y tiempo de retención hidráulico en condiciones de caudal punta. Se recomienda que el tiempo de retención hidráulico a caudal medio se encuentre entre 2 y 3 horas porque a partir de la tercera hora el porcentaje de sólidos suspendidos eliminados apenas varía, siendo posible un buen rendimiento de decantación con unas dimensiones menores. A su vez, el calado del decantador se encuentra dentro del rango recomendado. Aun así, estos parámetros no se pueden tomar al pie de la letra porque no tienen en cuenta la existencia de un tratamiento físico químico previo a la decantación, por lo que el aumento del tiempo de retención hidráulico medio con respecto a lo recomendado no supondría una un error.

Los sólidos decantados van a parar a un pozo de hormigón armado donde se encuentra la bomba de purga de fangos primarios en exceso, que se encuentra en desuso y de la que no se tienen datos.

Como se ha comentado en el apartado anterior, actualmente se encuentra en desuso. A causa de las lluvias se ha acumulado agua en su interior pudiendo afectar negativamente a la bomba de fangos en exceso y llegando a producir malos olores propios del agua estanca.

6.6.- Balsas Anaerobias.

Se trata de un sistema de tres balsas construidas en hormigón armado que funcionan como selectores metabólicos. Tienen la función de desfavorecer el crecimiento de las bacterias filamentosas utilizando tres cámaras contiguas: la primera sería anóxica y las otras dos anaerobias, condiciones en las que dichas bacterias no pueden desarrollar su metabolismo ya que la mayoría son aerobias. Además, en las balsas anaerobias se puede favorecer el crecimiento de las bacterias PAO encargadas de eliminar el fósforo presente en el agua residual, pero no se han diseñado con el objetivo de eliminar este compuesto ya que el volumen es insuficiente para que las bacterias puedan crecer de forma significativa.

A la primera cámara se la denomina “predesnitrificación” (Imagen 11). Los fangos extraídos del fondo del decantador secundario se recirculan a ella, donde se eliminan los nitratos que no hayan sido desnitrificados en la zona anóxica del canal de oxidación. El fango activo que pasa a la siguiente cámara se encuentra en condiciones anaerobias.

La segunda de las balsas se denomina “bio-P” (Imagen 11), y en ella vierte el agua residual procedente del tratamiento primario junto con el fango en condiciones anaerobias que pasa de la balsa “predesnitrificación”. Ambas entradas tienen una concentración de oxígeno muy baja, lo que provoca que esta cámara se encuentre en condiciones anaerobias.



Imagen 11: Balsas anaerobias “predesnitrificación” (fondo) y “bio-P” (frente).

Por último, se encuentra la balsa denominada “selector” (Imagen 12), que también se encuentra en condiciones anaerobias y sirve de extensión de la cámara “bio-P”. Como se ha

comentado antes, su función principal es la de actuar como selectores metabólicos y evitar así la proliferación de bacterias filamentosas, principales responsables de que se produzca el efecto conocido como *bulking* que impide que los flóculos de fango interactúen entre ellos y sedimenten de forma correcta.



Imagen 12: Balsa anaerobia "selector" y zona de vertido dirección al canal de oxidación.

Las medidas y parámetros de las balsas se muestran en la Tabla 17.

Predesnitrificación		Bio-P		Selector	
L	1,0 m	L	6,0 m	L	3,0 m
W	3,0 m	W	3,0 m	W	3,0 m
H	4,0 m	H	4,0 m	H	4,0 m
V	12,0 m ³	V	72,0 m ³	V	36,0 m ³
θ_{MED}	16,4 min	θ_{MED}	98,3 min	θ_{MED}	49,2 min
θ_{PTA}	8,2 min	θ_{PTA}	49,2 min	θ_{PTA}	24,6 min

Tabla 17: Medidas y parámetros teóricos de funcionamiento de las tres balsas anaerobias.

Para lograr una mezcla completa del fango, las cámaras "bio-P" y "selector" están equipadas con un agitador que se sumerge hasta la mitad del calado total, es decir, 2 m. De esta forma el fango permanece totalmente mezclado y se evita la introducción de oxígeno a causa de turbulencias en la superficie de contacto con la atmósfera.

Actualmente, el agitador de la balsa "selector" se encuentra fuera de servicio, por lo que el fango no está completamente mezclado y hay flóculos que tienden a sedimentar.

6.7.- Canal de Oxidación.

La segunda parte del tratamiento biológico de la EDAR es un canal de oxidación (Imagen 13) construido en hormigón armado de tal manera que forma un elemento compacto con el decantador secundario, concéntrico a él. La circulación del agua en el canal se consigue mediante dos aceleradores de corriente, instalados sobre pedestal prefabricado sobre el cual se sitúan dos puentes para acceder al decantador.



Imagen 13: Canal de oxidación. Se observan la salida al decantador y las conducciones de aire.

Las dimensiones y parámetros del canal de oxidación se muestran en la Tabla 18.

Dimensiones	
W_{CANAL}	5,2 m
H	4,25 m
V	1305,3 m ³
θ_{MED}	29,7 h
θ_{PTA}	14,9 h

Tabla 18: Dimensiones y parámetros teóricos de funcionamiento del canal de oxidación.

La aireación se lleva a cabo por medio de 12 parrillas de difusores tubulares de neopreno (Imagen 14), instaladas sobre la solera del canal. Estas parrillas cuentan con un sistema de extracción para su revisión y posible reparación en caso de detectarse deficiencias en el funcionamiento de los mismos. El canal tiene conectado un oxímetro para conocer la concentración de oxígeno existente en el mismo. Además, la aireación se ha proyectado para permitir el proceso de desnitrificación calculando que dejará un 25% del canal en anoxia frente al 75% restante que se encontrará en condiciones aerobias.

De esta manera y teniendo en cuenta el volumen total de tratamiento biológico se obtienen los parámetros representados en la Tabla 19.



Imagen 14: Parrilla de difusores tubulares extraída.

Parámetros tratamiento biológico	
V_{AEROBIO}	979,0 m ³
$V_{\text{ANÓXICO}}$	326,3 m ³
$V_{\text{ANAEROBIO}}$	120,0 m ³
V_{TOTAL}	1425,3 m ³
SST_{REACTOR}	6,2 g/l
SSV_{REACTOR}	4,8 g/l
V_{30}	900 ml/l
IVF	145 ml/g
C_m	0,053 kgDBO ₅ /kgSST*d
SST_{PURGA}	10,0 g/l
Q_{PURGA}	35,0 m ³ /d
$Q\Delta X$	350,0 kg/d
θ_c	24,2 d

Tabla 19: Volúmenes y parámetros teóricos de funcionamiento del tratamiento biológico completo.

El índice volumétrico del fango (IVF) es una forma de medir la sedimentabilidad del mismo y da información sobre el volumen (en ml) que ocupa 1 gramo de fango seco después de sedimentar 30 minutos en una probeta de 1 litro. Se calcula a partir de la V_{30} , el volumen ocupado por el fango del reactor tras en 30 min de sedimentación, y la concentración de sólidos en el reactor. El valor obtenido de 145 ml/g es bastante elevado para un proceso de oxidación total, dando lugar a una mala sedimentación del fango en el decantador que puede provocar su escape por el efluente e impedir así el cumplimiento de los límites de vertido.

La carga másica (C_m) resultante es menor de 0,7 kgDBO₅/kgSST*d, por lo que se puede afirmar que el tratamiento biológico funciona en oxidación total, proceso caracterizado por la obtención de unos fangos estabilizados sin necesidad de realizar una digestión posterior. No se tienen datos del porcentaje de sólidos suspendidos volátiles y/o sólidos suspendidos volátiles biodegradables del fango, pero actualmente un gestor autorizado los recoge y analiza emitiendo informes favorables.

El valor de $Q\Delta X$ se ha calculado a partir de la concentración de sólidos en el fondo del decantador y del caudal de purga. Como no se realizan mediciones de la concentración del fango decantado y teniendo en cuenta que la concentración de sólidos en el reactor supera los

6 g/l se considera un valor de 10,0 g/l. Por otro lado, el caudal de purga se ha hallado a partir del funcionamiento de las bombas de fangos en exceso, cuyas características se muestran en la Tabla 20.

Bombas fangos en exceso		
Marca y modelo	ABS	SULZER AS 0530.142-S26/2 (50 Hz)
Tensión nominal	400 V	
Intensidad nominal	5,6 A	
Potencia absorbida	3,4 kW	
Potencia en eje	2,6 kW	
V_{GIRO}	2900 min^{-1}	
Q_{MAX}	35 m^3/h	
H_{MAX}	21 m	
$\cos \varphi$	0,88	
\varnothing impulsor	142 mm	
\varnothing descarga	50 mm	

Tabla 20: Características técnicas de las bombas de fangos en exceso.

Teniendo en cuenta que se hace funcionar una única bomba de las dos disponibles durante 1 hora al día, el caudal que se bombea es de $35 m^3/d$.

La recirculación del fango a la balsa “predesnitrificación” se realiza por medio de una de las dos bombas de recirculación, las cuales se alternan diariamente. Sus características técnicas se muestran en la Tabla 21.

Bombas de recirculación		
Marca y modelo	ABS	SULZER XFP 100C- CB1.3-PE22/4-C-50EX
Tensión nominal	400 V	
Intensidad nominal	4,6 A	
Potencia absorbida	2,5 kW	
Potencia en eje	2,2 kW	
V_{GIRO}	1438 min^{-1}	
Q_{MAX}	125 m^3/h	
H_{MAX}	11 m	
$\cos \varphi$	0.797	
\varnothing impulsor	185 mm	
\varnothing descarga	100 mm	

Tabla 21: Características técnicas de las bombas de recirculación de fangos.

La recirculación de fangos se enciende durante 22,5 horas al día, llegándose a recircular un total de $2812,5 m^3/día$ de fango, lo que corresponde a una fracción de recirculación igual a 2,7. Para una oxidación total este valor suele encontrarse entre 0.75 y 1,5.

Las necesidades de aireación calculadas en el diseño de la EDAR se establecen en $976,11 Nm^3/h$ en condiciones medias y en $1432,27 Nm^3/h$ en condiciones punta. Para el aporte de

este caudal de aire al canal de oxidación se han instalado 3 soplantes de émbolos rotativos. Sus características técnicas aparecen en la Tabla 22.

Soplantes		
Marca y Modelo	MAPNER SEM 11.7 TRC.GCA	
P _{ASPIRACIÓN}	1,013	Bar
P _{IMPULSIÓN}	1,713	Bar
ΔP	0,7	Bar
V _{GIRO}	2707	min ⁻¹
Q	845	m ³ /h
Potencia Motor	30	kW

Tabla 22: Características técnicas de las soplantes.

Actualmente, de las tres soplantes (Imagen 15) instaladas hay una que no funciona, y de las dos restantes sólo una de ellas tiene instalado un temporizador marcha-paro. Ésta es la soplante que se utiliza en la aireación del canal de oxidación, quedando la otra como reserva en caso de avería. De esta forma, el caudal de aire suministrado es inferior al necesario (845 m³/h frente a 976,11 m³/h) dando lugar a una degradación de materia orgánica y nitrificación menores a las establecidas. Además, el uso de una única soplante provoca un deterioro mayor de la misma debido al sobrecalentamiento de la máquina, lo cual se agrava con la ya mencionada inexistencia de un sistema de ventilación del edificio de soplantes, que llega a alcanzar temperaturas más elevadas a las recomendadas por los fabricantes.



Imagen 15: Vista de las tres soplantes en el interior de las cajas metálicas protectoras.

En el caso de que la eliminación biológica de fósforo prevista no fuera suficiente para obtener una concentración en el efluente menor a 2 mg/l (siempre y cuando la zona se llegase a catalogar como sensible), se ha instalado un mecanismo de eliminación del mismo mediante la adición de cloruro férrico en el canal de oxidación, donde se produce la coagulación-floculación del mismo.

También se ha dispuesto de un by-pass de todo o parte del caudal afluente al canal de oxidación en la arqueta de entrada al mismo mediante la apertura de sendas compuertas murales a usar en caso de avería grave del canal o sus equipos.

Una de las principales deficiencias que presenta la planta durante los meses de toma de datos es la elevada cantidad de difusores tubulares que se encuentran rotos y/o desconectados de las tuberías que llevan el aire suministrado por las soplantes, perdiéndose casi todo el oxígeno inyectado debido a una difusión ineficaz. Esto se observa en las turbulencias que hay en la superficie del agua del reactor en las zonas donde hay difusores en mal estado, que pasan a producir burbujas gruesas en vez de burbujas finas. Si se une este problema a la limitación del caudal de aire a suministrar por la única soplante operativa se obtiene que la cantidad de oxígeno recibido por el tratamiento biológico es muy inferior a la necesaria, lo que provoca una deficiente degradación de materia orgánica y una nitrificación casi nula. Esto se refleja en los análisis de DQO, DBO₅ y nitrógeno (más concretamente NH₄⁺) realizados a la salida de la EDAR, que dan como resultado el incumplimiento de la legislación vigente.

6.8.- Decantador Secundario.

La separación del fango y el agua depurada se lleva a cabo en un decantador secundario realizado en hormigón armado y situado de forma concéntrica al canal de oxidación (Imagen 16). Posee un puente giratorio dotado de una rasqueta superficial para la recogida de flotantes y su depósito en la tolva de recogida perimetral y una rasqueta de fondo para el arrastre de los fangos a la poceta central. Las medidas y características del decantador están en la Tabla 23.



Imagen 16: Decantador secundario.

Dimensiones		Parámetros	
∅	13,0 m	C _{S_{MED}}	0,3 m ³ /m ² h
H	3,5 m	C _{S_{PTA}}	0,7 m ³ /m ² h
S	132,7 m ²	C _{SOL_{MED}}	2,1 kg/m ² h
V	464,6 m ³	C _{SOL_{PTA}}	4,1 kg/m ² h
Pte	10,0 %	C _{SV_{MED}}	1,1 m ³ /mh
		C _{SV_{PTA}}	2,2 m ³ /mh
		θ _{MED}	10,6 h
		θ _{PTA}	5,3 h

Tabla 23: Dimensiones y parámetros teóricos de funcionamiento del decantador secundario.

Parámetros recomendados	
C _{S_{MED}} ≤	0,5 m ³ /m ² h
C _{S_{PTA}} ≤	0,9 m ³ /m ² h
C _{SOL_{MED}} ≤	1,8 kg/m ² h
C _{SOL_{PTA}} ≤	3,2 kg/m ² h
C _{SV_{MED}} ≤	12 m ³ /mh
C _{SV_{PTA}} ≤	20 m ³ /mh
θ _{MED} ≥	3 h
θ _{PTA} ≥	1 h
H	3,0 - 4,5 m

Tabla 24: Parámetros de funcionamiento recomendados para una decantación secundaria eficaz.

Como se puede observar en la Tabla 23 y la Tabla 24, el diseño del decantador es el correcto para poder cumplir con todos los parámetros recomendados excepto la carga de sólidos. Esto es originado por la elevada concentración de sólidos suspendidos a la que se opera el tratamiento biológico, necesiéndose un decantador con una superficie de 171 m² y 14,8 m de diámetro como mínimo. El principal efecto de este problema es una sedimentación deficiente del fango, escapando por el efluente concentraciones significativas de sólidos suspendidos (. Otro problema derivado del diseño es el elevado tiempo de retención hidráulico, que puede ocasionar que se produzca el proceso de desnitrificación, produciendo burbujas de N₂ gas que se quedan adosadas a los flóculos generando flotación de los fangos. Este problema no se llegó al observar debido en parte a la deficiente nitrificación que genera NO₃⁻ usados en la desnitrificación.



Imagen 17: Detalle del vertedero del decantador secundario. Se observa la elevada turbidez del efluente.

Los fangos recogidos en la poceta central van a parar a un pozo de hormigón armado en el que se sitúan las dos bombas de recirculación de fangos y las dos bombas de purga de fangos en exceso mencionadas anteriormente. Por otro lado, los flotantes recogidos pasan a una arqueta común para el decantador primario, secundario y espesador, denominada arqueta de flotantes, desde donde son bombeados a cabecera de planta por medio de dos bombas sumergibles de las que no se tienen datos. Esta arqueta se sitúa a una cota muy cercana a la cota de la tolva de recogida de flotantes del decantador secundario, por lo que en el momento que la arqueta supera el 25% de su capacidad total, aproximadamente, se ha de encender dicho bombeo para evitar el rebose de flotantes por la tolva (Imagen 18) y su entrada al decantador secundario.



Imagen 18: Flotantes rebosando por la tolva de recogida.

6.9.- Espesador de Fangos.

Los fangos decantados en el tratamiento primario y secundario se mezclan y son trasegados al espesado mediante las bombas de purga anteriormente descritas. El espesador de fangos (Imagen 19) se ha ejecutado en hormigón armado y está dotado con una pasarela sobre su cubierta, campana central y rasquetas de fondo en espina de pez para el arrastre de los fangos a la poceta central y favorecer el ascenso de posibles burbujas de aire a la superficie. Sus características aparecen en la Tabla 25.



Imagen 19: Espesador de fangos enterrado y con cubierta.

Dimensiones		Parámetros	
∅	6,0 m	Cs	0,05 m ³ /m ² h
H	2,5 m	Csol	0,39 kg/m ² h
S	28,3 m ²	θ	48,5 h
V	70,7 m ³	SS _{PURGA}	30,5 g/l
Pte	20,0 %	Q _{PURGA}	27,0 m ³ /d

Tabla 25: Dimensiones y parámetros teóricos de funcionamiento del espesador de fangos.

Parámetros recomendados	
Cs ≤	0,45 m ³ /m ² h
Csol ≤	35 kg/m ² h
θ	12 - 24 h
H	2,5 - 4,0 m
SS _{PURGA}	25 - 35 g/l

Tabla 26: Parámetros de funcionamiento recomendados para un espesado de fangos eficaz.

Al haber sido diseñado para espesar una mezcla de fangos primarios y secundarios, el espesador cumple con creces los parámetros de carga de fangos entrante recomendados para el diseño, tal y como se puede observar en la Tabla 25 y la Tabla 26. No así lo hace con el tiempo de retención hidráulico, que supera las 24 horas máximas recomendadas y que puede

provocar la aparición de procesos de digestión anaerobia de fangos en el interior del espesador. Esto se debe a que el caudal de entrada y salida al mismo es mucho menor de lo previsto a causa del desuso del tratamiento primario, eliminando el caudal que correspondería con la purga del decantador primario y provocando el aumento del tiempo de retención hidráulico.

