



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño de una Estación Depuradora de Aguas
Residuales Urbanas basada en humedales
artificiales

Autor

José Luis Lasheras Montori

Directora

Rosa Mosteo Abad

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Año 2015

Diseño de una Estación Depuradora de Aguas Residuales Urbanas basada en humedales artificiales

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño de una Estación Depuradora de Aguas Residuales Urbanas para una población de 3500 habitantes equivalentes. Se toma como datos de partida la caracterización del agua residual urbana de un municipio de características similares en cuanto a contaminación de las aguas, y se realiza el diseño de los procesos necesarios para cumplir la normativa europea vigente (91/271/CEE). Además, se tiene también en cuenta el Real Decreto 1620/2007, que establece el régimen jurídico de la reutilización de aguas depuradas, de manera que las aguas, una vez depuradas, pudieran ser reutilizadas, por ejemplo, para riego.

Habitualmente, las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales Urbanas de tamaños similares, constan de pretratamiento, tratamiento primario, que suele estar compuesto por decantadores y un tratamiento secundario, de tipo biológico. En el caso que se plantea en este trabajo, se diseña un sistema sin tratamiento primario, solo con pretratamiento y un sistema de humedales artificiales, lo que conlleva un ahorro en los costes, y se busca la manera de minimizar los inconvenientes que esto conlleva.

Para evitar los problemas derivados del hecho de que el agua llegue muy contaminada a los humedales, se diseña un sistema de tres humedales de tipo subsuperficial en paralelo, y a continuación otros tres humedales, de tipo superficial, que forman parte de una zona ajardinada municipal contigua a la estación depuradora. Se aprovecha con esto último su alto valor paisajístico, y también el hecho de que en esta fase las aguas residuales ya contienen poca concentración de contaminantes.

Una vez realizados los cálculos, se observa que es necesaria mucha superficie, algo más de dos hectáreas, para que se produzca la reducción de los contaminantes según marca la normativa. Esto es así debido a que las tecnologías de bajo coste, como los humedales artificiales, tienen su mayor ventaja en su bajo coste de explotación, muy importante en núcleos de población pequeños, pero necesitan grandes cantidades de terreno para su instalación.



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D^a. José Luis Lasheras Montori

con nº de DNI 25480145-D en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Grado _____, (Título del Trabajo)

Diseño de un Estación Depuradora de Aguas Residuales Urbanas basada en humedales artificiales

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, a 19 de noviembre de 2015

Fdo: José Luis Lasheras Montori

ÍNDICE

1.- Introducción	5
2.- Fundamentos de las depuradoras de aguas residuales	7
2.1.- Etapas convencionales	7
2.2.- Tecnologías no convencionales	8
2.3.- Humedales artificiales	10
2.4.- Modelos teóricos del diseño de humedales	18
3.- Datos de partida	23
3.1.- Características del agua residual urbana	23
3.2.- Etapas seleccionadas para el diseño de la EDAR	25
3.3.- Requisitos legislativos	29
4.- Diseño de la EDAR	32
4.1.- Pozo de gruesos	32
4.2.- Pretratamiento	33
4.3.- Humedales artificiales	33
4.4.- Gestión de los residuos	37
4.5.- Plan de mantenimiento	38
4.6.- Planos	39
5.- Conclusiones	40
6.- Referencias bibliográficas	41
7.- Glosario de abreviaturas	42
8.- Anexos	

1. INTRODUCCIÓN

La normativa europea 91/271/CEE tiene como objetivo la depuración de las aguas residuales urbanas en núcleos de más de 1000 habitantes equivalentes antes de 2005, y la depuración de la totalidad de las aguas residuales urbanas antes del año 2015, por lo que a la conclusión del año presente deberían ser depuradas todas las aguas residuales vertidas a los ríos. Esta misma normativa establece los valores máximos de los contaminantes principales, que los vertidos no deben alcanzar y que todas las estaciones depuradoras deben cumplir.

En este trabajo se presenta el diseño de una Estación Depuradora de Aguas Residuales Urbanas para una población de 3500 habitantes equivalentes. Se toma como datos de partida la caracterización del agua residual urbana de un municipio de características similares en cuanto a contaminación de las aguas, y se realizará el diseño de los procesos necesarios para cumplir la normativa europea anteriormente citada. Además, se tendrá también en cuenta el Real Decreto 1620/2007, que establece el régimen jurídico de la reutilización de aguas depuradas, de manera que las aguas, una vez depuradas, pudieran ser reutilizadas, por ejemplo, para riego.

Habitualmente, las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales Urbanas de tamaños similares, constan de pretratamiento, tratamiento primario, que suele estar compuesto por decantadores y un tratamiento secundario, de tipo biológico. En el caso que se plantea en este trabajo, se va a diseñar un sistema sin tratamiento primario, lo que conllevará un ahorro en los costes, y se buscará la manera de minimizar los inconvenientes que esto conlleva.

Teniendo en cuenta las características del agua a tratar, y la posible disponibilidad de terreno en las cercanías de la población, se selecciona como primera etapa de la instalación una máquina fluidomécánica compacta de pretratamiento del agua, que consta de una bomba, un tamiz, un desarenador y un desengrasador, que genera un agua pretratada preparada para un tratamiento secundario basado en un sistema de humedales artificiales combinados. Estos humedales artificiales se diseñan en dos etapas de tres humedales en paralelo cada una, una primera de humedales artificiales subsuperficiales, y una segunda, abierta al público como parque destinado al conocimiento de la flora y de la fauna local, de humedales artificiales superficiales.

El cálculo de la reducción de contaminantes producido en la estación depuradora se realiza mediante modelos de cálculo experimentales desarrollados en diferentes ámbitos de investigación. Se calcularán varios de ellos, y se adoptará el que se considere más adecuado, explicando la elección en cada caso.

Los parámetros del agua residual a calcular, para los que existen modelos experimentales, son la DBO₅ (demanda biológica de oxígeno a los cinco días), que indica la cantidad de materia orgánica biodegradable, los sólidos en suspensión, el

nitrógeno amoniacal, los nitratos y el fósforo. Existen otros muchos, pero estos se consideran los más representativos.

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación "Evaluación de procesos en el tratamiento de aguas y fangos en EDARs, para la reducción de microorganismos con riesgo sanitario y ambiental", financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

2. FUNDAMENTOS DE LAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES

Una estación depuradora de aguas residuales (EDAR), tiene el objetivo genérico de conseguir, a partir de aguas residuales y mediante diferentes procedimientos físicos, químicos y biotecnológicos, un efluente de mejores características de calidad, tomando como base ciertos parámetros normalizados.

Generalmente, las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas se diseñan para reducir la contaminación presente en aguas residuales urbanas que se compone principalmente de materia orgánica biodegradable, sólidos en suspensión y sedimentables, nutrientes y aceites y grasas. Las aguas residuales urbanas tienen principalmente origen doméstico, industrial, de servicios y de limpieza de calles.

2.1- Etapas convencionales en una EDAR

Los tratamientos convencionales de una EDAR se suelen dividir en pretratamiento y tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

2.1.1- Pretratamiento y tratamiento primario

Son tratamientos físicos, que consisten fundamentalmente en separar la contaminación presente en el agua en forma de materia en suspensión, flotación o arrastre.

Se suelen clasificar como:

- Desbaste, para la eliminación de sólidos gruesos no solubles (trapos, compresas)
- Desarenado, para eliminación de sólidos sedimentables como arenas u otros residuos sólidos no orgánicos de pequeño tamaño.
- Desengrasado, para la eliminación de los sólidos y líquidos no miscibles de menor densidad que el agua.

El desbaste, el desengrasado y el desarenado suelen denominarse como pretratamiento, por ser el primer proceso que se realiza sobre las aguas residuales, y ser necesario para no dañar los equipos de los tratamientos posteriores.

A continuación se suelen realizar, como tratamiento primario propiamente dicho, una decantación para la eliminación de las partículas menores de un determinado tamaño (sólidos en suspensión) que no hayan podido eliminarse en el pretratamiento. Este proceso es conocido como decantación primaria.

2.1.2- Tratamiento secundario

El proceso habitual de depuración, si es necesario, prosigue normalmente atacando a la fracción de la contaminación disuelta en el agua (materia orgánica y nutrientes). Para ello se recurre normalmente a bacterias que dentro de grandes depósitos, agitados como ayuda a la oxigenación del agua, se encargan de convertir esta materia orgánica disuelta en sus componentes minerales, separándose posteriormente del agua mediante un nuevo proceso de decantación. El proceso de tratamiento biológico recibe el nombre de tratamiento secundario, y la decantación de la mezcla de agua y bacterias se conoce como decantación secundaria.

Existen muchos tipos de tratamiento secundarios (fangos activos, aireación prolongada, lechos bacterianos, biodiscos) pero el principio de funcionamiento es común. No obstante, éstos se pueden agrupar en tratamientos de biomasa suspendida y tratamientos de biomasa fija. En los primeros, la biomasa (bacterias) está suspendida en el medio acuático, en contacto con la contaminación orgánica mediante agitación (fangos activos, aireación prolongada), mientras que en los segundos la biomasa se fija sobre un material soporte que se pone en contacto con el agua y la contaminación orgánica (lechos bacterianos, biodiscos).

2.1.3- Tratamiento terciario

Se conoce como tratamiento terciario a todos los tratamientos físico-químicos o biológicos destinados a afinar algunas características del efluente de la depuradora con vistas a su empleo para un determinado uso. Así hay diversos tratamientos a aplicar según el objetivo, pero el más habitual es el de la higienización, destinada a eliminar la presencia de virus y gérmenes del agua (cloración, radiación UV).

2.2- Tecnologías no convencionales

Las pequeñas aglomeraciones urbanas, por su propia localización geográfica y grado de desarrollo, presentan una problemática específica, que dificulta la provisión de los servicios de saneamiento y depuración. En esta problemática destacan:

- Los efluentes depurados deben cumplir normativas de vertido estrictas.
- El hecho de no poder aprovechar las ventajas que supone la economía de escala, como consecuencia de su pequeño tamaño, lo que conduce a que los costes de implantación y de mantenimiento y explotación por habitante sean elevados. Además, en poblaciones dispersas los costes de saneamiento se incrementan notablemente.
- La escasa capacidad técnica y económica para el mantenimiento y explotación de estaciones de tratamiento de aguas residuales.

Por todo ello, a la hora de seleccionar soluciones para el tratamiento de las aguas residuales generadas en los pequeños núcleos de población, situación objeto de estudio en el presente Trabajo Fin de Grado, debe darse prioridad a aquellas tecnologías que:

- Presenten un gasto energético mínimo.
- Requieran un mantenimiento y explotación muy simples.
- Garanticen un funcionamiento eficaz y estable frente a las grandes oscilaciones de caudal y carga en el influente a tratar.
- Simplifiquen la gestión de los lodos generados en los procesos de depuración.

Las tecnologías de depuración de aguas residuales urbanas que reúnen estas características se conocen bajo el nombre genérico de "Tecnologías no Convencionales" (TNC). Este tipo de tecnologías requiere actuaciones de bajo impacto ambiental, logrando la reducción de la carga contaminante con costes de operación inferiores a los de los tratamientos convencionales y con unas necesidades de mantenimiento sin grandes dificultades técnicas, lo que permite su explotación por personal no especializado.

Los procesos en que se basan las Tecnologías Convencionales y no Convencionales son similares, sus diferencias (tal y como se observa en la figura 2.1) estriban en:

- En las Tecnologías Convencionales los procesos transcurren de forma secuencial en tanques y reactores, y a velocidades aceleradas gracias al aporte de energía.
- En las Tecnologías no Convencionales se opera a velocidad natural (sin aporte de energía), desarrollándose los procesos en un único "reactor-sistema". El ahorro en energía se compensa con una mayor necesidad de superficie.

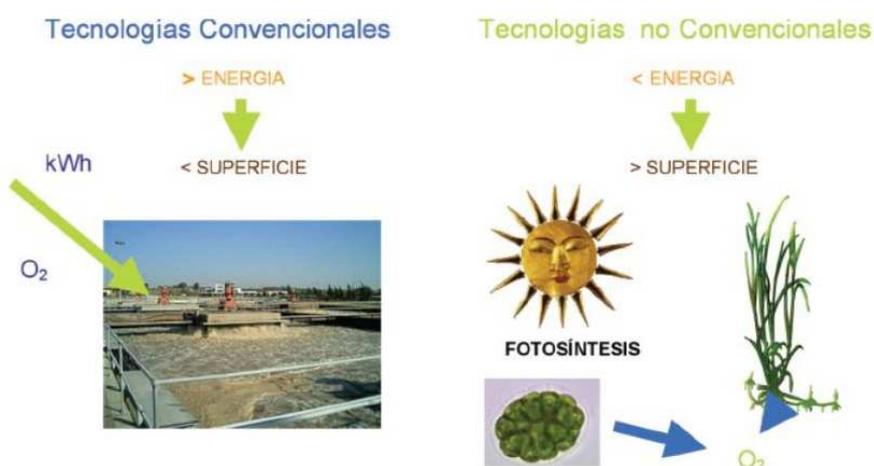


Figura 2.1 – Dibujo explicativo de las diferencias entre los tipos de tecnologías

Una de estas tecnologías no convencionales de bajo coste son los humedales artificiales, tratamiento en que se basa el diseño de la Estación Depuradora objeto de estudio.

2.3- Humedales artificiales

2.3.1- Introducción

El tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante la tecnología de Humedales Artificiales se basa en la reproducción artificial de las condiciones que se dan en las zonas húmedas de manera natural, para aprovechar los procesos de eliminación de contaminantes que se dan en las mismas.

