



**UNIVERSIDAD DE SEVILLA**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE SEVILLA**



# **TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL**

## **TÍTULO DEL PROYECTO**

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS PARA UN  
NÚCLEO URBANO PEQUEÑO MEDIANTE TECNOLOGÍAS  
EXTENSIVAS**

**AUTOR: JUAN RAMÍREZ MORENO**

**TUTOR: EMILIO DÍAZ OJEDA**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. ANTECEDENTES.....	7
1.1. Obligación de depurar por normativa legal.....	7
1.2. Problemática de las pequeñas comunidades.....	7
1.3. Métodos de depuración de aguas en pequeñas comunidades .....	9
1.3.1. Pretratamiento .....	9
1.3.2. Tratamiento Primario .....	15
1.3.3. Tratamientos secundarios extensivos.....	19
1.3.4. Tratamientos secundarios intensivos.....	26
2. MEMORIA.....	32
2.1. Objetivo.....	32
2.2. Alcance .....	32
2.3. Normas y Referencias.....	33
2.3.1. Disposiciones legales y normas aplicadas.....	33
2.4. Desarrollo General.....	38
2.4.1. Ventajas e inconvenientes .....	38
2.4.2 Criterios para elegir el sistema más adecuado .....	43
2.4.3. Nivel depurativo alcanzado en función a los sistemas utilizados.....	43
2.4.4. Rango de aplicación recomendable para los distintos sistemas de depuración .....	44
2.4.5. Introducción al diseño .....	46
2.4.6. Dimensionamiento de los humedales .....	59
3. PROCESOS CONSTRUCTIVOS .....	80
3.1. Fosa Séptica .....	80
3.2. Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.....	81
3.3. Tanque de desinfección y toma de muestras.....	82
3.4. Pozo de bombeo .....	82
3.5. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical .....	83
4. COSTES DE LOS EQUIPOS Y LA CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DEPURATIVOS.....	85
4.1. Costes del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal .....	85
4.2. Costes del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical .....	88
5. PLANOS.....	91
6. OPCIONES PARA VERTER EL AGUA DEPURADA .....	96
6.1. Verter el agua depurada al cauce del río más próximo .....	96

---

6.2. Utilizar el agua depurada para regadío .....	96
6.3. Uso de zanjas filtrantes para verter al terreno.....	97
6.4. Conclusión .....	98
7. POSIBLES MODIFICACIONES .....	99
7.1. Modificaciones del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal .....	99
7.2. Modificaciones del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical ...	99
8. CONCLUSIÓN .....	101
9. BIBLIOGRAFÍA .....	102
10. ANEXO .....	105
10.1. Anexo I: Ley de Aguas, aprobada por R.D. Legislativo 1/2001, de 20 de julio.....	105
10.2. Anexo II: Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH). ....	114

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tamiz Estático. Fuente: (Hidro Water, 2019) .....	10
Ilustración 2. Tamiz rotativo o de tambor. Fuente: (GEDAR Gestión de Aguas y Residuos, 2019) .....	11
Ilustración 3. Tamiz Deslizante. Fuente: (DOCPLAYER (Documento de CEDEX), 2019).....	11
Ilustración 4. Tamiz de escalera. Fuente: (Procesos Auto-Mecanizados Pam, 2019) .....	12
Ilustración 5. Tamiz de tornillo. Fuente: (WANGROUP, 2019) .....	12
Ilustración 6. Desarenador estático de doble canal. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	13
Ilustración 7. Desarenador aireado. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010).....	14
Ilustración 8. Desengrasador estático. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	14
Ilustración 9. Desengrasador aireado. Fuente: (DOMOS agua, 2019).....	15
Ilustración 10. Fosa séptica. Fuente: (EUROPLAST, 2019).....	15
Ilustración 11. Tanque Imhoff. Fuente: (SSWM, 2019).....	16
Ilustración 12. Decantador estático cilíndrico. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010).....	17
Ilustración 13. Decantador lamelar. Fuente: (ECOTEC, 2019).....	17
Ilustración 14. Decantador dinámico. Fuente: (POGGI-SPA, 2019).....	18
Ilustración 15. Decantador circular. Fuente: (Water action plan, 2019) .....	18
Ilustración 16. Decantador rectangular. Fuente: (VICTORIANO MAQUINARIA S.L., 2019).....	19
Ilustración 17. Humedal de flujo superficial. Fuente: (Alianza por el agua, 2019) .....	20
Ilustración 18. Humedal de flujo subsuperficial horizontal. Fuente: (Alianza por el agua, 2019) .....	21
Ilustración 19. Humedal de flujo subsuperficial vertical. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	21
Ilustración 20. Filtro intermitente de arena sin recirculación. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	22
Ilustración 21. Filtro intermitente de arena con recirculación. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	23
Ilustración 22. Infiltración-Percolación modificado. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010).....	24
Ilustración 23. Filtro de turba. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	25
Ilustración 24. Lagunaje. Fuente: (MOBIOUS, 2019) .....	26
Ilustración 25. Proceso de aireación prolongada. Fuente: (GEDAR Gestión de Aguas y Residuos, 2019) .....	27