El sobrenadante producido durante el espesado no se recircula a cabecera de planta, si no que se vierte al medio junto con el efluente. Esto se debe a una mala conexión de las tuberías, ya que existe la infraestructura para dirigir el sobrenadante producido a la balsa de homogeneización.

Los fangos espesados son trasegados a la deshidratación mediante dos bombas helicoidales de tornillo ubicadas en el edificio de entrada de agua bruta y deshidratación. Las características técnicas de las bombas se muestran en la Tabla 27.

Bombas fangos espesados	
Marca y modelo	NETZSCH NM045BY01P05B
Q_{MIN}	3 m ³ /h
Q_{MAX}	18 m ³ /h
$V_{GIRO MIN}$	53 min ⁻¹
$V_{GIRO MAX}$	319 min ⁻¹
P	2 bar

Tabla 27: Características técnicas de las bombas de fangos espesados.

La deshidratación de fangos se enciende durante 45 minutos al día funcionando a través de ambas bombas de fangos espesados obteniéndose un caudal de purga de 27 m³/d. Los 8 m³ de fango restante que entran al espesador salen mediante rebose y van a parar a la arqueta de flotantes anteriormente mencionada, de manera que se mantiene en equilibrio el balance de caudal que entra y sale del espesador. El bombeo de fangos espesados se enciende de forma previa al bombeo de fangos en exceso.

6.10.- Centrífuga de Deshidratación.

La deshidratación de los fangos espesados se realiza de forma mecánica mediante una máquina centrífuga decantadora (Imagen 20). Para facilitar este proceso, se añade un polielectrolito catiónico preparado en el equipo antes mencionado y dosificado mediante 2 bombas dosificadoras de pistón a la entrada de la deshidratación. Las características técnicas de la máquina centrífuga aparecen en la Tabla 28.



Imagen 20: Máquina centrífuga para la deshidratación del fango espesado.

Centrífuga	
Marca y modelo	ALFA LAVAL, ALDEC 30
Temp funcionamiento	0 – 100 ° C
ρ_{MAX} fango deshidratado	1,2 kg/dm ³
Vel _{MAX} giro	4400 rpm
Vel funcionamiento	4400 rpm
Vel diferencial máxima	39 rpm
Longitud rotor	1260 mm
Ø rotor	280 mm
Ángulo cónico	20 °
Motor principal	8.5 kW ABB 400VD Y/D-VFD (160) flange

Tabla 28: Características técnicas de la máquina centrífuga de deshidratación de fangos.

La velocidad diferencial se refiere a la diferencia entre la velocidad de giro del tambor cilíndrico exterior y el tornillo helicoidal del interior. Este parámetro se cambia manualmente en función de la fase de operación que se esté realizando, variando entre 6 rpm en la deshidratación y 12 rpm en el lavado de la máquina. A las condiciones de trabajo establecidas, la sequedad del fango deshidratado es del 18%.

Producción fango seco	
SS _{FANGO HÚMEDO}	30,5 g/l
Q _{FANGO HÚMEDO}	27,0 m ³ /d
Fango Húmedo	823,5 kg/d
Sequedad	18 %
Fango seco	148,2 kg/d

Tabla 29: Producción diaria de fango seco a gestionar por la EDAR.

En la Tabla 29 se muestra el caudal másico de fango húmedo que entra al día a la máquina centrífuga y la cantidad de fango seco que sale de ella, apreciándose una elevada disminución. El sobrenadante de la deshidratación es vertido a una arqueta situada debajo de la máquina

centrífuga y, al igual que ocurre con el sobrenadante del espesado, se vierte al medio debido a una mala conexión de las tuberías que deberían conducirlo a la balsa de homogeneización.

Una vez deshidratado, el fango se transporta mediante un tornillo sin fin a un contenedor con una capacidad de 30 m³. Al haberse realizado un proceso de oxidación total y tras ser analizado por un gestor de fangos autorizado se comprueba que no contiene contaminantes tales como metales pesados y que el fango obtenido es biológicamente estable pudiendo ser usado para la agricultura.



Imagen 21: Fango deshidratado.

7.- Caracterización del agua de entrada y salida de la EDAR.

Los datos utilizados en la caracterización del agua de entrada a la EDAR corresponden a los tomados durante el año 2013, tanto aquellas muestras analizadas en el laboratorio de la EDAR (rombos azules en los gráficos) como las realizadas por un laboratorio externo acreditado (círculos rojos).

Los resultados obtenidos aparecen representados en los siguientes gráficos y tabla:

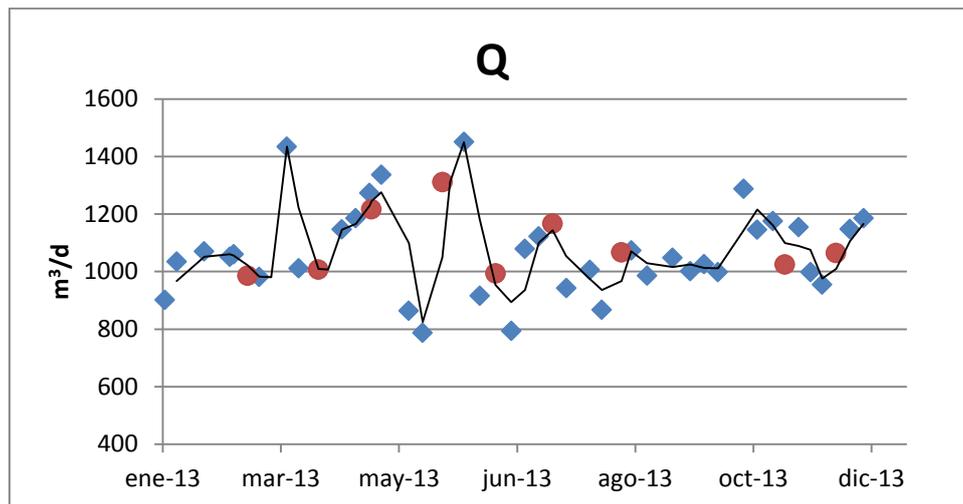


Gráfico 1: Caudal medio de agua residual que entra a la EDAR.

El Gráfico 1 muestra el caudal medio entrante en la EDAR los días que se tomaron muestras para analizar. El valor medio, como se puede observar en la Tabla 30, es de 1073,6 m³/d y alcanza el máximo en torno a los 1450 m³/d. Al igual que en el proyecto, se supone que el caudal punta que llega a la EDAR es dos veces el caudal medio.

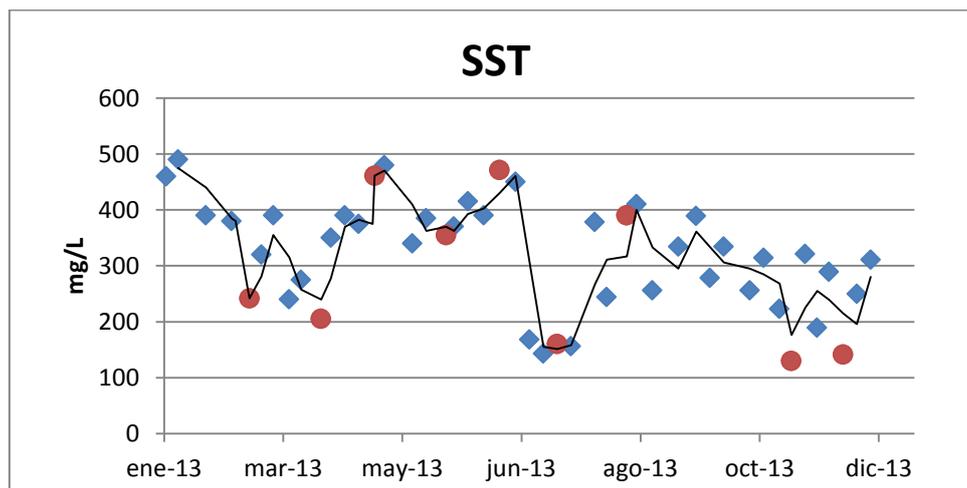


Gráfico 2: Concentración de sólidos suspendidos totales en el agua residual que entra a la EDAR.

El Gráfico 2 muestra la evolución de los sólidos suspendidos a lo largo del año. El valor medio de sólidos suspendidos, como muestra la Tabla 30, es de 319,3 mg/l y su máximo se encuentra en torno a los 500 mg/l.

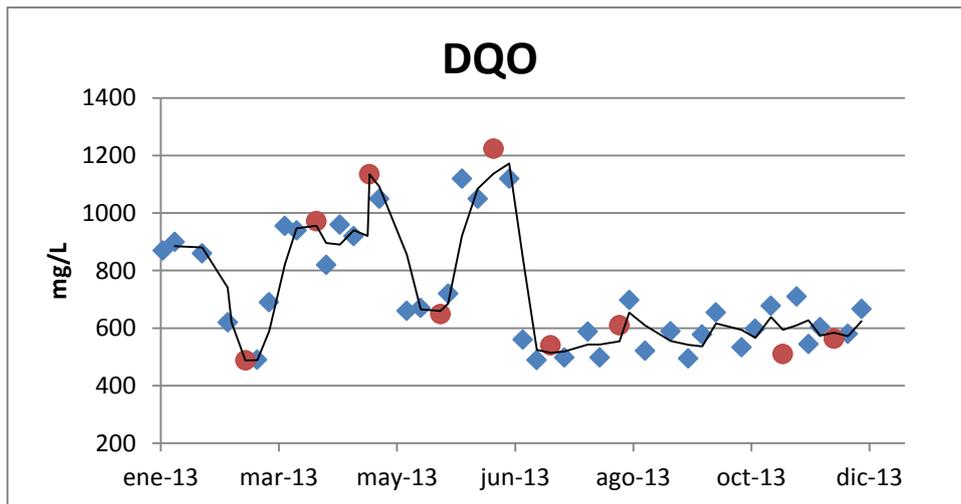


Gráfico 3: Concentración de DQO total en el agua residual que entra a la EDAR.

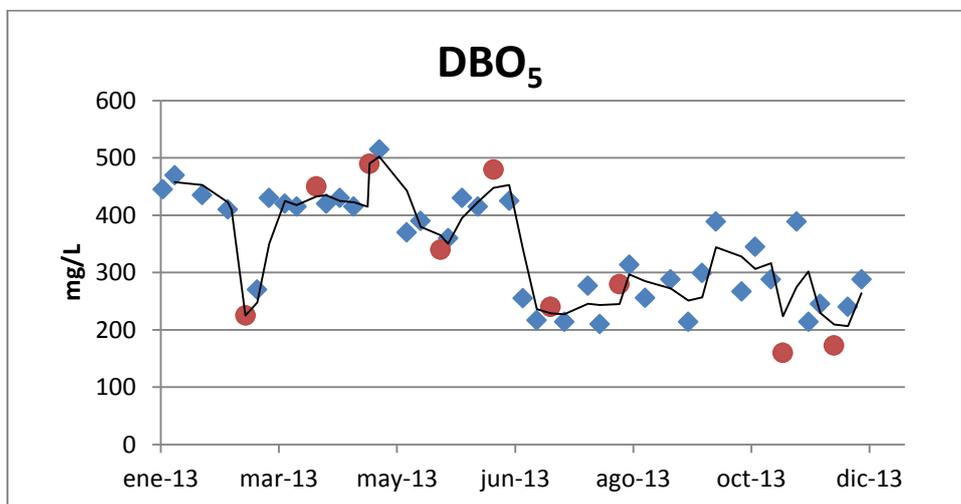


Gráfico 4: Concentración de DBO₅ total en el agua residual que entra a la EDAR.

El Gráfico 3 y el Gráfico 4 reflejan la variación anual de DQO y DBO₅, respectivamente. Como se puede observar, los picos de contaminación coinciden en ambos parámetros durante todo el año ya que los dos miden materia orgánica. El valor medio de DQO es de 721,5 mg/l, tal y como muestra la Tabla 30, y el máximo supera los 1200 mg/l. En el caso de la DBO₅, el valor medio es de 337,2 mg/l, con un máximo algo superior a 500 mg/l.

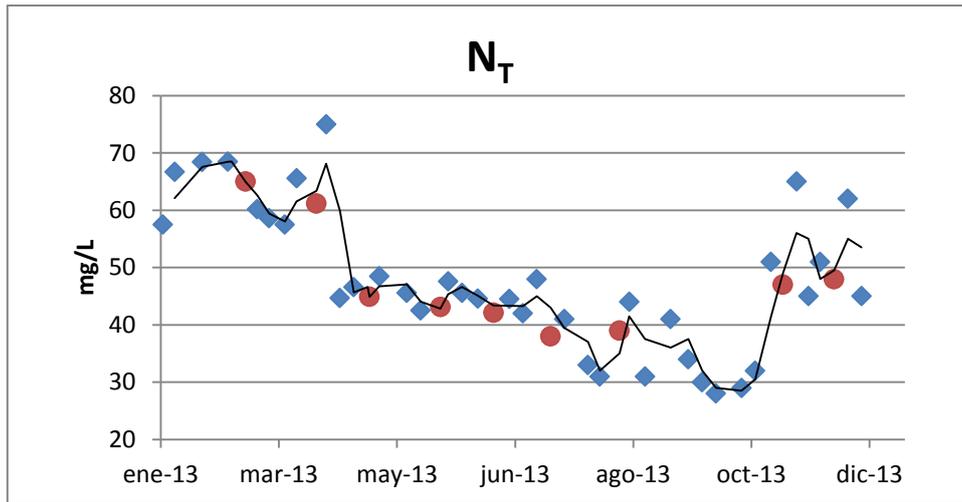


Gráfico 5: Concentración de nitrógeno total en el agua residual que entra a la EDAR.

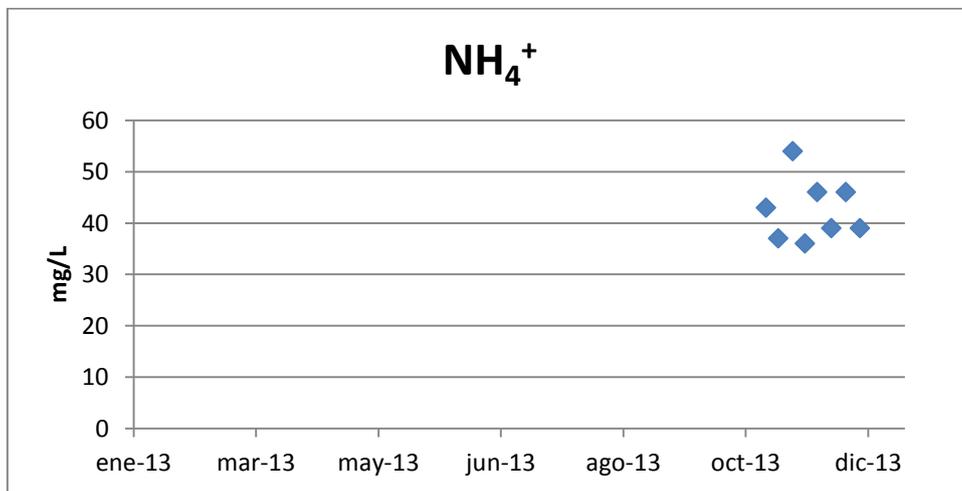


Gráfico 6: Concentración de amonio en el agua residual que entra a la EDAR.

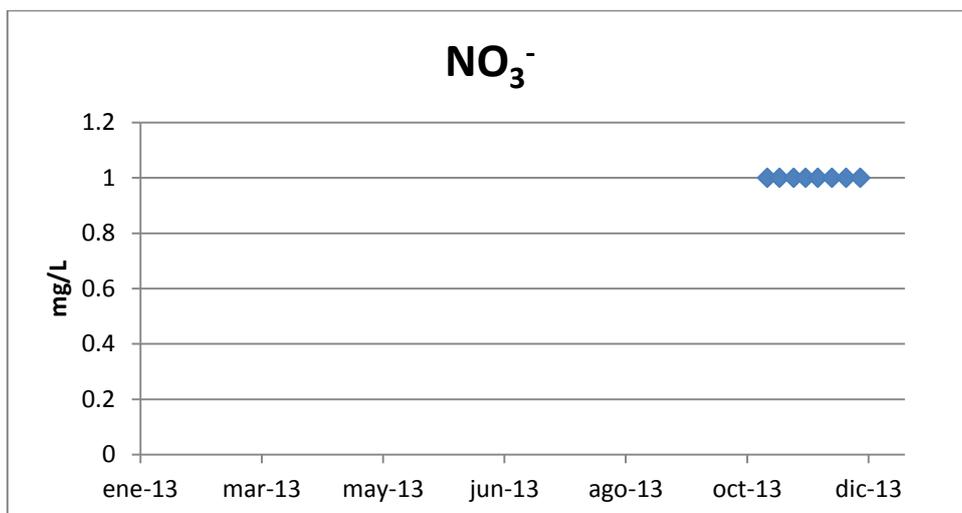


Gráfico 7: Concentración de nitratos en el agua residual que entra a la EDAR.

El Gráfico 5 muestra la evolución anual de la concentración de nitrógeno total. El valor medio anual mostrado en la Tabla 30 es de 47.8 mg/l, teniendo su máximo en torno a 75 mg/l. Por otra parte, en el Gráfico 6 y el Gráfico 7 aparecen los valores de amonio y nitrato desde el momento que se empezaron a medir en el laboratorio de la EDAR hasta fin de año. Se puede observar que la concentración de amonio y nitrógeno total son similares, ya que la mayor parte del nitrógeno en el agua residual se encuentra en esta forma. El valor medio de amonio durante este período es de 42.5 mg/l. Los nitratos siempre tienen un valor de 1 mg/l debido a que es el mínimo que el kit utilizado para su medición permitía detectar.

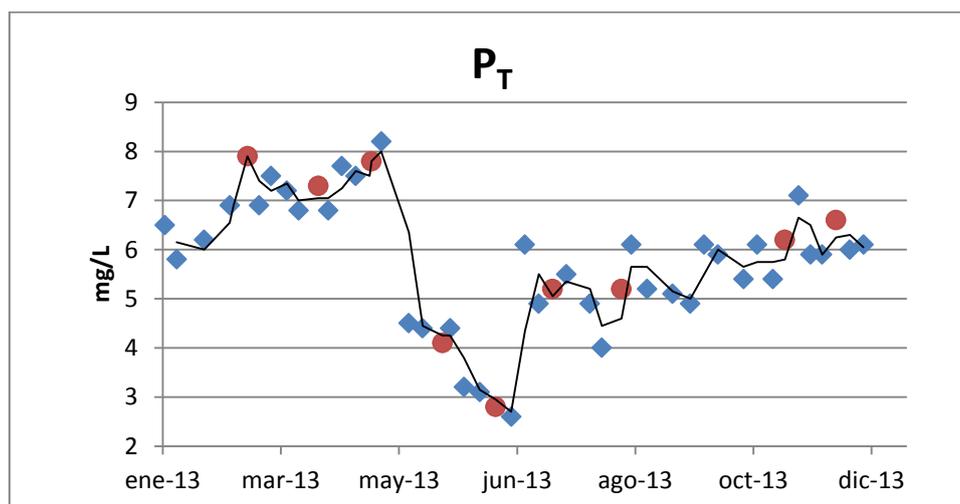


Gráfico 8: Concentración de fósforo total en el agua residual que entra a la EDAR.