Esta tecnología tiene su origen en los trabajos de K. Seidel, del Max Planck Institute (Alemania) a comienzos de los años cincuenta. En los primeros humedales el sustrato sobre el que asentaban era el propio suelo natural, lo que provocó que un gran número de instalaciones presentasen problemas operativos, como consecuencia de la colmatación de los sustratos, no cumpliéndose las expectativas previstas.

A principios de los años ochenta, se invirtió la situación, al comenzar a utilizarse gravillas y gravas como elemento filtrante, al objeto de garantizar la adecuada conductividad hidráulica y minimizar los riesgos de colmatación del sustrato, lo que condujo a un auge en la implantación de este tipo de tecnología.

A nivel mundial se cuentan por miles las instalaciones existentes de humedales artificiales, y en España se asiste en los últimos años al despegue de esta tecnología de tratamiento.

2.3.2- Fundamentos

Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que se dan en los humedales naturales.

El carácter artificial de este tipo de humedales viene definido por las siguientes particularidades:

- El confinamiento del humedal se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo.
- Se recurre al empleo de sustratos diferentes del terreno original para el enraizamiento de las plantas.
- Se seleccionan las plantas que van a colonizar el humedal.

La depuración de las aguas residuales se consigue haciéndolas pasar a través de zonas húmedas artificiales, en las que tienen lugar procesos físicos, biológicos y químicos, que da lugar a unos efluentes finales depurados.

La tecnología de humedales artificiales puede ser considerada como un ecosistema complejo, en el que los principales actores son:

- El sustrato: que sirve de soporte a la vegetación, que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes presentes en las aguas.
- La vegetación, que contribuye a la oxigenación del sustrato, y con ello, a la eliminación de nutrientes.
- El agua a tratar: que circula a través del sustrato y de la vegetación.

La vegetación que se emplea en este tipo de humedales es la misma que coloniza los humedales naturales, plantas acuáticas emergentes (carrizos, juncos, aneas, etc.), especies anfibias que se desarrollan en aguas poco profundas, arraigadas al subsuelo.

Este tipo de vegetación presenta una elevada productividad (50-70 toneladas de materia seca por hectárea y año) y tolera las condiciones de falta de oxígeno, que se producen en suelos encharcados, al contar con canales o zonas de aireación, que facilitan el paso del oxígeno.

2.3.3 Tipos de vegetación

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los tallos, raíces y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda de lo que llegaría de manera natural.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual de varias maneras:

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono y nutrientes y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- El tallo y la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.
- Cuando se deterioran y mueren dan lugar a restos de vegetación.

Las plantas emergentes que más frecuentemente se encuentran en los humedales artificiales europeos son los carrizos, mientras que en los Estados Unidos, son los

juncos de laguna, las espadañas, o bien una combinación de ambos. Véase todas ellas en la figura 2.2. Si se desea, además de conseguir el tratamiento del agua residual, un incremento en los valores del hábitat, usualmente se incluyen una gran variedad de plantas. Con esto se puede proporcionar alimento y nido a las aves y otras formas de vida acuática.



Figura 2.2- Carrizos (izquierda), espadañas (centro) y juncos (derecha)

En la tabla 2.1 se proporciona información sobre algunos de los requisitos medioambientales de alguna de las plantas emergentes que es posible implantar en los humedales artificiales.

FAMILIA	NOMBRE LATINO	NOMBRE COMÚN	TEMP. DESEABLE (°C)
Ciperáceas	<i>Scirpus lacustris</i>	Junco de laguna	18-27
	<i>Carex sp.</i>	-	14-32
	<i>Eleocharis sp.</i>	-	
Gramíneas	<i>Phragmites australis</i>	Carrizo	12-23
	<i>Glyceria fluitans</i>	Hierba del maná	
Iridáceas	<i>Iris pseudacorus</i>	Lirio amarillo	
Juncáceas	<i>Juncus sp.</i>	Junco	16-26
Tifáceas	<i>Thypha sp.</i>	Espadaña ó Enea	10-30

Tabla 2.1- Listado de plantas emergentes adecuadas para humedales artificiales

2.3.4- Tipos de humedales artificiales

En función de si el agua a tratar circula a través del humedal por encima del sustrato, o a través del sustrato, los humedales artificiales se clasifican en: humedales artificiales de flujo superficial (HAFS) o bien humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSs)

2.3.4.1- Humedales artificiales de flujo superficial

En este tipo de humedales el agua se encuentra expuesta directamente a la atmósfera y circula, preferentemente, a través de los tallos de las plantas. Suelen ser instalaciones de varias hectáreas, que principalmente tratan efluentes procedentes de

tratamientos secundarios, y que también se emplean para crear y restaurar ecosistemas acuáticos.

La alimentación a estos humedales se efectúa de forma continua y la depuración tiene lugar en el tránsito de las aguas a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente implantada, según se puede observar en la figura 2.3.

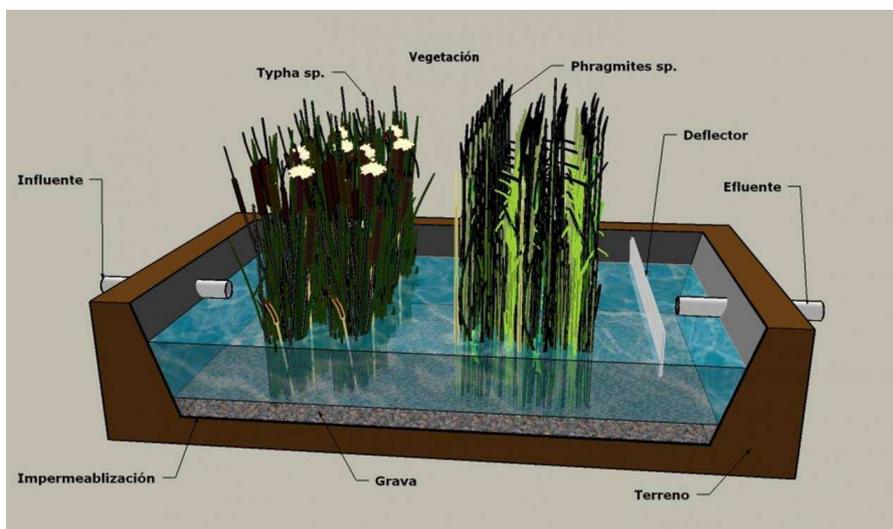


Figura 2.3- Esquema de un humedal artificial de flujo superficial

2.3.4.2- Humedales artificiales de flujo subsuperficial

En estos humedales el agua a tratar circula exclusivamente a través de un material granular (arena, gravilla, grava...), de permeabilidad suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado, y que sirve de soporte para el enraizamiento de la vegetación, que habitualmente suele ser carrizo (figura 2.4).

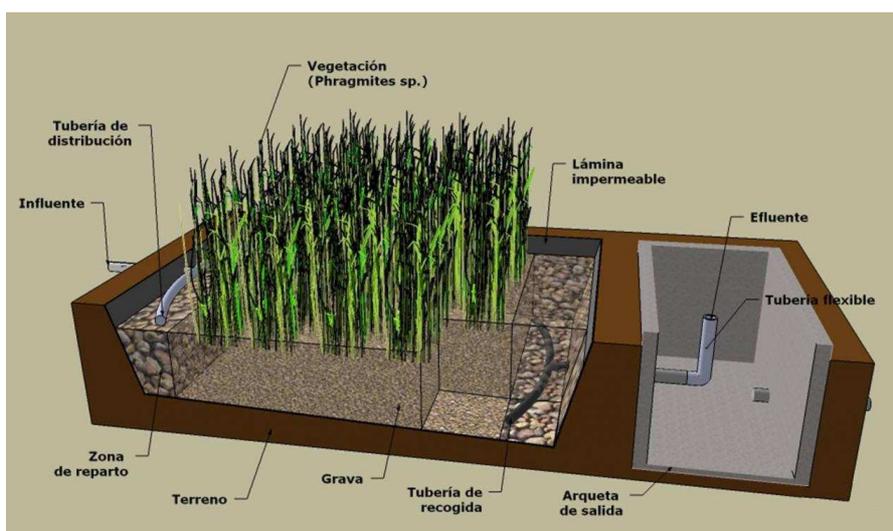


Figura 2.4- Esquema de un humedal artificial de flujo subsuperficial

Este tipo de humedales presenta ciertas ventajas con respecto a los de Flujo Superficial, al necesitar menor superficie de terreno para su ubicación, y al evitar los problemas de aparición de olores y de mosquitos, al circular el agua subsuperficialmente. Igualmente, presenta mejor respuesta ante los descensos de la temperatura ambiente.

Como desventajas, se puede citar su mayor coste constructivo, motivado principalmente por el coste de adquisición y colocación del sustrato filtrante, y los mayores riesgos de colmatación de dicho sustrato.

Según la dirección en la que circulan las aguas a través de dicho sustrato, los HAFSs se pueden clasificar en horizontales y verticales.

En los horizontales la alimentación se efectúa de forma continua, atravesando las aguas horizontalmente un sustrato filtrante de gravilla o grava de unos 0,6m de profundidad, en el que se fija la vegetación. A la salida de los humedales, una tubería flexible permite controlar el nivel de encharcamiento, que suele mantenerse unos 5cm por debajo del nivel de los áridos, lo que impide que las aguas sean visibles.

En los verticales la alimentación se produce de manera intermitente, por lo que se suelen emplear sifones de descarga controlada. Las aguas circulan verticalmente a través del sustrato de arena o gravilla de aproximadamente 1m de espesor, en el que se fija la vegetación. En el fondo, una red de drenaje permite la recogida de los efluentes depurados. A esta red de drenaje se conectan una red de chimeneas que incrementan la oxigenación del sustrato filtrante. Este tipo de configuración permite que el tiempo de retención hidráulica sea de tan solo unas horas, al contrario que en horizontal, en el que es de varios días.

2.3.5- Ventajas e inconvenientes de los humedales artificiales

Los humedales artificiales, como cualquier otro sistema de depuración de aguas residuales, presentan una serie de ventajas e inconvenientes, que pueden aconsejar o no su utilización, en cada caso concreto.

Entre las ventajas destacan:

- Sencillez operativa, al limitarse las labores de explotación a la retirada de residuos del pretratamiento y al corte y retirada de la vegetación una vez seca.
- Consumo energético nulo, si las aguas residuales a tratar pueden circular por gravedad hasta los humedales.
- Inexistencia de averías al carecer de equipos mecánicos.

- Buena tolerancia a las puntas de caudal y de carga orgánica, al operar con altos tiempos de retención hidráulica.
- Posible aprovechamiento de la biomasa vegetal generada, por ejemplo para ornamentación o para alimentación animal.
- Los humedales de flujo superficial permiten la creación y restauración de zonas húmedas, aptas para potenciar la vida animal, la educación ambiental y las zonas de recreo.
- Mínima producción de olores, al no estar expuestas al aire las aguas a tratar en los Humedales de Flujo Subsuperficial, y por alimentarse habitualmente con efluentes ya depurados los Humedales de Flujo Superficial (uso como tratamiento terciario).
- Perfecta integración ambiental.

Como principales desventajas cabe señalar:

- Exigen una mayor superficie de terreno para su implantación que las tecnologías convencionales de depuración, lo que puede repercutir notablemente en los costes de construcción si fuese necesaria la adquisición de los terrenos.
- Larga puesta en marcha, que va desde meses hasta un año.
- Los humedales de flujo Subsuperficial presentan riesgos de colmatación del sustrato si éste no se elige convenientemente, no funcionan correctamente las etapas de pretratamiento, o si la instalación recibe vertidos anómalos con altas concentraciones de sólidos en suspensión o grasas.
- Pérdidas de agua por evapotranspiración, lo que incrementa la salinidad de los efluentes depurados.
- Posible aparición de mosquitos en los Humedales de Flujo Superficial.
- Los humedales artificiales presentan pocas posibilidades de actuación y control ante modificaciones de las condiciones operativas, por lo que es muy importante que estén bien concebidos, dimensionados y construidos.

2.3.6- Mecanismos de depuración

Los mecanismos involucrados en la eliminación de los principales contaminantes presentes en las aguas residuales a tratar mediante el empleo de Humedales Artificiales son los siguientes.

2.3.6.1- Eliminación de sólidos en suspensión

En la eliminación de la materia en suspensión mediante Humedales Artificiales intervienen procesos de:

- Sedimentación: la materia en suspensión sedimentable (principalmente orgánica), presente en las aguas a tratar decanta por acción exclusiva de la gravedad.
- Floculación: permite la sedimentación de partículas pequeñas, o de menor densidad que el agua, al producirse agregados de las mismas con capacidad para decantar.
- Filtración: se produce la retención de materia en suspensión al pasar las aguas a través del conjunto que forman el sustrato, los rizomas, las raíces y los tallos de la vegetación.

2.3.6.2- Eliminación de materia orgánica

La materia orgánica, presente en forma de materia en suspensión en las aguas residuales a tratar, irá decantando paulatinamente en los humedales y experimentará procesos de degradación biológica. Igualmente, parte de la materia orgánica, presente en forma particulada, quedará retenida por filtración, al pasar las aguas por el entramado sustrato – raíces – tallos.

Esta eliminación transcurre de forma rápida, y en el caso de los Humedales de Flujo Subsuperficial casi la mitad del DBO_5 se elimina al pasar las aguas por los primeros metros del humedal.

Sobre la materia orgánica disuelta actúan los microorganismos presentes en el humedal, principalmente bacterias, que utilizarán esta materia orgánica a modo de sustrato.

En las distintas modalidades de Humedales Artificiales se dan zonas con presencia o ausencia de oxígeno molecular, por lo que la acción de las bacterias sobre la materia orgánica tiene lugar tanto a través de procesos biológicos aerobios como anaerobios.