Ilustración 26. Lecho bacteriano. Fuente: (Iagua, 2019) .....	27
Ilustración 27. Biodiscos. Fuente: (Hidrometálica, 2019).....	28
Ilustración 28. Biocilindros. Fuente: (Distriambiente, 2019).....	28
Ilustración 29. Proceso de un reactor secuencial discontinuo. Fuente: (Madrimsd, 2019) .....	30
Ilustración 30. Lecho móvil (MBBR). Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010).....	31
Ilustración 31. Proceso híbrido IFAS. Fuente: (Aguas Residuales, 2019) .....	31
Ilustración 32. Localización Sotres. Fuente: (Google maps, 2019) .....	46
Ilustración 33. Diagrama de flujo primera alternativa. Fuente: (Rossi, 2019) ..	47
Ilustración 34. Diagrama de flujo segunda alternativa. Fuente: (Rossi, 2019) ..	48
Ilustración 35. Pretratamiento para ambos humedales. Fuente (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	48
Ilustración 36. Sistema depurativo completo con un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal. Fuente: (Rossi, 2019) .....	59
Ilustración 37. Sistema depurativo completo con un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical. Fuente: (Rossi, 2019).....	70
Ilustración 38. Bomba GRN 400/2/G50H A1FT5. Fuente: (Rossi, 2019) .....	76
Ilustración 39. Características de la bomba. Fuente: (Rossi, 2019) .....	77
Ilustración 40. Prestaciones de la bomba. Fuente: (Rossi, 2019) .....	77
Ilustración 41. Dimensiones y peso de la bomba. Fuente: (Rossi, 2019).....	78
Ilustración 42. Costes de explotación y mantenimiento. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	87
Ilustración 43. Costes de explotación y mantenimiento. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	90
Ilustración 44. Tabla EPA. Fuente: (Rossi, 2019).....	97
Ilustración 45. Humedal artificial con relleno plástico. Fuente: (Rossi, 2019)...	99
Ilustración 46. Sistema depurativo con sifón. Fuente: (Rossi, 2019).....	100
Ilustración 47. Doble sifón de la arqueta sifónica dosificadora. Fuente: (Rossi, 2019) .....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Legislación relativa a objetivos de calidad. Fuente: (Ruza, Bordas, Espinosa, & Puig, 2007) .....	36
Tabla 2. Legislación relativa al control de emisiones de sustancias peligrosas. Fuente: (Ruza, Bordas, Espinosa, & Puig, 2007) .....	36
Tabla 3. Legislación relativa a la prevención de la contaminación. Fuente: (Ruza, Bordas, Espinosa, & Puig, 2007) .....	37
Tabla 4. Pretratamiento. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	38
Tabla 5. Tratamiento Primario. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	39
Tabla 6. Tratamientos Secundarios Extensivos. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	41
Tabla 7. Tratamientos Secundarios Intensivos. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	42
Tabla 8. Rendimientos de eliminación. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	44
Tabla 9. Rango de aplicación de los sistemas. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	45
Tabla 10. Composición de agua residual tipo. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	47
Tabla 11. Valores de algunos de los materiales utilizados para los humedales. Fuente: (Lara, 1999) .....	52
Tabla 12. Valor de la conductividad en función del material. Fuente: (Lara, 1999) .....	55
Tabla 13. Datos de partida .....	60
Tabla 14. Rendimiento Fosa Séptica. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	61
Tabla 15. Datos de partida .....	63
Tabla 16. Elementos. Fuente: (Lara, 1999) .....	64
Tabla 17. Rendimientos Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	69
Tabla 18. Datos de partida .....	73
Tabla 19. Rendimientos Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010) .....	78
Tabla 20. Costes de equipos y sus componentes .....	85
Tabla 21. Costes de mano de obra .....	86
Tabla 22. Costes de equipos y sus componentes .....	88
Tabla 23. Costes de mano de obra .....	89