El Gráfico 8 muestra la concentración de fósforo total a lo largo del 2013. El valor medio del contaminante, como se puede observar en la Tabla 30, es de 5,8 mg/l, ascendiendo a un valor de aproximadamente 8 mg/l en su máximo anual.

En todos los gráficos anteriores se observa una variación estacional de la carga contaminante del agua, siendo superior al comienzo del año (enero-abril) y teniendo una disminución durante la época estival. Este fenómeno provoca que la media anual pueda ser inferior a la requerida para poder establecer unas condiciones de operación de la planta que sean capaces de afrontar la carga contaminante que reciba la EDAR con seguridad. Por esta razón se decide realizar una media de los valores de contaminación durante la época más desfavorable que será utilizada para la simulación con el programa informático DESASS.

Los gráficos del 9 al 14 muestran la variación de caudal de los parámetros contaminantes entre el dato del 2 de enero y el 22 de abril, período más desfavorable y tomado como más representativo para la caracterización del agua residual de entrada.

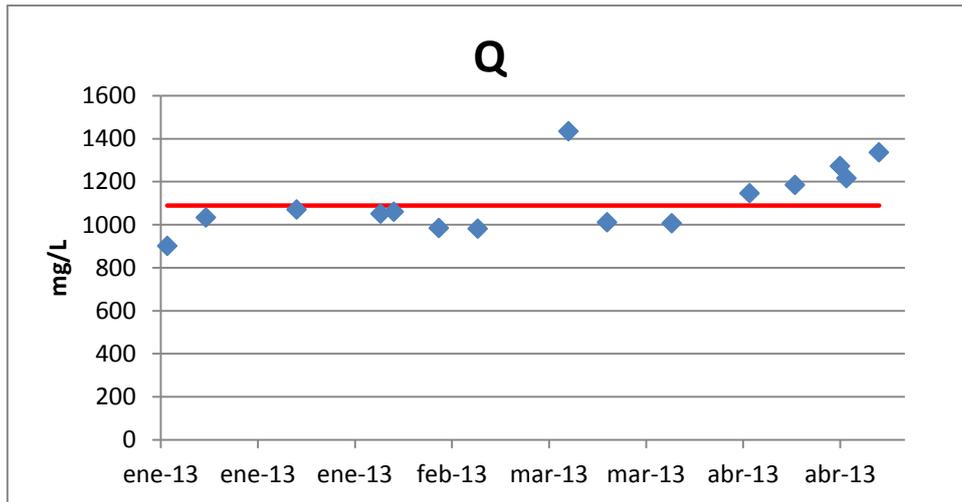


Gráfico 9: Caudal de agua residual que entra a la EDAR durante el período más desfavorable.

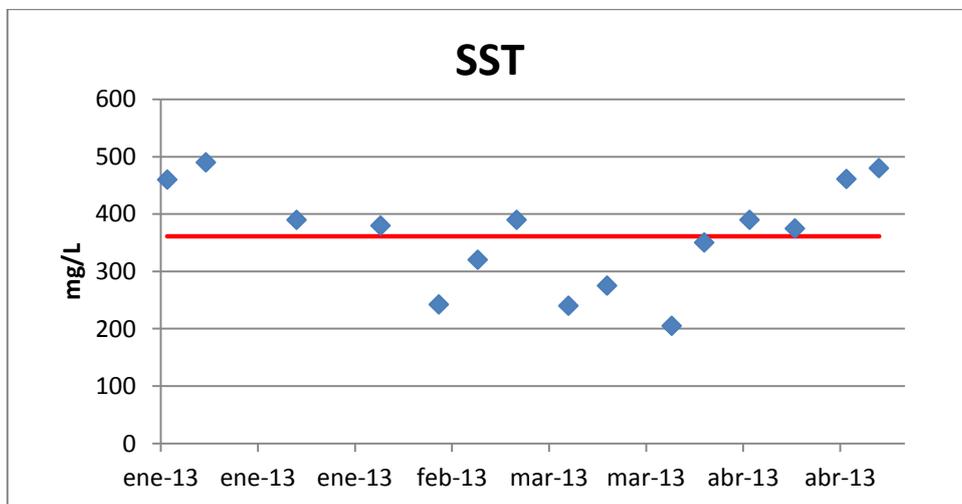


Gráfico 10: Concentración de sólidos suspendidos totales en el agua residual que entra a la EDAR durante el período más desfavorable.

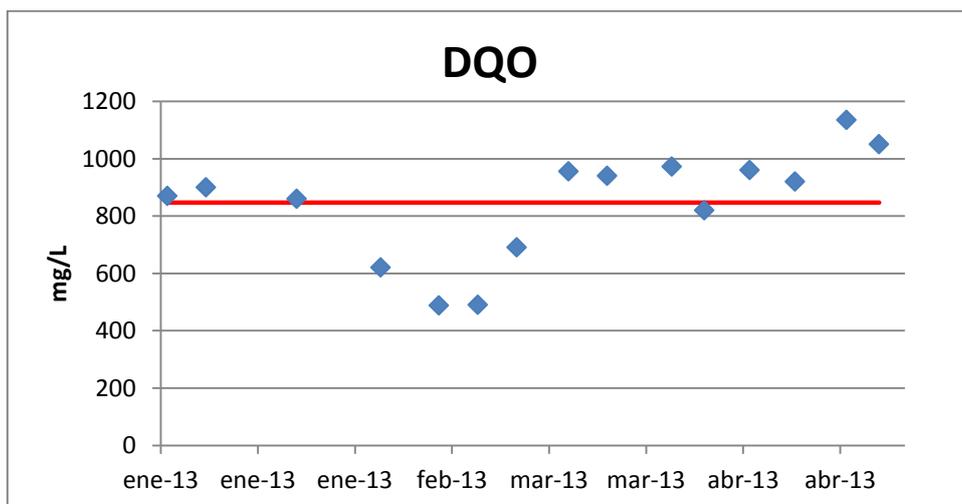


Gráfico 11: Concentración de DQO total en el agua residual que entra a la EDAR durante el período más desfavorable.

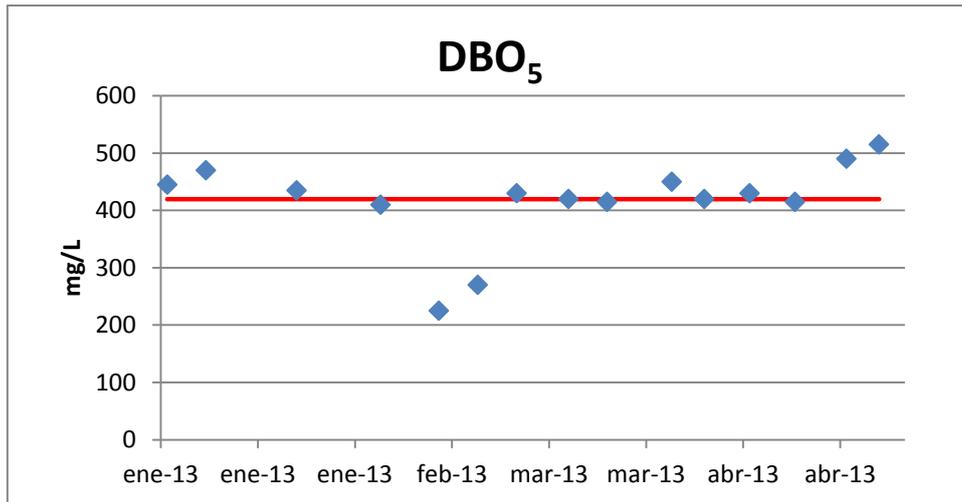


Gráfico 12: Concentración de DBO₅ total en el agua residual que entra a la EDAR durante el período más desfavorable.

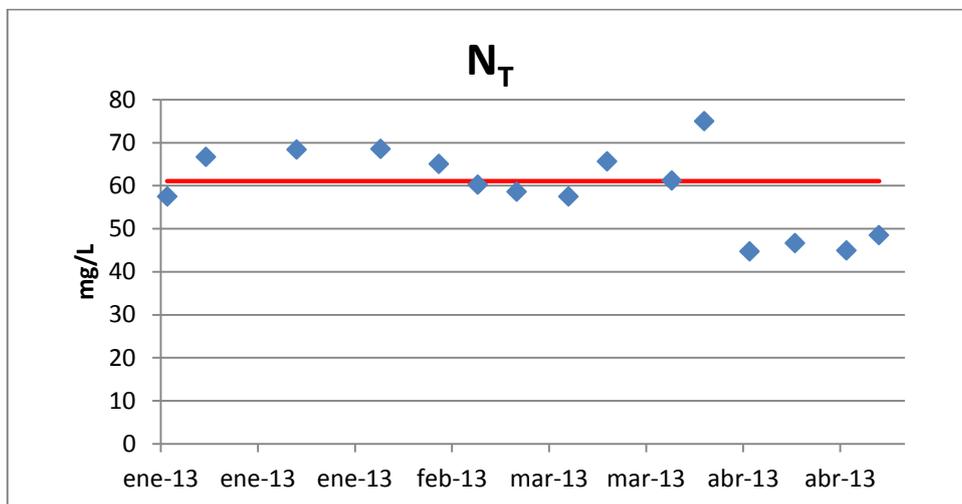


Gráfico 13: Concentración de nitrógeno total en el agua residual que entra a la EDAR durante el período más desfavorable.

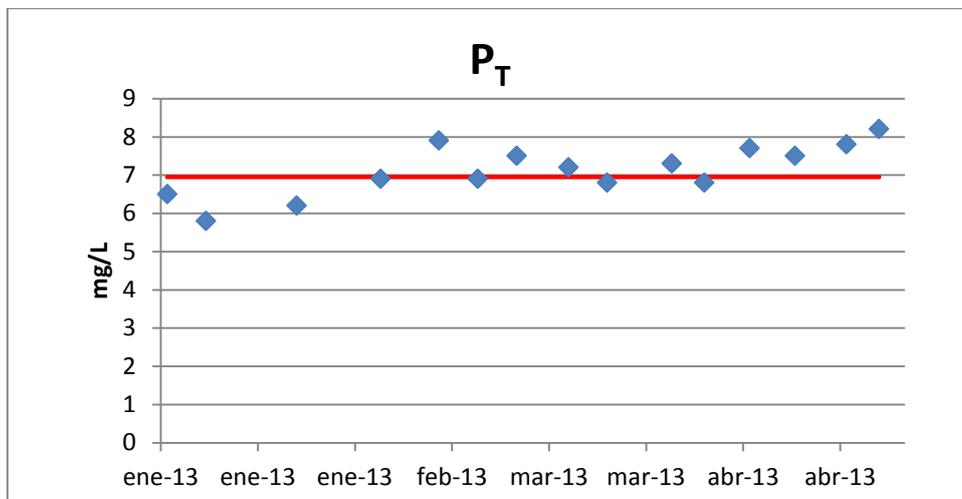


Gráfico 14: Concentración de fósforo total en el agua residual que entra a la EDAR durante el período más desfavorable.

La línea roja presente en todos los gráficos anteriores indica el valor medio de cada uno de ellos, siendo una media representativa en todos los casos y cuyo valor ha sido utilizado en la introducción de los datos en DESASS tal y como se muestra en la Tabla 30.

Para el cálculo de la DBO_{lim} y de la materia orgánica no biodegradable soluble y suspendida se han complementado los datos analíticos de la entrada a la EDAR con los del efluente, obteniendo así una aproximación más correcta de la materia orgánica inerte. El Gráfico 15 y el Gráfico 16 muestran las variaciones de la DQO y la DBO_5 a lo largo del período enero-abril de 2013, el escogido como representativo a la hora de caracterizar el agua. La línea roja representa el valor medio de cada parámetro, siendo de 128,7 mg/l para la DQO y de 50,5 mg/l para la DBO_5 .

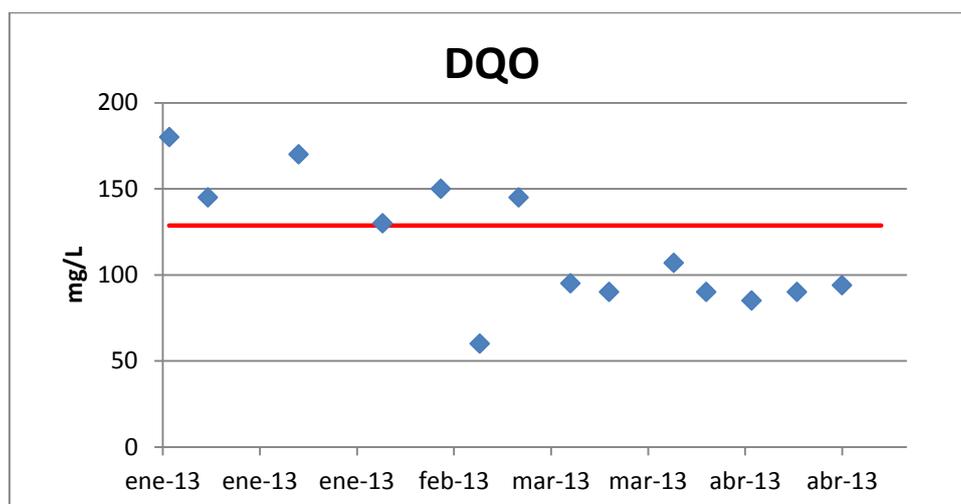


Gráfico 15: Concentración de DQO total en el agua residual que sale de la EDAR durante el período más desfavorable.

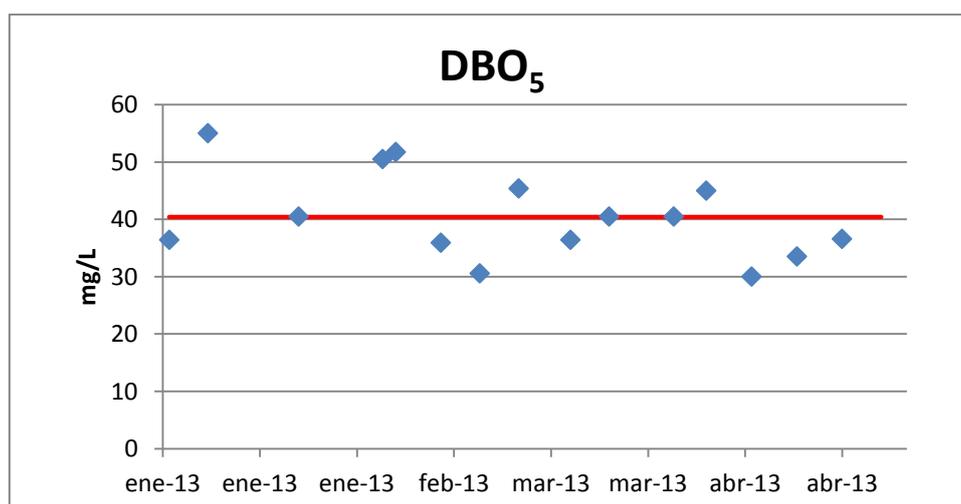


Gráfico 16: Concentración de DBO_5 total en el agua residual que sale de la EDAR durante el período más desfavorable.

Si se calcula la DBO_{lim} del efluente mediante la relación típica para aguas residuales urbanas de $DBO_5=0.68*DBO_{lim}$, se obtiene que ésta es igual a 74,3 mg/l. Es decir, la materia orgánica soluble no biodegradable que entra ha de ser menor, en el caso más desfavorable, a la diferencia entre DQO y DBO_{lim} que es de 54,4 mg/l.

A partir de misma relación $DBO_5=0.68*DBO_{lim}$, se obtiene el valor de la DBO_{lim} de la entrada a la EDAR, dando un total de 616,8 mg/l tal y como aparece en la Tabla 30.

Variando las relaciones entre la parte soluble y la suspendida de los parámetros de contaminación por materia orgánica (DQO y DBO) se consigue modificar la concentración de materia orgánica soluble no biodegradable hasta un valor de 48,5 mg/l, del mismo orden que el calculado en el efluente. Los coeficientes utilizados en estos parámetros así como en el nitrógeno, el fósforo y la relación sólidos suspendidos totales y volátiles se muestran en la Tabla 31.

La alcalinidad tomada para realizar la simulación es de 250 mgHCO₃/l, algo más elevada de lo habitual para aguas residuales con carga media. Esta decisión se ha tomado en base a que el agua potable de la localidad tiene una dureza mayor de lo normal que acaba llegando a la EDAR.

Parámetro	Valor diseño	Valor medio anual	Valor medio período desfavorable	Uds
Caudal	1300,0	1073,6	1088,6	m ³ /d
SST	600,0	319,3	361,0	mg/l
DQO	1000,0	721,5	846,5	mg/l
DBO ₅	500,0	337,2	419,4	mg/l
DBO _{lim}			616,8	mg/l
N _T	65,0	47,8	61,1	mg/l
P _T	25,0	5,8	7,0	mg/l
NH ₄ ⁺		42,5	42,5	mg/l
NO ₃ ⁻		1,0	1,0	mg/l
pH		7,1	6,9	
Alcalinidad			250	mgHCO ₃ /l

Tabla 30: Valores de diseño, medios anuales y medios durante el período más desfavorable tomados para la simulación en DESASS del caudal y calidad del agua entrante a la EDAR.

	DQO _{sol} /DQO	DBO _{5 sol} /DBO ₅	DBO _{lim sol} /DBO _{lim}	N _{sol} /N _T	P _{sol} /P _T	SSV /SST
Coefficiente	0.43	0.56	0.51	0.82	0.64	0.79

Tabla 31: Relaciones entre la parte soluble y la total de los contaminantes.

Por último, además de los valores de DQO y DBO₅ a la salida de la EDAR expuestos anteriormente, se hicieron mediciones en laboratorio de sólidos suspendidos totales, nitrógeno total y fósforo total durante la época más desfavorable, tal y como aparecen en el Gráfico 17, el Gráfico 18 y el Gráfico 19.