2.3.6.3- Eliminación de nutrientes: Nitrógeno y Fósforo

En las aguas residuales urbanas el nitrógeno puede encontrarse principalmente en forma orgánica y en forma amoniacal, y en mucha menor medida como nitritos o nitratos. La eliminación del nitrógeno en forma amoniacal transcurre básicamente por dos vías principales: asimilación por las plantas del humedal, y procesos de nitrificación – desnitrificación.

El fósforo se encuentra tanto en forma orgánica, como en forma de ortofosfato inorgánico o de fosfatos complejos. Las vías para su eliminación principalmente son:

- Absorción directa por parte de las plantas.
- Adsorción sobre el sustrato filtrante y sobre las partículas inorgánicas.
- Precipitación, mediante reacciones del fósforo con el hierro, aluminio y calcio presentes en las aguas y en el sustrato, dando lugar a la formación de fosfatos insolubles

2.3.6.4- Eliminación de metales pesados

La eliminación de metales (cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, selenio, plomo...) transcurre a través de diferentes vías:

- Procesos de adsorción
- Precipitación química
- Sedimentación
- Asimilación por parte de las plantas

2.3.6.5- Eliminación de organismos patógenos

Los organismos patógenos presentes en las aguas residuales a tratar se eliminan por diferentes mecanismos, destacando entre ellos:

- La absorción de los patógenos sobre las partículas del sustrato filtrante.
- La acción depredadora de bacteriófagos y protozoos.

2.3.7- Construcción de humedales

Lo habitual es construir los humedales por excavación en el terreno. En los humedales artificiales de flujo subsuperficial el fondo suele presentar una pendiente del orden del 1%, en los de flujo superficial suele ser algo menor. Los taludes deberán ser de entorno a 45° en los primeros, y más suave en los segundos.

En lo referente a la geometría del confinamiento, en los HAFS se recomiendan relaciones de longitud/anchura de entorno a 5/1, mientras que en los HAFSs se suele trabajar con relaciones de 2-3/1.

El confinamiento debe ser estanco, para evitar fugas de agua, que puedan contaminar el suelo. Para ello, se suele recurrir al empleo de arcillas o bentonitas compactadas, y al uso de láminas plásticas, generalmente de polietileno de alta densidad (PEAD), con espesor superior al milímetro para evitar que la lámina pueda ser perforada por las raíces de las plantas, o dañada por los áridos.

En la impermeabilización mediante lámina plástica debe controlarse fuertemente las soldaduras entre las láminas, por aire caliente o por compuestos químicos, y el buen anclaje de las láminas al terreno, para lo que puede recurrirse al empleo de grapas metálicas.

Una vez bien realizado el confinamiento, ya se puede proceder a la colocación de los diferentes elementos: gravas, tuberías de drenaje, sustrato filtrante, rizomas de plantas, etc., tal y como se observa en los puntos anteriores de este apartado.

2.4- Modelos de diseño de Humedales Artificiales

Actualmente, los modelos más empleados para el dimensionamiento de los Humedales Artificiales, tanto de Flujo Superficial como Subsuperficial, parte de la base de considerarlos como reactores de flujo pistón, que siguen cinéticas de primer orden para la eliminación de los distintos contaminantes.

2.4.1- Método de Reed y colaboradores

Este método, desarrollado en 1995, emplea ecuaciones en las que se consideran las constantes de reacción (por unidad de volumen) dependientes de la temperatura. Para la eliminación, tanto de materia orgánica (DBO_5), como de amoníaco (NH_4^+) y de nitratos (NO_3^-), se propone el empleo de la ecuación:

$$\ln\left(\frac{C_i}{C_e}\right) = K_T \times t \quad (\text{ec. 1})$$

Siendo:

C_i : concentración del contaminante a la entrada (mg/l)

C_e : concentración del contaminante a la salida (mg/l)

K_T : constante de reacción (d^{-1})

t : tiempo de residencia hidráulica (d)

Teniendo en cuenta que el tiempo de residencia hidráulica viene definido por la relación entre el volumen ocupado por el agua en el humedal y el caudal de alimentación al sistema, se tiene que:

$$t = \frac{V_f}{Q} = \frac{S \cdot h \cdot p_s}{Q} \quad (\text{ec. 2})$$

Siendo:

V_f : volumen efectivo (m^3)

Q : caudal de alimentación (m^3/d)

S : superficie del humedal (m^2)

h : profundidad de la lámina de agua (m)

p_s : porosidad del sustrato filtrante

En el caso de los Humedales de Flujo Superficial (HAFS) la porosidad fluctúa entre 0,65 y 0,75, dependiendo del grado desarrollo de la vegetación implantada. En el caso de los Humedales de Flujo Subsuperficial (HAFSs) la porosidad varía en función del tamaño del sustrato filtrante, entre 0,3 de la arena media y 0,45 de la grava gruesa.

La dependencia de la constante de reacción K_T con la temperatura, viene dada por la expresión:

$$K_T = K_R \cdot \theta_R^{(T_W - T_r)} \quad (\text{ec. 3})$$

Siendo:

K_R : constante de reacción a la temperatura de referencia (d^{-1})

T_W : temperatura de diseño ($^{\circ}C$). Se suele emplear la media del mes más frío.

T_r : temperatura de referencia a la que se ha calculado θ_R ($20^{\circ}C$)

θ_R : coeficiente de temperatura (adimensional)

Los valores experimentales obtenidos para cada contaminante y para los humedales de flujo superficial (HAFS) y Subsuperficial (HAFSs) se muestran en la tabla 2.2.

	DBO ₅	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
HAFS			
K_R (d^{-1})	0.678	0.2187	1
θ_R	1.06	1.048	1.15
HAFSs			
K_R (d^{-1})	1.107	$0.01854 + 0.3922h_r^{2.6077}$	1
θ_R	1.06	1.048	1.15

Tabla 2.2- Valores experimentales de K_R y θ_R según el Método de Reed

Siendo:

h_r : profundidad del lecho ocupado por la rizosfera (m)

Así pues, despejando en las ecuaciones anteriores, la fórmula obtenida para calcular la superficie del Humedal Artificial a construir queda así:

$$S = L \cdot A = \frac{Q \cdot t}{h \cdot p_S} = \frac{Q \cdot \ln(C_i/C_e)}{K_T \cdot h \cdot p_S} \quad (\text{ec. 4})$$

Siendo:

L: longitud del humedal

A: anchura del humedal

2.4.2- Método de Kadlec y Knight

Este método, desarrollado en 1996, considera que en los humedales artificiales la proliferación de microorganismos da lugar a la producción de nueva materia orgánica, parte de la cual quedará retenida en el propio humedal, mientras que el resto saldrá del sistema, empeorando la calidad final de los efluentes depurados. Existirán, por tanto, unas concentraciones umbral mínimas, por debajo de las cuales no es posible mejorar la calidad de las aguas depuradas.

Según este modelo, la superficie necesaria del humedal artificial viene dada por la expresión:

$$S = \frac{365 \cdot Q}{K_T} \cdot \ln \left(\frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} \right) \quad (\text{ec. 5})$$

Siendo:

C*: concentración mínima del contaminante calculado (mg/l o UFC/100ml)

El resto de los parámetros se rigen por la misma nomenclatura que el método anterior

Los valores de concentraciones umbral mínimas y del resto de parámetros de esta ecuación para los diferentes contaminantes y tipos de Humedal Artificial se rigen por los valores experimentales de la tabla 2.3.

	S.S.	DBO ₅	N org.	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N tot.	P tot.
HAFS							
K _T (m/año)	1	34	17	18	35	22	12
θ _R	1.065	-	1.05	1.04	1.09	1.05	-
C*(mg/l)	5.1+0.16·C _i	3.5+0.053·C _i	1.5	0	0	1.5	0.02
HAFSs							
K _T (m/año)	1	180	35	34	50	27	12
θ _R	1.065	-	1.05	1.04	1.09	1.05	-
C*(mg/l)	7.8+0.063·C _i	3.5+0.053·C _i	1.5	0	0	1.5	0.02

Tabla 2.3- Valores experimentales de K_T, θ_R, y C* según el Método de Kadlec y Knight

El empleo de este método da lugar a mayores necesidades de superficie para la implantación de los Humedales Artificiales, debido a la introducción de las concentraciones umbral mínimas, y al hecho de que la temperatura no influya en la eliminación de la materia orgánica.

2.4.3- Modelo de la Société d'Ingénierie Nature & Technique

En el Modelo de la Société d'Ingénierie Nature & Technique (SINT) se explica una combinación de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Vertical sin Tratamiento

Primario. Normalmente, esta modalidad de tratamiento precisa de dos etapas de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Vertical. Cada una de estas etapas está constituida, generalmente, por tres Humedales, que trabajan de forma alternada, con lo que se aseguran periodos de reposo del orden de 2/3 del tiempo de operación total.

Para instalaciones que den servicio a aglomeraciones menores de 100 habitantes puede reducirse a dos el número de humedales por etapa, repartiéndose el tiempo entre operación y reposo.

Para el diseño de estas instalaciones se recurre al empleo de la siguiente ecuación:

$$F_1 = 3.5 \cdot P^{0.35} + 0.6 \cdot P \quad (\text{ec. 6})$$

Donde:

F_1 : superficie de la primera etapa (m^2)

P: población servida (habitantes equivalentes)

La primera etapa de humedales emplea gravas finas como sustrato filtrante, para minimizar el riesgo de colmataciones dado que recibe las aguas residuales sin tratamiento primario. En la segunda etapa, se recurre al empleo de arena como elemento filtrante. Habitualmente, esta segunda etapa tiene entorno al 60% de superficie que la primera etapa.

2.4.4- Modelo de la Asociación Alemana de Saneamiento

En el año 1989, la Asociación Alemana de Saneamiento (AVT), publicó la Regla Técnica H 262, relativa al "Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Tablares", en la que se recogen recomendaciones para el diseño y construcción de los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal y de Flujo Superficial o Flujo Libre.

En este documento se recomienda que los Humedales de Flujo Horizontal se dimensionen con una superficie específica mínima de $5 \text{ m}^2/\text{habitante}$ equivalente, y que la superficie mínima del humedal sea de 25 m^2 . En el caso de los Humedales de Flujo Superficial se recomienda que se diseñen con un mínimo de $10 \text{ m}^2/\text{habitante}$ equivalente, cuando se empleen como tratamiento secundario.

2.4.5- Modelo Europeo

En 1993 la Comunidad Europea y la asociación *European Water Pollution Control Association Expert Contact Group on Emergent Hydrophyte Treatment Systems*, publicaron la guía "*European Design and Operation Guidelines for Reed Bed Treatment Systems*", que recoge directrices para el diseño y construcción de los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial, tanto Horizontales como Verticales, así como orientaciones para su explotación y mantenimiento.

Esta guía recomienda que para el dimensionamiento de Humedales Artificiales de Flujo Horizontal se emplee el criterio de 5 m²/habitante equivalente, para el tratamiento de aguas residuales decantadas o procedentes de fosas sépticas con concentraciones de 150-300 mg/l deDBO₅.

2.4.6- Modelo de Ricardo Isla de Juana

En el año 2005, el profesor Ricardo Isla de Juana publicó el libro "Procesos de plantas de tratamiento de aguas", en el que recoge modelos de aproximación para los procesos depurativos que se dan en los diferentes puntos de una Estación Depuradora.

Entre ellos, se encuentran los procesos que se dan en los Humedales Artificiales, para los que ofrece una serie de fórmulas para el cálculo de todos los parámetros necesarios de los humedales artificiales.

Según su formulación, la superficie del humedal debe ser:

$$S = \frac{Q \cdot 24 \cdot 10000}{Ch} \quad (\text{ec. 7})$$

Siendo:

S: superficie del humedal, en m²

Q: Caudal de diseño, en m³/h

Ch: Carga hidráulica, en m³/ha·d

La carga hidráulica, que son los metros cúbicos de agua a tratar alimentados a los humedales por cada hectárea de superficie en un día, tiene un rango usual de entre 300-500 (humedal subsuperficial) hasta 800-1000 (humedal superficial).

Para esta superficie, el DBO₅ eliminado será:

$$C_f = \frac{C_i}{2.7 \frac{S \cdot Cc}{Q \cdot 24}} \quad (\text{ec. 8})$$

Siendo:

Cf: concentración de DBO₅ al final del humedal

Ci: concentración de DBO₅ al inicio del humedal

S: superficie del humedal, en m²

Q: Caudal de diseño, en m³/h

Cc: Constante cinética de primer orden para el DBO₅ (usualmente, 0.11)

Según este método, la fórmula para el cálculo de la limpieza de sólidos en suspensión que se produce es la misma que para el DBO₅, con una constante cinética que normalmente también es la misma (0.11).

3. DATOS DE PARTIDA

3.1- Características del Agua Residual Urbana

3.1.1- Introducción

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características de las aguas de partida, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos.

A efectos de la Ley de Aguas de 1985, se entiende por contaminación: "la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o introducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica".

El vertido de aguas residuales sin depurar ocasiona daños al medio ambiente y riesgos para la salud humana, por lo que es preciso el tratamiento de estas aguas antes de su devolución al medio natural o su reutilización.

En el tratamiento de las aguas residuales, éstas se someten a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, con objeto de reducir las concentraciones de los contaminantes presentes y poder verter los efluentes depurados cumpliendo la legislación vigente, tal y como se ha explicado en el capítulo 2 de la presente memoria.

