

Anejo nº21. Estudio de soluciones

Índice

1	Objeto del estudio.....	3
2	Procedencia de las aguas residuales.	3
2.1.1	Procedencia de las aguas residuales.	3
3	Ubicación de las actuaciones	4
4	Descripción de la situación actual de la EDAR.....	5
5	Estudio de soluciones.....	5
5.1	Alcance de la ampliación y mejora	5
5.2	Datos de partida y resultados a conseguir.....	6
6	Bases de diseño de las alternativas.....	7
7	Alternativas propuestas.....	7
7.1	Alternativa 0.	7
7.2	Alternativa 1	8
7.2.1	Tipología de tratamiento.....	8
7.2.2	Tecnologías posibles de tratamiento	9
7.3	Alternativa 2. Reforma de la actual EDAR.	13
7.3.1	Soluciones para el tratamiento biológico	14
7.3.2	Soluciones para la digestión de fangos.....	21
7.3.3	Soluciones para la ampliación decantación secundaria.....	22
7.3.4	Soluciones para el tanque de laminación.	25
8	Solución final adoptada	32
8.1	Resumen de alternativas	32
8.1.1	Proceso biológico:	32
8.1.2	Decantación secundaria.....	32
8.1.3	Tanque de laminación	33
8.2	Proceso de tratamiento adoptado	33
8.3	Número de líneas y caudales de tratamiento.....	34
8.4	Implantación.....	34

1 Objeto del estudio

El objetivo de este estudio es determinar la viabilidad, funcional y constructiva de la actuaciones de ampliación y remodelación de la EDAR de Formentera, así como analizar las ventajas e inconvenientes de cada una de las alternativas de cada proceso que se va a remodelar o ampliar, analizándolas y comparándolas para descartar las no válidas y así desarrollar la solución elegida.

2 Procedencia de las aguas residuales.

El sistema de saneamiento general de la isla de Formentera es, en su mayor parte, de tipo unitario y conducido a través de diferentes estaciones de bombeo a una estación tratamiento de aguas residuales en explotación.

Los colectores del saneamiento municipal vierten en seis estaciones de bombeo (EBARS) que, a su vez, bombean y descargan en la cabecera del pretratamiento de la EDAR situada en las proximidades de Sant Francesc. A partir de aquí el agua ya depurada es impulsada a través del emisario terrestre hasta el puerto de La Savina, donde conecta con el tramo submarino.

El actual emisario de la EDAR de la Formentera se compone de dos tramos; uno terrestre y otro marino. El tramo terrestre, actualmente en servicio tiene una longitud aproximada de casi 3.200 ml, construido con tubería de fibrocemento (FC) y con un diámetro nominal (DN) 450 mm. Gran parte de su trazado discurre por suelo rústico bajo el camino rural Carrer de Llevant hasta salir a la Av. Mediterrània en el puerto de La Savina, para terminar en arqueta de conexión con el tramo submarino en dirección NW. La circulación de agua en el emisario es por impulsión desde el decantador de salida de la EDAR hasta la arqueta de conexión con el tramo submarino

2.1.1 Procedencia de las aguas residuales.



Esquema actual de las instalaciones de saneamiento de Formentera.

Las aguas residuales procedentes de la red de saneamiento asociada a Formentera llegan a la EDAR a través las siguientes estaciones de bombeo:

- Impulsión de La Savina: con tubería de diámetro DN315
- Impulsión de Es Pujols: con tubería de diámetro DN315
- Impulsión de Sant Ferran: con tubería de diámetro DN315
- Impulsión de Sant Francesc: con tubería de diámetro DN200
- Impulsión del polígono: con tubería de diámetro DN125
- Impulsión de rechazos de regantes con tubería de diámetro DN90

Además de estas impulsiones en la arqueta de llegada se unen los retornos propios de la EDAR como son el bombeo de vaciados y el bombeo de incorporación de fosas sépticas. Algunos de estos colectores están unificados en una única tubería antes de entrar en la cámara de llegada a la EDAR.

El incremento de población, los diferentes hábitos y el aumento de la carga turística, justifican que las aguas residuales conectadas a la red general de saneamiento puedan alcanzar un caudal futuro máximo diario de 4.000 m³/día y 40.000 he.

La capacidad de tratamiento de la actual EDAR es de 3.560 m³/día y 30.260 h-e. En consecuencia, para alcanzar la capacidad solicitada, son necesarias obras de ampliación y mejora de tratamiento.

Por tanto, para dar solución a la problemática presentada, se considera necesaria una actuación integral de ampliación y mejora de tratamiento en la EDAR de Formentera que permita tratar los caudales y cargas que se producirán en el futuro inmediato.

3 Ubicación de las actuaciones

Todas las alternativas contempladas en el presente documento afectan al mismo término municipal, Formentera (Islas Baleares) encontrándose la totalidad de las instalaciones actuales en el mismo polígono. La EDAR actual se halla en las parcela 130 y 141 del polígono 7 de Formentera, catalogado como suelo rústico, sistema general según el Planeamiento Territorial vigente.

Según la ficha catastral la parcela donde se ubica la actual EDAR es la referencia 07024A007001410000PW con una superficie de 17.202 m². La parcela es común a una infraestructura de acumulación de agua para regadío, que no es objeto de actuación ni la gestión le corresponde a ABAQUA.



Implantación actual

4 Descripción de la situación actual de la EDAR

El estado actual de la EDAR se encuentra ampliamente descrito en el anejo nº 4 del presente proyecto.

5 Estudio de soluciones.

Para el lograr el objeto de ampliar la capacidad de tratamiento de la EDAR se han planteado dos aproximaciones:

1. Valoración de la ubicación de las futuras instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
2. Valoración de la tecnología utilizar para adecuarse a los objetivos de tratamiento y vertido.

5.1 Alcance de la ampliación y mejora

Tal y como se propone en el Pliego de Prescripciones Técnicas (PPT) de la licitación del proyecto, la ampliación y mejora del tratamiento de la EDAR de Formentera debe constar básicamente de:

En caso de abordar una nueva implantación para la EDAR, esta debe diseñarse con las mejores tecnologías disponibles en el entorno de la actual instalación puesto que toda el agua residual de la isla se concentra en este punto. Además, el vertido de agua residual tratada parte de la actual instalación por lo que la nueva instalación debe compatibilizar su implantación con el vertido de agua residual.

En caso de reformar la instalación existente, la ampliación, remodelación y/o mejora de la EDAR, debe cumplir los objetivos fijados de calidad fijados, teniendo en cuenta el espacio disponible dentro de la propia instalación.

Se deben valorar/estudiar, entre otras:

- Construcción de un nuevo desarenador-desengrasador y depósito de laminación para minimizar los efectos de los episodios de lluvia
- En caso de reforma de la actual, la adaptación de los actuales reactores biológicos a las nuevas necesidades.
- En caso de la reforma de la actual, construcción de un nuevo decantador secundario igual a los existentes, y rehabilitación y mejora de éstos.
- En cualquier caso, considerar la posibilidad de disponer sistemas de digestión.
- Adecuar y remodelar los elementos existentes para adaptarlos a la ampliación (Instalación eléctrica, conducciones, recirculación, aireación, obras de reparto, etc.).
- Sustitución/renovación de la acometida eléctrica de la EDAR y, si procede, ampliación/modificación de la potencia contratada.
- Actualizar los parámetros de diseño y funcionamiento de las instalaciones existentes en base a los datos actuales de caudales, cargas y otros valores reales de control.

5.2 Datos de partida y resultados a conseguir

Durante la redacción del proyecto se han recabado datos de caudales y cargas de distintas fuentes: los datos de que dispone el actual explotador de las instalaciones, los datos solicitados al Ayuntamiento, los datos de que dispone la Agencia y por ultimo los datos que se han obtenido en la campaña de aforos y análisis realizada.

Todos estos datos están incluidos en el anejo nº 7 "Características del influente y efluente".

A la vista de los datos recabados y de acuerdo con las indicaciones de la dirección de los trabajos, se han adoptado los siguientes parámetros de partida para la EDAR:

Parámetro	T. baja	T. alta
Población equivalente de diseño	30.000	40.000 hab-eq
Caudal medio diario	3.000,00	4.000,00 m³/d
Caudal medio horario	125,00	166,67 m³/h
Caudal punta horario	300,00	400,00 m³/h
Caudal máximo pretratamiento	520,00	520,00 m³/h
Carga de DBO5	1.800,00	2.400,00 Kg /día
Concentración media de DBO5	600	600 mg/l
Dotación de DQO	120,00	120,00 gr/hab/eq
Carga de DQO	3.600,00	4.800,00 Kg /día
Concentración media de DQO	1.200	1.200 mg/l
Carga de solidos en suspensión	2.349,00	3.132,00 Kg /día
Concentración media de solidos en suspensión	783	783 mg/l
Fracción volátil de SS	70,00	70,00 %
Carga de solidos en suspensión volátiles	1.644,30	2.192,40 Kg /día
Concentración media solidos suspensión volátiles	548,10	548,10 mg/l
Carga de NTK	306,00	408,00 Kg /día
Concentración media de NTK	102	102 mg/l
Carga de fosforo total	51,00	68,00 Kg /día
Concentración media de fosforo total	17	17 mg/l
Temperatura media agua en invierno	20,00	20,00 °C
Temperatura media agua en verano	25,00	25,00 °C

En cuanto a los resultados a obtener en el agua tratada:

- | | | |
|----------------------|-----|-------|
| • DBO ₅ ≤ | 25 | mg/l. |
| • DQO ≤ | 125 | mg/l. |
| • S.S. T. ≤ | 35 | mg/l. |
| • NTK ≤ | 15 | mg/l. |
| • Pt ≤ | 2 | mg/l. |
| • Ph | 6-9 | |

Las características del fango tratado en la EDAR serán:

- | | |
|--|---------|
| • Contenido mínimo de materia seca en el fango | 20,00 % |
| • Contenido máximo sólidos volátiles en el fango | 60,00 % |

6 Bases de diseño de las alternativas

Para la selección de opciones de tratamiento en la EDAR de Formentera se han tenido en cuenta una serie de premisas principales motivadas por los requisitos establecidos por los distintos actores que intervienen en el desarrollo del proyecto.

- Búsqueda de equipamiento y procesos similares a los actuales para facilitar la operatividad.
- Sencillez y no elevada complejidad en el control de los procesos de depuración.
- Eficiencia energética y actualización a tecnologías actuales para reducir costes de mantenimiento.
- Flexibilidad y adaptación a los diferentes caudales y cargas entrantes por lluvias o vertidos incontrolados.
- Dimensionamiento y elección de equipos robustos con referencias probadas donde prime la eficiencia energética en costes de explotación sin incrementar los costes de implantación.
- La planta actual se debe mantener en funcionamiento a lo largo de la ejecución de las obras sin verse afectado en ningún caso el caudal de tratamiento debiendo valorar todas las interferencias que de ello se puedan derivar.
- Selección de materiales con carácter general de primera línea desde el punto de vista de la durabilidad en el horizonte de diseño de la instalación y de fácil mantenimiento o sustitución.
- Debido a las dificultades inherentes para la ejecución de obras en esta localización, diseñar el máximo número posible de elementos del proceso con prefabricados.
- Minimizar en la medida de lo posible la generación de residuos y canalizar la gestión de estos adecuadamente.

7 Alternativas propuestas

- Alternativa 0. No actuación.
- Alternativa 1. Nueva EDAR en una ubicación próxima a la actual.
- Alternativa 2. Reforma de la actual EDAR, valorando:
 - Escenario 1. Soluciones para el tratamiento biológico
 - Escenario 2. Soluciones para la digestión de fangos
 - Escenario 3. Soluciones para la ampliación de la decantación secundaria.
 - Escenario 4. Soluciones para el tanque de laminación.

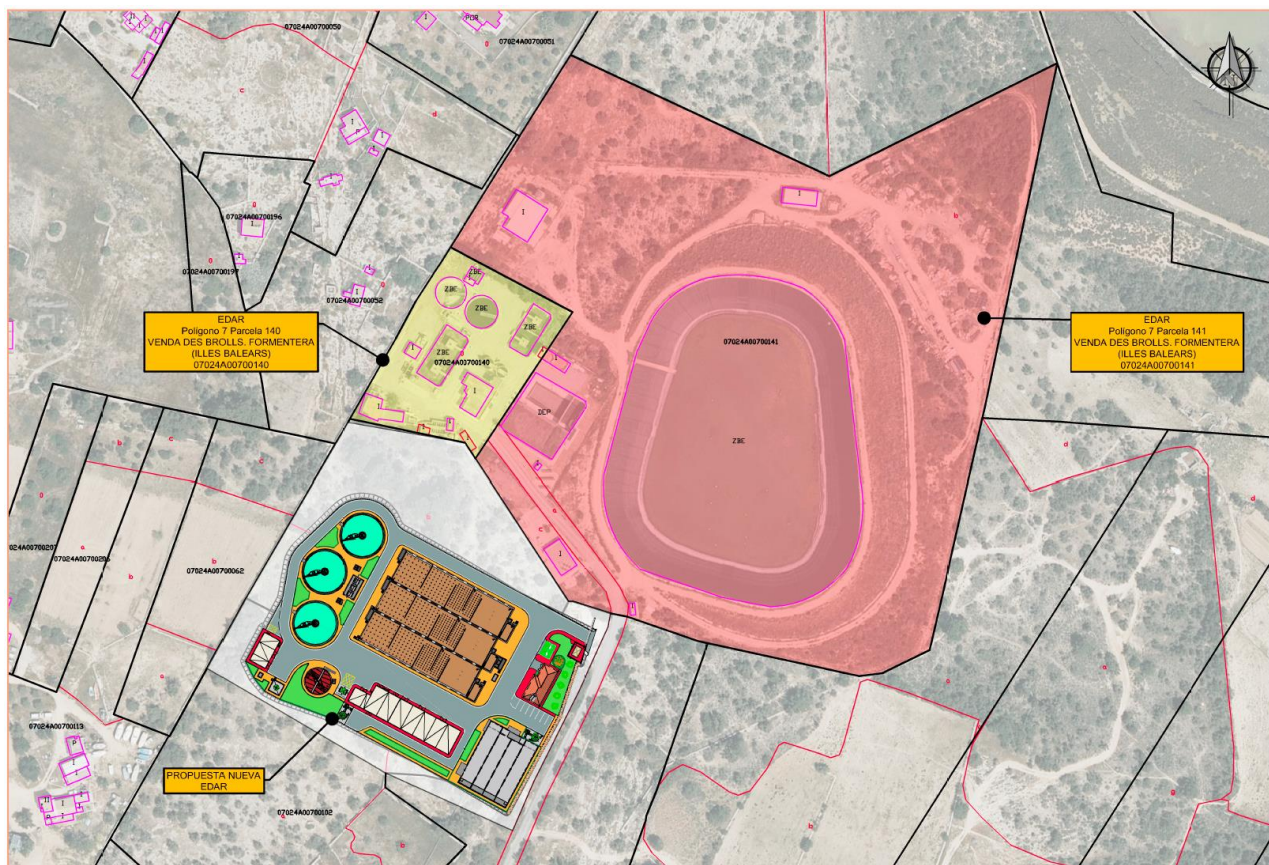
7.1 Alternativa 0.