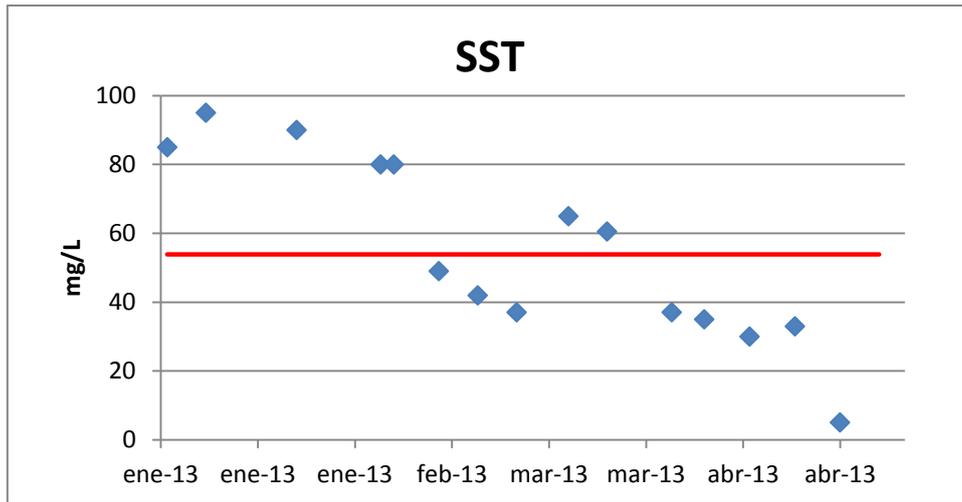


Gráfico 17: Concentración de SST total en el agua residual que sale de la EDAR durante el período más desfavorable.

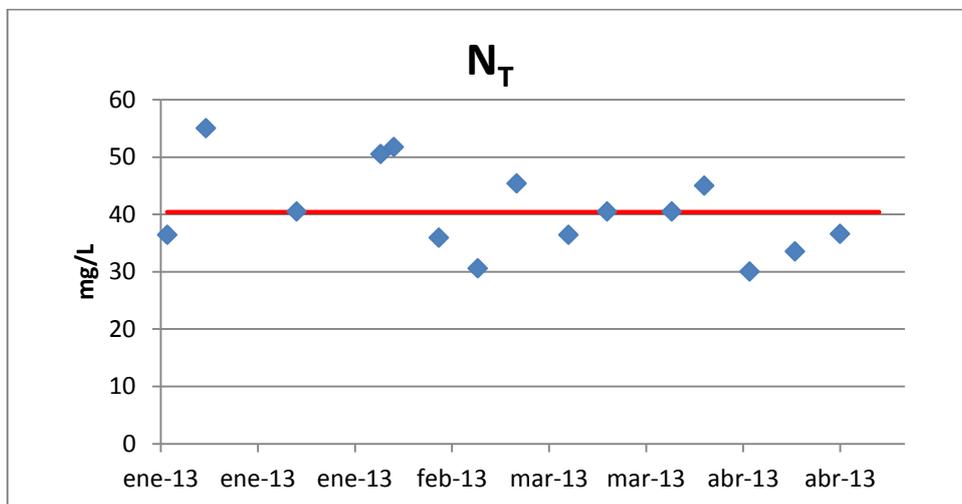


Gráfico 18: Concentración de N_T total en el agua residual que sale de la EDAR durante el período más desfavorable.

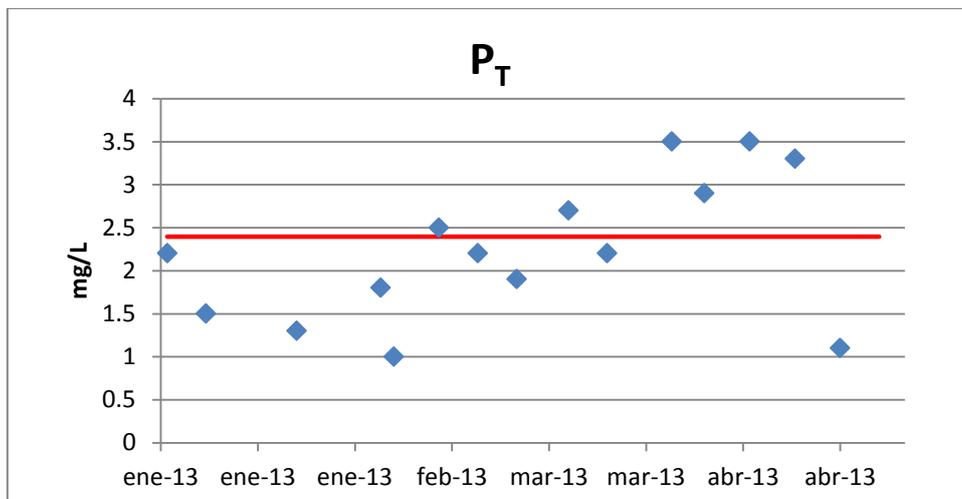


Gráfico 19: Concentración de P_T total en el agua residual que sale de la EDAR durante el período más desfavorable.

En ellos se puede destacar la prácticamente nula eliminación de nitrógeno en la EDAR respecto a la entrada, debido probablemente a las deficiencias existentes en el sistema de aireación del canal de oxidación. Además, el decantador secundario no cumple con el objetivo de separar sólidos y escapan por el efluente en concentraciones mayores a las reguladas en la legislación. En la Tabla 32 se muestra el valor medio para el periodo más desfavorable de cada uno de los parámetros de calidad medidos junto al valor límite regulado por normativa. En el caso del nitrógeno y del fósforo, este valor sólo es aplicable si el vertido se hace a zona sensible.

Parámetro	Valor medido	Valor límite	Uds
SST	53.9	35.0	mg/l
DQO	128.7	125.0	mg/l
DBO ₅	50.5	25.0	mg/l
N _T	40.4	15.0	mg/l
P _T	2.4	2.0	mg/l

Tabla 32: Valores de los contaminantes en el efluente medidos en laboratorio durante el periodo desfavorable y valor límite que estos han de tener según la normativa vigente.

Como se puede observar en la Tabla 32, todos los parámetros superan el límite de la normativa, incumpléndola. Es destacable el valor de DBO₅, que es el doble del permitido. Esto puede ser debido, principalmente, a una aireación deficiente que no permite a los microorganismos realizar la oxidación de la materia orgánica.

Tras adaptar la caracterización del agua a los parámetros manejados por DESASS queda tal y como se muestra en la Captura 1. En el caso de la realización de la simulación en verano se utilizan los mismos datos excepto el de temperatura, que pasa a ser de 20°C.

En la Captura 2 se muestran los coeficientes utilizados por DESASS para la caracterización del agua de entrada a partir de los datos analíticos. Existe una serie de restricciones que deben cumplirse y son las siguientes: $i_{NXS} \geq i_{NSF}$, $i_{PXS} \geq i_{PSF}$ e i_{TSSXi} ha de ser del mismo orden que i_{TSSXs} . Como se puede observar, todos estos criterios se cumplen.

	Caudal/Solubles			Suspendidos		N, P y DQO	
	Caudales (m3/d)			mgDQO/l	Xi bm	DQO	851.50
mgDQO/l	Medio	1088.60	mgDQO/l	Xio	180.30	DQO S	369.00
mgDQO/l	Punta	2177.20	mgDQO/l	Xs	302.20	DQO Sp	482.50
mgDQO/l	Pluvial	2177.20	mgDQO/l	Xh	0.00	Ptot	7.00
mgN/l	Sf	206.32	mgP/l	Xpao	0.00	Ptot S	4.50
mgN/l	Sa	108.28	mgDQO/l	Xpp	0.00	Ptot Sp	2.50
mgDQO/l	Spro	5.00	mgDQO/l	Xpha	0.00	Ntot	61.10
mgDQO/l	Si	49.40	mgDQO/l	Xamm	0.00	Ntot S	50.10
mgN/l	Snh4	42.50	mgDQO/l	Xamm-r	0.00	Ntot Sp	11.00
mgN/l	Sno3	1.00	mgDQO/l	Xnit	0.00	Stot	50.07
mgN/l	Sno2	0.00	mgDQO/l	Xaut	0.00	Stot S	50.03
mgN/l	Shno2	0.00	mgDQO/l	Xacid	0.00	Stot Sp	0.05
mgP/l	Spo4	3.80	mgDQO/l	Xpro	0.00	SSV	285.20
mgS/l	Sso4	50.00	mgDQO/l	Xmac	0.00	SSVB	178.63
mgDQO/l	Stoths	0.00	mgDQO/l	Xmh2	0.00	% SSV	79.0
mgDQO/l	Sch4	0.00	mg/l	Xmeoh	0.00	%SSVB	62.6
mgDQO/l	Sco2	1.38	mg/l	Xnep	0.00	pH	6.90
mgDQO/l	Sh2	0.00	mgDQO/l	Xsrb_h	0.00	Tot C	6.379
mgN/l	Sn2	16.24	mgDQO/l	Xsrb_a	0.00	Tot H	7.941
mgN/l	Snh3	0.00	mg/l	Xtss	361.00	VFA	113.28
mgS/l	Sh2s	0.00	mg/l	Xtnv	75.80	Alcalinidad	250.0
mgDQO/l	Ox. dis.	0.01	mg/l	Xnv	75.80		
	T (°C)	14.00		Xtss,NSed	108.30		
mgCaCO3/l	Salk	250.0		TRC (d)	0.00		

Captura 1: Caracterización del agua de entrada a la EDAR durante el invierno.

	Nitrógeno		Fosforo		Carbono	
Insi	0.01429	lpsi	0.00000	lcsi	0.03000	
Insf	0.02857	lpsf	0.00339	lcsf	0.02700	
Inxi	0.01402	lpxi	0.00319	lcxi	0.03000	
Inxibm	0.03000	lpxibm	0.01000	lcxs	0.02700	
Inxs	0.02904	lpxs	0.00637	lcbm	0.03100	
Inbm	0.07000	lpbm	0.02000			
	Azúfre		SST		Calcio	
Issi	0.00010	ltssxi	0.59109	lcasi	0.00000	
Issf	0.00010	ltssxibm	0.70000	lcaf	0.00000	
Isxi	0.00010	ltssxs	0.59109	lcaxi	0.00000	
Isxs	0.00010	ltssbm	0.70000	lcaxs	0.00000	
Isbm	0.00010			lcabm	0.00350	
	Potasio		Magnesio		Hierro	
lkxpp	0.35000	lmgxpp	0.28000	lfesi	0.00000	
lksi	0.00080	lmgxi	0.00150	lfesf	0.00000	
lkxf	0.00080	lmgxf	0.00150	lfexi	0.00000	
lkxi	0.00080	lmgxi	0.00150	lfexs	0.00000	
lkxs	0.00080	lmgxs	0.00150	lfexbm	0.00000	
lkbm	0.00080	lmgbm	0.00150			

Captura 2: Coeficientes utilizados para la caracterización del agua en DESASS.

8.- Simulación del estado actual de la EDAR.

En primer lugar se procede a introducir los datos de diseño y funcionamiento de la EDAR reales junto a la caracterización del agua realizada con el objetivo de obtener una calidad del efluente parecida a la real medida en el laboratorio. De esta manera se pueden observar las deficiencias en el funcionamiento de algunos elementos de la depuradora así como una incorrecta elección de parámetros de operación de la misma. Los elementos de la EDAR introducidos en DESASS para simular son los siguientes:

- **Balsas anaerobias:** se ha simulado a partir de un único reactor biológico de mezcla completa debido a su reducido volumen. DESASS tiene en cuenta que todo el tratamiento biológico (balsas y canal de oxidación) es un único volumen, por lo que a este elemento se le asigna un porcentaje con respecto al total que corresponde al 8,4%.

La recirculación de fangos desde el fondo del decantador se lleva a la balsa por lo que el tiempo de retención celular es el mismo en todo el tratamiento secundario.

- **Canal de oxidación:** se ha simulado a partir de doce reactores biológicos de mezcla completa con una recirculación interna desde el último hasta el primero y ajustada de tal forma que se logre obtener un caudal similar al que circula por el canal. La división del canal en doce partes se ha realizado para simular la existencia de flujo en pistón a lo largo del canal de oxidación. De estos doce reactores biológicos seis se encuentran en condiciones aerobias recibiendo aire de las soplantes y ocupan un 75% del volumen del canal. Los otros seis no están aireados y ocupan un 25% del volumen del canal. En la Tabla 33 aparecen los porcentajes de cada zona.

Relación $V_{\text{CANAL}}/V_{\text{TOTAL}}$		
Aerobio	68.8%	11.5% x 4 11.4% x 2
Anóxico	22.8%	3.8% x 6

Tabla 33: Relación en % del volumen de cada parte del canal de oxidación con respecto al volumen total del proceso biológico.

Para el cálculo de las necesidades de oxígeno se seleccionan difusores como método de aireación y la opción “diseño con calado fijo”, ajustándose ésta a 4,25 m. El valor de concentración de oxígeno se decide a partir del ajuste a los datos de salida y de las mediciones realizadas en la depuradora.

El cálculo de la fracción de recirculación interna se ha realizado a partir del área de la sección del canal de oxidación, de 22,1 m², y de la velocidad del agua, que es de 0,2 m/s según el diseño de la planta. El caudal circulante por el canal es de 381888 m³/d, es decir, unas 350 veces el caudal de entrada a la planta.

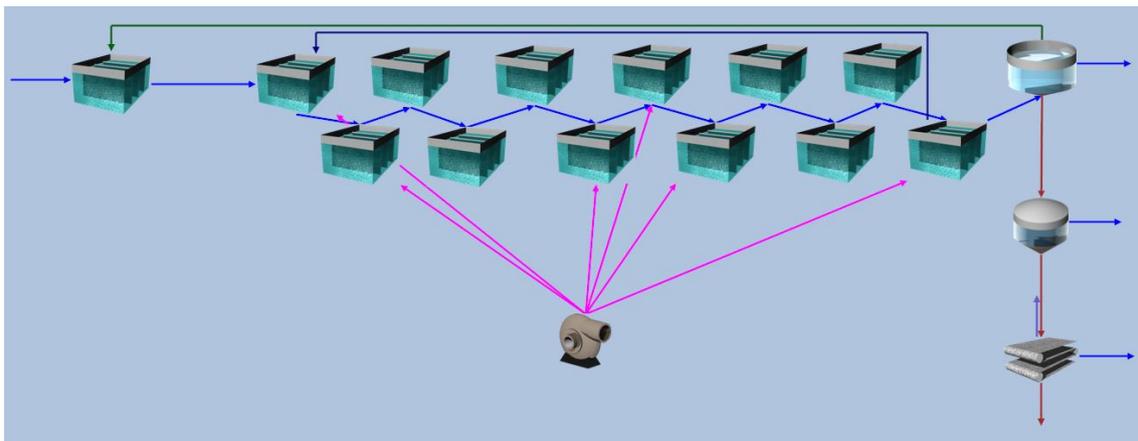
- **Decantador secundario:** Se ha simulado a partir de un decantador circular con las medidas reales. Los sólidos suspendidos totales a la salida se han fijado con el valor obtenido en laboratorio durante la época más desfavorable, 55 mg/L, y con la concentración de sólidos en el fondo del decantador se fija en 10000 mg/L. Esta concentración es superior a la típica, pero

se toma la decisión de colocarla ya que la concentración de sólidos en el reactor es superior a 6200 mg/L.

- **Espesador de fangos:** Se ha simulado a partir de un espesador de fangos circular con las medidas reales. En él se calcula el espesado de fangos a partir de un IVF bajo, de 20, ya que el modelo de sedimentación utilizado por DESASS no se ajusta correctamente a lo que ocurre en un espesador. El sobrenadante producido no se recircula a cabecera de planta ya que en la EDAR se vierte directamente a cauce.

- **Deshidratación mecánica de fangos:** Se ha simulado a partir de una máquina de deshidratación mecánica. Los parámetros utilizados son los que vienen por defecto en el programa DESASS.

El esquema de la depuradora utilizado para la simulación con DESASS del estado actual es el que aparece en la Captura 3. En él se puede observar las balsas anaerobias, unificadas en un único reactor, al comienzo del esquema y recibiendo la recirculación de fangos del decantador. A continuación se encuentra el canal de oxidación, con las zonas aerobias conectadas a la soplante y la recirculación interna entre el primer y el último reactor para simular el efecto de canal. El decantador vierte su efluente a cauce y los fangos decantados se trasiegan al espesador, desde donde pasan a la deshidratación mecánica. Ambos efluentes son vertidos a cauce sin llevar ningún control de calidad.



Captura 3: Esquema utilizado en DESASS para la simulación del estado actual de la EDAR.

Para ajustar los resultados de la calidad del efluente de la EDAR en la simulación a los reales medidos en laboratorio se han modificado parámetros tales como el tiempo de retención celular y la concentración de oxígeno disuelto en la zona aerobia.

El primero se apoyó en la concentración de sólidos en el reactor, que asciende a 6,2 g/L según las mediciones realizadas en laboratorio, y al hecho de que el fango a la salida de la deshidratación ha de estar estabilizado ya que se usa para la agricultura, es decir, %SSVB ha de ser menor al 35%. Por otro lado, la aireación se fijó teniendo en cuenta las roturas de los difusores, que disminuían la eficiencia de difusión de oxígeno al agua en debido al gran tamaño de las burbujas producidas, sabiendo que la nitrificación producida en el reactor era prácticamente nula y teniendo en cuenta que sólo hay una soplante en funcionamiento.

De esta forma, y fijando los sólidos a la salida del decantador en 55 mg/L y en la purga a 10 g/L como se ha comentado anteriormente, se obtienen las concentraciones del efluente de la EDAR mostradas en la Captura 4 cuando la concentración de oxígeno disuelto es de 0.2 mg/L y el tiempo de retención celular es de 28 días. La concentración de sólidos en el reactor asciende a 6.4 g/L y el %SSVB a la salida de la deshidratación mecánica es del 31%.

En definitiva, los valores obtenidos reflejan con bastante fidelidad las deficiencias actuales de la EDAR:

- Separación deficiente de los sólidos en el decantador. Esto provoca un aumento de la parte suspendida de los contaminantes en el efluente debido a un desbordamiento del fango, destacando la fracción suspendida de la DQO.
- Nitrificación prácticamente inexistente. Las bajas concentraciones de oxígeno en el reactor debidas a la mala difusión de las burbujas de aire en el agua provoca que no se llegue a nitrificar en amonio. Esto se observa en la elevada concentración de dicho contaminante en el agua, que contrasta con la ausencia de nitratos que han sido desnitrificados en condiciones anóxicas.
- Eliminación de fósforo insuficiente. El fósforo eliminado corresponde con la parte suspendida del mismo y aquel que se utiliza en el metabolismo de las bacterias heterótrofas, que acaba sedimentando con ellas. Las condiciones de funcionamiento no son las adecuadas para el crecimiento de las bacterias PAO ni se utiliza ningún método de precipitación química del fósforo.