Las aguas residuales se pueden dividir en tres grandes tipos:

- Aguas residuales domésticas: aguas de cocina: sólidos, materia orgánica, grasas, sales, etc.; aguas de lavadoras: sustancias tensioactivas, nutrientes, etc.; aguas de baño: sustancias tensioactivas, contaminantes prioritarios, etc.; aguas negras, procedentes del metabolismo humano: sólidos, materia orgánica, nutrientes, sales, organismos patógenos, etc.
- Aguas residuales industriales: resultantes de actividades industriales que descargan sus vertidos a la red de alcantarillado municipal. Estas aguas presentan una composición muy variable dependiendo de cada tipo de industria.
- Aguas de escorrentía pluvial: en la mayoría de las ocasiones (sistemas de alcantarillados unitarios), las aguas de lluvia son recogidas por el mismo sistema de alcantarillado que se emplea para la recogida y conducción de las aguas residuales domésticas e industriales.

El vertido de aguas residuales urbanas sin depurar ejerce sobre los cauces receptores toda una serie de efectos negativos:

- Aparición de fangos y flotantes: la fracción sedimentable de los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales origina sedimentos en el fondo de los cauces, mientras que, la fracción flotante da lugar a la acumulación de grandes cantidades de sólidos en la superficie y/o en las orillas de los cauces receptores.

- Agotamiento del contenido de oxígeno presente en las aguas: los componentes de las aguas residuales fácilmente oxidables comenzarán a ser degradados vía aerobia por la flora bacteriana presente en las aguas del cauce, con el consiguiente consumo de parte del oxígeno disuelto en la masa líquida. Si este consumo es excesivo, el contenido en oxígeno disuelto descenderá por debajo de los valores mínimos necesarios para el desarrollo de la vida acuática. Consumido el oxígeno disponible, los procesos de degradación vía anaerobia generarán olores desagradables, al liberarse gases que son los causantes de estos olores.

- Aportes excesivos de nutrientes: las aguas residuales contienen nutrientes (N y P principalmente), causantes del crecimiento descontrolado de algas y otras plantas en los cauces receptores (eutrofización). Este crecimiento excesivo de biomasa puede llegar a impedir el empleo de estas aguas para usos domésticos e industriales.

- Daños a la salud pública: los vertidos a cauces públicos de las aguas residuales sin tratar pueden fomentar la propagación de organismos patógenos para el ser humano (virus, bacterias, protozoos y helmintos). Entre las enfermedades que pueden propagarse a través de las aguas contaminadas por los vertidos de aguas residuales urbanas, destacan: el tifus, el cólera, la disentería y la hepatitis A.

Existen parámetros normalizados para la medida de la contaminación en general, que se puede estimar con indicadores como la DBO₅ (demanda biológica de oxígeno a los cinco días) y la DQO (demanda química de oxígeno) que son las cantidades de oxígeno que se necesitan para oxidar la materia orgánica susceptible de ser oxidada bien por vía biológica (bacterias y microorganismos) o bien por vías químicas. Existe otro parámetro que es la cantidad de sólidos en suspensión totales (SST), que algunas veces se asocia a la turbidez del agua.

Hay otros muchos indicadores de contaminación, medibles como: pH, concentración de determinadas sustancias, turbidez, etc. y no medibles como olor o sabor. Sin embargo, los más usados son la DBO₅, DQO y SST.

3.1.2- Características del agua residual objeto de estudio

Para este trabajo, se ha tomado como referencia las características físico-químicas de un agua residual generada en un núcleo de población sin especificar de 3500 habitantes equivalentes. En la tabla 3.1 se detallan los contaminantes objeto de estudio, comparándolos con concentraciones típicas fuertes, medias y débiles. Todos los contaminantes están medidos en mg/l.

	DBO ₅	DQO	FÓSFORO	NITRATOS	NITRÓGENO AMONICAL	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN
Contaminación típica fuerte	400	1000	20	35	85	1200
Contaminación típica media	220	500	10	15	40	700
Contaminación típica débil	110	250	6	8	20	350
Muestra objeto de estudio	308	525	5	38.5	192.5	545

Tabla 3.1- Comparativa entre la muestra objeto de estudio y concentraciones típicas

Como conclusión a la tabla 3.1, se puede observar que la muestra tiene una contaminación medio-alta, tal y como marcan el DBO₅, el DQO y los sólidos suspendidos, su concentración de compuestos fosforados es muy baja, pero en cambio los compuestos nitrogenados son especialmente altos. El diseño de la instalación debe tener en cuenta estas características.

3.2- Etapas seleccionadas para el diseño de la EDAR

A continuación, se citan cada uno de los procesos de los que consta la estación depuradora diseñada, explicando en qué consisten, para qué sirven y que sucede en cada uno de ellos.

3.2.1 - Acometida

En la cabeza de la instalación se dispone de una arqueta en la que se conectan todos los colectores que lleguen a ella y en la que se iniciará la línea de pretratamiento. Esta arqueta debe disponer de un vertedero de seguridad y de un bypass general en la instalación, de forma que la misma estructura de vertido y el sistema de desagüe (canal abierto o tubería) sirvan para ambos fines. El vertedero tiene como misión evacuar el excedente de caudal sobre el máximo que puede tratar la EDAR. Para poder cumplir esta misión con exactitud, se recomienda que el vertedero sea mediante compuerta regulable. La velocidad máxima en el sistema de desagüe será de 0,8 m/s a caudal medio, para evitar la sedimentación de partículas y formación de depósitos.

3.2.2 - Aliviadero

El aliviadero de agua en exceso tiene como principal misión evitar las sobrecargas hidráulicas. Un punto fundamental lo constituye, en los sistemas de saneamiento unitario, el vertedero de crecidas. Su misión es la de evacuar, en el curso de agua más próximo, el excedente de caudal que se ha calculado como tope para el funcionamiento de la depuradora. En la figura 3.1 se puede observar el canal de entrada a una depuradora, y a la izquierda otro canal, de manera que si el canal de entrada lleva exceso de caudal, se desborde y pase al aliviadero.



Figura 3.1 – Aliviadero lateral

3.2.3 – Pozo de gruesos

El pozo de gruesos (figura 3.2) surge ante la necesidad de evitar los problemas que pueden acarrear la llegada de elementos de volumen elevado y alta densidad, como piedras, ladrillos... o acumulaciones de arenas y sólidos de alta densidad que son arrastrados hacia la depuradora en días de lluvias.



Figura 3.2 – Pozo de gruesos con canal by-pass lateral

El objetivo del pozo de gruesos es retener los materiales más pesados o de gran tamaño que pueden influir negativamente en el funcionamiento de las operaciones unitarias sucesivas y que de pasar a los siguientes procesos pueden además provocar averías mecánicas graves en los equipos de tratamiento.

Los materiales retenidos en el fondo del pozo de gruesos se extraen por medio de una cuchara bivalva (figura 3.3) de accionamiento hidráulico, y que se puede desplazar a lo largo del pozo de gruesos gracias a un polipasto de traslación y elevación por medio de sendos motores eléctricos.



Figura 3.3- Cuchara bivalva del pozo de gruesos

Los sólidos separados se descargan en un contenedor de con fondo perforado, que apoya sobre una solera con pendientes hacia un sumidero, que recoge los escurridos y los devuelve al pozo de gruesos.

Los pozos de gruesos se fundamentan en la gran diferencia de densidad entre el sólido a separar y el agua, lo que conlleva que caigan al fondo del mismo en un tiempo mínimo.

Las normas generales de diseño de los pozos de gruesos son:

- Las paredes laterales de los pozos de gruesos tienen una pendiente próxima a 60° .
- Tanto las paredes como la solera del fondo tienen embebidos carriles ferroviarios, con el fin de no dañar el hormigón en las operaciones de limpieza.
- La forma de evacuar los materiales retenidos en el pozo de gruesos, es mediante el empleo de una cuchara bivalva, montada sobre un pórtico grúa y con una capacidad entre 250 y 500 litros.
- Todo el material retirado por la cuchara bivalva se recoge sobre contenedor, del tipo de los utilizados para transporte de escombros de construcción, siendo conveniente realizar una serie de perforaciones en el fondo del mismo, para permitir el escurrido de los materiales extraídos.
- La reja de muy gruesos para protección del equipo de bombeo, suele estar formada por carril ferroviario, siendo su forma de limpieza manual y la separación entre barrotes va a depender del tipo de bombas a utilizar.
- Todos los materiales separados en esta fase deben ser evacuados de la planta de forma diaria, con el fin de evitar posibles fermentaciones de la materia orgánica que sea arrastrada en la decantación de las arenas y en consecuencia generación de malos olores.

La limpieza del pozo debe ser periódica, una o dos veces al día en tiempo seco y siempre que se produzcan lluvias, con el fin de evitar su colmatación y que dejen de ser efectivos como pre-desarenado.

3.2.4 – Pretratamiento

Una vez que en el desbaste se han eliminado los sólidos de mayor tamaño por medio de un pozo de gruesos y posteriormente con las rejas de gruesos y finos, la siguiente etapa se realiza en un equipo compacto de pretratamiento, donde una vez traspasado el tamiz de finos, su diseño consigue separar las grasas y aceites por flotación y las arenas por sedimentación.

Consta de los siguientes procesos:

- Tamizado, para la eliminación de partículas en suspensión.
- Desarenado, para eliminación de arenas y sustancias sólidas densas en suspensión
- Desengrasado, para eliminación de los distintos tipos de grasas y aceites presentes en el agua residual, así como de elementos flotantes.

La planta de pretratamiento elegida es de la marca Speco, el modelo TSF 3 S10 (figura 3.4). Está construida con acero inoxidable AISI 304L, excepto las hélices de los tornillos sinfín, contruidos en acero FE 510. El caudal máximo de trabajo es de $44\text{m}^3/\text{h}$, que comparándolo con el caudal de diseño de la EDAR ($28.3\text{m}^3/\text{h}$), da a la instalación un margen de diferencia del 55%.



Figura 3.4- Planta de pretratamiento Speco TSF 3

El tipo de tamiz seleccionado es de tipo rotativo autolimpiante con un paso de tamiz de 1.5mm. Mediante este tamiz se consigue una deshidratación y compactación del residuo de entre el 30 y el 45%.

El depósito de desarenado es de tipo longitudinal, con sistema de inyección de aire para la separación de orgánicos de la arena y ayuda a la flotación de grasas y sobrenadantes. Consigue una separación del 80% para tamaño de partícula de 0.2mm. La arena se extrae mediante un tornillo sinfín inclinado que desemboca en un contenedor (figura 3.5)



Figura 3.5- Tornillo sinfín de extracción de arenas

La zona de desengrasador es paralela y de igual longitud que la zona de desarenado, y consta de una rasqueta automática e separación de grasas. La grasa y flotantes son descargados automáticamente y caen por gravedad.

3.2.5 Humedales artificiales

El tratamiento principal que se lleva a cabo en la estación depuradora objeto de estudio se lleva a cabo en un sistema de humedales artificiales, cuyos fundamentos y modelos teóricos se han explicado en el capítulo 2, y cuyo diseño se muestra en el capítulo 4.

3.2.6 Vertido

Una vez que el agua ha traspasado los sistemas de humedales artificiales, ya está lista para ser vertida al cauce del río. Se instalará una arqueta de salida con dos posibles vertientes, pues si el efluente cumple las concentraciones que marca el Real Decreto 1620/2007 sobre la reutilización de las aguas depuradas, podremos destinar el vertido o parte de él al riego de jardines municipales.

3.3- Requisitos legislativos

3.3.1 – Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas

La Directiva 91/271/CEE establece las medidas necesarias que los Estados miembros han de adoptar para garantizar que las aguas residuales urbanas reciban 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".

Los requisitos que deben cumplir, tanto los vertidos como las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas, para que sean conformes a lo dispuesto en la Directiva 91/271/CEE aparecen descritos en las letras B y D de su Anexo I (Tabla 3.2).

REQUISITOS PARA LOS VERTIDOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS MEDIANTE TRATAMIENTO SECUNDARIO (a)		
PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN	PORCENTAJE MÍNIMO DE REDUCCIÓN (b)
DBO ₅ a 20°C sin nitrificación (c)	25 mg/l O ₂	70 – 90%
DQO	125mg/l O ₂	75%
Total sólidos en suspensión	35mg/l	90% (d)

Tabla 3.2- Requisitos para los vertidos de una EDARU

(a) O proceso equivalente. Se aplicará el valor de concentración o el porcentaje de reducción.

(b) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.

(c) Este parámetro puede sustituirse por otro: carbono orgánico total (COT) o demanda total de oxígeno (DTO), si puede establecerse una correlación entre la DBO₅ y el parámetro sustituto.

(d) Este requisito es optativo. Los análisis de vertidos procedentes de sistemas de depuración por lagunaje se llevarán a cabo sobre muestras filtradas; no obstante, la concentración de sólidos en suspensión en las muestras de agua sin filtrar no deberá superar los 150 mg/l.

Dentro de la legislación existen también requisitos de depuración de nutrientes, aunque solo en zonas sensibles a la eutrofización, y cuando la estación depuradora tiene una capacidad mayor de 10.000 habitantes equivalentes. Por tanto, en este caso no sería aplicable, aunque sí recomendable.

3.3.2 – Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

El Real Decreto establece los mecanismos legales que permiten disponer del agua residual depurada como recurso alternativo, a la vez que impulsa planes de reutilización y de uso eficiente del recurso hídrico.

La norma define el concepto de reutilización, introduce la denominación de aguas regeneradas, determina los requisitos necesarios para llevar a cabo la actividad de utilización de aguas regeneradas y los procedimientos para obtener la concesión exigida en la Ley, e incluye disposiciones relativas a los usos admitidos y exigencias de calidad precisas en cada caso. Además, recoge los criterios de calidad mínimos obligatorios exigibles para la utilización de las aguas regeneradas según los usos.