La Alternativa 0 o de no actuación, no se considera viable, por no dar cumplimiento a los objetivos de calidad de las aguas y capacidad de tratamiento. Se mantendría la situación actual de una EDAR sin la capacidad suficiente para los caudales previstos.

7.2 Alternativa 1

Se valora la implantación de una nueva EDAR en las proximidades de la actual EDAR.

Esta se dimensionaría de forma que tenga capacidad de tratamiento suficiente para el caudal previsto en las condiciones de estacionalidad que, habitualmente, desarrolla la isla.



Se propone la ejecución de una nueva EDAR, basada en fangos activos convencionales en tres líneas de tratamiento biológico.

Las aguas residuales generadas en núcleos de población flotante y una acusada estacionalidad difieren tanto en caudal como en composición de las generadas en poblaciones basadas en economías menos estacionales. La estacionalidad influye en la generación del agua, los horarios, los caudales e incluso, las cargas.

La condición de población eminentemente turística además de la gestión del agua residual en la aglomeración (a través de bombeos en diferentes puntos del territorio) las convierte en poblaciones con caudales y cargas muy variables en breves periodos de tiempo. Las grandes poblaciones poseen una capacidad laminadora, por su superficie de aportación y caudal, con la que no cuentan las pequeñas aglomeraciones urbanas o aquellas más estacionales. La dotación de agua por habitante en este tipo de poblaciones suele, además, ser menor que otras con un desarrollo económico diferente.

Las oscilaciones horarias y anuales de caudal son más acusadas conforme menor es el tamaño de la población y mayor su estacionalidad, debido a la menor diversidad de actividades y a la menor capacidad laminadora por lo que todos estos condicionantes deben ser, también, tenidos en cuenta en la selección final del sistema de tratamiento.

7.2.1 Tipología de tratamiento.

En una planta de este tamaño se emplean, habitualmente, tecnologías asociadas al tratamiento por fangos activos en sus diferentes configuraciones. Actualmente el sistema cuenta, precisamente,

con un sistema de tratamiento basado en fangos activos convencionales. Permiten una adaptación muy buena a los diferentes horizontes, puntas de carga y caudal, etc.

La **aireación prolongada** es quizás la más empleada en un rango de tamaño similar a la actual hasta 30.000 habitantes equivalentes. Entre 30.000 y 50/60.000 habitantes equivalentes conviven diferentes tipos de tratamiento. Dado el tamaño de la planta, la alta variabilidad y los caudales previstos, descartamos la opción de tecnologías “blandas” por la enorme necesidad de espacio e inversiones requeridas. Esa solución obliga a ampliar la parcela, haciendo económicamente viables las otras soluciones, que, aunque tienen mayor coste de implantación, facilitan la explotación y mejoran los rendimientos de depuración. El sistema de fangos activos, en su modalidad de aireación prolongada es la tecnología más empleada en la depuración de los efluentes residuales generados en aglomeraciones de este tamaño.

Además, la posibilidad de reutilización del agua residual, al menos la aplicación de la misma, en similares condiciones a las actuales aconsejan ser exigentes en los parámetros de vertido. La tecnología utilizada debe garantizar una calidad mínima sin incidencias.

En materia de tratamiento de aguas residuales, se precisan actuaciones que compatibilicen las condiciones exigidas a los efluentes depurados con técnicas de funcionamiento sencillas y con costes de explotación y mantenimiento acotados. La mayoría de las tecnologías de depuración existentes son también aplicables a este caso, aunque los diferentes condicionantes técnicos las pequeñas aglomeraciones, si bien deben primarse las que mejor se ajusten a los siguientes requisitos:

- Procesos que requieran un tiempo mínimo del operador
- Equipos que requieran un mínimo de mantenimiento
- Funcionamiento eficaz ante un amplio rango de caudales y cargas
- Que el gasto de energía sea mínimo
- Instalaciones donde los posibles fallos de equipos y procesos causen el mínimo deterioro de calidad en el efluente
- Máxima integración en el medio ambiente

La cantidad de tratamientos aplicables a la depuración de los vertidos generados en esta aglomeración es muy amplia. El correcto funcionamiento de los pretratamientos y tratamientos primarios repercute muy significativamente en el resto de los elementos integrantes de la estación depuradora y, sin embargo, no siempre se les dedica la suficiente atención.

7.2.2 Tecnologías posibles de tratamiento

Respecto a los tratamientos secundarios, en el ámbito de poblaciones objeto de actuación, las tecnologías de tratamiento más habituales son las siguientes:

- **Aireaciones Prolongadas:** constituyen la tecnología de tratamiento con mayor grado de implantación en la mayoría de las Comunidades Autónomas para el tratamiento de los vertidos generados en las pequeñas y medianas aglomeraciones. Presentando la ventaja adicional de permitir la eliminación de materia carbonada y nitrogenada en el mismo reactor, mediante la creación de zonas óxicas y anóxicas. Además, se adaptan positivamente a las grandes variaciones de cargas y caudales.
- **Reactores Secuenciales (SBR) y Reactores de Biopelícula sobre Lecho Móvil (MBBR):** en la actualidad estas tecnologías comienzan a aplicarse al tratamiento de los vertidos de las pequeñas y medianas poblaciones, con resultados prometedores.
- **Tecnologías alternativas. (IFAS, MEMBRANAS, ETC)** Empleadas en condiciones excepcionales de ampliaciones de sistemas existentes o en las que existen condicionantes críticos (disponibilidad de terrenos, condiciones excepcionales

En la práctica, el dimensionamiento de las instalaciones de depuración de aglomeraciones de mediano tamaño se ha configurado en torno a procesos de fangos activos en aquellas variantes que permiten la eliminación de nutrientes, al menos nitrógeno por vía biológica y fósforo por vía química, incluso para aquellas aglomeraciones en las que los parámetros de vertido se refieren, únicamente, a DBO, DQO y SS. Las razones son numerosas y variadas, pero la realidad es que se han dimensionado plantas para la eliminación de nutrientes sin que sea preceptivo legalmente (siendo el condicionante de diseño la eliminación de nutrientes), generalmente más compleja que la eliminación de materia carbonosa.

La eliminación de nutrientes, más concretamente la eliminación de nitrógeno y sus compuestos ha sido ampliamente estudiada. Desde un punto de vista global, la desnitrificación biológica es un proceso de dos etapas que requiere nitrificación en un ambiente aerobio seguido de desnitrificación en un ambiente anóxico. Como todas las reacciones biológicas, éstas son afectadas por condiciones específicas en el reactor, que incluyen el pH, la temperatura del agua, la concentración de oxígeno disuelto (OD), el tipo de sustrato y su concentración, y la presencia o ausencia de sustancias tóxicas inhibitoras.

En cualquier sistema que realice desnitrificación con nitrificación, se producen tres tipos de

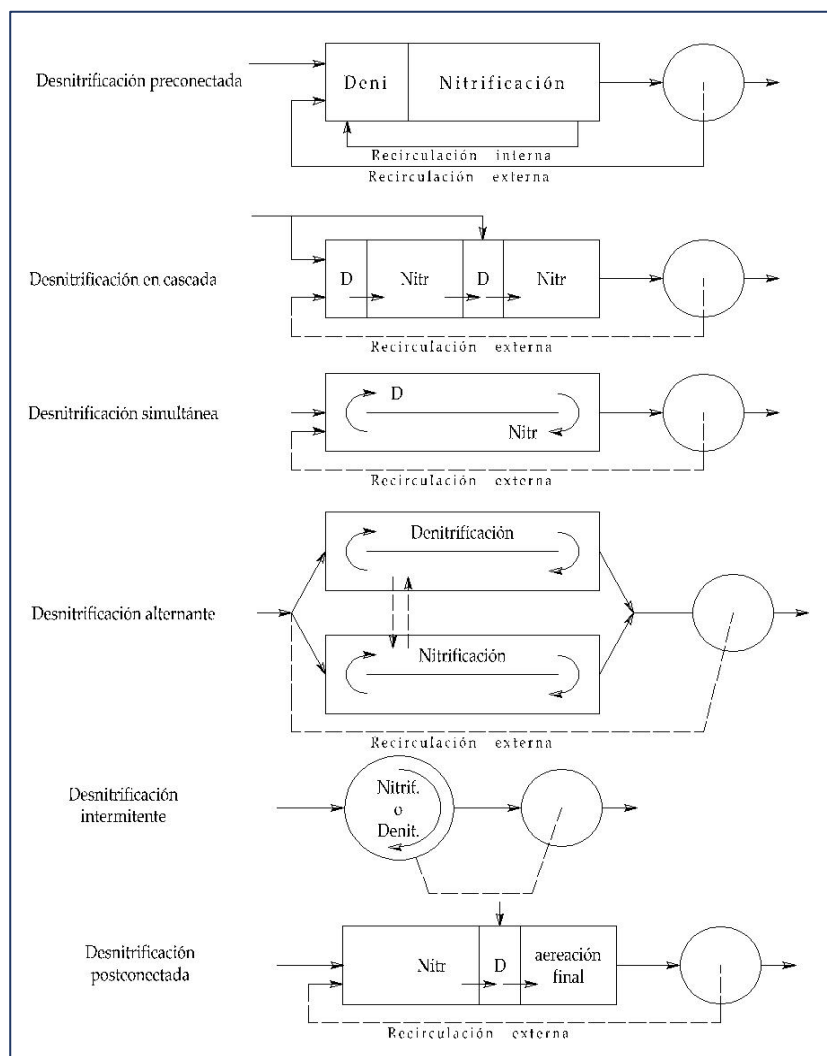


Figura 1 Esquemas para eliminación de nitrógeno.

reacciones biológicas. La primera es la oxidación heterotrófica de la materia orgánica. Las bacterias aerobias utilizan oxígeno como aceptor final de electrones. La reacción aporta energía que es utilizada para producir más bacterias. La segunda reacción necesaria es la nitrificación, que también es aerobia, ya ha sido comentada y la tercera es la desnitrificación que se produce en condiciones anóxicas o con muy bajas concentraciones de oxígeno. Los procesos tradicionales de eliminación de nutrientes han sido los reflejados en la siguiente:

- **Desnitrificación preconectada.**

En la que el agua residual y las recirculaciones externa e interna se mezclan en la zona de desnitrificación. Las zonas de desnitrificación y nitrificación pueden configurarse en cascada (reactores en serie). Para aumentar la flexibilidad de operación la zona final de la desnitrificación puede ser facultativa. La recirculación interna debe controlarse para no introducir oxígeno en forma excesiva a la zona de desnitrificación.

- **Desnitrificación en cascada (alimentación escalonada).** Dos o más reactores biológicos, cada uno de ellos con desnitrificación previa o simultánea se recorren de forma secuencial. El agua residual se reparte a cada reactor de desnitrificación. Normalmente no se usa la recirculación interna. Las salidas altas de oxígeno desde una etapa de nitrificación

- a la siguiente de desnitrificación perjudican la desnitrificación. Desde el punto de vista de eliminación de nitrógeno este proceso es similar al anterior. A causa del reparto del agua residual, el contenido de SS es, en media, mayor que en la salida al decantador secundario.
- **Desnitrificación simultánea.** Sólo realizable prácticamente en tanques tipo carrusel. El agua residual recorre zonas de nitrificación y desnitrificación. Puede asimilarse a una desnitrificación preconectada con una alta recirculación interna. Se requiere una regulación de la aireación por contenido de nitratos, amonio, curva del potencial red-ox o contenido de oxígeno. Estos reactores se asemejan a una mezcla total.
 - **Desnitrificación alternante.** Dos reactores biológicos aireados de forma intermitente se cargan de forma alternativa, pasando el agua residual del tanque que recibe la carga al otro que es en el que en ese momento está siendo aireado y de éste al decantador secundario. La duración de la carga y de las fases de desnitrificación y nitrificación se regulan, normalmente, por temporizador. Si hay un alto contenido de oxígeno en la fase de desnitrificación, el sistema de mezcla es intermedio entre la mezcla total y el flujo pistón.
 - **Desnitrificación intermitente.** En un solo reactor se alternan temporalmente las fases de nitrificación y desnitrificación. Estas fases se pueden regular por temporizador o con regulación por contenidos de nitratos, amonio, curva red-ox o contenido de oxígeno. Los contenidos altos de oxígeno al final de la nitrificación perjudican la desnitrificación.
 - **Desnitrificación postconectada.** Este proceso se usa cuando la relación C/n del agua residual es muy baja. Se añade carbono externo al reactor de desnitrificación, situado después del de nitrificación.