	Caudal/Solubles			Suspendidos		N, P y DQO	
	Caudales (m3/d)						
	Medio	1061.84	mgDQO/l	Xi bm	12.39	DQO	115.05
	Punta	2150.44	mgDQO/l	Xio	33.11	DQO S	50.93
	Pluvial	2150.44	mgDQO/l	Xs	1.76	DQO Sp	64.11
			mgDQO/l	Xh	16.85	Ptot	4.43
mgDQO/l	Sf	1.18	mgP/l	Xpao	0.00	Ptot S	3.86
mgDQO/l	Sa	0.28	mgDQO/l	Xpp	0.00	Ptot Sp	0.58
mgDQO/l	Spro	0.07	mgDQO/l	Xpha	0.00	Ntot	50.74
mgDQO/l	Si	49.40	mgDQO/l	Xamm	0.00	Ntot S	48.68
mgN/l	Snh4	47.94	mgDQO/l	Xamm-r	0.00	Ntot Sp	2.06
mgN/l	Sno3	0.00	mgDQO/l	Xnit	0.00	Stot	50.04
mgN/l	Sno2	0.00	mgDQO/l	Xaut	0.00	Stot S	50.04
mgN/l	Shno2	0.00	mgDQO/l	Xacid	0.00	Stot Sp	0.01
mgP/l	Spo4	3.85	mgDQO/l	Xpro	0.00	SSV	41.08
mgS/l	Sso4	50.03	mgDQO/l	Xmac	0.00	SSVB	12.83
mgDQO/l	Stohts	0.00	mgDQO/l	Xmh2	0.00	%SSV	74.7
mgDQO/l	Sch4	0.00	mg/l	Xmeoh	0.00	%SSVB	31.2
mgDQO/l	Sco2	0.35	mg/l	Xnep	0.00	pH	7.65
mgDQO/l	Sh2	0.00	mgDQO/l	Xsrb_h	0.00	Tot C	7.413
mgN/l	Sn2	16.27	mgDQO/l	Xsrb_a	0.00	Tot H	7.821
mgN/l	Snh3	0.48	mg/l	Xtss	55.00	VFA	0.35
mgS/l	Sh2s	0.00	mg/l	Xtrv	13.92	Alcalinidad	343.6
mgDQO/l	Ox. dis.	0.01	mg/l	Xnv	13.92		
	T (°C)	14.00	mg/l	Xtss_NSed	19.19		
mgCaCO3/l	Salk	343.6		TRC (d)	27.98		

Captura 4: Parámetros de calidad del efluente simulados en el estado actual de la EDAR.

Las necesidades de aireación para mantener una concentración de oxígeno de 0,2 mg/L es de 565,2 Nm³/h. La soplante instalada y en funcionamiento es capaz de impulsar un caudal de aire de 845 Nm³/h, por lo que la diferencia entre ambas corresponde a las pérdidas de aire producidas que ascienden a un total de 279,8 Nm³/h. Es decir, el 33,1% del aire suministrado por la soplante se pierde a la atmósfera, un gasto energético que no se aprovecha.

9.- Soluciones propuestas.

Para paliar todos los problemas expuestos en los apartados anteriores se simulan una serie de alternativas distintas de tal forma que sean capaces de cumplir con la normativa vigente de vertidos, adaptada a la situación de vertido a zona sensible para poblaciones con menos de 100.000 habitantes equivalentes. Los criterios que han de cumplir las alternativas para considerarse válidas son los siguientes:

- La concentración de contaminantes a la salida del decantador secundario debe ser menor que los valores que aparecen en la Tabla 34:

Parámetro	Valor	Unidad
DQO ≤	125	mg/L
DBO ≤	25	mg/L
NT ≤	10	mg/L
PT ≤	2	mg/L
SST ≤	30	mg/L

Tabla 34: Valores de contaminantes tomados como límite para aceptar como válida una alternativa.

- El porcentaje de sólidos suspendidos volátiles biodegradables (%SSVB) debe ser menor del 35% a la salida de la deshidratación mecánica, lo cual indica que el fango está estabilizado y se puede usar en agricultura.
- Se pueden utilizar los elementos de la EDAR que están en desuso así como cambiar el objetivo para el que fueron diseñados. Con ello se pretende evitar los costes que supondría la construcción de nuevos elementos en la depuradora.
- No se deben de cambiar las dimensiones de los elementos ya construidos en la EDAR.

De esta manera, se proponen cuatro alternativas de las cuales se valorará cuál de ellas es la más eficaz teniendo en cuenta el cambio de la temperatura del agua entre invierno (14°) y verano (20°C). Dicha variación se simulará en dos ficheros de DESASS distintos debido a limitaciones en el equipo informático utilizado.

A parte de estas simulaciones se han propuesto una serie de acciones comunes a todas ellas para mejorar el funcionamiento y la apariencia de la EDAR. Dichas actuaciones se detallan a continuación:

- Reparación del motor del tamiz autolimpiable en el canal principal de desbaste. Si no fuera posible su reparación, se deberá cambiar por uno nuevo.
- Limpieza del canal principal de desbaste y los elementos que lo componen. Puesta a punto del mismo para su utilización.
- Extracción de las arenas sedimentadas en el fondo del desarenador y limpieza del mismo, sobre todo de los carriles por los que ha de moverse el puente. Revisar que dicho puente realiza el recorrido completo para llevar a cabo la recogida de grasas.
- Sustitución del aireador sumergible que no funciona en el desarenador. Aprovechar que el desarenador está vacío para realizar mantenimiento del aireador que funciona correctamente.

- Reparación de la bomba extractora de arenas del desarenador. Si no fuera posible repararla se deberá sustituir por una nueva de similares características.
- Revisión del estado del clasificador de arenas y del concentrador de grasas, efectuando las reparaciones necesarias para su puesta a punto. Se deberán colocar dos contenedores para recoger estos residuos y avisar a un gestor autorizado para que los recoja cuando sea necesario.
- Extracción de las arenas que hayan podido sedimentar en la balsa de homogeneización a causa del mal funcionamiento del desarenador. Retirada también de los fangos sedimentados por la avería del agitador.
- Reparación del agitador de la balsa de homogeneización. Si no fuera posible repararlo se deberá sustituir por uno nuevo.
- Revisión del estado de los agitadores del tratamiento físico-químico, así como de las bombas dosificadoras que a él llegan y han estado sin funcionar. Reparación de los elementos averiados y puesta a punto por si fuera necesario su uso.
- Achicado del agua acumulada en el interior del decantador primario y revisión del estado de la maquinaria del mismo (puente y bombas de exceso). Reparación de los elementos averiados y puesta a punto por si fuera necesario su uso.
- Vaciado y limpieza del fango sedimentado en el fondo de las balsas debido a la avería del agitador de la balsa "Selector".
- Reparación del agitador de la balsa anaerobia "Selector". Si no fuera posible repararlo se deberá sustituir por uno nuevo. Realización de mantenimiento preventivo al agitador de la balsa "Bio-P".
- Reparación del pHímetro y del oxímetro del canal de oxidación. Si no fuera posible repararlos se deberán sustituir por unos nuevos.
- Reparación y sustitución de los difusores con roturas por otros en perfecto estado. Revisión de las juntas de las tuberías con los difusores, sustituyendo el material que sea necesario.
- Sustitución de la soplante número 3 por otra de características similares a las otras dos. Instalación de dos temporizadores marcha-paro en las soplantes que no los tienen para alternar de forma automática entre ellas y evitar el sobreuso de una, facilitando así su mantenimiento.
- Limpieza y preparación del depósito de almacenamiento de cloruro férrico. Además, para aumentar la capacidad de almacenamiento, se puede preparar el depósito de sosa para almacenar cloruro férrico ya que no está previsto su uso. Revisión del estado de las bombas dosificadoras que han estado sin funcionar. Reparación de los elementos averiados y puesta a punto para su funcionamiento en caso de necesidad.
- Realización de una arqueta de mayor profundidad para la recogida de las flotantes del decantador secundario, evitando así su desborde por la poceta de recogida.

- Construcción de un sistema de recirculación de los sobrenadantes producidos en el espesado de fangos y la deshidratación mecánica hasta la balsa de homogeneización. Para ello es necesaria la conducción de una tubería desde la arqueta de vertido de cada elemento hasta la balsa de homogeneización, cuya cota es más baja que las anteriores. Es decir, el agua fluirá por gravedad entre estos elementos, no es necesaria la instalación de un bombeo para dicho sobrenadante.
- Revisión de todos los equipos mecánicos e hidráulicos de la EDAR, reparando cualquier tipo de avería que puedan tener.
- Construcción de una habitación contigua al edificio de desbaste y deshidratación para el cuadro eléctrico de la planta (Imagen 22). Dotarlo de las medidas de seguridad pertinentes según la normativa vigente. Sustitución del cableado en mal estado.



Imagen 22: Cuadro eléctrico de la planta, situado en el interior del edificio de desbaste.

- Reparación del sistema de ventilación en el edificio de soplantes.
- Reparación de la electrobomba centrífuga vertical que no funciona en el edificio del grupo de presión. Si no fuera posible repararla se deberá sustituir por una nueva.
- Instalación de un SCADA en el ordenador de la sala de control para conocer en todo momento el estado de la EDAR. Se deben poder activar y desactivar de forma remota directa o mediante programación los siguientes elementos de la EDAR:
 - Compuertas de entrada y salida a cada elemento.
 - Bombeo de reparto, de fangos en exceso y de recirculación de fangos.
 - Soplantes.
 - Equipo de preparación de polielectrolito y dosificación de reactivos. Se deberá poder regular el caudal a suministrar por las bombas de dosificación.
 - Centrífuga de deshidratación. Su activación pondrá en marcha la maquinaria dependiente de ella (bombeo de fangos en exceso y tornillo helicoidal) y su desactivación se realizará tras llevar a cabo la secuencia de lavado de máquina pertinente.

Además deberá mostrar en pantalla datos como:

- Niveles de oxígeno disuelto, pH y temperatura en el reactor medidos por el oxímetro y el pHímetro (ambos tienen incluido un termómetro).
 - Caudal de entrada y salida de la EDAR. Los caudalímetros ya están instalados.
 - Consumo energético de la EDAR reflejado en los contadores de la entrada.
 - Número de horas de funcionamiento de la maquinaria de la EDAR: bombeos, soplantes, reja de limpieza automática, tamiz continuo autolimpiable, puente desarenador, aireadores sumergidos, puente de decantadores y espesador, agitadores, aceleradores de corriente, centrífuga de deshidratación, preparación de polielectrolito y dosificación de reactivos.
 - Niveles de reactivo en los depósitos de almacenamiento.
- Pintado de todos los elementos metálicos expuestos a la intemperie (escaleras, barrandillas y tapas de arqueta) para evitar su oxidación (Imagen 23). Sustitución de aquellos que se encuentren muy deteriorados.



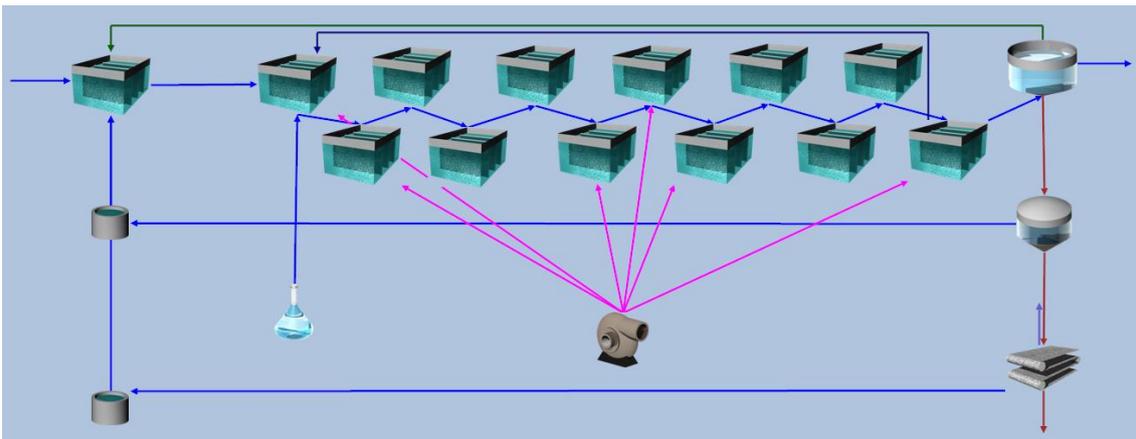
Imagen 23: Escalera metálica cubierta de óxido a causa de un mantenimiento deficiente.

9.1.- Alternativa 1.

En esta primera propuesta se pretende eliminar biológicamente el nitrógeno del agua residual mediante un proceso de nitrificación-desnitrificación y precipitar químicamente a partir de cloruro férrico el fósforo utilizando el sistema ya instalado en la EDAR. La Tabla 35 muestra los volúmenes de cada elemento simulado y el porcentaje con respecto al total de cada uno de ellos. En la Captura 5 se puede observar el esquema utilizado para su simulación. En él ya está incluida la recirculación de los sobrenadantes producidos en el espesado y deshidratación de fangos a cabecera de planta.

Elemento	Volumen (m ³)	Porcentaje (%)	
B. Anaerobia	120.0	8.4	1x 8.4
Reactor óxico	979.0	68.8	4x11.5 2x11.4
Reactor anóxico	326.3	22.8	6x 3.8
Total	1425.3	100.0	

Tabla 35: Relación en % del volumen de cada elemento que compone el proceso biológico con respecto al volumen total del mismo en la alternativa número 1.



Captura 5: Esquema utilizado en DESASS para la simulación de la alternativa 1.

Los parámetros de operación que se modificaron para cumplir los requisitos solicitados son el tiempo de retención celular, la concentración de oxígeno en las zonas aerobias y el caudal de reactivo a añadir para la precipitación. Los valores que se consideraron válidos tras hacer varias pruebas y dejar un margen de seguridad aparecen en la Tabla 36:

Parámetro	Invierno	Verano	Unidad
θ_c	20	21	días
$[O_2]_{MED}$	0.6	0.6	mg/L
$[O_2]_{PTA}$	0.3	0.3	mg/L
$Q_{REACTIVO}$	0.04	0.04	m ³ /día

Tabla 36: Parámetros de funcionamiento utilizados en la alternativa 1.

El tiempo de retención celular se fijó en 20 días en invierno y 21 días en verano para que se diera un proceso de oxidación total y el fango deshidratado tenga un %SSVB menor del 35%, además de permitir el crecimiento de bacterias capaces de llevar a cabo el proceso de nitrificación-desnitrificación.

Debido al limitado volumen del canal de oxidación limitado como anóxico se observa que la concentración óptima de oxígeno es de 0,6 mg/L. Dicha concentración permite la digestión aerobia de materia orgánica y la nitrificación y disminuye lo suficiente en la zona óxica como para permitir la desnitrificación del nitrato.

Por último, el caudal de reactivo se decide de tal manera que se cumplan los requisitos con un pequeño margen para disminuir el coste económico del cloruro férrico. Los datos de partida del reactivo corresponden a un cloruro férrico comercial al 40% cuya concentración es de 568 g/L. El dato de caudal de reactivo que maneja DESASS es m³/día y tiene una precisión de 10 litros, por lo que el caudal obtenido se deberá ajustar con más precisión en las bombas de dosificación.

La calidad del efluente obtenida en esta simulación en invierno se puede observar en la Captura 6, mientras que la calidad en verano aparece en la Captura 7.

	Caudal/Solubles			Suspendidos		N, P y DQO	
	Caudales (m3/d)						
	Medio	1087.34	mgDQO/l	Xi bm	3.26	DQO	68.52
	Punta	2175.90	mgDQO/l	Xio	9.64	DQO S	49.94
	Pluvial	2175.90	mgDQO/l	Xs	0.22	DQO Sp	18.58
	Sf	0.45	mgDQO/l	Xh	5.25	Ptot	1.62
mgDQO/l	Sa	0.06	mgP/l	Xpao	0.00	Ptot S	1.32
mgDQO/l	Spro	0.03	mgDQO/l	Xpp	0.00	Ptot Sp	0.30
mgDQO/l	Si	49.40	mgDQO/l	Xpha	0.00	Ntot	8.59
mgN/l	Snh4	1.20	mgDQO/l	Xamm	0.00	Ntot S	7.96
mgN/l	Sno3	6.05	mgDQO/l	Xamm-r	0.00	Ntot Sp	0.62
mgN/l	Sno2	0.00	mgDQO/l	Xnit	0.00	Stot	50.04
mgN/l	Shno2	0.00	mgDQO/l	Xaut	0.21	Stot S	50.04
mgP/l	Spo4	1.32	mgDQO/l	Xacid	0.00	Stot Sp	0.00
mgS/l	Sso4	50.03	mgDQO/l	Xpro	0.00	SSV	11.93
mgDQO/l	Stoths	0.00	mgDQO/l	Xmac	0.00	SSVB	3.95
mgDQO/l	Sch4	0.00	mg/l	Xmh2	0.00	% SSV	70.6
mgDQO/l	Sco2	0.34	mg/l	Xmeoh	0.29	%SSVB	33.1
mgDQO/l	Sh2	0.00	mgDQO/l	Xmep	0.63	pH	7.31
mgN/l	Sn2	17.15	mgDQO/l	Xsrb_h	0.00	Tot C	3.466
mgN/l	Snh3	0.01	mg/l	Xsrb_a	0.00	Tot H	3.849
mgS/l	Sh2s	0.00	mg/l	Xtss	16.90	VFA	0.09
mgDQO/l	Ox. dis.	0.05	mg/l	Xtnv	4.96	Alcalinidad	152.0
	T (°C)	14.00	mg/l	Xnv	4.05		
mgCaCO3/l	Salk	152.0		Xtss,NSed	14.60		
				TRC (d)	20.00		

Captura 6: Parámetros de calidad del efluente en invierno simulados en la alternativa 1.