Asimismo, incorpora el concepto de reutilización de las aguas como la aplicación, antes de la devolución al dominio público hidráulico y al marítimo-terrestre para un nuevo uso privativo de las aguas que han sido utilizadas, de los procesos de depuración

establecidos en la correspondiente autorización de vertido y los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se va a destinar.

También se determinan los requisitos necesarios para llevar a cabo la actividad de utilización de aguas depuradas, los cuales establecen la necesaria concesión administrativa, salvo en supuesto de que la reutilización fuera solicitada por el titular de una autorización de vertido de aguas residuales, en cuyo caso solamente se requerirá autorización administrativa.

Las aguas regeneradas podrán utilizarse para usos urbanos, agrícolas, industriales, recreativos y ambientales. En todos los casos el organismo de cuenca solicitará a las autoridades sanitarias un informe que tendrá carácter vinculante.

Por otro lado, se prohíben determinados usos que presentan riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Así, se prohíbe la reutilización de aguas para el consumo humano –salvo declaración de catástrofe en las que la autoridad sanitaria especificará los niveles de calidad exigidos a dichas aguas y los usos–; para los usos propios de la industria alimentaria; para uso en instalaciones hospitalarias y otros usos similares; para el cultivo de moluscos filtradores en acuicultura; para el uso recreativo como agua de baño; para el uso en torres de refrigeración (salvo en los casos no contemplados en el anexo I del Real Decreto) y condensadores evaporativos; para el uso en fuentes y laminas ornamentales en espacios públicos o interiores de edificios públicos, y para cualquier otro uso que la autoridad sanitaria considere riesgo para la salud de las personas o un perjuicio para el medio ambiente, cualquiera que sea el momento en el que se aprecie dicho riesgo o perjuicio

En el caso en estudio, si se desean reutilizar las aguas residuales depuradas para el riego de jardines, los requisitos que se marcan son:

- Nematodos intestinales: 1 huevo/10 litros.
- Escherichia Coli: 1000 UFC/100ml
- Sólidos en suspensión: 35mg/l

4. DISEÑO DE LA EDAR

En este capítulo se diseñará, etapa por etapa, los diferentes componentes de la estación depuradora, de manera que finalmente se dimensionen todos los componentes que van a formar parte del conjunto.

Para 3500 habitantes equivalentes, el caudal de diseño estimado es de $680\text{m}^3/\text{día}$ ($28.3\text{m}^3/\text{hora}$), cumpliendo con ello la Orden ARM/2656/2008 de dotaciones de agua. En el anexo 2 se detallan los tipos de caudales existentes.

4.1- Pozo de gruesos

Los pozos de gruesos se diseñan, según el Método de Ricardo Isla de Juana, en base al tiempo de retención (T_R) del agua en el equipo. Los valores usuales son de entre 1 y 4 minutos, en este caso se adoptan 3 minutos. Así pues, su volumen será de:

$$V = T_R \cdot \frac{Q}{60} = 3 \cdot \frac{28.3}{60} = 1.41\text{m}^3$$

Para calcular la superficie, y con ello la profundidad, necesitamos conocer el valor de la velocidad ascensional (V_A) a caudal de diseño, que es la velocidad media a la que asciende el agua por una superficie igual a la de la balsa cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño. Se estima en $0.5\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$.

$$S = \frac{Q/60}{V_A} = \frac{28.3/60}{0.5} = 0.942\text{m}^2$$

Por lo que la profundidad (P) de este pozo será de:

$$P = \frac{V}{S} = \frac{1.41}{0.942} = 1.496\text{m}$$

En una Estación Depuradora podemos estimar la cantidad de arena que llega a la misma, considerando que se producen aprox. 0,031 litros por habitante y día de residuos. De esta cantidad total podemos considerar que el 30% se extrae en el pozo de gruesos. Teniendo en cuenta que la población equivalente es de 3.500 habitantes, el volumen de arena (V_A) al día originada sobre el caudal de diseño será:

$$V_A = 30\% \cdot 0.031 \cdot 3500/1000 = 0.033\text{m}^3/\text{día}$$

Teniendo en cuenta que la densidad es de $1600\text{Kg}/\text{m}^3$, el peso de arenas (PA) a extraer en estas condiciones será:

$$PA = 0.033 \cdot 1600 = 52.8\text{Kg}/\text{día}$$

Para la recogida y almacenamiento de estos residuos se ha previsto la instalación de un contenedor de 1 m³ de capacidad, que se llenaría aproximadamente cada 30 días.

4.2- Pretratamiento

En el pretratamiento, basado en el equipo Speco TSF3 (apartado 3.2.4) se puede asumir que no se elimina nada de materia orgánica ni de nutrientes, admitiendo eso sí una limpieza de entorno al 20% en los sólidos en suspensión, gracias sobretodo al tamizado y a la adsorción de los sólidos en suspensión en sólidos sedimentables. También se eliminan la mayor parte de las arenas y las grasas, según se ha detallado en la descripción del equipo.

Por tanto, después del paso del agua residual por el pretratamiento se tendrán las concentraciones que marca la tabla 4.1 (todo medido en mg/l)

	DBO ₅	FÓSFORO	NITRATOS	NITRÓGENO AMONICAL	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN
Concentraciones al inicio	308	5	38.5	192.5	545
Concentraciones tras pretratamiento	308	5	38.5	192.5	436

Tabla 4.1- Concentración de contaminantes antes y después del pretratamiento

4.3- Humedales artificiales

En el sistema de humedales artificiales se reducir la contaminación que todavía está presente en el efluente, cumpliendo la legislación vigente. Para ello, se dimensionan los humedales con dos modelos de cálculo para el DBO₅, el principal indicador de contaminación según marca la legislación, y posteriormente calcularemos la cantidad del resto de contaminantes.

4.3.1- Reducción de la contaminación por materia orgánica (DBO₅)

En primer lugar se utiliza el método de Ricardo Isla de Juana. Según la ecuación 7, la superficie del humedal deberá ser, tomando una profundidad media de 0.4m, y sabiendo que el caudal de diseño es de 680m³/día, es decir, 28.3m³/hora:

$$S = \frac{Q \cdot 24 \cdot 10000}{Ch} = \frac{28.3 \cdot 24 \cdot 10000}{650} = 10461m^2$$

Para un humedal de 10461m², el DBO₅ al final del humedal será, según la ecuación 8, de:

$$C_f = \frac{C_i}{\frac{S \cdot C_c}{2.7 \cdot Q \cdot 24}} = \frac{308}{\frac{10461 \cdot 0.11}{2.7 \cdot 28.3 \cdot 24}} = \frac{308}{2.7^{1.694}} = 57.24 \text{mgO}_2/\text{l} > 25 \text{mgO}_2/\text{l}$$

Como después de esta primera fase, la DBO_5 no alcanza el máximo exigido, se debe añadir una segunda etapa de humedales. Así pues, se vuelve a empezar.

Para esta segunda etapa, la superficie volverá a ser la misma:

$$S = \frac{Q \cdot 24 \cdot 10000}{Ch} = \frac{28.3 \cdot 24 \cdot 10000}{650} = 10461 \text{m}^2$$

Si se calcula la concentración de DBO_5 presente en el efluente tratado por dos humedales artificiales se obtiene que:

$$C_f = \frac{C_i}{\frac{S \cdot C_c}{2.7 \cdot Q \cdot 24}} = \frac{57.24}{\frac{10461 \cdot 0.11}{2.7 \cdot 28.3 \cdot 24}} = \frac{57.24}{2.7^{1.694}} = 10.63 \text{mgO}_2/\text{l} < 25 \text{mgO}_2/\text{l}$$

Por tanto, según el método de Ricardo Isla de Juana, se deben dimensionar dos etapas de humedal de un total de 10461m^2 cada una, para alcanzar los límites que establece la legislación vigente.

Para comprobar estos datos, se calcula lo mismo mediante otro método. En este caso, se elige el método de Reed y colaboradores, que es el método más utilizado internacionalmente. Este método expone que se debe seleccionar previamente el tipo de humedal que se desea calcular.

Se elige primero una etapa de humedales subsuperficiales, y a continuación, una etapa de humedales superficiales. Una manera de intentar disimular la gran superficie que este tipo de tecnologías acarrea es aprovechando al menos una etapa para realizar lagunas artificiales dentro de zonas ajardinadas municipales, gracias a su alto valor paisajístico.

Para evitar los problemas de olores, al salir el agua residual sin tratamiento primario a los humedales, se decide que la primera etapa de humedales sea subsuperficial. Al no estar el agua residual en contacto con la atmósfera, este problema ya no se producirá.

Eso sí, para evitar los problemas de colmatación en la primera etapa de humedales, se debe colocar un sustrato con alta porosidad, como la grava, de manera que el agua con gran cantidad de contaminantes pueda fluir con facilidad, y no se encharque la superficie.

Se fija también:

- Una concentración de DBO_5 al final de la primera etapa de $55 \text{mgO}_2/\text{l}$
- Una temperatura media del agua del mes más frío de 13°C (media en Aragón)

- Una porosidad del sustrato de 0.4 para la primera etapa (grava media) y de 0.3 para la segunda etapa (arena).

Con estos datos previos, calculamos según la ecuación 3 y los valores de la tabla 2.2 el valor de la constante de reacción K_T para este caso:

$$K_T = K_R \cdot \theta_R^{(T_W - T_r)} = 1.107 \cdot 1.06^{(13 - 20)} = 0.736$$

Y ahora ya mediante la ecuación 4 se calcula la superficie de la primera etapa del humedal:

$$S = \frac{Q \cdot \ln(C_i/C_e)}{K_T \cdot h \cdot p_s} = \frac{680 \cdot \ln(308/55)}{0.736 \cdot 0.4 \cdot 0.4} = 9945m^2$$

Por tanto, después de una primera etapa de humedales subsuperficiales de 9945m², el DBO₅ ha pasado de 308 a 55mgO₂/l. Calculamos ahora una segunda etapa de humedales superficiales, pues el DBO₅ no ha llegado a 25mgO₂/l (límite según legislación). En este caso, K_T varía, pues la constante K_R es diferente en un tipo u otro (se produce mayor limpieza en un humedal subsuperficial).

$$K_T = K_R \cdot \theta_R^{(T_W - T_r)} = 0.678 \cdot 1.06^{(13 - 20)} = 0.451$$

Con este dato previo, ya se puede calcular la superficie de esta segunda etapa de humedales, para un objetivo de una DBO₅ de 25mgO₂/l:

$$S = \frac{Q \cdot \ln(C_i/C_e)}{K_T \cdot h \cdot p_s} = \frac{680 \cdot \ln(55/25)}{0.451 \cdot 0.4 \cdot 0.3} = 9909m^2$$

En la tabla 4.2 se comparan los dos diseños de humedales realizados:

	Método de Ricardo Isla	Método de Reed y col.
Primera etapa de humedales	10461m ²	9945m ²
Segunda etapa de humedales	10461m ²	9909m ²

Tabla 4.2- Superficies de las etapas de los humedales por los dos métodos

Por tanto, el diseño obtenido por ambos métodos genera resultados similares. En este trabajo se selecciona el diseño obtenido mediante el método de Ricardo Isla, para asegurar que se pueda depurar el efluente incluso en las épocas en que los caudales son mayores.

El resto de métodos, más básicos, pueden servir de apoyo o para hacer una aproximación, pero se considera en este trabajo que no ofrecen resultados tan fiables como los dos anteriores.

4.3.2- Reducción de la concentración del resto de contaminantes

4.3.2.1- Sólidos en suspensión

Se empieza por calcular los sólidos en suspensión que quedarán al final del sistema de humedales artificiales diseñado. Para ello, utilizamos el método de Ricardo Isla de Juana, según el cual, la fórmula para la limpieza de sólidos en suspensión es la misma que para la limpieza del DBO₅. Así pues, después de la primera etapa, la concentración de sólidos en suspensión será de:

$$C_f = \frac{C_i}{\frac{S \cdot C_c}{2.7 \cdot Q^{0.24}}} = \frac{436}{\frac{10461 \cdot 0.11}{2.7^{28.3 \cdot 24}}} = \frac{436}{2.7^{1.694}} = 81.02 \text{ mg/l}$$

Y después de la segunda etapa, quedarán un total de:

$$C_f = \frac{C_i}{\frac{S \cdot C_c}{2.7 \cdot Q^{0.24}}} = \frac{81.02}{\frac{10461 \cdot 0.11}{2.7^{28.3 \cdot 24}}} = \frac{81.02}{2.7^{1.694}} = 15.06 \text{ mg/l} < 35 \text{ mg/l}$$

Que es menor de los 35mg/l que marca incluso la normativa para la reutilización de aguas residuales.

4.3.2.2 – NH₄⁺ (nitrógeno amoniacal)

Para calcular la limpieza de este tipo de contaminante, se utiliza el método de Kadlec y Knight. Según este método, una vez calculada la superficie total de nuestro sistema de humedales, se puede despejar la concentración final de los contaminantes según la ecuación 5. Para esto, también necesitaremos el valor de K_T para el contaminante en cuestión, y el valor de la concentración umbral. En el caso que se está calculando, la K_T calculada experimentalmente es 34, y la concentración umbral C* es 0.

$$S = 20862 \text{ m}^2 = \frac{365 \cdot Q}{K_T} \cdot \ln\left(\frac{C_i - C^*}{C_e - C^*}\right) = \frac{365 \cdot 680}{34} \cdot \ln\left(\frac{192.5 - 0}{C_e - 0}\right) \rightarrow C_e = 12.55 \text{ mg/l}$$

Por tanto, se observa que, a pesar de que la concentración inicial de NH₄⁺ inicial era muy alta, el sistema de humedales artificiales consigue limpiar un gran porcentaje de este contaminante.