Las tipologías anteriormente reseñadas se han aplicado en la práctica bajo diferentes definiciones:

- Fangos activos convencionales: flujo pistón, mezcla completa o alimentación escalonada.
- Aireación prolongada, canales de oxidación.
- Contacto estabilización.
- Doble etapa.
- Reactores biológicos secuenciales (Sequential Bathc Reactor-SBR).
- Reactores biológicos de membrana (Membrane Biological Reactor –MBR).

Las características más importantes que definen los diferentes procesos de tratamiento descritos se resumen a continuación:

	Fangos activos convencionales	Aireación prolongada	Contato estabilización	Doble etapa	Reactores secuenciales	Reactores de Membrana
Consumo energía eléctrica	M	A	M	A	M	A
Superficie de implantación	M	A	M	M-A	M	B
Coste de implantación	M	M	M	M-A	M	A
Impacto ambiental	M	B	M	M-A	M	B
Facilidad de operación	A	A	M-B	M-B	M	B
Flexibilidad de tratamiento	M	B	A	M-A	A	B
Producción de residuos	M	M	M	M	M	M
	A	alta	M	media	B	baja

Tabla 1 Características más importantes que definen a los diferentes procesos de tratamiento.

En ocasiones se han incluido modificaciones puntuales para completar la eliminación de nitrógeno con la eliminación, siempre compleja, de fósforo, con esquemas complementarios a los siguientes:

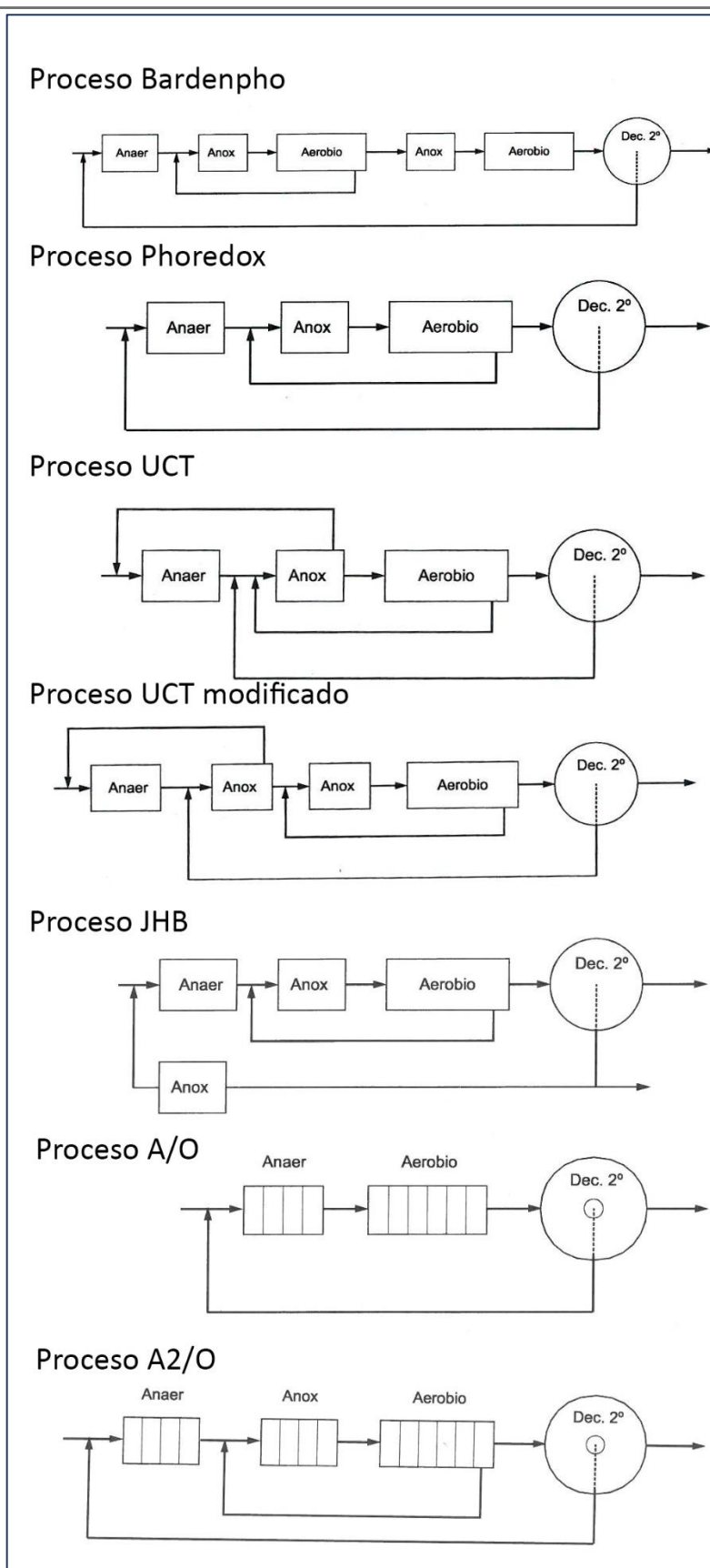


Figura 2 Esquemas generales para eliminación de fósforo.

Para eliminar fósforo es necesaria una selección adecuada de condiciones anaerobias, anóxicas y aerobias. La eliminación se produce por enriquecimiento en el fango y retirada única con el fango en exceso.

La experiencia demuestra que cuando se dimensionaban cámaras anóxicas con volúmenes superiores a los estrictos para la desnitrificación se consigue mejorar la retirada de fósforo, pero consiguiendo funcionamientos próximos al anaerobio. Las diferentes opciones alternan zonas aerobias, anaerobias y anóxicas para optimizar el proceso.

Los nitratos suelen producir problemas con la redisolución de fosfatos por lo que se recomiendan recirculaciones diferentes (potenciando la recirculación libre de nitratos del tanque anóxico).

La compartimentación en selectores diferentes contribuye a un mejor control del sistema.

Para el desarrollo de la presente solución se requiere compatibilizar la línea piezométrica existente, con una cota fija de llegada y otra de salida que no pueden ser modificadas. Al ser la

llegada de agua bruta mediante bombeo se puede corregir ligeramente las conducciones de llegada pero la modificación debe ser muy sutil. La obra de salida, con el decantador existente a mantener, condiciona el resto del sistema de tratamiento. No cabe un distanciamiento muy pronunciado de la solución actual. Se han previsto las siguientes tecnologías.

- **Fangos activos** con formas de operación diferentes en función del horizonte temporal, variando desde sistemas de muy baja carga a sistemas de baja carga con apoyo de la digestión aerobia en diferentes configuraciones. En estas condiciones sería positivo disponer de diferentes recintos que permitieran aumentar la disponibilidad de volumen cuando se requiera. Se han planteado varias alternativas:
 - **Proceso de fangos activos en flujo pistón** con varios selectores o depósitos intermedios con los que regular el funcionamiento de la instalación en los diferentes horizontes.
 - **Procesos de fangos activos en biológico tipo carrusel.**

El reactor biológico principal se desarrollará en la zona de la implantación sin uso actual en el que los condicionantes más relevantes son: el desvío del camino existente y la necesidad de desvío de la línea eléctrica actual (descrita en apartados posteriores).

En segunda fase se podría construir una cámara anóxica en la ubicación del actual reactor biológico. Los dos esquemas propuestos serían del siguiente estilo

- **Sistemas SBR o MBR para primera implantación.**
 - **Ventajas.**
 - Tiene un coste menor de implantación, debido a que se prescinde de la decantación secundaria tradicional. El volumen de reactor biológico es similar al requerido en los casos anteriores.
 - Las necesidades de terreno son menores que los sistemas de aireación prolongadas convencionales.
 - Presentan una buena adaptación a las cambiantes características del afluente, cambiando los parámetros de control, duración de ciclos, etc.
 - Permite la eliminación tanto de nitrógeno como de fósforo, controlando las fases aerobia, anaerobia y anóxica mediante la duración del ciclo.
 - **Desventajas:**
 - Supondría la anulación de la actual decantación, que no es una opción razonable toda vez que este proceso está operativo y correctamente dimensionado.
 - Como inconveniente, dada la alternancia de ciclos, puede hacerse necesario la instalación de líneas adicionales para garantizar el funcionamiento en continuo. Dado que las características del agua bruta cambian a lo largo del día la gestión del conjunto sería compleja, requiriendo personal constante, de cada una de las líneas de tratamiento, pues cada una presenta unas condiciones muy diferenciadas

Por tanto, hemos previsto, únicamente, la aplicación de tecnologías de fangos activos en sus diferentes modalidades, optando, dada la tipología de EDAR, y casuística, un sistema de flujo pistón con selectores. Se ha implementado dicha solución en una parcela próxima a la actual EDAR.

7.3 Alternativa 2. Reforma de la actual EDAR.

Se analizan, pormenorizadamente, las soluciones a abordar.

7.3.1 Soluciones para el tratamiento biológico

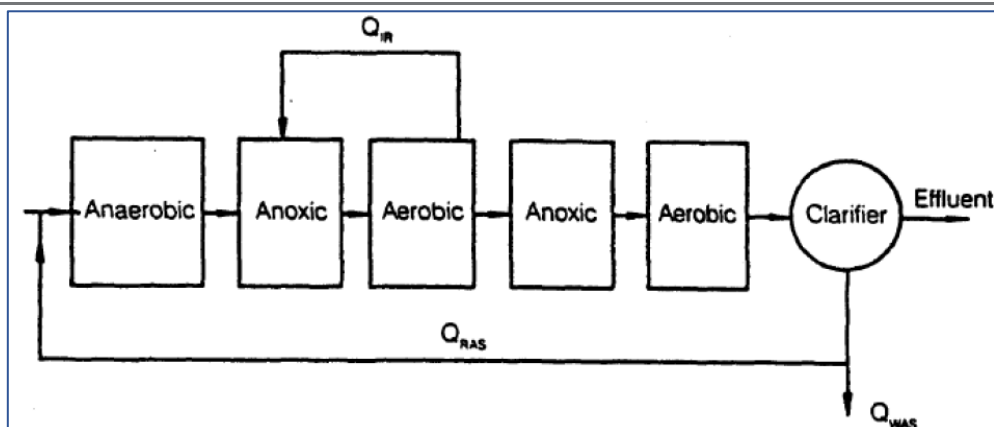
Se han realizado una serie de tanteos dimensionales previos al objeto de descartar y plantear de partida las opciones más viables e interesantes para el tratamiento biológico. De este trabajo se resumen las siguientes conclusiones:

Tanque de laminación:

- En todas las propuestas se debe prever un tanque de laminación y homogeneización previo a la EDAR, debiendo valorar su dimensionamiento e implantación en conjunto con el pretratamiento para los caudales previstos. Esto es un requisito puesto de manifiesto en la licitación del proyecto.

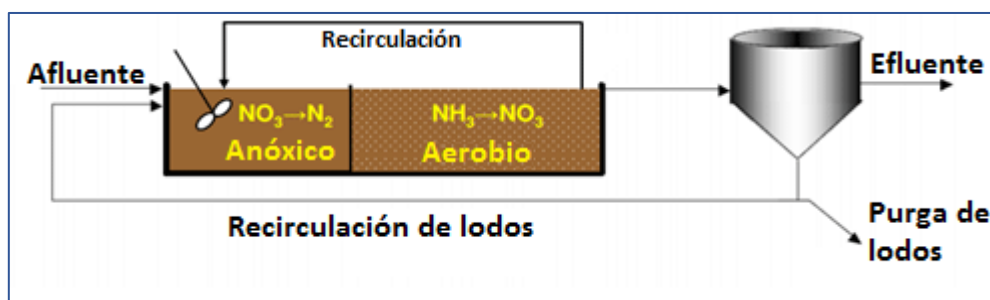
En cuanto al tratamiento biológico, se estudió la posibilidad de mejorar el actual:

- El tamaño de la planta, la necesidad de implantar soluciones robustas, sencillas y versátiles hace necesario plantear un tratamiento biológico de **fangos activos en baja carga** como la alternativa más interesante buscando la eliminación de algunos bombeos intermedios actuales y la digestión aerobia. No obstante, las altas cargas de nitrógeno y fósforo a tratar que se deducen de las bases de diseño condicionan los planteamientos. En un primer tanteo se plantearon soluciones de fangos activos con una configuración básica Desnitrificación – Nitrificación. La configuración resultante tendría volúmenes reseñables pero factibles de manera sencilla para alcanzar los parámetros de vertido. Con la idea de tratar biológicamente el fósforo se valoró la inclusión de una etapa anaeróbica previa a la anoxia mediante un proceso UCT para no incrementar en exceso la producción de lodo por la precipitación química. Se obtienen unos resultados no destacadamente diferentes de los del biológico actual, aunque sería necesario ampliar el volumen.
- Con la configuración actual biológico por concentraciones de DBO y con baja temperatura del agua residual, la DBO rápida para desnitrificación en algunos escenarios no es suficiente para conseguir unos rendimientos óptimos en desnitrificación y sería necesario añadir materia orgánica en el proceso, (metanol) lo que conllevaría un consumo de reactivos. Como alternativa, podría plantearse una fermentación ácida de los lodos, pero lo descartamos totalmente por el tamaño de esta planta y porque puede plantear problemas de filamentosas en los biológicos. Casi ninguna de las plantas en las que se ha instalado este sistema está en servicio por este problema. La alternativa factible con los elementos actuales de la EDAR sería poner en funcionamiento el tratamiento fisicoquímico previo en caso de altas cargas de entrada.
- También se barajaron soluciones de biofiltración que por espacio serían interesantes en la planta existente, pero a priori se descartaron por la dificultad de aprovechar la configuración actual de biológico, por las altas concentraciones de sólidos que tiene el agua y la variabilidad en la entrada. La solución de biofiltración requeriría adoptar tres etapas, PreDN+N+PostDN y una recirculación elevada a la primera etapa. En este caso habría que sumarle además la energía necesaria para el caudal de agua de lavado.
- Para resolver la problemática del biológico en cuanto a recirculaciones y los altos rendimientos de eliminación de nitrógeno requeridos podrían ser interesantes configuraciones en dos etapas D-N, tipo BARDENPHO modificado, como el que se muestra en la figura adjunta:



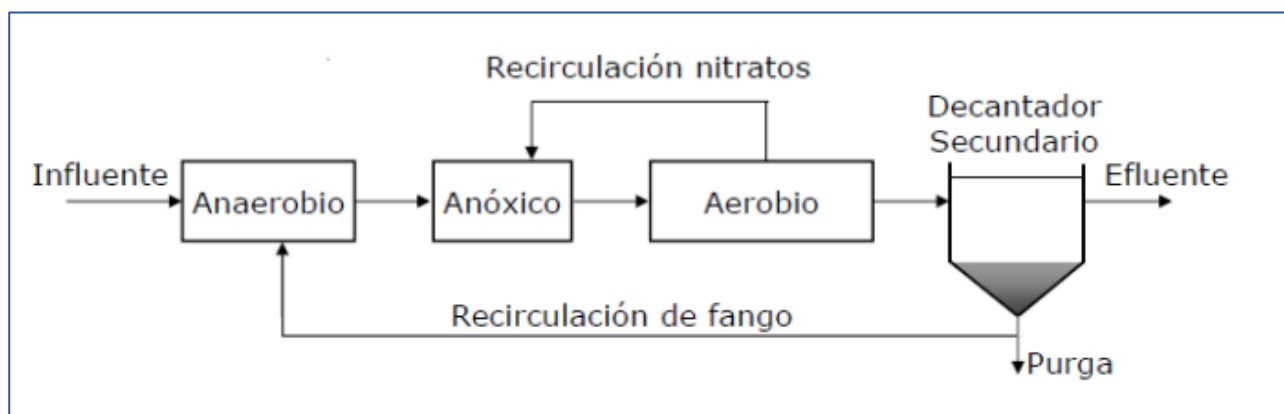
Proceso Bardenpho

- No obstante, y a tenor de los resultados se prefiere reducir las alternativas y la complejidad del control del proceso a soluciones mayores en inversión e implantación a costa de más simplicidad en explotación. En este caso la mejor opción para el proceso sería el propuesto por Ludzack-Ettinger y sus variantes cuyo diagrama se adjunta a continuación:



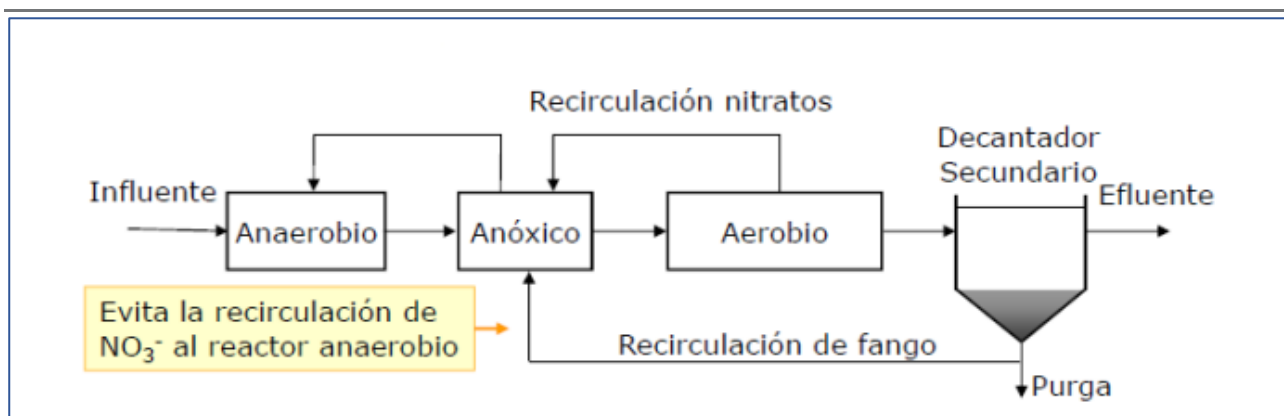
Proceso Ludzack-Ettinger

La variante A2O que incorpora un selector anaerobio para la eliminación de fósforo



Proceso A2O

O bien un proceso tipo UCT que mejora la eliminación de fósforo eliminando la recirculación de nitratos a la cámara anaerobia:



Proceso UCT

Las soluciones secuenciales del tipo SBR también podrían ser recomendables para las cargas de nitrógeno entrantes y encajables como optimización de la solución base final. No obstante, a priori se descartan por tener ya construidos dos decantadores secundarios.

Otra posibilidad es la de adoptar procesos de lecho móvil y recurrir a procesos tipo IFAS (procesos de fangos activados combinados con portadores de biomasa) con una configuración tipo BARDENPHO modificado, que permitiría obtener altos rendimientos en eliminación de nitrógeno con recirculaciones adecuadas y aprovechar el volumen biológico actual. Entre sus ventajas resultarían:

- Mayor capacidad de nitrificación a bajas temperaturas.
- Procesos de gran flexibilidad ya que en función del porcentaje de soporte plástico empleado en el reactor se consigue modificar la superficie y en consecuencia la eficiencia del proceso.



Formación de biopelícula en soporte plástico

No obstante, también se descartan para este caso por el mismo motivo que en las soluciones secuenciales y por elevar el gasto energético para tener la biomasa en suspensión.

Todas las alternativas comentadas anteriormente para el tratamiento biológico ponen de manifiesto que la mejor opción es el aprovechamiento del conjunto biológico (reactor + decantación). Por ello se realiza una comprobación del funcionamiento con los nuevos parámetros de entrada.

La justificación de la idoneidad del tratamiento biológico actual se encuentra en el anejo nº 8 "Dimensionamiento funcional".

Básicamente sería necesario realizar una serie de mejoras en el equipamiento:

- Sustitución de los sistemas de difusión actuales por otros más eficientes.
- Ampliación de la capacidad de aireación con la instalación de una soplante híbrida adicional.
- Ampliación de la capacidad de recirculación interna para garantizar la eliminación de nitrógeno.

En el caso de recibir altas cargas de entrada o vertidos puntuales será precisa la puesta en funcionamiento del actual físico-químico para derivar total o parcialmente los caudales de entrada.

7.3.1.1 Funcionamiento del biológico sin fisicoquímico

En esta alternativa se analiza la viabilidad del tratamiento biológico actual sin fisicoquímico previo y sin digestión aerobia para que cumpla los rendimientos exigidos en el vertido en todos los escenarios propuestos.

El tratamiento biológico es un recinto rectangular de hormigón prefabricado compartimentado en dos líneas de 15,00 metros de anchura y 28,00 metros de longitud, con un volumen unitario de 2.100 m³ y un volumen total de unos 4.200 m³ aproximadamente.

Cuenta con una zona anóxica en cabecera que representa una fracción del 25% del volumen del reactor, en esta zona hay instalado un agitador sumergible en cada línea. En la zona óxica hay instalados dos agitadores sumergibles además de una parrilla con 348 difusores para cada línea.

El aire necesario es aportado por tres soplantes: una de émbolos rotativos con un caudal unitario de 1.700 Nm³/h de 55 Kw y dos soplantes híbridas de 2.513 Nm³/h de 45 Kw.

Para realizar la recirculación interna de nitratos desde la zona óxica a la anóxica hay instaladas dos bombas sumergibles (una por línea) con un caudal de 200 m³/h.



Reactor biológico



Soplantes

De todos los escenarios el más limitante es el de la situación de temporada alta que coincide normalmente en la época estival.

Los parámetros de dimensionamiento en estas condiciones son:

Parámetros de dimensionamiento	T. Alta
Caudal medio diario	4.000 m ³ /día
Habitantes equivalentes	40.000 hab-eq
Caudal medio horario	167 m ³ /h
Caudal punta horario	400 m ³ /h
Concentración media entrada de DBO5	600 mg/l
Carga diaria de DBO5	2.400 Kg/día
Concentración media entrada de DQO	1.200 mg/l

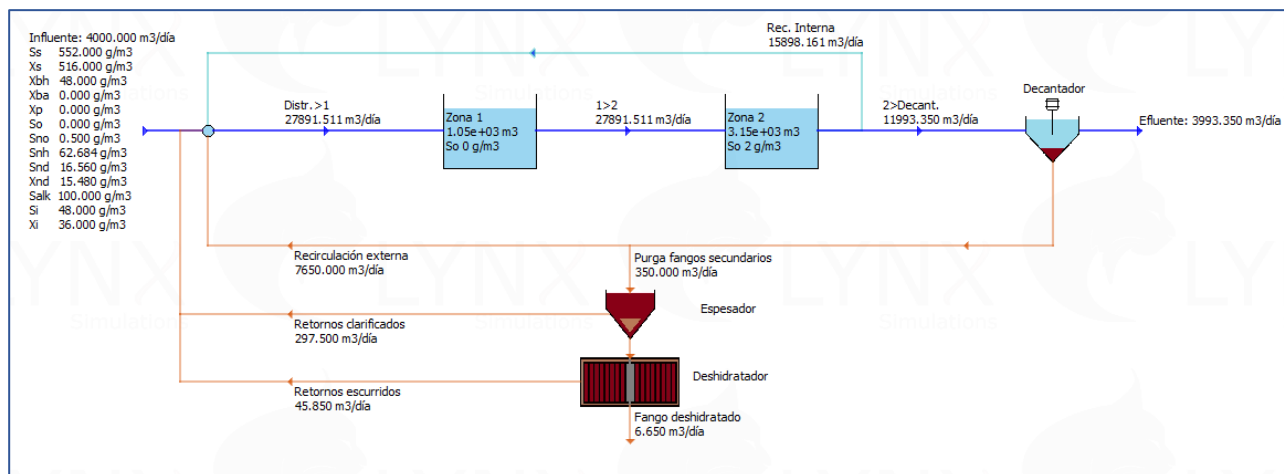
Carga diaria de DQO	4.800 Kg/día
Concentración media entrada de solidos totales	783 mg/l
Carga diaria de solidos totales	3.132 Kg/día
Concentración media entrada de nitrógeno total	102 mg/l
Carga diaria de nitrógeno total	408 Kg/día
Concentración media entrada de fosforo	17 mg/l.
Carga diaria de fosforo	68 Kg/día.
Temperatura invierno	20 °C.
Temperatura en verano	25 °C.

Para la validación del dimensionamiento de la EDAR se ha realizado un diseño preliminar de la EDAR mediante el software de simulación dinámica "Lynx ASM1", que está basado en el modelo de fangos activos ASM1 de la IWA (International Water Association).

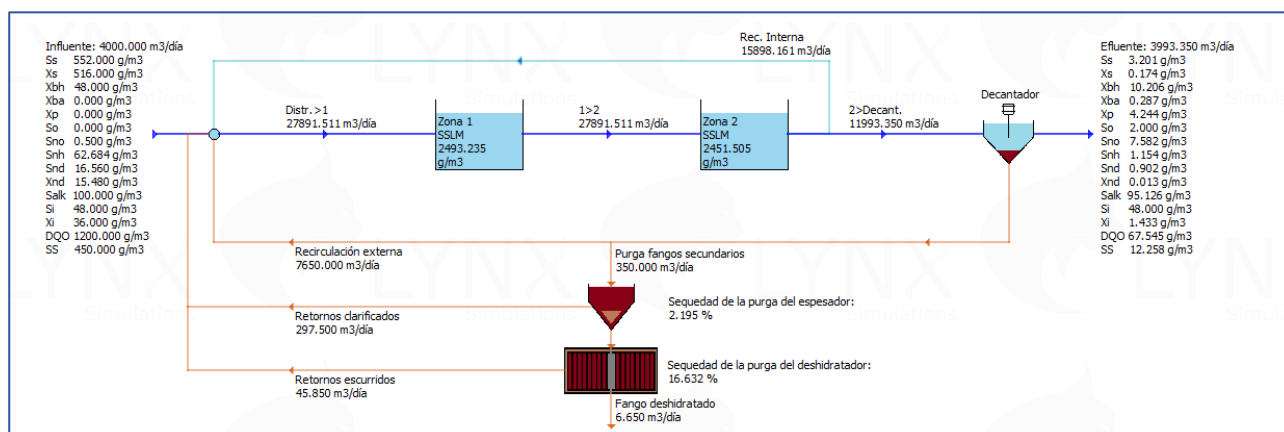
Se trata de un software de simulación dinámica que tras ser calibrado con las características de la EDAR (en cuanto a tipología de cargas, caudales, patrones y demás) permite bien simular diferentes configuraciones o formas de trabajar en el proceso (condiciones de verano, invierno, previsiones futuras de aumento de caudal, de carga orgánica, etc.), o bien optimizar la eliminación biológica de nitrógeno o cualquier otro parámetro, para poder así elaborar propuestas de mejora en función de los puntos críticos se hayan detectado en la modelización.

Se han adoptado cinética a 20°C que es la temperatura más baja considerada en las bases de partida.

A continuación, se muestran los modelos de cálculo utilizados con el software de simulación, que nos va a permitir ver las condiciones de operación:



Datos de entrada.