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. Obligación de depurar por normativa legal

Como señala el RD Legislativo 1/2001, de 20 de Julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas (en adelante TRLA), y el art. 245 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (en adelante RDPH) modificado por el RD 606/2003, se consideran vertidos los que se realicen directa o indirectamente en las aguas continentales, así como en el resto del dominio público hidráulico (en adelante DPH), cualquiera que sea el procedimiento o técnica utilizada.

Según el citado TRLA, se considera Dominio Público Hidráulico:

- Las aguas continentales (lagos, embalses y lagunas), tanto las superficiales como las subterráneas renovables con independencia del tiempo de renovación.
- Los cauces de corrientes naturales, continuas o discontinuas.
- Los lechos de los lagos y lagunas y los de los embalses superficiales en cauces públicos.
- Los acuíferos subterráneos, a los efectos de los actos de disposición o de afección de los recursos hidráulicos.
- Las aguas procedentes de la desalación de agua de mar.

Queda prohibido con carácter general el vertido directo o indirecto de aguas y productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del DPH, salvo que se cuente con autorización previa.

La autorización de vertido tendrá como objeto la consecución de los objetivos medioambientales establecidos. Dichas autorizaciones se otorgarán teniendo en cuenta las mejores técnicas disponibles y de acuerdo con las normas de calidad ambiental y los límites de emisión fijados reglamentariamente

(Ruza, Bordas, Espinosa, & Puig, 2007)

### 1.2. Problemática de las pequeñas comunidades

Según la Unión Europea se considera pequeña población a aquella cuyo número de habitantes es inferior a 2.000 habitantes equivalentes.

En España, de los más de 8.000 municipios existentes, cerca de 6.000 cuentan con una población menor de 2.000 habitantes (Figura 1.1). Desde el 1 de Enero de 2006, las aglomeraciones urbanas menores de 2.000

habitantes equivalentes, que vierten a aguas continentales o estuarios y que cuentan con red de saneamiento, están obligadas a someter a sus aguas residuales a un tratamiento adecuado (Real Decreto Ley 11/1995). [(...)].

El grado de depuración estimado en poblaciones de menos de 2.000 habitantes equivalentes es en general bajo (inferior al 40-50%), con algunas excepciones, como las Comunidades de Madrid, Valencia, Navarra o La Rioja, donde alcanza el 70-90%. [(...)].

Dado que la mayor parte de los núcleos de población en España disponen de red de alcantarillado, el tratamiento de las aguas residuales suele abordarse de forma centralizada. Tan sólo en el caso de viviendas individuales aisladas, o núcleos de población muy pequeños y dispersos en el ámbito rural, donde la construcción de una red de saneamiento es dificultosa, se recurre a la implantación de sistemas de tratamiento individualizados.

(Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

Se pueden destacar 3 problemas principales:

- **Dispersión de la población:** Cuanto mayor sea la dispersión de la población, mayor será el nivel de complejidad y de costes para el saneamiento y depuración de las aguas residuales.