4.3.2.3 – NO₃⁻ (nitratos)

Para calcular la limpieza de este contaminante, se utiliza también el método de Kadlec y Knight, pues al igual que en el caso anterior, también se dispone de una K_T experimental y de una concentración umbral para calcular la concentración final. En este caso, según marcaba la tabla 2.3, la K_T es de 50, y la concentración umbral también es de 0, como en el caso anterior. Por tanto:

$$S = 20862m^2 = \frac{365 \cdot Q}{K_T} \cdot \ln\left(\frac{C_i - C^*}{C_e - C^*}\right) = \frac{365 \cdot 680}{50} \cdot \ln\left(\frac{38.5 - 0}{C_e - 0}\right) \rightarrow C_e = 0.685mg/l$$

Por tanto, se observa que la limpieza calculada experimentalmente que se produce en los humedales artificiales del NO_3^- es muy grande, pasando de 38.5 a 0.685mg/l.

4.3.2.3 – Fósforo total

Por último se utilizará también el método de Kadlec y Knight para calcular la limpieza del fósforo total que contiene el agua residual. En este caso, la K_T calculada es de 12, y la concentración umbral es de 0.02mg/l. Por lo tanto, la concentración final de fósforo en el agua residual a estudio será:

$$S = 20862m^2 = \frac{365 \cdot Q}{K_T} \cdot \ln\left(\frac{C_i - C^*}{C_e - C^*}\right) = \frac{365 \cdot 680}{12} \cdot \ln\left(\frac{5 - 0.02}{C_e - 0.02}\right) \rightarrow C_e = 1.873mg/l$$

Después de pasar por el humedal, la concentración de fósforo del agua residual pasa de 5 a 1.873mg/l.

Así pues, el agua al salir del humedal artificial, tendrá las concentraciones de contaminantes (medidos en mg/l) que marca la tabla 4.3, cumpliendo con ello la legislación vigente.

	DBO ₅	FÓSFORO	NITRATOS	NITRÓGENO AMONICAL	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN
Concentraciones al inicio	308	5	38.5	192.5	545
Concentraciones tras pretratamiento	308	5	38.5	192.5	436
Concentraciones tras humedales	10.63	1.873	0.685	12.55	15.06

Tabla 4.3 –Concentraciones de contaminantes en cada etapa de la estación depuradora

En el anexo 1 se muestra el Informe de Impacto Ambiental, en el que se evalúan los impactos producidos tanto durante la construcción como durante la explotación de la estación depuradora.

4.4- Gestión de los residuos

La estación depuradora genera, aparte del efluente depurado con la composición de contaminantes que se acaba de calcular, otros residuos en forma de residuos sólidos y fangos. Estos residuos se generan y se deberán gestionar de la manera que se expone a continuación:

- Residuos sólidos generados en el pozo de gruesos: Los residuos retirados por la cuchara bivalva del pozo de gruesos, deberán ser gestionados como residuos no peligrosos.
- Residuos sólidos y fangos generados en el tamiz y en el desarenador del pretratamiento: se deben almacenar en contenedores para eliminar la humedad. También son asimilables a residuos urbanos de carácter no peligroso.
- Grasas generadas en el desengrasador del pretratamiento: son clasificadas como residuos peligrosos, por lo que se deben almacenar en contenedores adecuados para este tipo de residuos. Se deberán gestionar mediante un gestor autorizado de residuos peligrosos, y la estación depuradora, como productor, deberá inscribirse en el Registro de productores de residuos peligrosos de la Comunidad Autónoma.
- Fangos producidos en la limpieza de los humedales artificiales: se deberán espesar y deshidratar. Existen varias posibilidades de destino: agricultura, vertedero controlado o valorización energética.
- Plantas emergentes de los humedales artificiales: una vez que se retiran, producen biomasa destinada a la agricultura o a la valorización energética.

4.5- Plan de mantenimiento

Los objetivos que se persiguen con las actividades de mantenimiento y conservación son básicamente los siguientes:

- Limitar el envejecimiento del material debido a su funcionamiento.
- Mejorar el estado del material, para su eficaz funcionamiento.
- Intervenir antes de que el coste de la reparación sea elevado.
- Eliminar o limitar los riesgos de averías en el material imprescindible para el proceso.
- Asegurar el buen estado de los servicios generales de agua, electricidad, etc.
- Permitir la ejecución de las reparaciones en las mejores condiciones.
- Evitar los consumos exagerados.
- Suprimir las causas de accidentes.
- Minimizar los costos, mientras la depuradora permanezca en activo.

Las principales operaciones de mantenimiento y conservación que se estima necesario realizar sobre algunos de los quipos empleados en la depuradora objeto del presente estudio son:

- Pozo de gruesos
Limpieza periódica
- Planta de pretratamiento
Limpieza de máquina
Comprobar fugas de aceite

- Comprobar holguras de partes móviles
- Engrase general
- Engrase sistemas de tracción
- Cambio de aceite
- Comprobar intensidades, potencias y tensiones
- Comprobar finales de carrera
- Tarar térmicos

- Tornillos sinfín transportadores
 - Limpieza de máquina
 - Limpieza de canal transporte
 - Engrase de rodamientos
 - Cambio de aceite reductor
 - Comprobar intensidades, potencias y tensiones
 - Tarar térmicos

- Humedales artificiales
 - Limpieza de los sistemas de distribución en cabecera
 - En climas mediterráneos, cosechar la biomasa una vez cada uno o dos años
 - Eliminación de malas hierbas a mano, no con herbicidas
 - Control de posible aparición de mosquitos
 - Evitar la entrada de animales que utilicen las especies plantadas como alimento
 - Evitar pisar el sustrato filtrante en humedales subsuperficiales

- Instrumentación en general
 - Limpieza de equipos
 - Mantenimiento y calibración de caudalímetros
 - Comprobar conexiones
 - Comprobar alimentación
 - Comprobar programación

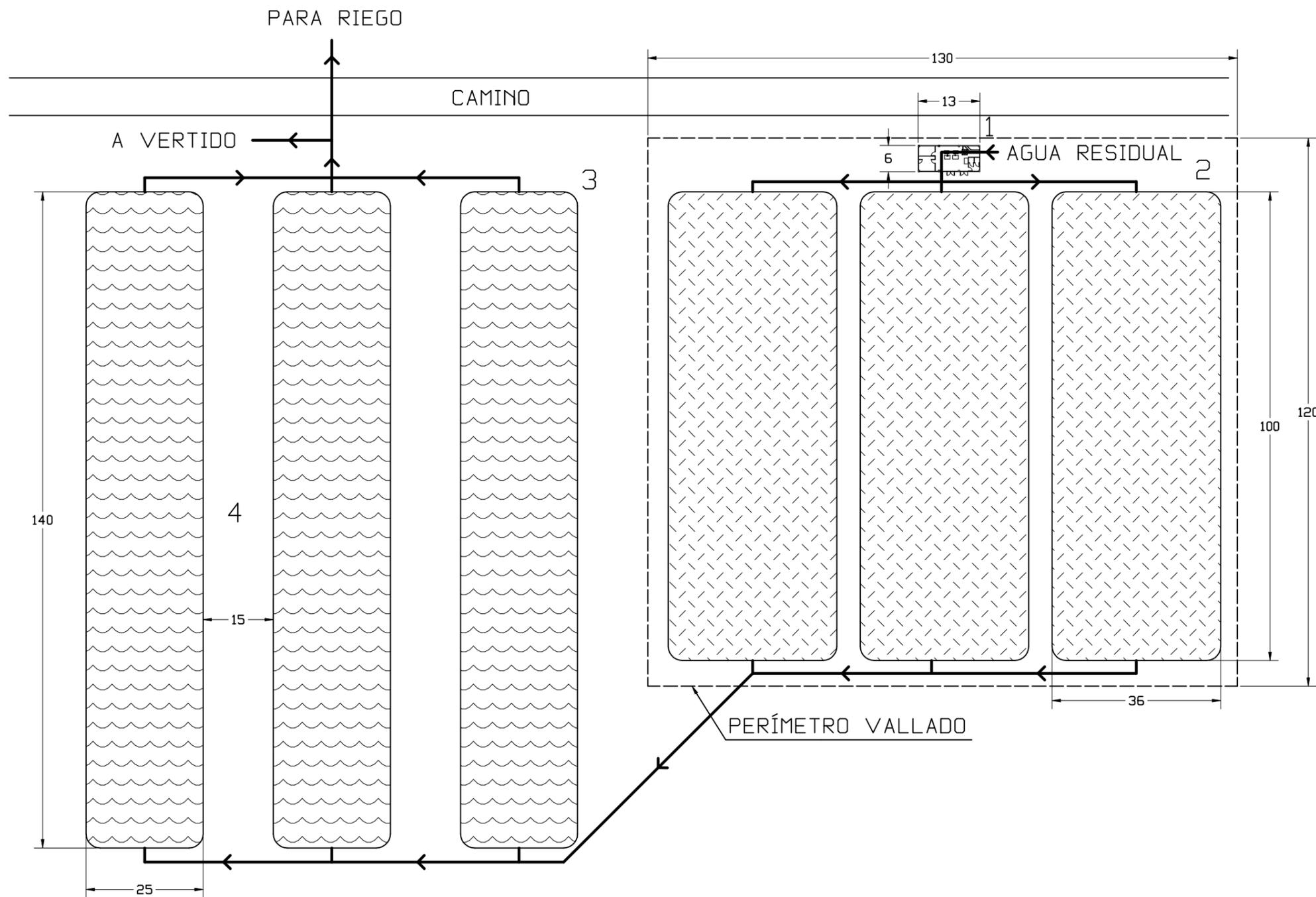
4.6- Planos

En las siguientes hojas se pueden observar los planos que detallan el diseño propuesto para la EDAR, según los cálculos obtenidos anteriormente:

- Plano 1: Vista general de la instalación, incluyendo línea de aguas.

- Plano 2: Vista detallada de la caseta de pretratamiento y control, indicando también la línea de aguas.

- Plano 3: Vista de sección de ambos sistemas de humedales, haciendo especial incidencia en su construcción.



1 CASETA DE PRETRATAMIENTO Y CONTROL

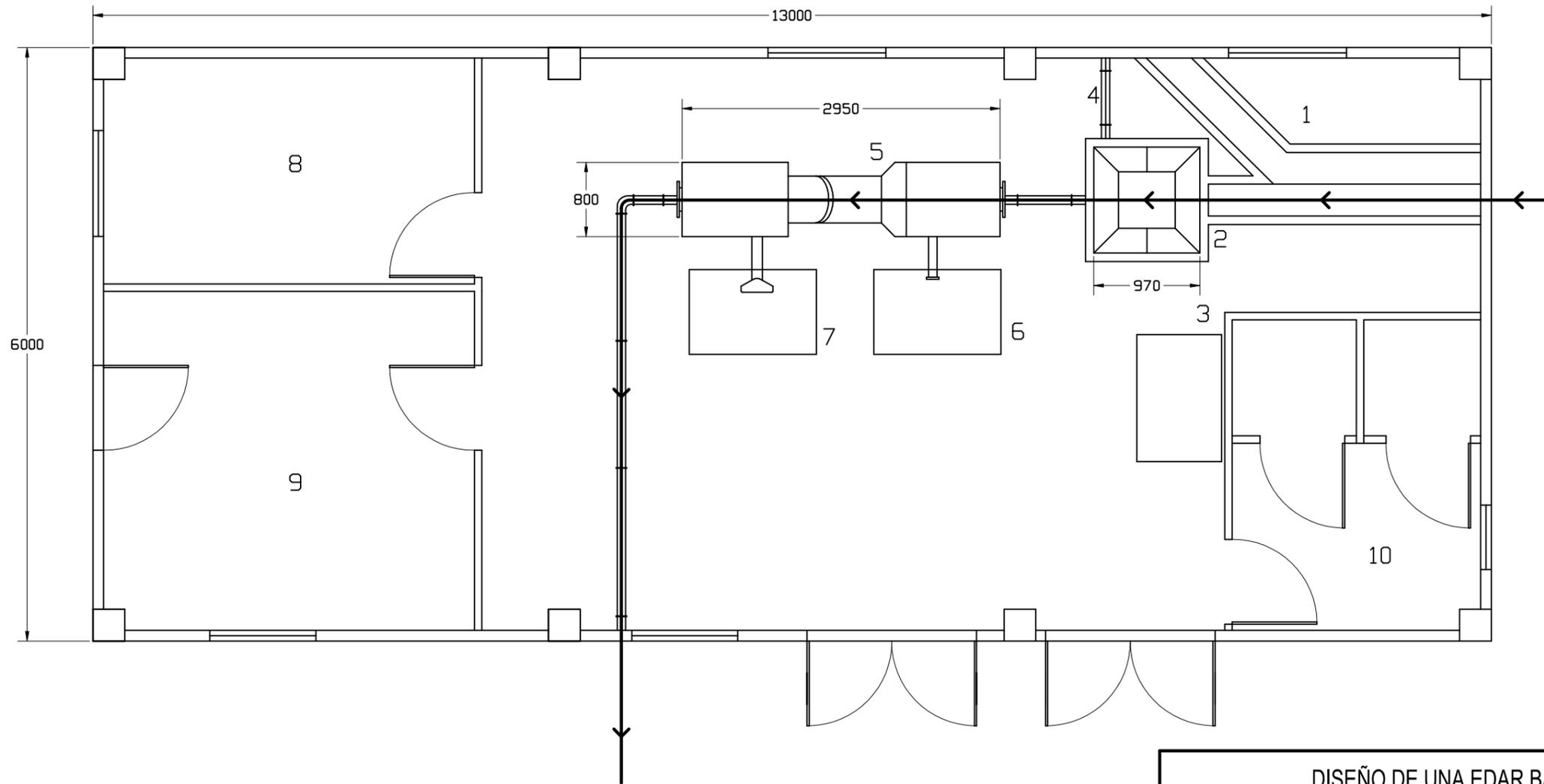
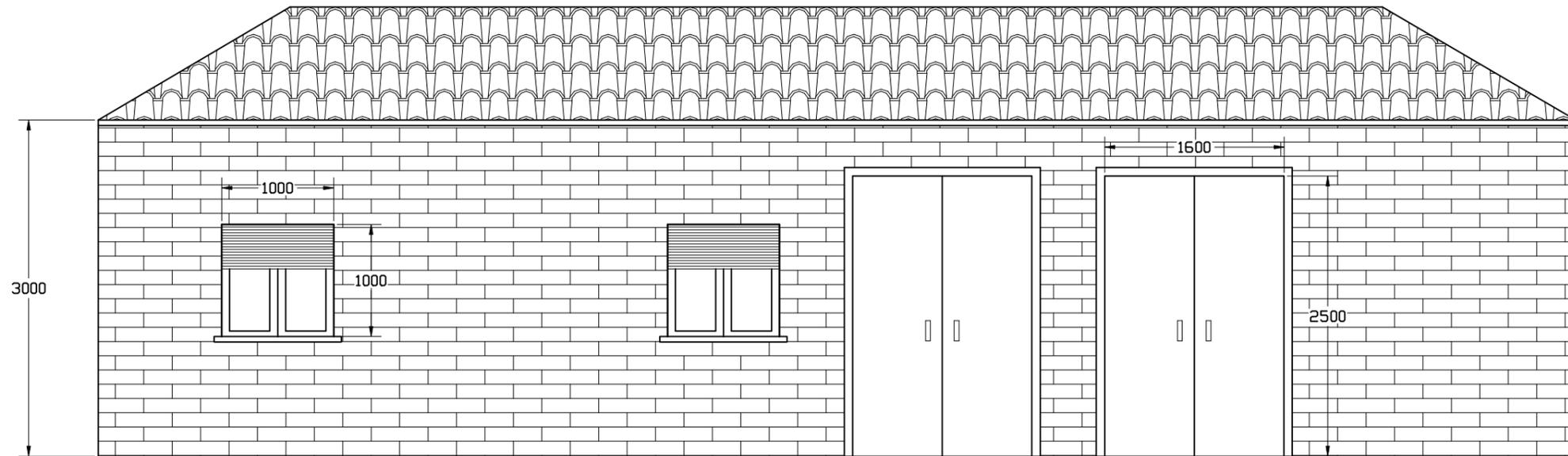
2 SISTEMA DE TRES HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL EN PARALELO