Resultados obtenidos

RESULTADOS	Entrada	Salida
Ss= DQO Soluble biodegradable	552,00	3,20 mg/l
Xs= DQO Particulada biodegradable	516,00	0,17 mg/l
Si= DQO Soluble inerte	48,00	48,00 mg/l
Xi=DQO inerte particulada	36,00	1,43 mg/l
Xbh= DQO Biomasa heterótrofa	48,00	10,20 mg/l
Xba= DQO Biomasa autótrofa	0,00	0,29 mg/l
Xp= DQO Biomasa inertes procedentes de muerte celular	0,00	4,24 mg/l
TOTAL	1.200,00	67,53 mg/l
Sno=Nitratos + nitritos	0,50	7,58 mg/l
Snh=Amonio	62,68	1,15 mg/l
Snd=N orgánico biodegradable soluble	16,56	0,90 mg/l
Xnd=N orgánico biodegradable particulado	15,48	0,01 mg/l
TOTAL	95,22	9,65 mg/l
Oxígeno disuelto	0,00	2,00 mg/l
Alcalinidad	100,00	95,12 mg/l
Solidos	450,00	12,25 mg/l

Parámetros operacionales del tratamiento biológico

Caudal de entrada	4.000,00 m ³ /h
Caudal recirculación interna	15.898,00 m ³ /h
Caudal recirculación externa	7.650,00 m ³ /h
Concentración solidos reactor	2,45 kg/m ³
Volumen reactor (total)	4.196,93 m ³
Masa de fangos en reactor	10.286,68 Kg
Purga fangos	350,00 m ³ /d
Factor de recirculación externa	1,91
Concentración recirculación externa	3,73 kg/m ³
Masa de fangos purgada	1.306,40 Kg/d
Fangos debidos a los SS en el efluente	49,00 Kg/d
Edad del fango	7,59 días
OUR	46,34 gr/m ³ /h
Volumen zona óxica	3.147,70 m ³
AOR calculado	145,86 Kg/h

Los resultados obtenidos son perfectamente válidos, si bien observamos que la edad del fango obtenida es de tan solo 7,59 días.

Para determinar la edad del fango mínima para estabilizar el fango se recurre a la formula:

$$Et = E10(1,072^{10-T})$$

Donde:

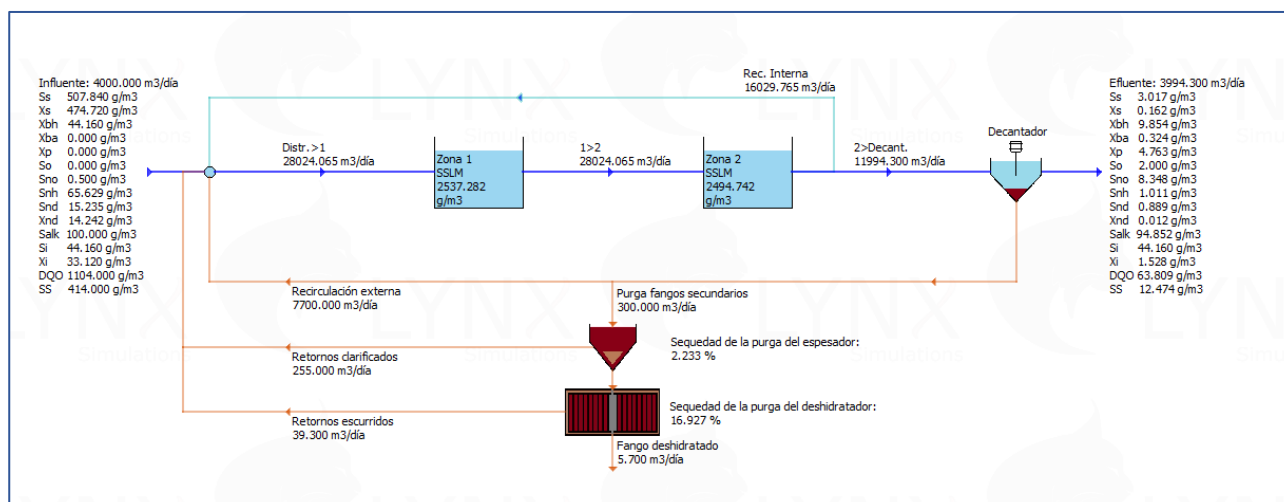
- Et= Edad del fango mínima a la temperatura de cálculo
- E10= la edad del fango mínima necesaria a una temperatura de 10° C (20 días de acuerdo al CEDEX)
- T= temperatura de cálculo.

Resultando una edad del fango mínima de 7,40 días, con lo que tendríamos que estabilizarlo con una digestión adicional.

7.3.1.2 Funcionamiento del biológico con tratamiento fisicoquímico

A continuación, vamos a considerar que hacemos pasar por el fisicoquímico una fracción del caudal de entrada. Evidentemente los fangos generados en este fisicoquímico tendrán que ser digeridos posteriormente en una digestión.

Parámetros de dimensionamiento	T. Alta
Caudal medio diario	4.000 m ³ /día
Caudal medio horario	167 m ³ /h
Caudal punta horario	400 m ³ /h
Concentración media entrada de DBO5	552 mg/l
Carga diaria de DBO5	2.208 Kg/día
Concentración media entrada de DQO	1.104 mg/l
Carga diaria de DQO	4.416 Kg/día
Concentración media entrada de solidos totales	681 mg/l
Carga diaria de solidos totales	2.725 Kg/día
Concentración media entrada de nitrógeno total	100 mg/l
Carga diaria de nitrógeno total	400 Kg/día
Concentración media entrada de fosforo	17 mg/l.
Carga diaria de fosforo	67 Kg/día.
Temperatura invierno	20 °C.
Temperatura en verano	25 °C.



RESULTADOS	Entrada	Salida
Ss= DQO Soluble biodegradable	507,84	3,02 mg/l
Xs= DQO Particulada biodegradable	474,72	0,16 mg/l
Si= DQO Soluble inerte	44,16	44,16 mg/l
Xi=DQO inerte particulada	33,12	1,53 mg/l
Xbh= DQO Biomasa heterótrofa	44,16	9,85 mg/l
Xba= DQO Biomasa autótrofa	0,00	0,32 mg/l
Xp= DQO Biomasa inertes procedentes de muerte celular	0,00	4,76 mg/l
TOTAL	1.104,00	63,81 mg/l
Sno=Nitratos + nitritos	0,50	8,35 mg/l
Snh=Amonio	65,63	1,01 mg/l
Snd=N orgánico biodegradable soluble	15,24	0,89 mg/l
Xnd=N orgánico biodegradable particulado	14,24	0,01 mg/l
TOTAL	95,60	10,26 mg/l
So= Oxígeno disuelto	0,00	2,00 mg/l
Salk= Alcalinidad	100,00	94,85 mg/l
SS= Solidos	414,00	12,47 mg/l

Parámetros operacionales del tratamiento biológico

Caudal de entrada	4.000,00 m ³ /h
Caudal recirculación interna	16.029,00 m ³ /h
Caudal recirculación externa	7.700,00 m ³ /h
Concentración sólidos reactor	2,49 kg/m ³
Volumen reactor (total)	4.196,93 m ³
Masa de fangos en reactor	10.467,15 Kg
Purga fangos	300,00 m ³ /d
Factor de recirculación externa	1,93
Concentración recirculación externa	3,79 kg/m ³
Masa de fangos purgada	1.136,88 Kg/d
Fangos debidos a los SS en el efluente	49,90 Kg/d
Edad del fango	8,82 días
OUR	43,45 gr/m ³ /h
Volumen zona óxica	3.147,70 m ³
AOR calculado	136,77 Kg/O ₂ h

Como podemos comprobar la edad del fango es superior a 7,40 días con lo que estimamos que el fango está estabilizado.

7.3.2 Soluciones para la digestión de fangos.

Como ya hemos visto, en determinados escenarios el fango extraído del tratamiento biológico no está completamente estabilizado y es necesario realizar una digestión de los mismos.

Para la digestión de estos fangos se descarta directamente la posibilidad de hacerlo con una digestión anaerobia debido a la temporalidad de esta planta, con una acusada diferencia entre los caudales y cargas de temporada alta y temporada baja, que impiden mantener tener un funcionamiento estable en digestión.

Existe actualmente una digestión aerobia en la EDAR (aunque está en desuso) por lo que adoptamos este mismo sistema para la digestión de fangos en épocas de alta carga y para los fangos del fisicoquímico.

El dimensionamiento realizado se puede ver en el anejo de cálculo, a continuación, adjuntamos un extracto del mismo.

NUEVO DIGESTOR AEROBIO DE FANGOS					
Producción de fangos	Sin fisicoquímico		Con fisicoquímico		
		T. Alta	T. Baja	T. Alta	
Producción total de solidos		2.276,78	1.876,54	2.525,01	Kg SST/día.
Sólidos volátiles		1.288,00	1.053,31	1.404,42	Kg SSV/día.
Sólidos minerales		988,78	823,22	1.120,59	Kg SM/día.
Porcentaje de volátiles		56,57	56,13	55,62	%
Concentración de entrada		5,38	5,32	6,42	kg/m ³
Volumen de fangos producidos		423,27	352,49	393,13	m ³ /día.
Dimensionamiento	Sin fisicoquímico		Con fisicoquímico		
		T. Alta	T. Baja	T. Alta	
Volumen máximo necesario		910,71	750,61	1.010,00	m ³
Número de líneas		2,00	2,00	2,00	
Longitud adoptada para digestor		13,00	9,00	9,00	m
Calado previsto		4,50	4,50	4,50	m
Anchura adoptada de digestor		13,00	13,00	13,00	m
Volumen total digestión		1.053,00	1.053,00	1.053,00	m ³

Concentración de salida del digestor	25,00	25,00	25,00	Kg/m ³
Volumen de fangos digeridos	70,46	58,21	78,53	m ³ /día
Volumen de escurridos	352,81	294,28	314,60	m ³ /día

Cálculo de la aireación:	Sin fisicoquímico	Con fisicoquímico		
		T. Alta	T. Baja	T. Alta
AOR. Necesidades totales de O2 condiciones de campo	1.030,40	967	1.290	Kg O2/día
AOR. Necesidades totales de O2 condiciones de campo	42,93	40,31	53,75	Kg O2/hora
AOR/SOR coeficiente global transferencia	0,606	0,682	0,682	
SOR máxima (condiciones estándar)	70,80	59,09	78,79	Kg O2/h
N.º de aireadores a instalar	4,00	4,00	4,00	Uds
Potencia unitaria instalada	16,00	16,00	16,00	Kw
Potencia total instalada	64,00	64,00	64,00	Kw
Oxígeno máximo transferido por unidad	20,00	20,00	20,00	Kg O2/h
Oxígeno máximo total transferido	80,00	80,00	80,00	Kg O2/h

Extracción fango digerido a espesador:	Sin fisicoquímico	Con fisicoquímico		
		T. Alta	T. Baja	T. Alta
Caudal de bombeo adoptado	5,00	5,00	5,00	m ³ /h
Altura manométrica máxima de impulsión	6,00	6,00	6,00	mca
Potencia instalada	1,30	1,30	1,30	Kw

7.3.3 Soluciones para la ampliación decantación secundaria.

Dentro de los requisitos del PPT (Pliego de Prescripciones Técnicas) de la licitación del proyecto está la ampliación de la capacidad de la decantación secundaria, textualmente:

"Construcción de un nuevo decantador secundario igual a los existentes, y rehabilitación y mejora de estos."

La decantación secundaria está formada por dos decantadores circulares de hormigón prefabricado, uno de 15,15 m de diámetro y otro de 14,40 metros.

La recirculación externa de fango se realiza mediante cuatro bombas sumergibles con un caudal unitario de 108 m³/h.

Para la extracción de fango en exceso hay instaladas dos bombas (1 por línea) con un caudal de 35 m³/h.

El decantador de la línea 2 (más moderno) tiene además un bombeo de flotantes. El de la línea 1 descarga los flotantes a la línea de vaciados y escurridos.



Decantador línea 1



Decantador línea 2

Se trata de conocer los límites de funcionamiento de la actual decantación para ver si pueden asumir los nuevos caudales y cargas de diseño.

El dimensionamiento de los decantadores secundarios se realiza básicamente en base a dos criterios, la carga superficial y la carga de sólidos. Menos importante es el ratio de tiempo de retención, aunque es también un factor a tener en cuenta.

Los parámetros de dimensionamiento dependen del tipo de proceso de que se trate, a continuación, adjuntamos una tabla con los valores de carga hidráulica y de sólidos de los procesos más usuales.