		Caudal/Solubles				Suspendidos		N, P y DQO	
		Caudales (m3/d)							
	Medio	1087.41	mgDQO/l	Xi bm	3.78	DQO	67.72		
	Punta	2175.97	mgDQO/l	Xio	10.00	DQO S	49.90		
	Pluvial	2175.97	mgDQO/l	Xs	0.09	DQO Sp	17.81		
	Sf	0.42	mgDQO/l	Xh	3.80	Ptot	1.96		
mgDQO/l	Sa	0.06	mgP/l	Xpao	0.00	Ptot S	1.67		
mgDQO/l	Spro	0.03	mgDQO/l	Xpp	0.00	Ptot Sp	0.29		
mgDQO/l	Si	49.40	mgDQO/l	Xpha	0.00	Ntot	8.23		
mgN/l	Snh4	0.80	mgDQO/l	Xamm	0.00	Ntot S	7.70		
mgN/l	Sno3	6.18	mgDQO/l	Xamm-r	0.00	Ntot Sp	0.53		
mgN/l	Sno2	0.00	mgDQO/l	Xnit	0.00	Stot	50.04		
mgN/l	Shno2	0.00	mgDQO/l	Xaut	0.14	Stot S	50.04		
mgP/l	Spo4	1.67	mgDQO/l	Xacid	0.00	Stot Sp	0.00		
mgS/l	Sso4	50.03	mgDQO/l	Xpro	0.00	SSV	11.37		
mgDQO/l	Stohts	0.00	mgDQO/l	Xmac	0.00	SSVB	2.81		
mgDQO/l	Sch4	0.00	mgDQO/l	Xmh2	0.00	%SSV	68.8		
mgDQO/l	Sco2	0.30	mg/l	Xmeoh	0.26	%SSVB	24.8		
mgDQO/l	Sh2	0.00	mg/l	Xnep	0.71	pH	7.32		
mgN/l	Sn2	15.44	mgDQO/l	Xsrb_h	0.00	Tot C	3.375		
mgN/l	Snh3	0.01	mgDQO/l	Xsrb_a	0.00	Tot H	3.732		
mgS/l	Sh2s	0.00	mg/l	Xtss	16.53	VFA	0.08		
mgDQO/l	Ox. dis.	0.05	mg/l	Xtnv	5.17	Alcalinidad	149.0		
	T (°C)	20.00	mg/l	Xnv	4.20				
mgCaCO3/l	Salk	149.0	mg/l	Xtss,NSed	14.46				
				TRC (d)	21.00				

Captura 7: Parámetros de calidad del efluente en verano simulados en la alternativa 1.

Como se puede observar, en ambas ocasiones se cumplen los objetivos establecidos. La materia orgánica que sale de la EDAR es en su mayor parte soluble y no biodegradable, aquella que no se puede eliminar con procesos típicos. Toda la materia orgánica susceptible de ser digerida lo ha sido.

El aumento del tiempo de retención celular en verano se debe a que 20 días no eran suficientes para eliminar el nitrógeno del agua residual, por lo que se decide elevar en una unidad dicho valor. La mayor parte del amonio se nitrifica, siendo nitrato el componente de nitrógeno predominante que escapa por el efluente.

El aumento de la temperatura del agua también juega un papel importante en la precipitación química, ya que disminuye la eficacia del cloruro férrico a la hora de funcionar como coagulante junto a los fosfatos. Esto se observa en el aumento de la concentración de fósforo en el efluente utilizando un mismo caudal de reactivo. Un ajuste más exacto en la programación de las bombas de dosificación ahorrarán costes del reactivo en invierno, donde se consume más del necesario, y eliminarán riesgos en verano, donde la concentración de fósforo está muy cercana al límite.

También se puede observar que el diseño del decantador cumple con su objetivo de sedimentar el fango y separarlo del efluente. Esto se ha logrado con la disminución de los sólidos suspendidos en el reactor, que pasa de 6,2 g/L a una concentración entre 4,8 g/L y 4,9 g/L, lo que provoca que el manto de fangos sea más profundo y así evitar su desbordamiento. El Gráfico 20 muestra la variación de la concentración de sólidos en el decantador según la profundidad del mismo.

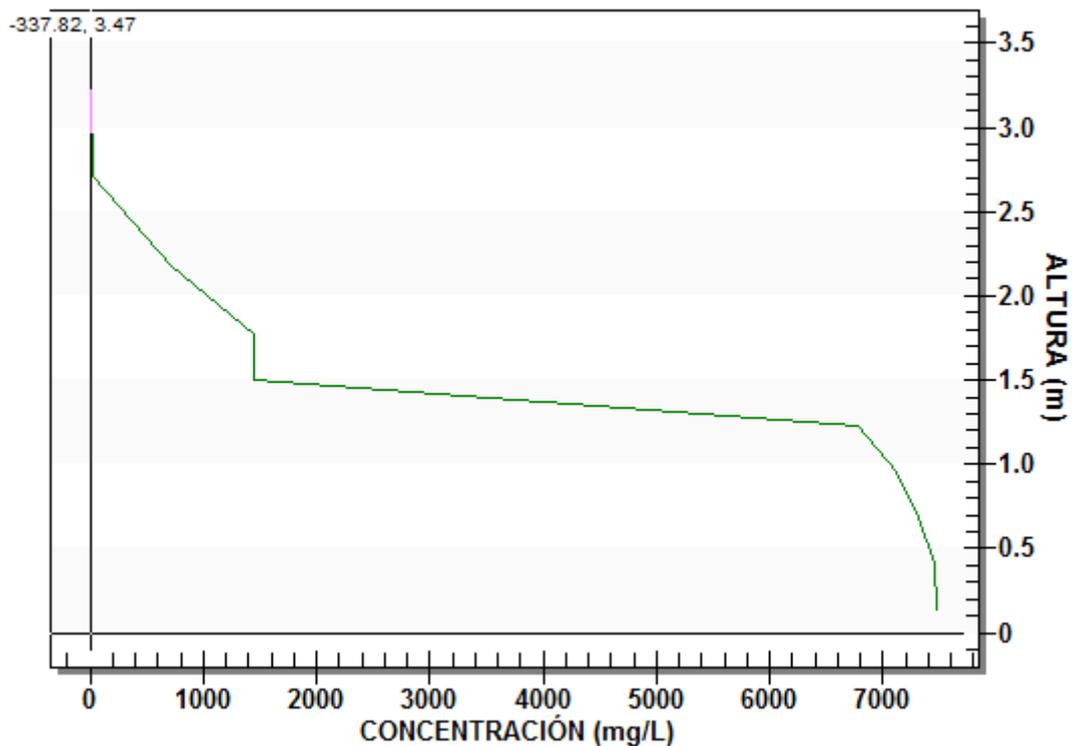


Gráfico 20: Evolución de la concentración de sólidos suspendidos en el decantador en función de la profundidad del mismo en la alternativa 1.

También es importante evitar la flotación de fango en el decantador debido a la formación de burbujas de nitrógeno gas por la desnitrificación. Para ello se fija como límite una eliminación de 10 mg/L de nitratos en el fondo del decantador, límite que se cumple ya que entra una concentración de algo superior a 6 mg/L y marca el máximo que se podría eliminar.

La Tabla 37 muestra el porcentaje de reducción de los contaminantes que llegan a la EDAR. Todos ellos tienen una tasa de eliminación superior a la requerida por la normativa vigente, por lo que se puede afirmar que la EDAR cumple con la legislación.

	Entrada (mg/L)	Salida Invierno (mg/L)	Salida Verano (mg/L)	Eliminación Invierno	Eliminación Verano
DQO	846.5	68.52	67.72	91.9%	92.0%
SST	361.0	16.90	16.53	95.3%	95.4%
N_T	61.1	8.59	8.23	85.9%	86.5%
P_T	7.0	1.62	1.96	76.9%	72.0%

Tabla 37: Porcentaje de reducción de los contaminantes en la EDAR en la alternativa 1.

El caudal diario de recirculación es de 1975,4 m³/día en invierno y 1977,7 m³/día en verano, es decir, está por debajo del caudal nominal de la bomba instalada que es de 3000 m³/día. Por otro lado, los caudales de purga y de trasiego de fangos a la deshidratación se muestran en la Tabla 38 junto con las horas de funcionamiento de dichas bombas y las de recirculación al día. La máquina centrífuga de deshidratación funcionará el mismo tiempo que las bombas que trasiegan el fango a ella, siendo la producción de fangos secos de 325,03 kg/día en invierno y 306,84 kg/día en verano.

	Q_{NOMINAL} (m ³ /h)	Q_{INVIERNO} (m ³ /día)	Q_{VERANO} (m ³ /día)	Horas Invierno	Horas Verano
Purga	35	44.0	41.8	1.25	1.19
Deshidratación	18	22.0	20.9	1.22	1.16
Recirculación	125	1975.4	1977.7	15.8	15.8

Tabla 38: Caudal y horas de funcionamiento al día del bombeo de purga, deshidratación y recirculación de fangos en la alternativa 1.

El fango producido en la EDAR se considera que está completamente estabilizado ya que tiene un porcentaje de sólidos suspendidos volátiles biodegradables del 32,5% en invierno y del 24,8% en verano, por debajo del 35% considerado como límite. Es decir, el fango producido puede seguir teniendo el uso agrícola que tiene ahora.

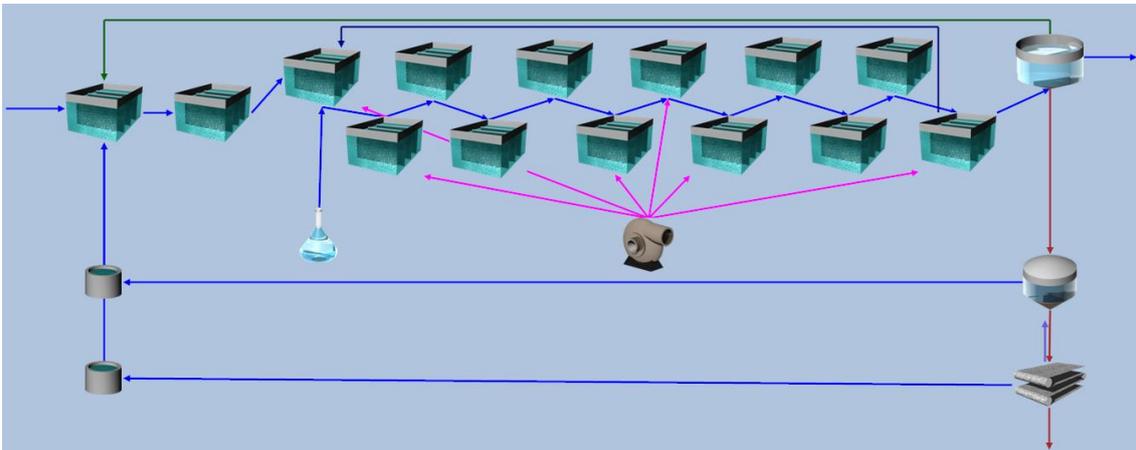
Por último, las necesidades de aireación del tratamiento biológico se han calculado teniendo en cuenta unas pérdidas del 5% de aire proporcionado por las soplantes y ascienden a un total de 924,84 Nm³/h. Este valor es superior a la cantidad de aire que es capaz de suministrar una soplante de las que hay instaladas actualmente (845 Nm³/h), por lo que para poder mantener la concentración de oxígeno fijada en el reactor sería necesario tener encendidas dos soplantes y ajustar mediante una serie de válvulas la cantidad de aire que se ha de suministrar. La otra alternativa sería cambiar las soplantes por otras de mayor potencia capaces de aportar este caudal, lo que supondría una inversión muy elevada y poco factible.

9.2.- Alternativa 2.

En esta propuesta se pretende eliminar de forma biológica tanto el nitrógeno como el fósforo presente en el agua residual. Para ello es necesario el aumento de volumen anaerobio en el tratamiento biológico, lo cual se soluciona mediante la inclusión de la balsa de homogeneización al mismo mediante una modificación en la recirculación de fangos desde el decantador, que pasaría a verter en esta balsa y no en las balsas anaerobias como hasta ahora. La Tabla 39 muestra cómo quedan los volúmenes y porcentajes respecto al total. De esta forma se permite el crecimiento de las bacterias PAO capaces de absorber en su organismo el fósforo soluble presente en el agua residual y pudiendo sedimentarlo con ellas en el decantador secundario. En la Captura 8 se muestra el esquema utilizado en DESASS para la simulación de esta propuesta que, al igual que en la anterior alternativa, incluye la instalación de la recirculación de los sobrenadantes del espesado y deshidratación de fangos a cabecera de planta.

Elemento	Volumen (m ³)	Porcentaje (%)	
Balsa de homogeneización	330.2	18.8	1x18.8
Balsas anaerobias	120.0	6.8	1x 6.8
Reactor óxico	979	55.8	6x 9.3
Reactor anóxico	326.3	18.6	6x 3.1
Total	1755.5	100.0	

Tabla 39: Relación en % del volumen de cada elemento que compone el proceso biológico con respecto al volumen total del mismo en la alternativa número 2.



Captura 8: Esquema utilizado en DESASS para la simulación de la alternativa 2.

En este caso, se modificaron los siguientes parámetros de operación: el tiempo de retención celular y la concentración de oxígeno en las zonas aerobias. Se observó que durante el verano no se cumplía con el límite de fósforo en el efluente por lo que se añadió cloruro férrico como reactivo, entrando el caudal a aportar como variable. Los valores que se consideraron válidos tras hacer varias pruebas y dejar un margen de seguridad aparecen en la Tabla 40.

Parámetro	Invierno	Verano	Unidad
θ_c	20	18	días
$[O_2]_{MED}$	0.6	0.6	mg/L
$[O_2]_{PTA}$	0.3	0.3	mg/L
$Q_{REACTIVO}$	0.00	0.03	m ³ /día

Tabla 40: Parámetros de funcionamiento utilizados en la alternativa 2.

De nuevo, se observó que la concentración óptima de oxígeno es de 0,6 mg/L ya que permite la oxidación de la materia orgánica y el proceso de nitrificación del amonio en la zona aerobia del reactor a la vez que se llega a desnitrificar el nitrato en la zona anóxica.

El tiempo de retención celular se fijó en 20 días en invierno, pero en este caso la adición de la balsa de homogeneización al volumen total del tratamiento biológico permite la reducción del mismo a 18 días en verano, disminuyendo así los costes de aireación.

Durante el invierno no es necesaria la adición de ningún tipo de coagulante para cumplir el límite de vertido marcado para el fósforo, las bacterias PAO crecen de forma correcta y este fósforo se elimina con ellas en la decantación secundaria. Sin embargo, el aumento de la temperatura del agua en verano no favorece la eliminación biológica del fósforo en las condiciones de la EDAR, por lo que es necesaria la adición de un caudal de 0.03 m³/día de cloruro férrico para precipitar el fósforo en exceso que sale por el efluente.

La Captura 9 muestra la calidad del efluente en la simulación realizada para el invierno, mientras que en la Captura 10 se reflejan los resultados obtenidos en verano.

	Caudal/Solubles			Suspendidos		N, P y DQO	
	Caudales (m3/d)						
	Medio	1087.33	mgDQO/l	Xi bm	2.63	DQO	65.88
	Punta	2175.93	mgDQO/l	Xio	8.28	DQO S	49.97
	Pluvial	2175.93	mgDQO/l	Xs	0.21	DQO Sp	15.91
	Sf	0.50	mgDQO/l	Xh	4.20	Ptot	1.58
mgDQO/l	Sa	0.05	mgP/l	Xpao	0.40	Ptot S	1.32
mgDQO/l	Spro	0.02	mgDQO/l	Xpp	0.11	Ptot Sp	0.26
mgDQO/l	Si	49.40	mgDQO/l	Xpha	0.00	Ntot	9.27
mgN/l	Snh4	1.85	mgDQO/l	Xamm	0.00	Ntot S	8.73
mgN/l	Sno3	6.16	mgDQO/l	Xamm-r	0.00	Ntot Sp	0.54
mgN/l	Sno2	0.00	mgDQO/l	Xnit	0.00	Stot	43.18
mgN/l	Shno2	0.00	mgDQO/l	Xaut	0.18	Stot S	43.18
mgP/l	Spo4	1.32	mgDQO/l	Xacid	0.00	Stot Sp	0.00
mgS/l	Sso4	42.80	mgDQO/l	Xpro	0.00	SSV	10.21
mgDQO/l	Stohts	0.38	mgDQO/l	Xmac	0.00	SSVB	3.48
mgDQO/l	Sch4	0.00	mg/l	Xmh2	0.00	% SSV	72.7
mgDQO/l	Sco2	0.32	mg/l	Xmeoh	0.00	%SSVB	34.1
mgDQO/l	Sh2	0.00	mgDQO/l	Xnep	0.00	pH	7.41
mgN/l	Sn2	17.11	mgDQO/l	Xsrb_h	0.02	Tot C	4.107
mgN/l	Snh3	0.01	mgDQO/l	Xsrb_a	0.00	Tot H	4.469
mgS/l	Sh2s	0.12	mg/l	Xtss	14.05	VFA	0.07
mgDQO/l	Ox. dis.	0.05	mg/l	Xinv	3.84	Alcalinidad	184.0
	T (°C)	14.00	mg/l	Xnv	3.48		
mgCaCO3/l	Salk	184.0	mg/l	Xtss,NSed	11.51		
				TRC (d)	20.00		

Captura 9: Parámetros de calidad del efluente en invierno simulados en la alternativa 2.

	Caudal/Solubles			Suspendidos		N, P y DQO	
	Caudales (m3/d)			mgDQO/l	Xi bm	DQO	63.64
	Medio	1087.40					
	Punta	2175.97	mgDQO/l	Xs	0.08	DQO Sp	13.71
	Pluvial	2175.97	mgDQO/l	Xh	3.09	Ptot	1.81
mgDQO/l	Sf	0.45	mgP/l	Xpao	0.10	Ptot S	1.58
mgDQO/l	Sa	0.04	mgDQO/l	Xpp	0.03	Ptot Sp	0.23
mgDQO/l	Spro	0.02	mgDQO/l	Xpha	0.00	Ntot	9.81
mgDQO/l	Si	49.40	mgDQO/l	Xamm	0.00	Ntot S	9.38
mgN/l	Snh4	1.12	mgDQO/l	Xamm-r	0.00	Ntot Sp	0.42
mgN/l	Sno3	7.54	mgDQO/l	Xnit	0.00	Stot	21.78
mgN/l	Sno2	0.00	mgDQO/l	Xaut	0.13	Stot S	21.78
mgN/l	Shno2	0.00	mgDQO/l	Xacid	0.00	Stot Sp	0.00
mgP/l	Spo4	1.58	mgDQO/l	Xpro	0.00	SSV	8.75
mgS/l	Sso4	20.01	mgDQO/l	Xmac	0.00	SSVB	2.42
mgDQO/l	Stoths	1.77	mgDQO/l	Xmh2	0.00	%SSV	69.1
mgDQO/l	Sch4	0.00	mg/l	Xmeoh	0.15	%SSVB	27.7
mgDQO/l	Sco2	0.30	mg/l	Xnep	0.41	pH	7.44
mgDQO/l	Sh2	0.00	mgDQO/l	Xsrb_h	0.07	Tot C	4.349
mgN/l	Sn2	15.40	mgDQO/l	Xsrb_a	0.00	Tot H	4.701
mgN/l	Snh3	0.01	mg/l	Xtss	12.66	VFA	0.07
mgS/l	Sh2s	0.44	mg/l	Xtnv	3.91	Alcalinidad	196.0
mgDQO/l	Ox. dis.	0.05	mg/l	Xnv	3.26		
	T (°C)	20.00	mg/l	Xtss,NSed	9.97		
mgCaCO3/l	Salk	196.0		TRC (d)	18.00		

Captura 10: Parámetros de calidad del efluente en verano simulados en la alternativa 2.