3 SISTEMA DE TRES HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL EN PARALELO

4 ZONA AJARDINADA PÚBLICA

→ LINEA DE AGUA

DISEÑO DE UNA EDAR BASADA EN HUMEDALES ARTIFICIALES			
	Fecha	Autor	ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA Graduado en Ingeniería Mecánica UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
Dibujado	NOV-2015	JOSÉ LUIS LASHERAS	
Comprobado	NOV-2015	ROSA MOSTEO	
ESCALA: 1:1000 Cotas en m.	VISTA GENERAL		Nº P.: 1



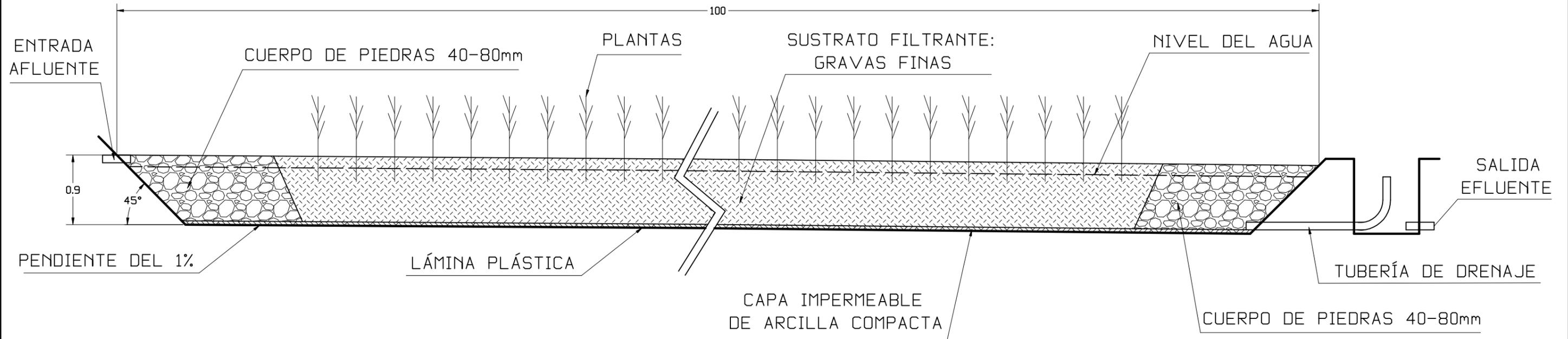
AL SISTEMA
DE HUMEDALES

- 1 ALIVIADERO LATERAL
- 2 POZO DE GRUESOS
- 3 CONTENEDOR PARA POZO DE GRUESOS
- 4 BY-PASS DEL POZO DE GRUESOS
- 5 PLANTA COMPACTA DE PRETRATAMIENTO
- 6 CONTENEDOR DE ARENAS
- 7 CONTENEDOR DE GRASAS
- 8 SALA DE MANTENIMIENTO
- 9 SALA DE CONTROL
- 10 LAVABO
- LINEA DE AGUA

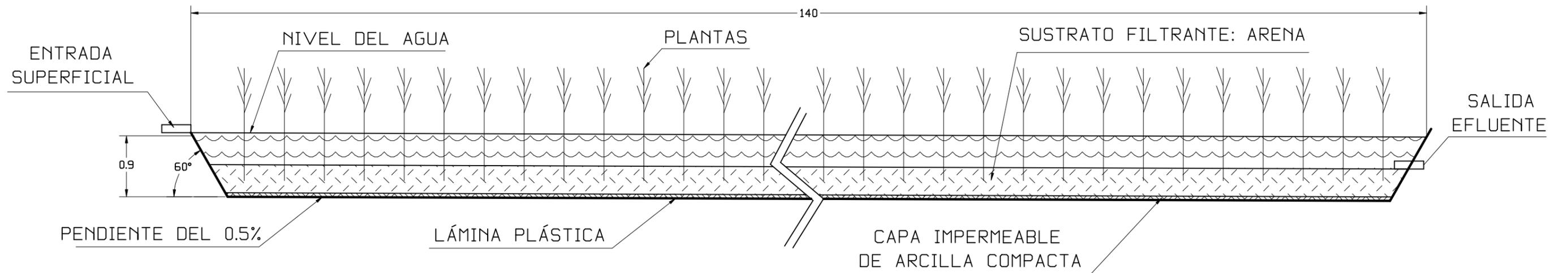
DISEÑO DE UNA EDAR BASADA EN HUMEDALES ARTIFICIALES

	Fecha	Autor	ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA Graduado en Ingeniería Mecánica UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
Dibujado	NOV-2015	JOSÉ LUIS LASHERAS	
Comprobado	NOV-2015	ROSA MOSTEO	
ESCALA: 1:50 Cotas en mm.	CASETA DE PRETRATAMIENTO		Nº P.: 2

SECCIÓN: HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (HAFSS)



SECCIÓN: HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL (HAFS)



DISEÑO DE UNA EDAR BASADA EN HUMEDALES ARTIFICIALES

	Fecha	Autor	ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA Graduado en Ingeniería Mecánica UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
Dibujado	NOV-2015	JOSÉ LUIS LASHERAS	
Comprobado	NOV-2015	ROSA MOSTEO	
ESCALA: 1:50 Cotas en m.	SECCIÓN DE HUMEDALES		Nº P.: 3

5. CONCLUSIONES

Una vez diseñada la estación depuradora de aguas residuales basada en humedales artificiales, se observan las siguientes conclusiones:

- La EDAR diseñada consta de un pozo de gruesos, un equipo de pretratamiento y un sistema de humedales artificiales, primero subsuperficiales y después superficiales, cumpliendo en el efluente los límites que marca la legislación vigente.
- Los métodos de diseño utilizados para la eliminación de DBO_5 generan resultados similares, seleccionando el de Ricardo Isla por dotar de una mayor seguridad en el dimensionamiento.
- Como era de prever, la superficie necesaria para los humedales artificiales de una estación depuradora de 3500 habitantes equivalente es muy importante, de entorno a 2 hectáreas. Las tecnologías no convencionales tienen este inconveniente.
- Para los humedales diseñados se obtienen reducciones de N y P altas, cumpliendo con ello la normativa existente en zonas eutróficas, sensibles a este tipo de contaminación. Se comprueba que, aunque el agua residual tenga una gran cantidad de contaminantes, como en este caso con el nitrógeno amoniacal, los humedales artificiales producen un alto porcentaje de depuración en el efluente.
- Gracias a este alto porcentaje de depuración, el efluente puede ser reutilizado para riego según la legislación vigente.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Tchobanoglous, G. & Burton, F. L.; Metcalf & Eddy Ingeniería de Aguas Residuales. M^C Graw-Hill, 1995.
- Hernández Muñoz, Aurelio y colaboradores; Manual de depuración Uralita Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes. Ed. Paraninfo, 1996.
- Hernández Muñoz, Aurelio; Depuración y desinfección de aguas residuales. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1998.
- Isla de Juana, Ricardo; Proyectos de plantas de tratamiento de aguas. Bellisco Ed., 2005.
- Seoáñez Calvo, Mariano; Aguas residuales urbanas: tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Mundi Prensa, 1995.
- CENTA (Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua); Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales, capítulo IV (Humedales artificiales), 2007.
- Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Ley del Gobierno de Aragón 10/2014, de 27 de noviembre, de Aguas y Ríos de Aragón.
- Ley del Gobierno de España 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency); Constructed wetlands treatment of municipal wastewaters. USEPA Office of research and development, 2000.
- Reed, S. y colaboradores; Natural systems for waste management and treatment. MC Graw-Hill, 1995.
- Kadlec, R., Knight, R. y colaboradores; Constructed wetlands for pollution control: processes, performance, design and operation. IWA Publishing, 2003.
- Comisión Europea; procesos extensivos de depuración de las aguas residuales adaptados a las pequeñas y medianas colectividades (500 – 5000 h. eq.). Oficina de las publicaciones oficiales de las comunidades europeas, 2003.

- López Majón, Francisco Javier; Diseño, operación y mantenimiento de la EDAR de Fuentes de Ebro. Proyecto Fin de Carrera - Ingeniería Industrial (Universidad de Zaragoza), 2010.

- Lara Borrero, Jaime Andrés; Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Trabajo Final del Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental (Universidad Politécnica de Cataluña), 1999.

- Pidre Bocardo, Juan Ramón; Influencia del tipo y granulometría del sustrato en la depuración de las aguas residuales por el sistema de humedales artificiales de flujo vertical y horizontal. Tesis doctoral (Universidad de Cádiz), 2010.

7. GLOSARIO DE ABREVIATURAS

EDAR: Estación depuradora de aguas residuales

HAFS: Humedal artificial de flujo superficial

HAFSs: Humedal artificial de flujo subsuperficial

SS: Sólidos en suspensión

DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días

DQO: Demanda química de oxígeno

N.org: nitrógeno orgánico

NH₄⁺: nitrógeno amoniacal

NO₃⁻: nitratos

N.tot: nitrógeno total

P.tot: fósforo total

h.eq: habitantes equivalentes

UFC: unidades formadoras de colonias

ANEXOS

Anexo 1: Informe de impacto ambiental

Anexo 2: Caudales

Anexo 1: INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL

En la Ley 21/2013 de Evaluación Ambiental se regula qué proyectos deben realizar un Informe de Impacto Ambiental. A pesar de que, según esta legislación, la EDAR objeto de estudio no sería necesario que la presentase, pues en los anexos I y II de dicha ley se marca un mínimo de 10.000 h.eq para ello, expondré igualmente en este anexo el Informe de Impacto Ambiental.

A continuación se resumen los impactos ambientales tanto en la fase de construcción como en la de explotación, con su respectiva evaluación y medidas correctoras, preventivas y minimizadoras a seguir:

IMPACTO	EVALUACIÓN IMPACTO	MEDIDAS CORRECTORAS, PREVENTIVAS Y MINIMIZADORAS
CONSTRUCCIÓN		
Pérdida de suelo por ocupación, compactación, variación del terreno	Compatible - Moderado	<ul style="list-style-type: none"> - Correcta señalización. - No ocupar más suelo del necesario. - Evitar el acopio en zonas forestales y próximas a ríos.
Vertidos en las aguas superficiales, subterráneas y suelos por contaminación	Moderado - Severo	<ul style="list-style-type: none"> - Reparación de maquinaria en talleres adecuados - Correcto comportamiento de los operarios en cuanto a residuos. - Correcta planificación de la obra.
Desaparición de la vegetación de la cubierta vegetal afectando a la flora durante las obras.	Compatible	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación y transplante de los elementos vegetales de necesaria conservación. - Correcta señalización de la zona de trabajo. - Correcta restauración de los terrenos afectados.
Pérdidas de hábitats, alteración de la superficie, efecto barrera y destrucción de la fauna edáfica.	Moderado	<ul style="list-style-type: none"> - Cercamiento del perímetro de actividad durante las obras. - Control de vertidos de materiales y combustibles con efectos negativos para la fauna. - Precaución en la conducción al fin de evitar atropellos
Pérdida de calidad paisajística provocado por vertederos temporales, almacenaje de materiales, etc.	Moderado	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar zonas abrigadas y protegidas a la vista para almacenaje, maquinaria y elementos auxiliares. - Retirada de residuos incontrolados y contaminantes.
Emisión de humos y partículas de combustión de la maquinaria de obras	Moderado	<ul style="list-style-type: none"> - ITV vigente o buen estado en general de mantenimiento de las máquinas - Precalentar motores previo uso - Evitar conducciones bruscas de maquinaria
Emisión de partículas en suspensión por los materiales acopiados y por circulación de tráfico rodado en los caminos sin pavimentar de acceso	Moderado	<ul style="list-style-type: none"> - Riegos periódicos de caminos - Riegos de los montones de materiales acopiados - Uso de silos o sacos para acopio de materiales de construcción pulverulentos o cubrirlos con lonas.