Proceso convencional y Contacto-estabilización		Aireación prolongada
Carga superficial a	$Q_{med} \leq 0,8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ $Q_{max} \leq 1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$	$Q_{med} \leq 0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ $Q_{max} \leq 0,9 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
Carga sólidos a (MLSS > 2.500 ppm)	$Q_{med} \leq 2,5 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{h}$ $Q_{max} \leq 4,5 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{h}$	$Q_{med} \leq 1,8 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{h}$ $Q_{max} \leq 3,2 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{h}$
Tiempo de retención hidráulica a	$Q_{med} \geq 3 \text{ horas}$	$Q_{med} 3 - 5 \text{ horas}$
Q/ml. de vertedero a	$Q_{med} \leq 12 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q_{max} \leq 20 \text{ m}^3/\text{h}$	$Q_{med} \leq 12 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q_{max} \leq 20 \text{ m}^3/\text{h}$
Calado en el borde	> 3 metros	> 3 metros

Condiciones a cumplir en decantación secundaria. CEDEX

Calculamos los valores de funcionamiento de la decantación actual con los datos de caudales y cargas del presente proyecto considerando el tratamiento biológico como un proceso de media carga y de aireación prolongada, dado que en función de la carga y el caudal el funcionamiento puede encuadrarse en los dos tipos de proceso:

DECANTACION SECUNDARIA	Media carga		Aireación prolongada	
Características del influente:	T. Baja	T. Alta	T. Baja	T. Alta
Caudal medio horario de diseño	125	167	125	167 m ³ /h
Caudal punta horario de diseño	300	400	300	400 m ³ /h
Carga de sólidos a caudal medio	375	583	375	583 Kg/h
Carga de sólidos a caudal máximo	900	1.400	900	1.400 Kg/h

Parámetros de diseño:	Media carga		Aireación prolongada	
	T. Baja	T. Alta	T. Baja	T. Alta
Carga superficial a caudal medio $\leq$	0,80	0,80	0,50	0,50 m ³ /m ² /h
Carga superficial a caudal punta $\leq$	1,50	1,50	0,90	0,90 m ³ /m ² /h
Carga de sólidos a caudal medio $\leq$	2,50	2,50	2,00	2,00 Kg/m ² /h
Carga de sólidos a caudal punta $\leq$	4,50	4,50	4,00	4,00 Kg/m ² /h
Tiempo de retención a caudal medio $\geq$	5,00	5,00	5,00	5,00 h
Tiempo de retención a caudal punta $\geq$	3,00	3,00	3,00	3,00 h

Dimensionamiento.	Media carga		Aireación prolongada	
	T. Baja	T. Alta	T. Baja	T. Alta
Superficie por carga superficial a caudal medio	156	208	250	333 m ²
Superficie por carga superficial a caudal punta	200	267	333	444 m ²
Superficie por carga de sólidos a caudal medio	150	233	188	292 m ²
Superficie por carga de sólidos a caudal punta	200	311	225	350 m ²
Superficie adoptada	200	311	333	444 m ² .
Superficie decantación actual (1 Ø15,15 +1Ø14,50)	343	343	343	343 m ²
Superficie unitaria necesaria nuevo decantador	-143	-32	-10	101 m ²

Diámetro necesario nuevo decantador	-	-	-	11,36 m.
Diámetro decantador adoptado	14,40	14,40	14,40	14,40 m.
Superficie real unitaria nuevo decantador	163	163	163	163 m ²
Superficie real total decantación	506	506	506	506 m ²

Como vemos en la situación de temporada alta con bajas cargas en el tratamiento biológico la superficie de decantación es insuficiente y sería necesario ampliarla.

Por otro lado, la totalidad del caudal de entrada a la EDAR se recibe a través de una serie de bombes:

- Impulsión de La Savina
- Impulsión de Es Pujols
- Impulsión de Sant Ferran
- Impulsión de Sant Francesc
- Impulsión del polígono
- Impulsión de rechazos de regantes

La simultaneidad entre estos bombes y su capacidad máxima no está claramente determinada, en la EDAR actual se han registrado puntas de caudal muy parecidas a las del presente proyecto (~400 m³/h) pero pueden ser superiores.

El caudal máximo de tratamiento de la EDAR está condicionado por la capacidad máxima hidráulica del emisario de salida, en el anejo de cálculo hidráulico se ha determinado que este caudal está en un valor cercano a los 520 m³/h, este caudal debería poder pasar por la decantación secundaria con lo que podemos ver cuáles serían los valores de carga hidráulica en este caso.

Comprobación decantación a caudal máximo de transporte emisario

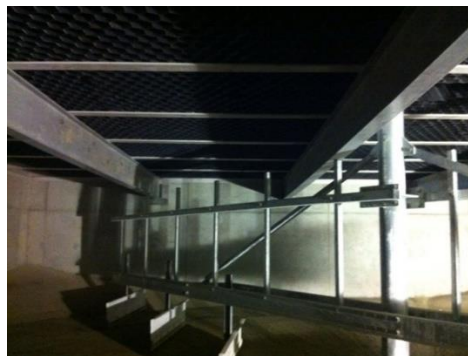
Carga superficial a caudal medio	0,33 m ³ /m ² /h
Carga superficial a caudal punta	1,13 m ³ /m ² /h
Carga de sólidos a caudal medio	1,15 Kg SS/m ² /h
Carga de sólidos a caudal punta	2,77 Kg SS/m ² /h
Tiempo de retención a caudal medio	9,92 h
Tiempo de retención a caudal punta	2,90 h
Carga sobre vertedero a caudal medio	1,23 m ³ /ml/h
Carga sobre vertedero a caudal punta	4,20 m ³ /ml/h

Como vemos, la carga superficial a caudal máximo es mayor de 0,90 m³/m²/h (valor para aireación prolongada) pero está dentro de los considerados normales para fangos activos (1,50 m³/m²/h), por lo que validamos el dimensionamiento efectuado.

Se han valorado otras alternativas para aumentar la superficie de decantación como por ejemplo convertir los actuales decantadores de gravedad a decantadores lamelares pero se complica mucho la recogida de fango, habría que prescindir del arrastre perimetral actual e instalar un mecanismo de accionamiento central, además del paquete lamelar con los soportes, lo que en la práctica tendría un coste parecido al de construir un decantador nuevo.



Paquete lamelar para decantador secundario



Accionamiento central decantador lamelar

Por tanto la mejor alternativa a la ampliación de la decantación secundaria es la ejecución de un nuevo decantador con sus elementos auxiliares: bombeo recirculación, de exceso y de flotantes.

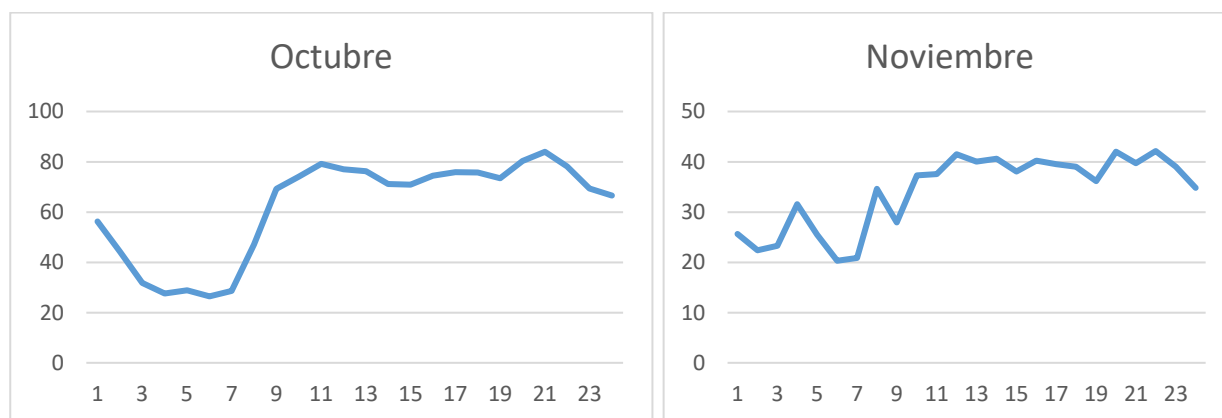
7.3.4 Soluciones para el tanque de laminación.

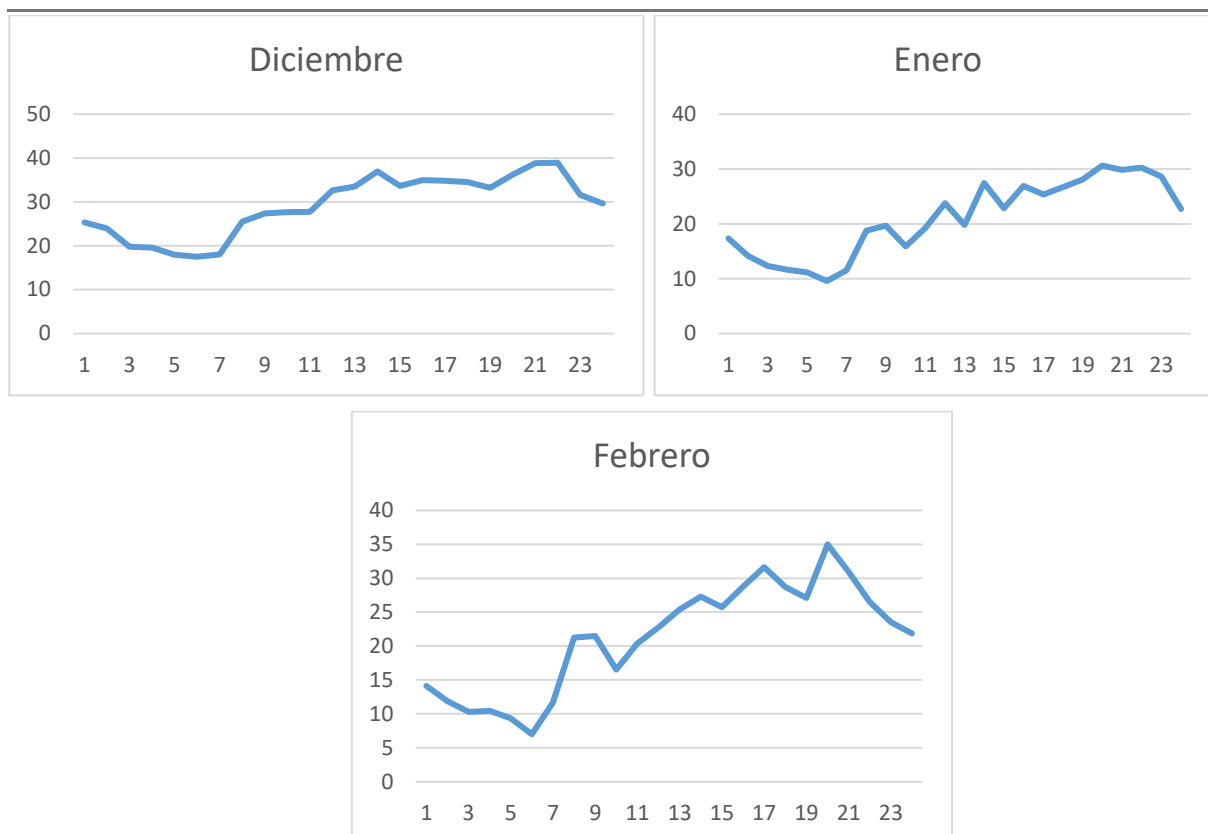
Dentro de los requisitos del PPT (Pliego de Prescripciones Técnicas) de la licitación del proyecto está la construcción de un nuevo desarenado y un depósito de laminación.

Este tanque de laminación en una red de tipo unitaria tendrá funciones de tanque anti-contaminación, también llamados anti-DSU (Descarga de los Sistemas Unitarios), dado que se trata de una infraestructura cuya misión es almacenar aquellos volúmenes que no pueden ser tratados por la EDAR, al superar los caudales generados en tiempos de lluvia la capacidad de tratamiento de ésta. El tanque evita de este modo vertidos al cauce receptor con las aguas de las primeras lluvias que son las más contaminantes.

Durante la redacción del proyecto se han instalado equipos para la medición de caudal de entrada a la EDAR, el análisis y los datos de estos caudales están reflejados en el Anejo nº7. "Características afluente y efluente."

A continuación, adjuntamos las curvas de evolución media horaria de los meses en los que ha habido registros:





Los meses de octubre y noviembre hay una acusada diferencia entre los caudales diurnos y nocturnos, durante la mayor parte del día el caudal es estable, decayendo en las horas nocturnas.

Los meses de diciembre y enero tienen una curva mucho más plana con la punta mayor de caudal en las primeras horas de la tarde.

Febrero vuelve a tener varias puntas de caudal al amanecer, a mediodía y la primeras de la noche.

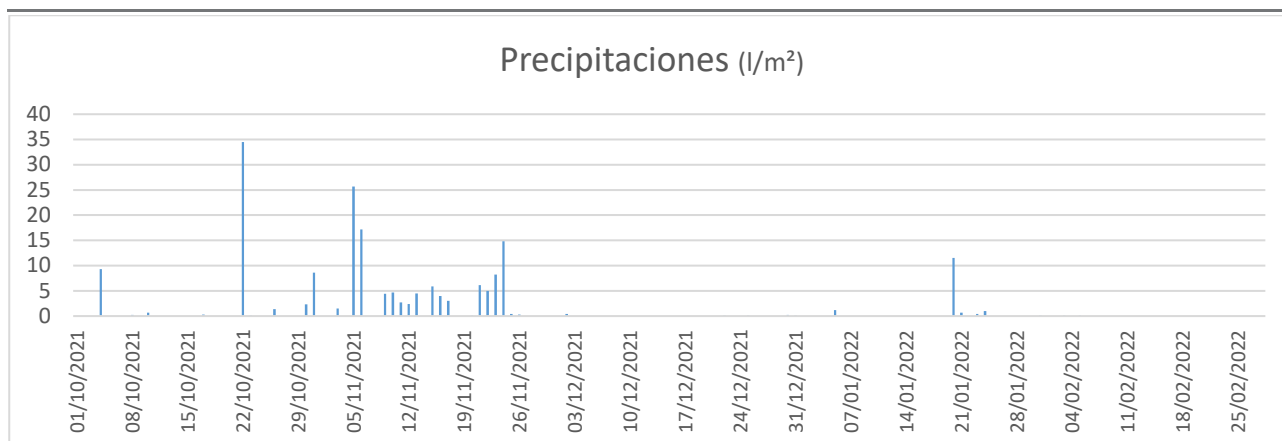
Los valores medios de cada mes son:

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Media (m³/h)	61,94	34,16	29,17	21,01	21,23
Mínimo (m³/h)	26,45	20,31	17,51	9,59	7,00
Máximo* (m³/h)	83,97	42,14	38,94	30,62	34,98
Coeficiente Punta	3,18	2,08	2,22	3,20	5,00