En esta alternativa también se llegan a cumplir los límites marcados por la legislación. De nuevo, la mayoría de la materia orgánica que sale con el efluente es soluble y no biodegradable, habiéndose actuado correctamente sobre la oxidable y la decantable.

La concentración de nitrógeno a la salida también es menor de lo que exige la normativa. De nuevo se nitrifica la mayoría del amonio del agua residual, quedando el nitrato como la forma predominante en el efluente.

El aumento del volumen anaerobio con la adición de la balsa de homogeneización y la existencia de ácidos grasos volátiles (S_A) en cantidades suficientes han permitido el crecimiento de las bacterias PAO que eliminan el fósforo. Durante el invierno se tiene una concentración de este elemento a la salida de 1,59 mg/L, cumpliendo con creces la normativa. Sin embargo, durante el verano es necesario el uso de la precipitación química del fósforo para alcanzar una concentración de este compuesto en el efluente menor de 2 mg/L.

Otra consecuencia directa del aumento del volumen del tratamiento biológico es la disminución de la concentración de sólidos suspendidos en el mismo, que pasa a tener una concentración de 3,8 g/L en invierno y de 3,3 g/L en verano. Esta bajada favorece el proceso de sedimentación del fango en el decantador secundario, cuyo perfil de variación de la concentración de sólidos en función de la profundidad se muestra en el Gráfico 21.

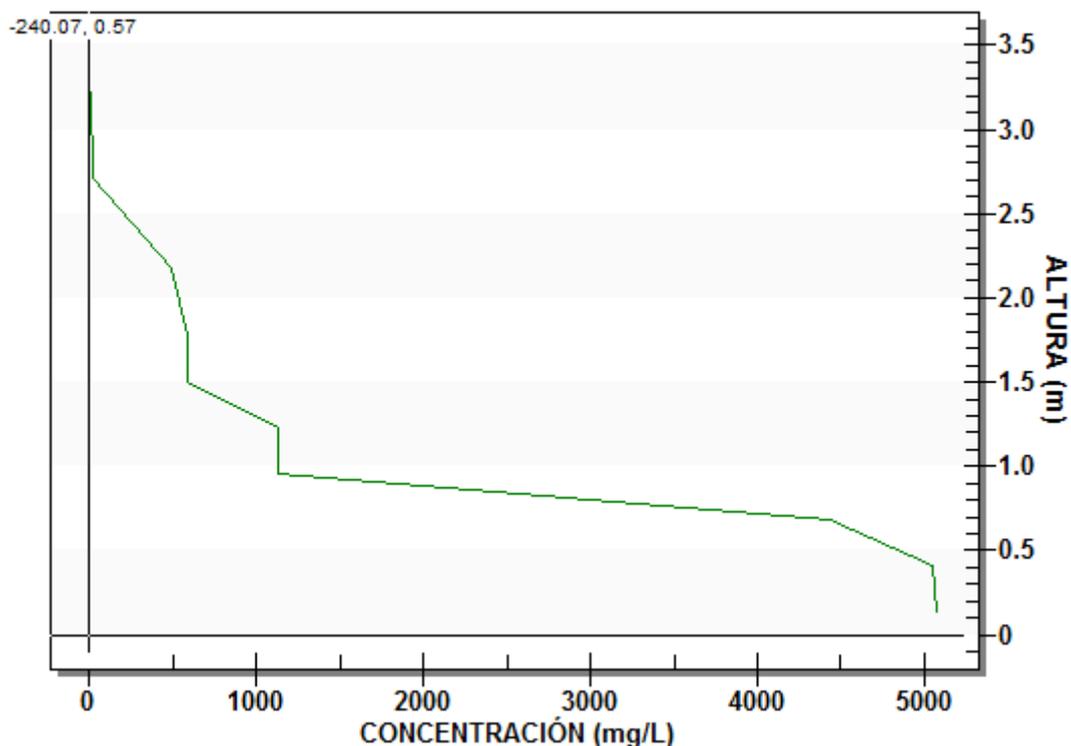


Gráfico 21: Evolución de la concentración de sólidos suspendidos en el decantador en función de la profundidad del mismo en la alternativa 2.

En él se observa que el manto de fangos se encuentra a una profundidad elevada, ya que hasta que no se descienden 2 metros no se alcanza una concentración superior a los 500 mg/L. Por otro lado, la concentración en el fondo del decantador es algo superior a 5 g/L, por lo que el tiempo de retención hidráulico en el espesador ha de ser elevado para obtener un fango más concentrado.

De nuevo, la concentración de nitratos que pueden desnitrificarse en el decantador es menor del valor de 10 mg/L tomado como referencia, por lo que no existiría riesgo de flotación del fango.

El porcentaje de eliminación de los contaminantes en la depuradora se muestra en la Tabla 41, donde se observa que dichas reducciones están por encima del mínimo requerido en la normativa y se cumplen los objetivos.

	Entrada (mg/L)	Salida Invierno (mg/L)	Salida Verano (mg/L)	Eliminación Invierno	Eliminación Verano
DQO	846.5	65.88	63.64	92.2%	92.5%
SST	361.0	14.05	12.66	96.1%	96.5%
N_T	61.1	9.27	9.81	84.8%	83.9%
P_T	7.0	1.58	1.81	77.4%	74.1%

Tabla 41: Porcentaje de reducción de los contaminantes en la EDAR en la alternativa 2.

El caudal diario de recirculación es de 1964,7 m³/día en invierno y 1958,6 m³/día en verano, de nuevo se encuentra por debajo del caudal nominal de la bomba instalada. Los caudales de purga, de trasiego de fangos a la deshidratación y de recirculación se muestran en la Tabla 42

junto con las horas de funcionamiento de dichas bombas al día. La máquina centrífuga de deshidratación funcionará el mismo tiempo que las bombas que trasiegan el fango a ella, siendo la producción de fangos de 318,22 kg/día en invierno y 307,26 kg/día en verano.

	Q_{NOMINAL} (m ³ /h)	Q_{INVIERNO} (m ³ /día)	Q_{VERANO} (m ³ /día)	Horas Invierno	Horas Verano
Purga	35	54.6	60.9	1.56	1.74
Deshidratación	18	27.3	30.5	1.52	1.69
Recirculación	125	1964.7	1958.6	15.7	15.7

Tabla 42: Caudal y horas de funcionamiento al día del bombeo de purga, deshidratación y recirculación de fangos en la alternativa 2.

En esta ocasión el fango producido en la depuradora vuelve a encontrarse estabilizado ya que tiene un porcentaje de sólidos suspendidos volátiles biodegradables del 34,2% en invierno y del 28,0% en verano, por debajo del 35% considerado como límite. De nuevo, el fango producido puede seguir teniendo el uso agrícola que tiene ahora.

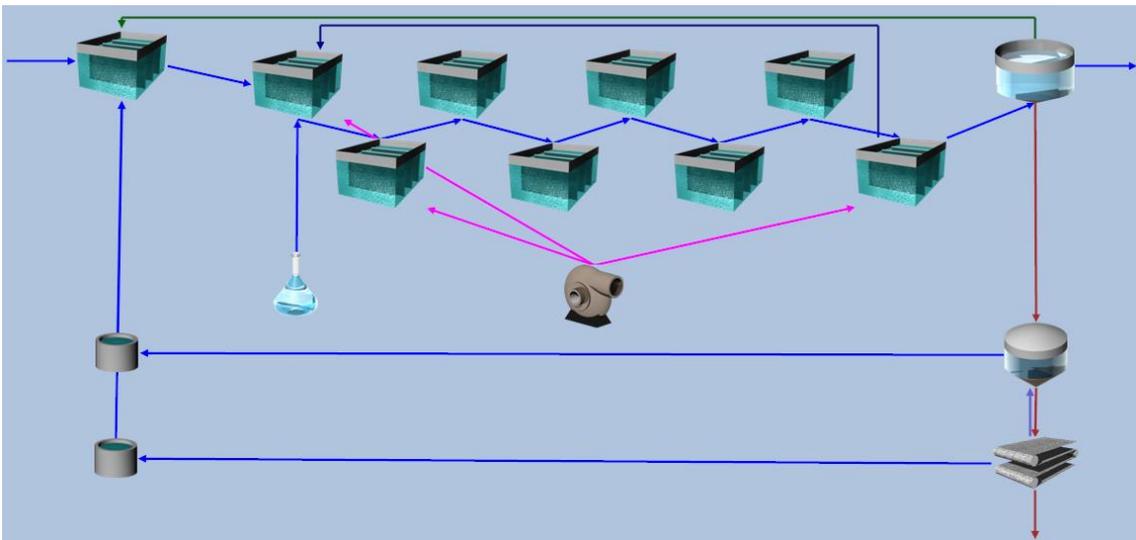
La cantidad de aire que es necesario aportar al tratamiento biológico asciende a un total de 822,78 Nm³/h, menos de los 845 Nm³/h que son capaces de suministrar las soplantes instaladas actualmente. En ese valor se han tenido en cuenta unas pérdidas de aire del 5%, por lo que con la maquinaria actual sería posible suministrar el oxígeno requerido para el metabolismo de las bacterias aerobias.

9.3.- Alternativa 3.

Esta alternativa pretende cumplir con los límites de vertido marcados en la normativa vigente a la vez que se reducen los gastos de aireación mediante la creación de una única zona aerobia en el canal de oxidación. De esta forma todo el volumen que ocupaba la segunda área óxica pasará a estar en condiciones anóxicas, por lo que se pasa de tener una relación del 75% aerobio – 25% anóxico a un 37,5% aerobio – 62,5% anóxico. En la Tabla 42 se muestra como queda el volumen y los porcentajes respecto al total. La eliminación del fósforo presente en el agua residual se hará mediante precipitación química con cloruro férrico. La Captura 11 muestra el esquema utilizado en DESASS para llevar a cabo la simulación.

Elemento	Volumen (m ³)	Porcentaje (%)	
Balsas anaerobias	120.0	8.4	1x 8.4
Reactor óxico	489.5	34.3	3x11.5
Reactor anóxico	815.8	57.2	1x11.5 4x11.4
Total	1425.3	100.0	

Tabla 43: Relación en % del volumen de cada elemento que compone el proceso biológico con respecto al volumen total del mismo en la alternativa número 3.



Captura 11: Esquema utilizado en DESASS para la simulación de la alternativa 3.

Los parámetros de operación que se han modificado para conseguir los objetivos impuestos han sido: el tiempo de retención celular, la concentración de oxígeno en la zona aerobia y el caudal de reactivo necesario para la precipitación química del fósforo. Los valores que se consideraron válidos tras hacer varias pruebas y dejar un margen de seguridad aparecen en la Tabla 44:

Parámetro	Invierno	Verano	Unidad
θ_c	20	16	días
$[O_2]_{MED}$	0.8	0.8	mg/L
$[O_2]_{PTA}$	0.4	0.4	mg/L
$Q_{REACTIVO}$	0.04	0.04	m ³ /día

Tabla 44: Parámetros de funcionamiento utilizados en la alternativa 3.

La concentración de oxígeno que permite una completa oxidación de la materia orgánica biodegradable y la realización del proceso de nitrificación del amonio en la zona aerobia del reactor a la par que se desnitrifica el nitrato en la zona anóxica es de 0,8 mg/L, algo superior a las otras dos alternativas. En este caso, al existir un mayor volumen anóxico se consume una mayor cantidad de oxígeno y se desnitrifica con mayor eficacia.

El tiempo de retención celular fijado es de 20 días para invierno y 16 días en verano, suficiente para oxidar la materia orgánica estabilizando el fango y para llevar a cabo la eliminación biológica del nitrógeno.

Por último, el caudal de cloruro férrico que hay que adicionar en el reactor para la precipitación del fósforo es de 0,04 m³/día en invierno y de 0,04 m³/día en verano. De nuevo se observa que el aumento de la temperatura del agua perjudica el proceso químico de precipitación de los fosfatos.

La Captura 12 muestra la calidad del efluente en la simulación realizada para el invierno, mientras que en la Captura 13 se reflejan los resultados obtenidos en verano.

	Caudal/Solubles			Suspendidos		N, P y DQO	
	Caudales (m ³ /d)						
	Medio	1087.34	mgDQO/l	Xi bm	3.24	DQO	68.55
	Punta	2175.90	mgDQO/l	Xio	9.64	DQO S	49.99
	Pluvial	2175.90	mgDQO/l	Xs	0.24	DQO Sp	18.56
	Sf	0.49	mgDQO/l	Xh	5.23	Ptot	1.63
mgDQO/l	Sa	0.07	mgP/l	Xpao	0.00	Ptot S	1.33
mgDQO/l	Spro	0.03	mgDQO/l	Xpp	0.00	Ptot Sp	0.30
mgDQO/l	Si	49.40	mgDQO/l	Xpha	0.00	Ntot	5.97
mgN/l	Snh4	1.84	mgDQO/l	Xamm	0.00	Ntot S	5.35
mgN/l	Sno3	2.80	mgDQO/l	Xamm-r	0.00	Ntot Sp	0.62
mgN/l	Sno2	0.00	mgDQO/l	Xnit	0.00	Stot	50.04
mgN/l	Shno2	0.00	mgDQO/l	Xaut	0.21	Stot S	50.04
mgP/l	Spo4	1.33	mgDQO/l	Xacid	0.00	Stot Sp	0.00
mgS/l	Sso4	50.03	mgDQO/l	Xpro	0.00	SSV	11.91
mgDQO/l	Stohts	0.00	mgDQO/l	Xmac	0.00	SSVB	3.95
mgDQO/l	Sch4	0.00	mg/l	Xmh2	0.00	% SSV	70.6
mgDQO/l	Sco2	0.40	mg/l	Xmeoh	0.28	%SSVB	33.1
mgDQO/l	Sh2	0.00	mgDQO/l	Xnep	0.63	pH	7.28
mgN/l	Sn2	17.36	mgDQO/l	Xsrb_h	0.00	Tot C	3.816
mgN/l	Snh3	0.01	mgDQO/l	Xsrb_a	0.00	Tot H	4.258
mgS/l	Sh2s	0.00	mg/l	Xtss	16.88	VFA	0.10
mgDQO/l	Ox. dis.	0.06	mg/l	Xinv	4.97	Alcalinidad	166.3
	T (°C)	14.00	mg/l	Xnv	4.05		
mgCaCO3/l	Salk	166.3	mg/l	Xtss,NSed	14.58		
				TRC (d)	20.00		

Captura 12: Parámetros de calidad del efluente en invierno simulados en la alternativa 3.

		Caudal/Solubles				Suspendidos		N, P y DQO	
		Caudales (m3/d)							
	Medio	1087.36	mgDQO/l	Xi bm	2.88	DQO	65.18		
	Punta	2175.92	mgDQO/l	Xio	8.17	DQO S	49.95		
	Pluvial	2175.92	mgDQO/l	Xs	0.10	DQO Sp	15.23		
	Sf	0.45	mgDQO/l	Xh	3.94	Ptot	1.71		
mgDQO/l	Sa	0.07	mgP/l	Xpao	0.00	Ptot S	1.46		
mgDQO/l	Spro	0.03	mgDQO/l	Xpp	0.00	Ptot Sp	0.25		
mgDQO/l	Si	49.40	mgDQO/l	Xpha	0.00	Ntot	5.22		
mgN/l	Snh4	1.23	mgDQO/l	Xamm	0.00	Ntot S	4.73		
mgN/l	Sno3	2.78	mgDQO/l	Xamm-r	0.00	Ntot Sp	0.49		
mgN/l	Sno2	0.00	mgDQO/l	Xnit	0.00	Stot	50.04		
mgN/l	Shno2	0.00	mgDQO/l	Xaut	0.14	Stot S	50.04		
mgP/l	Spo4	1.46	mgDQO/l	Xacid	0.00	Stot Sp	0.00		
mgS/l	Sso4	50.03	mgDQO/l	Xpro	0.00	SSV	9.76		
mgDQO/l	Stohts	0.00	mgDQO/l	Xmac	0.00	SSVB	2.91		
mgDQO/l	Sch4	0.00	mgDQO/l	Xmh2	0.00	%SSV	69.8		
mgDQO/l	Sco2	0.35	mg/l	Xmeoh	0.23	%SSVB	29.9		
mgDQO/l	Sh2	0.00	mg/l	Xnep	0.55	pH	7.30		
mgN/l	Sn2	15.63	mgDQO/l	Xsrb_h	0.00	Tot C	3.710		
mgN/l	Snh3	0.01	mgDQO/l	Xsrb_a	0.00	Tot H	4.106		
mgS/l	Sh2s	0.00	mg/l	Xtss	13.98	VFA	0.09		
mgDQO/l	Ox. dis.	0.06	mg/l	Xtnv	4.22	Alcalinidad	163.0		
mgCaCO3/l	T (°C)	20.00	mg/l	Xnv	3.44				
	Salk	163.0	mg/l	Xtss,NSed	11.43				
				TRC (d)	16.00				

Captura 13: Parámetros de calidad del efluente en verano simulados en la alternativa 3.

Como se puede observar, todas las concentraciones están dentro de los límites de vertido marcados en la legislación. La materia orgánica soluble biodegradable ha sido oxidada casi al completo y sólo escapa la parte no biodegradable por el efluente junto a una pequeña parte de los sólidos.

El aumento de la zona anóxica del canal de oxidación tiene un gran impacto en la concentración de nitrógeno total en el efluente, que es mucho menor que en las alternativas anteriores debido a que se favorece el proceso de desnitrificación de los nitratos. Para evitar que, debido a esta elevada desnitrificación, se produzca flotación de fangos debido a la adhesión de las burbujas de nitrógeno gas en los flóculos, se decide mantener la zona óxica colindante a la salida del canal de oxidación hacia el decantador, facilitando así el proceso de “stripping” del N₂.