Incremento del nivel sonoro habitual con afectación al funcionamiento de las actividades de la zona Afectación a la fauna por el incremento del nivel sonoro	Compatible - Moderado	- ITV vigente o buen estado en general de mantenimiento de las máquinas - Evitar conducciones bruscas de maquinaria
Molestias a la población causadas por el ruido, circulación de maquinaria pesada, etc.	Moderado	- Aparte de las medidas del impacto anterior, se recomienda realizar los trabajos de construcción en la época de mínima población.
Riesgos laborales potenciales para los trabajadores provocados por la falta de medidas de seguridad	Moderado	- Correcta aplicación de las normativas vigentes en cuanto a prevención de riesgos laborales.
Incremento de plazas de trabajo en la zona	Compatible	
EXPLOTACIÓN		
Contaminación de terreno y aguas producido por los lodos originados por el pretratamiento	Compatible	- Se llevarán los residuos al gestor autorizado.
Residuos orgánicos provocados por el mantenimiento del humedal	Compatible	- Se separarán según el grado de utilización de cada tipo de residuo. Por ejemplo, para biomasa.
Residuos urbanos originados por visitas a la planta y personal.	Moderado	- Se instalará un container de recogida que será vaciado con la misma periodicidad que los del pueblo. Incidencia en la educación ambiental.
Calidad del agua del río, mantenimiento del caudal ecológico	Compatible	
Olores producidos por la depuradora que afectan a fauna y población	Moderado - Compatible	- Se diseña la depuradora de manera que emita los mínimos olores posibles.
Extensión de especies colonizadoras de flora en detrimento de la flora local	Moderado - Severo	- Utilización de fauna local o no colonizadora.
Creación de nuevos ecosistemas y mejora del presente	Compatible	
Integración de la depuradora en el paisaje	Compatible	
Creación de actividades formativas y aumento del turismo rural por la mejora ecológica	Compatible	
Reacciones a un sistema diferente a la depuración convencional.	Moderado	Presentaciones sobre sistemas de depuración basados en humedales artificiales para potenciar el acercamiento de la tecnología a la población

Teniendo en cuenta todo lo expuesto se puede concluir:

-La mayoría de impactos que se producen son moderados y aparecen en la fase de construcción, que les otorga el carácter de temporal y permite una buena recuperación si se han tomado las medidas preventivas/correctoras adecuadas. En este caso pasan a tratarse todos los impactos como compatibles. El principal problema que se considera puede ser la calidad ecológica de la zona que implicaría un procedimiento más sensible con el entorno a la hora de realizar los trabajos de construcción.

-Existe un gran beneficio ocasionado por el gran número de impactos positivos que se encuentran en este proyecto. Destaca sobretodo la correcta depuración de las aguas residuales, con todos los efectos positivos que ello comporta tanto para el municipio como para el medio ambiente. La población, el turismo, la fauna y flora serán los grandes beneficiados del proyecto.

Respondiendo a la finalidad del presente estudio, se han identificado en función del medio afectado y de las causas originarias de los impactos, unas medidas correctoras tendentes a minimizar los aspectos negativos o, en última instancia, a compensar la carencia inducida. En consecuencia, los efectos negativos identificados se pueden considerar, de forma global, ambientalmente COMPATIBLES con el entorno en que se inscriben.

ANEXO2- CAUDALES

1.- TIPOS DE CAUDALES

La cantidad de aguas residuales que se genera en una aglomeración urbana está en proporción directa con el consumo de agua de abastecimiento, y este consumo viene relacionado con el grado de desarrollo económico y social, puesto que un mayor desarrollo trae consigo un mayor y más diverso uso del agua en las actividades humanas. Entre los factores que influyen en la cantidad de aguas residuales que se genera en una aglomeración urbana destacan el consumo de agua de abastecimiento, la pluviometría (en el caso de redes de saneamiento unitarias), las pérdidas, que pueden deberse a fugas en los colectores o a que parte de las aguas consumidas no llegan a la red de alcantarillado (como por ejemplo el riego de jardines) y las ganancias, por vertidos a la red de alcantarillado o por intrusiones de otras aguas en la red de colectores.

El conocimiento de los caudales y características de las aguas residuales generadas en las aglomeraciones urbanas es básico para el correcto diseño de los sistemas de recogida, tratamiento y evacuación de las mismas. Las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas (EDAR), deben concebirse para poder hacer frente a las variaciones diarias de caudal y carga que experimentan estas aguas.

Las necesidades medias de aporte de agua a una población se pueden estimar a partir de la población prevista fija y flotante, así como de las dotaciones que se vayan a construir (hospitales, centros educativos, etc.).

En la práctica, entre el 60 y el 85% del agua de abastecimiento consumida se transforma en aguas residuales, dependiendo este porcentaje del consumo de agua en actividades particulares como el riego de zonas verdes, de la existencia de fugas, del empleo del agua en procesos productivos, etc.

Como consecuencia de las características y variaciones en las descargas de las aguas residuales a la red de saneamiento, del tipo de alcantarillado usado, de las diferencias en las costumbres de la comunidad aportante, del régimen de operación de las industrias servidas, del clima, etc., los caudales de las aguas residuales oscilan durante el año, cambian de un día a otro y fluctúan de una hora a otra.

Los caudales de aguas residuales siguen una variación diaria, que es fiel reflejo de la actividad de la población del lugar. Por lo general, las curvas que representan las oscilaciones diarias del caudal de aguas residuales que llega a las estaciones de tratamiento son similares a las curvas de consumo de agua de abastecimiento, pero con un cierto retraso, como consecuencia del discurrir de las aguas por las conducciones de saneamiento, y que será tanto mayor cuanto más lejos se encuentre

la EDAR de la aglomeración urbana a la que da servicio. Obsérvese la gráfica de la figura A2.1 que lo muestra.

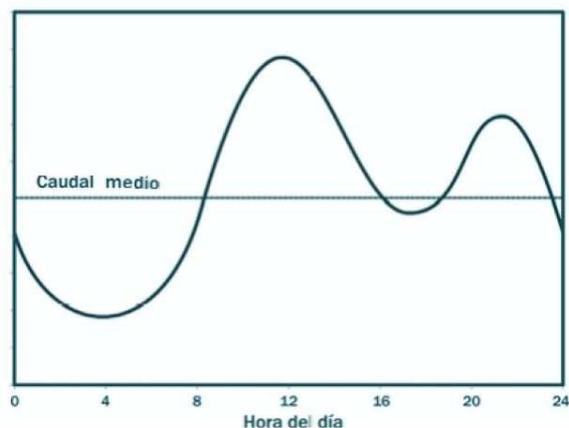


Figura A2.1- Gráfica de caudal a lo largo de un día

Durante la noche y primeras horas del día, en las que los consumos de agua son mínimos, también son mínimos los caudales de aguas residuales, estando estos caudales compuestos fundamentalmente por aguas infiltradas y por pequeñas cantidades de aguas residuales domésticas. La primera punta de caudal se alcanza cuando llega a la estación depuradora el agua correspondiente al consumo punta, aproximadamente a media mañana. La segunda punta de caudal suele tener lugar a últimas horas de la tarde, entre las 19 y las 21 horas.

Los datos de consumo medio para cada franja horaria durante la semana (ver figura A2.2), nos permite observar los hábitos de uso, que suelen estar relacionados con el mayor o menor nivel de actividad industrial, así como con la existencia de segunda vivienda, días de mercado, etc.

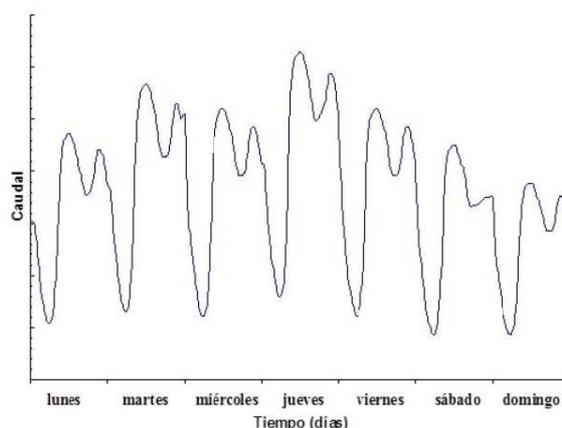


Figura A2.2- Gráfica de caudal a lo largo de una semana

La representación de los caudales medios diarios a lo largo del año (figura A2.3), permite determinar el caudal medio diario, máximo diario y mínimo diario.

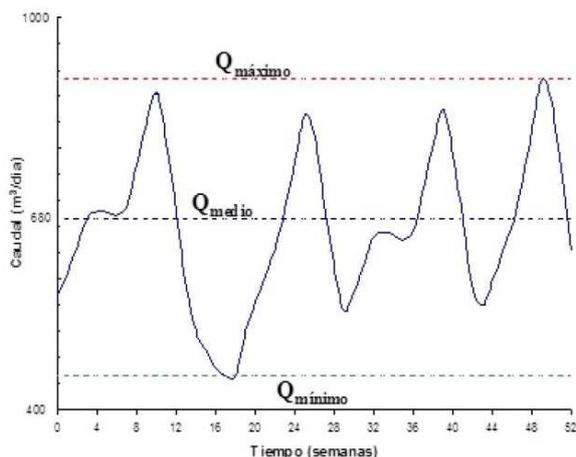


Figura A2.3- Gráfica de caudal a lo largo de un año

El caudal de diseño, utilizado para todos los cálculos de la EDAR, no es otra cosa que el caudal medio diario.

Como conclusión a esta última gráfica, podemos determinar que las épocas con menor caudal serán las épocas adecuadas para el descanso de uno de los tres humedales en paralelo, mientras se cosecha la biomasa y se retiran los fangos.

2.-INFLUENCIA DE LAS LLUVIAS EN LOS CAUDALES

Las aguas pluviales pueden representar un incremento importante sobre el caudal que accede a la EDAR en un momento dado; de forma que en caso de lluvias torrenciales, muy características de climas mediterráneos, se llega a superar el caudal máximo de diseño de la mayor parte de las unidades de tratamiento de que se compone la planta.

Las aguas blancas o de lluvia son las debidas a los fenómenos de escorrentía superficial, así como la proveniente de los drenajes naturales o forzados. El tipo de contaminantes que transporta son los que el agua de lluvia ha podido captar de la atmósfera, restos de la actividad humana como son los residuos que se abandonan en la vía pública y que son arrastrados al sistema de colectores. También transporta restos de las emisiones de los vehículos, arenas, restos vegetales, abonos, etc. Véase la figura A2.4.

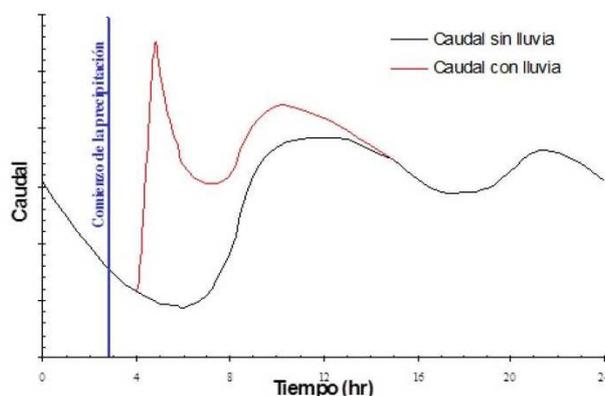


Figura A2.4: Comparativa de caudales con y sin lluvia

Este tipo de aporte puntual de caudal presenta varias cuestiones características:

- Existe un cierto desfase temporal entre el comienzo de la precipitación y su llegada a la EDAR. Este retardo es debido, entre otros factores, a la longitud del sistema de recogida de aguas, siendo mayor cuanto mayor es este sistema.
- El aumento de caudal debido a la precipitación se alarga en el tiempo, una vez que ha cesado esta, debido fundamentalmente a la infiltración desde el terreno al sistema de alcantarillado.
- La concentración de contaminantes que arrastra el agua de lluvia suele ser alta durante los primeros momentos de la misma, equivalente a la de las aguas domésticas, disminuyendo con el tiempo y estabilizándose al cabo de poco tiempo de comenzada la precipitación.

Para prevenir la contaminación de los cauces receptores ocasionada por el desbordamiento de los sistemas colectores unitarios por las aguas de tormenta, se comienzan a acometer actuaciones con un abanico de posibilidades complementarias:

- Implantación de aliviaderos con una relación de dilución más elevada.
- Instalación de equipos de desbaste en el vertido de los aliviaderos, al objeto de separar y retirar los elementos gruesos.
- Construcción de balsas o depósitos de tormentas para almacenar y regular la incorporación de los caudales excepcionales a las instalaciones de tratamiento primario de las depuradoras.

En el caso de estudio, se diseña un aliviadero que conecta el sobrante de caudal de lluvia a un colector de salida que lleva el vertido al río.