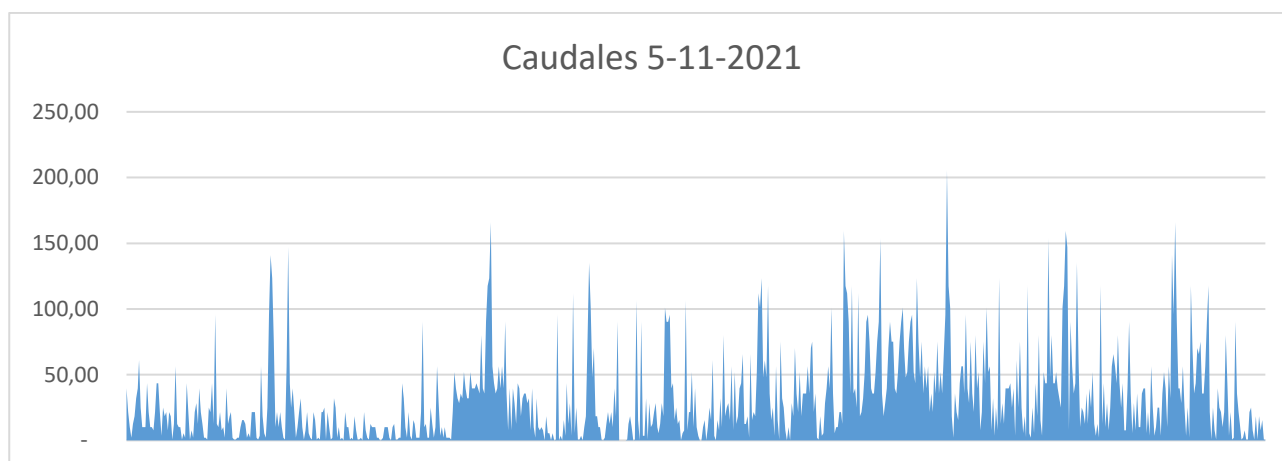
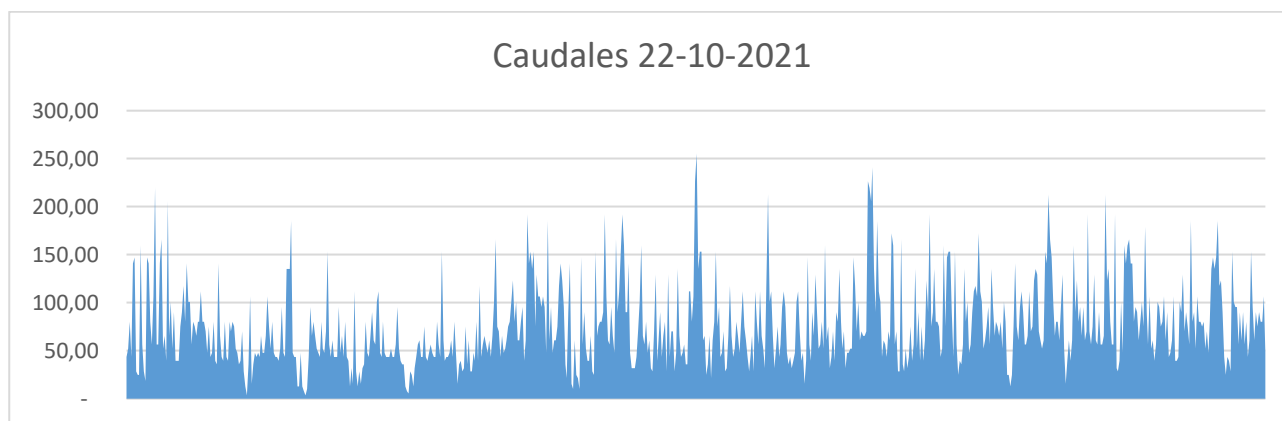
*Este valor máximo es el de la serie de datos medios de todos los días del mes, se han registrado datos puntuales mayores, especialmente en el mes de octubre y noviembre:

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Máximo registrado (m³/h)	468,95	524,09	219,35	255,26	172,22

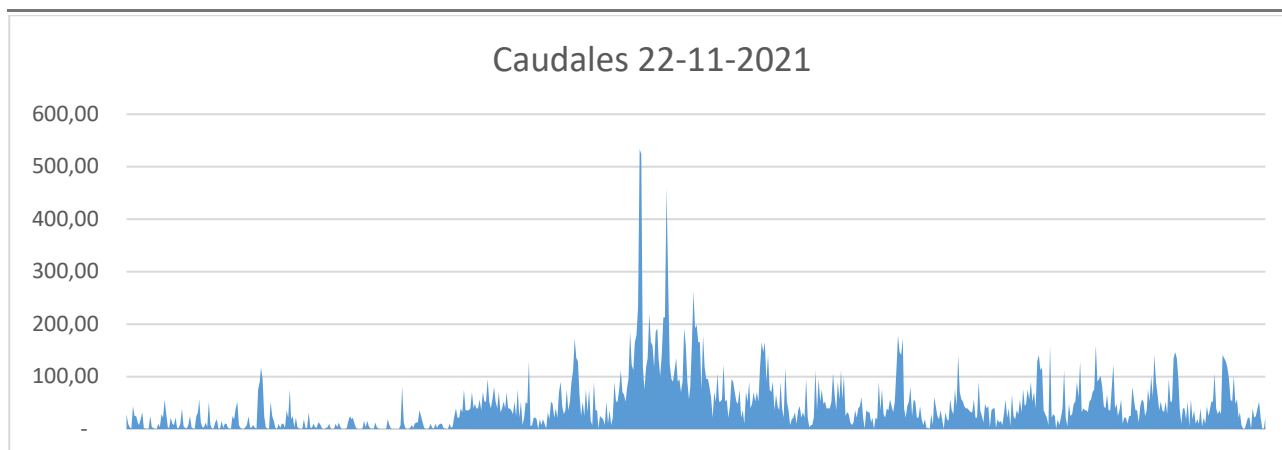
Si vemos las precipitaciones registradas en ese periodo comprobamos que se han producido mayoritariamente en el mes de noviembre, que coincide claramente con la máxima punta registrada (524 m³/h).



Durante este periodo, los eventos de lluvia más significativos se produjeron el día 22/10/2021 y el día 5/11/2021 pero como podemos ver en las siguientes graficas estas lluvias llegaron laminadas a la EDAR no sobrepasando los 200-250 m³/h:



El día 22-11-2021, si se produjeron llegadas a la EDAR que superaron en algún momento los 400 m³/h (máxima capacidad hidráulica de biológico en el presente proyecto):



Para el cálculo del volumen del tanque de laminación existen diferentes métodos de dimensionamiento, por lo que nos basaremos en los más empleados habitualmente en España.

El criterio más generalizado es que el volumen del tanque de tormenta sea capaz de retener como mínimo la contaminación producida por la primera lluvia. En este sentido hay distintos sistemas de cálculo como el de la British Standard, la Norma Alemana ATV y los criterios de diseño de colectores de las Confederaciones Hidrográficas. Casi todas relacionan el caudal de cálculo con la superficie de la cuenca que recoge el sistema de alcantarillado.

En la **British Estándar** (BSI 8005-4:1987), este volumen corresponde a uno tal que para una lluvia de 20 minutos de duración y con una intensidad de 10 litros por segundo y hectárea impermeable no produzca vertidos por los aliviaderos. Esta es la denominada lluvia crítica, que provoca el primer lavado de calles y la resuspensión de sedimentos en los colectores.

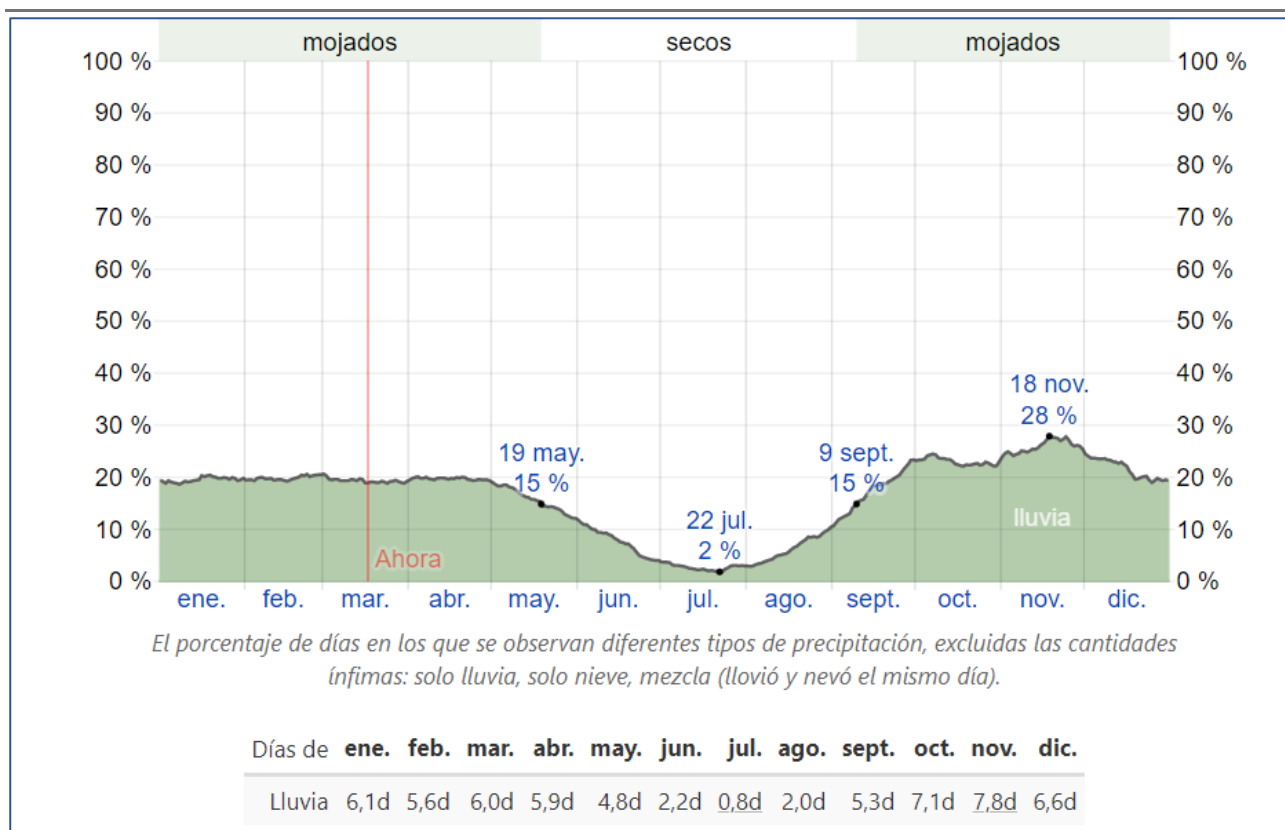
La **norma alemana ATV 128:1992** varía este valor de los 10 l/s y ha, por un abanico entre 7,5 y 15 l/s y ha impermeable, valor que varía en función del tiempo de concentración de la cuenca.

La **Confederación Hidrográfica del Norte** tiene una amplia experiencia en la regulación del caudal de lluvias mediante depósitos de retención. Las especificaciones de la CHN recomiendan los siguientes volúmenes de almacenamiento específico para los depósitos anti-DSU:

- 4 m³/ha impermeable en zonas de población densa.
- 9 m³/ha impermeable en zonas de población dispersa.

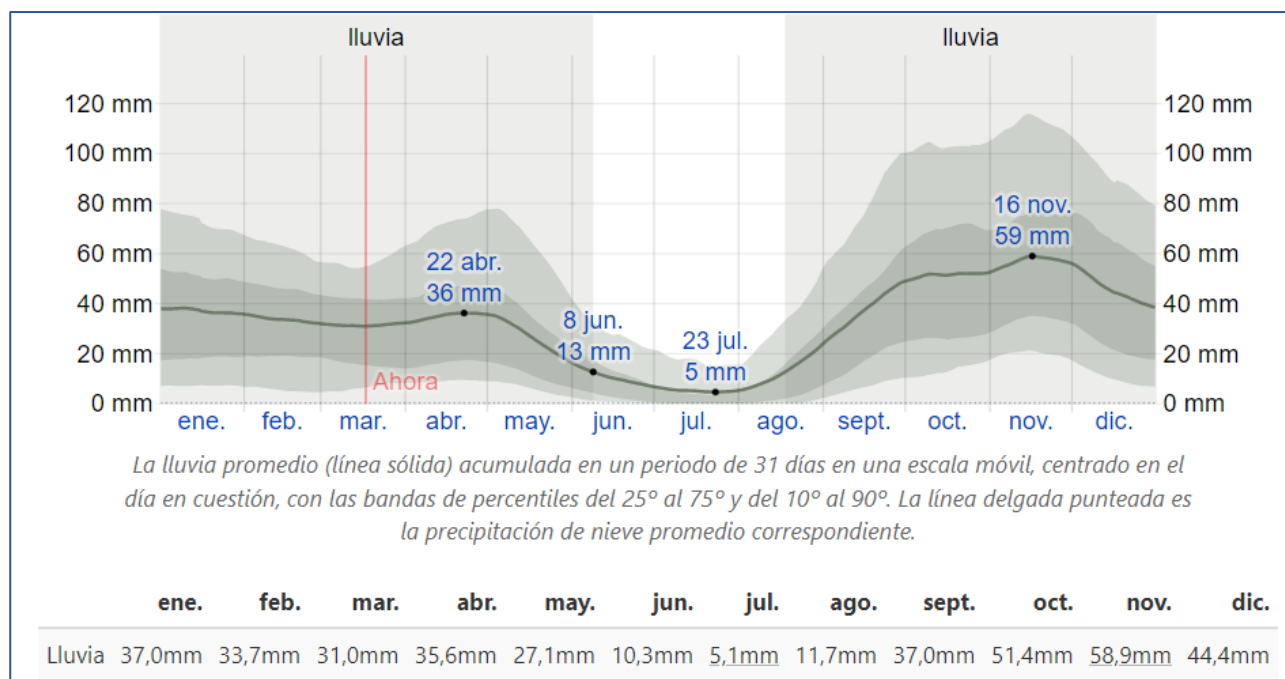
Por último, como criterio adicional, la **Confederación Hidrográfica del Guadiana** obtiene el volumen para tanques de tormenta de municipios de 10.000 a 15.000 habitantes como 15 m³/ha impermeable, que es un valor intermedio entre la norma inglesa y la norma alemana ATV.