De nuevo se puede ver cómo afecta negativamente el aumento de la temperatura al proceso de precipitación química, en la que con un mismo caudal de reactivo en invierno que en verano se obtiene una concentración mayor de fósforo en la salida durante el periodo estival, aunque la diferencia entre ambas concentraciones es menor que en la alternativa 1.

La concentración de sólidos en el tratamiento biológico es de 4,8 g/L en invierno y de 3,8 g/L en verano, una diferencia bastante elevada debida a la reducción en 4 días del tiempo de retención celular en verano. El perfil de variación de la concentración de sólidos en función de la profundidad correspondiente al invierno, cuando hay mayor concentración de sólidos, se muestra en el Gráfico 22.

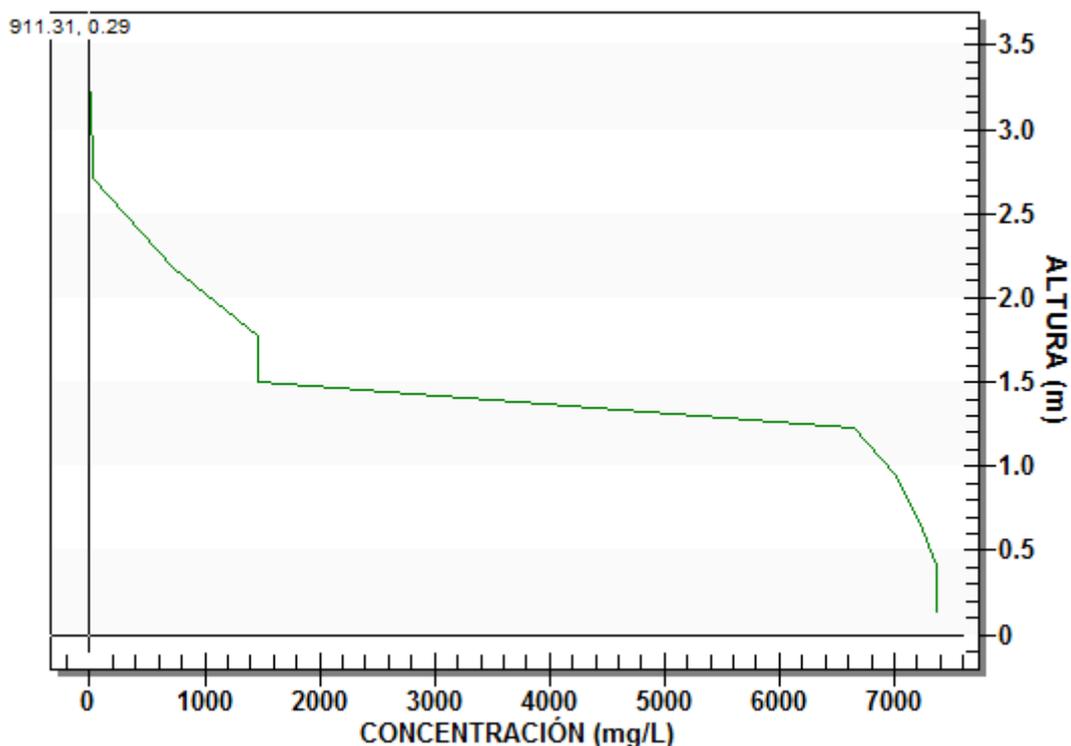


Gráfico 22: Evolución de la concentración de sólidos suspendidos en el decantador en función de la profundidad del mismo en la alternativa 3.

La profundidad y desarrollo del manto de fangos es similar al de la alternativa 1, en ambos la concentración de sólidos comienza a aumentar a partir de un metro de profundidad y la zona de mayor concentración se encuentra a dos metros de profundidad. Se puede decir que la separación es correcta.

El riesgo de flotación del fango por la desnitrificación de nitratos en el fondo del decantador es menor que en las otras dos alternativas ya que, como se viene comentando, la concentración de este elemento es mucho menor porque el proceso se ha dado en mayor medida en el canal de oxidación.

El porcentaje de eliminación de los contaminantes en la EDAR se muestra en la Tabla 45. De nuevo, las reducciones están por encima del mínimo requerido en la normativa, cumpliéndose los objetivos marcados.

	Entrada (mg/L)	Salida Invierno (mg/L)	Salida Verano (mg/L)	Eliminación Invierno	Eliminación Verano
DQO	846.5	68.55	65.18	91.9%	92.3%
SST	361.0	16.88	13.98	95.3%	96.1%
N_T	61.1	5.97	5.22	90.2%	91.5%
P_T	7.0	1.63	1.71	76.7%	75.6%

Tabla 45: Porcentaje de reducción de los contaminantes en la EDAR en la alternativa 3.

El caudal diario de recirculación es de 1975,3 m³/día en invierno y 1963,9 m³/día en verano, la bomba instalada es capaz de recircular este caudal. Los caudales de purga, de trasiego de fangos a la deshidratación y de recirculación de fangos se muestran en la Tabla 46 junto con las

horas de funcionamiento de dichas bombas al día. La máquina centrífuga de deshidratación funcionará el mismo tiempo que las bombas que trasiegan el fango a ella, siendo la producción de fangos de 324,73 kg/día en invierno y 319,73 kg/día en verano.

	Q_{NOMINAL} (m ³ /h)	Q_{INVIERNO} (m ³ /día)	Q_{VERANO} (m ³ /día)	Horas Invierno	Horas Verano
Purga	35	44.0	55.4	1.26	1.58
Deshidratación	18	22.0	27.7	1.22	1.54
Recirculación	125	1975.3	1963.9	15.8	15.7

Tabla 46: Caudal y horas de funcionamiento al día del bombeo de purga, deshidratación y recirculación de fangos en la alternativa 3.

El fango producido en la EDAR se considera que está completamente estabilizado ya que tiene un porcentaje de sólidos suspendidos volátiles biodegradables del 32,9% en invierno y del 29,5% en verano, por debajo del 35% considerado como límite. Es decir, el fango producido puede seguir teniendo el uso agrícola que tiene ahora.

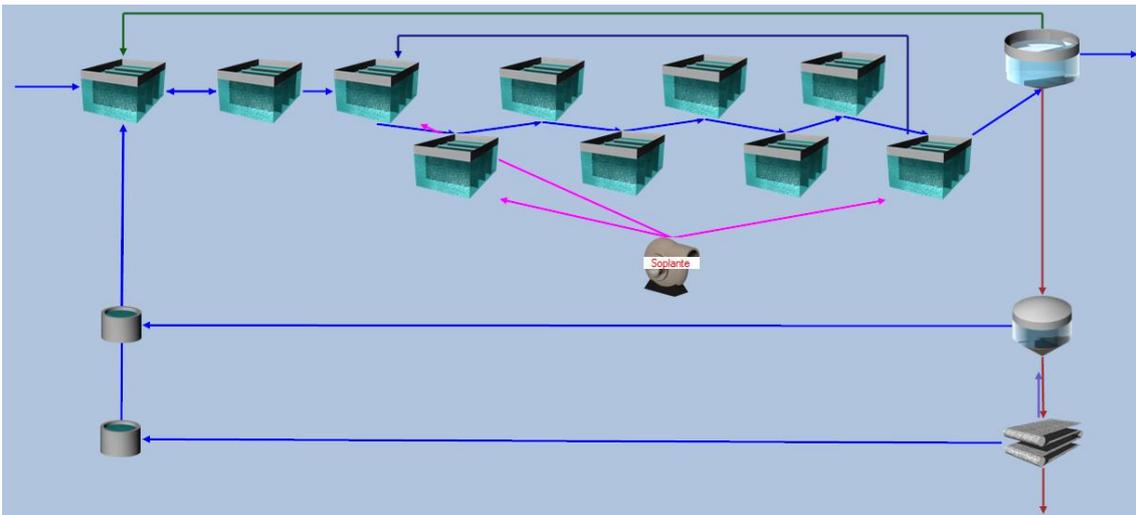
Finalmente, las necesidades de aireación del tratamiento biológico se han calculado teniendo en cuenta unas pérdidas del 5% de aire proporcionado por las soplantes y ascienden a un total de 806,40 Nm³/h, el menor de las 3 alternativas. La potencia de soplantes instalada es suficiente para aportar el caudal de aire necesario para mantener la concentración de oxígeno de 0,8 mg/L fijada en el canal de oxidación.

9.4.- Alternativa 4.

Esta última propuesta es una mezcla de las alternativas 2 y 3, se pretende eliminar el fósforo biológicamente añadiendo la balsa de homogeneización para aumentar el volumen anaerobio y se elimina una zona aerobia en el reactor biológico. En la Tabla 47 aparece cómo quedan los volúmenes y los porcentajes de éstos con respecto al total. El esquema a utilizar en la simulación en DESASS aparece en la Captura 14.

Elemento	Volumen (m ³)	Porcentaje (%)	
Balsa de homogeneización	330.2	18.8	1x18.8
Balsa anaerobia	120.2	6.8	1x 6.8
Reactor óxico	489.5	27.9	3x 9.3
Reactor anóxico	815.8	46.5	5x 9.3
Total	1755.5	100.0	

Tabla 47: Relación en % del volumen de cada elemento que compone el proceso biológico con respecto al volumen total del mismo en la alternativa número 4.



Captura 14: Esquema utilizado en DESASS para la simulación de la alternativa 4.

En esta ocasión, tras realizar varias pruebas variando parámetros como el tiempo de retención celular y la concentración de oxígeno en las zonas aerobias del canal de oxidación, no se consiguen cumplir los objetivos marcados.

La principal causa es la reducción del volumen aerobio, que impide el desarrollo de las bacterias PAO. Una posible solución a este problema sería fijar una concentración de oxígeno elevada en esa zona para que se tarde más tiempo en consumir, pero esto perjudica al proceso de desnitrificación que ha de realizarse en condiciones anóxicas, incumpliendo así con el límite de nitrógeno que aparece en la normativa vigente.

En definitiva, este esquema no puede cumplir los objetivos fijados. Si se quiere eliminar fósforo de manera biológica se ha de realizar mediante el sistema de la alternativa 2. Si sólo se quiere tener una zona aerobia en el canal de oxidación es necesaria una precipitación química de los fosfatos.

10.- Selección de la alternativa óptima.

La decisión de la selección de la propuesta de funcionamiento de la EDAR óptima se toma teniendo en cuenta, principalmente, el criterio económico. Para ello se tienen en cuenta los siguientes factores:

- Coste de modificaciones, si se tuvieran que hacer.
- Volumen de los reactivos usados.
- Cantidad de fango a gestionar.
- Gasto energético en aireación, bombeo y deshidratación de fangos.

En la alternativa 1 no es necesario realizar ninguna modificación de la EDAR más allá de las generales, por lo que no supondría ningún coste.

Con un gasto de cloruro férrico estable durante todo el año de $0,04 \text{ m}^3/\text{día}$ se llegan a consumir $14,6 \text{ m}^3$ anuales del reactivo para la precipitación química. Este valor es orientativo ya que, como se ha comentado, el ajuste del volumen de cloruro férrico a adicionar deberá ser ajustado con más precisión.

Suponiendo que durante seis meses se produce el fango calculado en invierno y durante otros seis meses el calculado en verano, el fango seco total a gestionar asciende a $11,37$ toneladas al año, aproximadamente. Las horas de funcionamiento de la máquina centrífuga al año suman un total de $428,4$, al igual que el de las bombas que trasiegan el fango desde el decantador hasta ella. Por otro lado, las bombas de purga trabajan durante $439,2$ horas en el año y las de recirculación de fangos $5768,0$ horas anuales.

El principal inconveniente de esta alternativa radica en las necesidades de aireación que superan la capacidad de caudal de aire que puede suministrar una soplante, por lo que se deben tener encendidas dos soplantes a la vez o adquirir soplantes nuevas capaces de suministrar dicho caudal. La primera opción es la más sencilla, por lo que se tendrán que asumir unos costes energéticos más elevados.

La alternativa 2 requiere realizar una modificación en la recirculación de fangos del fondo del decantador, que pasarán a ser trasegados hasta la balsa de homogeneización. La mejor modificación sería instalar una tubería de las mismas características hacia dicha balsa sin retirar la que está actualmente en funcionamiento. De esta manera si en algún momento se produjese un vertido puntual tóxico se podrían cambiar la recirculación, mediante un sistema de válvulas, al estado actual y dejar la balsa para la dilución del contaminante y que posteriormente pasara al tratamiento físico químico, donde se eliminaría.

La principal ventaja de esta alternativa radica en el ahorro de reactivo, ya que sólo sería necesaria su adición en el período estival. Suponiendo que son 6 meses los que se necesitaría el cloruro férrico para precipitar el fósforo, una cantidad de $0,03 \text{ m}^3/\text{día}$ supondría un volumen de $5,48 \text{ m}^3$ anuales, mucho menos que en las otras dos alternativas.

El fango seco producido realizando la misma suposición que en la alternativa 1 asciende a un total de $11,25$ toneladas anuales. El número de horas de funcionamiento de la centrífuga de deshidratación y del bombeo de fangos espesados es de $577,8$. Las bombas de purga deberán

estar funcionando durante un tiempo de 554,6 horas al año para mantener los parámetros seleccionados y las de recirculación un total de 5737,0 horas anuales.

En este caso el caudal de aire necesario para lograr la concentración de oxígeno deseada en el canal de oxidación es levemente menor que el que puede aportar la soplante, por lo que no existiría ningún sobrecoste.

Por último, para llevar a cabo la alternativa 3 es necesaria la desconexión del sistema de aireación de una zona del canal de oxidación. Es recomendable la retirada de los difusores y tuberías desconectados para evitar su deterioro, además de poder servir como repuesto en caso de rotura de los que estén en funcionamiento.

El gasto de reactivo para la precipitación química del fósforo es similar al de la alternativa 1, es decir, asciende a un volumen de 14,6 m³ cada año aproximadamente. Atendiendo a la concentración de fósforo en el efluente, se deberá ajustar el caudal suministrado por las bombas dosificadoras y debería salir un volumen menor al calculado y, a la vez, menor que en la alternativa 1.

La cantidad de fango seco que sale de la deshidratación, realizando la misma suposición que en las otras alternativas, es de 11,76 toneladas al año, aproximadamente. Las horas de funcionamiento de la máquina centrífuga y el bombeo de fangos a deshidratación ascienden a 496,8 cada año, mientras que la purga funcionaría 511,2 horas anuales. La recirculación de fangos funcionará durante 5751,3 horas al año.

El caudal de aire necesario para mantener la concentración de oxígeno fijada también puede suministrarse en este caso con una única soplante, no se tendrían sobrecostes.

Con los datos mostrados en la Tabla 48 se llega a la conclusión que la mejor de las tres alternativas propuestas es la número 2. Esta alternativa tiene la ventaja sobre las otras de que el gasto en reactivos es mucho menor y se producen menos fangos para su gestión (aunque en cantidades poco significativas). También supone un ahorro energético en aireación con respecto a la alternativa 1, aunque para poder llevarla a cabo se tenga que realizar una pequeña modificación en el sistema de recirculación de fangos.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Unidad
Modificación	No	Sí	Sí	
Volumen reactivo	14.6	5.48	14.6	m ³ /año
Fango producido	11.37	11.25	11.76	Tn/año
Tiempo deshidratación/ bombeo fangos	428.4	557.8	496.8	h/año
Tiempo bombeo purga	439.2	554.6	511.2	h/año
Tiempo bombeo recirculación	5768.0	5737.0	5751.3	h/año
Necesidades de aireación	924.84	822.78	806.40	Nm ³ /h
Nº soplantes requeridas	2	1	1	

Tabla 48: Resumen de las variables de decisión entre las distintas alternativas.

11.- Conclusiones.

A partir de los resultados obtenidos mediante las simulaciones realizadas con DESASS se puede concluir que:

- El diseño de los elementos de la EDAR de Noblejas es correcto para cumplir con la normativa de vertido de aguas residuales, tanto a zona no sensible como a zona sensible, para un agua residual con un caudal y una calidad como las que actualmente están entrando en la depuradora.
- Hoy día no se está cumpliendo con los límites de vertido a cauce debido a que la EDAR ha recibido un mantenimiento deficiente durante sus años de funcionamiento. La sedimentación de materia orgánica y fango en elementos como la balsa de homogeneización y las balsas anaerobias unido a la rotura de los difusores del canal de oxidación y a que sólo hay una soplante en funcionamiento son las principales deficiencias que impiden que se pueda alcanzar la calidad del efluente deseada.
- Para poder cumplir con los límites de vertido es necesaria la reparación o sustitución de todos los elementos que han dejado de funcionar o lo hacen de forma deficiente (difusores, agitadores, aireadores, tamices, soplantes y bombeos) y realizar un mantenimiento correcto de la planta durante los años venideros.
- Las simulaciones realizadas mediante el programa informático DESASS dan como resultado que se pueden llevar a cabo varias alternativas a la hora de operar la EDAR logrando cumplir con los límites de vertido: mantener la distribución actual y utilizar precipitación química para eliminar fósforo; incluir la balsa de homogeneización en el tratamiento secundario y eliminar nitrógeno y fósforo de forma biológica; y reducir la zona aerobia del reactor y precipitar el fósforo. En todas las alternativas se trabaja en régimen de oxidación total, es decir, no es necesaria una digestión posterior del fango.
- Atendiendo a factores como las modificaciones a realizar, el coste de reactivos, el fango producido, las horas de funcionamiento del bombeo de purga, deshidratación y recirculación de fangos y las necesidades de aireación en cada propuesta se decide que la mejor alternativa para llevar a cabo es la número dos. En ella se amplía el volumen anaerobio disponible a través del uso de la balsa de homogeneización para conseguir cumplir los límites de vertido y estabilizar el fango, utilizando la eliminación biológica de nitrógeno y de fósforo. Durante el verano es necesaria la adición de cloruro férrico para la precipitación química de los fosfatos ya que las bacterias PAO encargadas de eliminarlo biológicamente no se desarrollan lo suficiente.

12.- Bibliografía

FERRER POLO, J. and SECO TORRECILLAS, A., 2003. *Tratamientos Biológicos De Aguas Residuales*. Editorial Universitat Politècnica de València.

FERRER POLO, J. and SECO TORRECILLAS, A., 1992a. *Introducción a Los Tratamientos De Aguas*. Editorial Universitat Politècnica de València.

FERRER POLO, J. and SECO TORRECILLAS, A., 1992b. *Tratamientos Físicos Y Químicos De Aguas Residuales*. Editorial Universitat Politècnica de València.

Página web del Instituto Nacional de Estadística (www.ine.es).

Página web de la Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (www.boe.es).

Página web del Ayuntamiento de Noblejas (www.noblejas.es).