El gráfico con la probabilidad y el número de días de lluvia en Formentera es el siguiente (datos históricos de 2022 a 2014):



Probabilidad de lluvia y número de días de lluvia. Fuente <https://es.weatherspark.com/>

El promedio mensual de lluvias es el siguiente:



Promedio mensual de lluvias en Formentera. Fuente <https://es.weatherspark.com/>

Donde observamos que el mes más lluvioso es del mes de noviembre.

Tomando dotaciones de 250 l/hab y día los caudales de diseño de la norma inglesa y la norma alemana serían:

TABLA 7		
Comparación de caudales de diseño		
Población	Caudal de diseño del interceptor (l/s)	
	Norma inglesa	Norma alemana
5.000	93,46	64,07
10.000	186,92	115,74
50.000	934,61	578,70
100.000	1.869,21	1.060,96
300.000	5.607,64	3.182,87

Caudales de diseño de tanques de tormenta. Fuente: Hispagua 1995

Para la población de diseño que nos ocupa (40.000 hab-eq) según la norma alemana estaríamos en valores próximos a 0,50 m³/sg, lo que supone en 20 minutos un volumen de unos 600 m³.

Como ya hemos comentado la totalidad del caudal que llega a la EDAR proviene de una serie de estaciones de bombeo que reciben a su vez el agua residual por gravedad o de otras estaciones de bombeo.

Por ello el caudal que se recibe en la EDAR viene laminado por estas EBAR, las longitudes de impulsión de los distintos bombeos, hacen que se amortigüen y se laminen las puntas de caudal propias de una red de alcantarillado municipal.

La capacidad máxima hidráulica del tratamiento biológico es de 400 m³/h, por lo que el tanque de laminación debe contener la diferencia entre el caudal máximo de entrada que en este caso está determinado por el caudal máximo que puede evacuar el emisario de salida que es de $\approx$ 520 m³/h. La justificación de este caudal se encuentra en el anejo de cálculos hidráulicos del proyecto.

Por tanto el caudal de entrada máximo al tanque de laminación será de 120 m³/h en año horizonte de diseño. El volumen se dimensiona habitualmente para contener este caudal en un periodo de tiempo comprendido entre 2 y 6 horas, que dependerá de las características concretas de la cuenca y de la EDAR. De acuerdo con nuestra experiencia y a la vista de los eventos de lluvia analizados adoptamos un tiempo de retención de 4,00 horas.

Estos tanques cuya misión es controlar el impacto que ocasionan las descargas a los cauces receptores de sistemas unitarios (DSU) y de redes de aguas pluviales en el caso de redes separativas, se pueden disponer previamente a la EDAR o bien en los colectores tributarios de los emisarios que conducen los caudales a la EDAR o de ambas formas. En nuestro caso y al llegar todo el caudal bombeado se ha optado por dimensionar el desbaste y el desarenado para la totalidad del caudal de entrada y laminar los caudales antes del tratamiento biológico. De esta forma en caso de que el evento de lluvia sea superior a tres horas el eventual alivio al cauce se realizará con un agua totalmente desbastada y desarenada y con una muy baja carga contaminante dado que la punta de contaminación de las aguas de lluvia se produce normalmente en los primeros 20 minutos.

La justificación del dimensionamiento es la siguiente:

<u>Volumen necesario del tanque</u>	Actual	Horizonte
Caudal máximo considerado de llegada	520	520 m ³ /h
Caudal medio de diseño	125	167 m ³ /h
Caudal máximo de diseño de biológico	300	400 m ³ /h
Diferencia entre caudal de llegada y máximo de diseño	220	120 m ³ /h
Tiempo de retención del tanque sobre Q medio	2,00	4,00 horas

Volumen necesario	440	480 m ³
Ancho del digestor aerobio	13,00	13,00 m
Calado adoptado tanque laminación	5,50	5,50 m
Ancho necesario para tanque de laminación	5,24	5,24 m
Ancho adoptado	7,00	7,00
Volumen resultante en tanque de laminación	500	500 m ³
Tiempo almacenamiento sobre Qmedio diseño	2,28	4,17 horas
Sistema de limpieza	Limpiador basculante	
Numero de calles en cada recinto	1	1 Uds
Longitud de los recintos	13,00	13,00 m
Anchura de recintos	7,00	7,00 m
Anchura de calles	7,00	7,00 m
Numero de basculantes en cada calle	1,00	1,00 Uds
Número total de basculantes	1,00	1,00 Uds
Caudal de agua de limpieza considerado	500,00	500,00 l/ml
Longitud del basculante	6,85	6,85 m
Volumen agua necesario	3,43	3,43 m ³
Diámetro necesario autobasculante	0,80	0,80 m
Diámetro adoptado basculante	0,80	0,80 m
Tiempo de descarga del basculante	10	10 sg
Caudal de descarga	1.233	1.233 m ³ /h

En cuanto a la reincorporación del contenido del tanque al proceso de tratamiento se adopta un tiempo de vaciado que proporcione un caudal que no interfiera en exceso en el proceso de tratamiento, de forma que la suma del caudal de entrada más el de la reincorporación del tanque no supere el caudal máximo de tratamiento biológico.

	T. Baja	T. Alta
Caudal máximo de biológico	300,00	400,00 m ³ /h
Caudal medio de biológico	125,00	166,67 m ³ /h
Diferencia de caudales	175,00	233,33 m ³ /h
Caudal de bombeo adoptado	150	150 m ³ /h
Tiempo de vaciado previsto	3,34	3,34 horas
Numero de bombas a instalar	2,00	2,00 Uds
Numero de bombas funcionando	1,00	1,00 Uds
Caudal unitario necesario por bomba	150	150 m ³ /h
Caudal unitario adoptado por bomba	150	150 m ³ /h
Altura geométrica mínima de elevación	5,70	5,70 m
Altura geométrica máxima de elevación	6,10	6,10 m
Altura geométrica media de elevación	5,90	5,90 m
Pérdidas de carga a caudal de diseño	0,20	0,20 m
Altura manométrica media de impulsión	6,10	6,10 mca
Potencia hidráulica necesaria	2,49	2,49 Kw
Rendimiento bomba considerado	0,62	0,62
Rendimiento del motor	0,92	0,92

Rendimiento global total	0,57	0,57
Potencia eléctrica necesaria motor	4,36	4,36 Kw
Potencia eléctrica comercial motor	9,00	9,00 Kw
Tipo de bomba adoptado	Bomba sumerg. impulsor contrablock	
Sistema de regulación de caudal	Variadores de frecuencia	
Paso de sólidos del rodete	100	100 mm
Velocidad de la bomba	1.466	1.466 rpm
Peso	187	187 Kg
Zócalo de descarga	150	150 mm
Tubería de impulsión por bomba y general	200	200 mm
Velocidad en tubería individual y general	1,33	1,33 m/sg

8 Solución final adoptada

8.1 Resumen de alternativas

Se han valorado las distintas alternativas. Tras un análisis preliminar de condicionantes urbanísticos, ambientales y de propiedad de los suelos se ha descartado la utilización de una parcela de nueva implantación para la EDAR. Optando por una solución que plantea la reforma de la actual con las siguientes consideraciones:

8.1.1 Proceso biológico:

Se valida el proceso biológico actual si bien se mejora en los siguientes aspectos:

- Instalación de una soplante híbrida igual a las existentes.
- Instalación de nuevos difusores de burbuja fina.
- Nuevas bombas de recirculación interna.
- Nuevos agitadores de la zona anóxica.

En cuanto a la estabilización de fangos se pone de manifiesto la necesidad de ejecutar una digestión de los fangos por no tener el biológico una edad del fango suficiente para obtener un fango digerido en determinados escenarios.

Bien por las altas cargas de entrada al reactor biológico o bien por compuestos con toxicidad en el influente pueden hacer que el rendimiento del tratamiento biológico no sea el adecuado. En estas condiciones el fango producido no estará totalmente digerido y la reducción de volátiles en el mismo no será la requerida, dificultando así la posible aplicación agrícola del mismo.

Para finalizar la estabilización del fango cuando se produzcan estas condiciones se ha proyectado un digestor aerobio dividido en dos líneas con un volumen total de 1.053 m³ y un tiempo de retención celular de 11 días en temporada alta. La reducción de volátiles esperada está entre el 25% y el 40% en función de la temperatura del fango.

La aireación y agitación del digestor se realiza con cuatro aireadores sumergibles de 16 Kw de potencia capaces de suministrar 20 kg O₂/h cada uno.

8.1.2 Decantación secundaria

Tras analizar la necesidad de ampliar la superficie de decantación, no se ve viable la conversión de los actuales decantadores de tracción perimetral en decantadores lamelares con tracción central y se propone ampliar una nueva arqueta de reparto para tres decantadores y ejecutar un nuevo decantador secundario igual a los existentes, tal y como se pide en la licitación del proyecto.

El decantador proyectado es circular con un diámetro de 14,40 m, lo que le confiere una superficie de decantación de 163 m² y un volumen de decantación de 608 m³. Para la extracción de fangos, de flotantes y el bombeo de fangos en exceso se ha previsto una nueva arqueta.

8.1.3 Tanque de laminación

Una vez estudiados los caudales, eventos de lluvia y tipología de tanques se pone de manifiesto la necesidad de ejecutar un tanque de laminación.

El tanque de laminación proyectado se ejecutará adosado al nuevo digestor aerobio y contará con una capacidad de almacenamiento de 500 m³. Se trata de un recinto prefabricado de forma rectangular de 7,00 x 13,00 metros, con una superficie de 91 m² y un calado de 5,50 metros. Está equipado con un limpiador basculante para realizar el barrido y limpieza del fondo cuando se vacíe.

En la parte contraria al basculante se encuentra un bombeo para la reincorporación del volumen contenido en el tanque hacia el tratamiento biológico. Este bombeo está formado por dos bombas sumergibles (1+1R) con un caudal de 150 m³/h a una altura de impulsión de 5,90 mca y están dotadas de variación de frecuencia. La potencia instalada en cada bomba es de 9 Kw. Para el control de los caudales bombeados se ha previsto la instalación de un medidor de caudal electromagnético en la impulsión de este bombeo. La impulsión se realiza directamente en la salida del desarenado hacia el biológico dado que el contenido del mismo ya ha sido sometido a un tamizado y un desarenado.

Se instala un aliviadero en el propio tanque de laminación para que una vez que se alcanza el nivel máximo nos permita evacuar todo el caudal de entrada hacia el bypass general. Estos caudales evacuados han sido sometidos ya a un desbaste y a un desarenado por lo que no es preciso instalar ningún sistema de retención de sólidos y flotantes. En este vertedero de salida del tanque de laminación hacia el punto de vertido se instalará un sistema de cuantificación de alivios para dar cumplimiento al RD 1290/2012.

8.2 Proceso de tratamiento adoptado

El proceso de tratamiento tras la reforma no difiere del tratamiento actual, se trata de un proceso biológico de media carga/aireación prolongada con una digestión aerobia y un tratamiento fisicoquímico previo.

Resumidamente la EDAR contará con los siguientes procesos unitarios:

Línea de agua

- Cámara de llegada y aliviadero.
- Desbaste de sólidos finos.
- Desarenado-desengrasado.
- Tanque de laminación.
- Reparto y medición de caudal agua a biológico.
- Tratamiento fisicoquímico.
- Reactor biológico.
- Decantación secundaria.
- Cámara de cloración.

Línea de fangos

- Recirculación de fangos biológicos.
- Bombeo de fangos biológicos en exceso.
- Digestor aerobio de fangos.
- Bombeo de fangos digeridos.
- Espesador por gravedad.
- Deshidratación de fangos.

Servicios auxiliares

- Recepción de vertidos de fosas sépticas.
- Desodorización pretratamiento.
- Desodorización tratamiento de fangos.

8.3 Número de líneas y caudales de tratamiento

Con esta ampliación/remodelación el número de líneas de tratamiento y las capacidades hidráulicas serán:

- Desbaste: Desbaste en tres líneas, dos automáticas y una manual. Admite el caudal máximo de transporte del emisario de salida de EDAR lo que supone una capacidad de hasta 3,12 veces el caudal medio de diseño.
- Desarenado en una línea con una capacidad hidráulica de hasta 3,12 veces el caudal medio de diseño.
- Tratamiento fisicoquímico en una línea con una capacidad hidráulica de hasta 3,12 veces el caudal medio de diseño.
- Tratamiento biológico en dos líneas que podrán tratar hidráulicamente hasta 2,40 veces el caudal medio.
- La decantación secundaria contará con tres líneas con la misma capacidad hidráulica del recinto biológico.
- Línea de fangos: Un espesador dinámico de fangos y una línea de deshidratación con capacidad para tratar el fango producido en el año horizonte.
- Digestor aerobio: Se proyecta en dos líneas con capacidad de tratar el fango producido en el año horizonte.

8.4 Implantación

La implantación está muy condicionada por tratarse de una mejora que se realizará íntegramente en la superficie disponible actual. Los elementos que no se van a modificar son el tratamiento biológico, la decantación, el edificio de control, la cloración y el tratamiento fisicoquímico. Por tanto, las superficies disponibles se limitan básicamente a la digestión aerobia actual y al recinto biológico antiguo.

Se han implantado los nuevos elementos en estas zonas, planteando un cronograma de obra que permita compatibilizar la ejecución de las obras con la correcta explotación de la EDAR.

Una vez acabadas las obras, los procesos actuales que quedan fuera de servicio (arqueta de llegada y pretratamiento) serán demolidos para que puedan ser incorporados como superficie útil para la explotación.



Implantación general tras la reforma