En esta problemática se plantean dos soluciones:

Por un lado, en aquellas poblaciones que no estén muy dispersas, la mejor opción, siempre que sea económicamente viable, consistirá en conducir las aguas residuales a un único punto con el objetivo de realizar una depuración conjunta.

Por otro lado, en aquellas poblaciones que estén muy dispersas, la única solución posible abarcando la mejor viabilidad y el menor coste económico, es realizar sistemas de depuración individuales.

- **Mal estado de las redes de saneamiento:** El precario estado de las redes de saneamiento afectan al volumen de las aguas residuales generadas, por lo cual, solucionar este problema es de vital importancia para llevar a cabo una efectiva depuración de las aguas residuales.
- **Caudal y composición:** El caudal y la composición de las aguas residuales de las pequeñas poblaciones difieren notablemente del resto de poblaciones debido al diferente grado de desarrollo económico y social. También se debe tener en cuenta que, debido al tamaño reducido de las pequeñas poblaciones, son muy sensible a cualquier alteración que puedan ocurrir en estas.

### 1.3. Métodos de depuración de aguas en pequeñas comunidades

La cantidad de métodos que se pueden aplicar a la hora de realizar la depuración de pequeñas comunidades es muy amplia (Pretratamiento, Tratamiento Primario, Tratamiento Secundario Extensivo y Tratamiento Secundario Intensivo).

Ambos tipos de Tratamientos Secundarios presentan características específicas que permiten determinar cuál será el más óptimo a utilizar en función a los requisitos que precisen a la hora de depurar las aguas residuales.

Por un lado, los Tratamientos Secundarios Extensivos (No convencional) se desarrollan sin aporte de energía (Velocidad natural) y en un único reactor/sistema. Debido a que no se aporta energía al reactor/sistema, la superficie necesaria es mayor que en los Tratamientos Secundarios Intensivos.

Por otro lado, los Tratamientos Secundarios Intensivos (Convencionales) se desarrollan con aporte de energía (Velocidad acelerada) mediante el suministro de oxígeno con equipos electromecánicos y de forma secuencial en tanques y reactores.

Cabe destacar que en las pequeñas poblaciones los recursos económicos son muy limitados, por lo cual, necesitan sistemas depurativos cuyos costes de explotación y mantenimiento sean asumibles. Debido a ello, los Tratamientos Secundarios Extensivos son los más utilizados en pequeñas poblaciones (máximo 2.000 h.e.) y los Tratamientos Secundarios Intensivos son los utilizados en grandes poblaciones.

A continuación, se desglosan todos los tratamientos posibles a utilizar por unidades de proceso.

#### 1.3.1. Pretratamiento

El pretratamiento es una fase previa al tratamiento que se le realizará a las aguas residuales urbanas. Dicho pretratamiento consta de una serie de operaciones cuyo objetivo es eliminar la mayor cantidad de sólidos gruesos, arenas y grasas mediante procesos físicos y mecánicos.

Esta fase va a depender de la calidad bruta del agua, tamaño de población y del tipo del tratamiento que se realizará posteriormente.

El pretratamiento suele constar de:

- **Desbaste**

El principal objetivo del desbaste es la eliminación de sólidos de tamaño pequeño-medio mediante rejas o tamices.

Las rejas están formadas por un conjunto de barras paralelas que se antepone al flujo y que según el espacio entre los barrotes las podemos clasificar en:

**Reja de gruesos:** Paso libre entre barrotes de 20 a 60 mm.

**Reja de finos:** Paso libre entre barrotes de 6 a 12 mm

Por otro lado, según su modo de limpieza las rejas se pueden clasificar en:

**Rejas de limpieza manual:** Los sólidos que se quedan acumulados se quitan con un rastrillo de forma manual.

**Rejas de limpieza automática:** Estas rejas tienen incorporado un peine rascador que de manera automática limpia la reja cada cierto tiempo.

Los tamices están compuestos por una mallas metálicas o placas perforadas. Hoy en día, la utilización de las rejas está siendo sustituido por el uso de tamices debido a que en general estos equipos proporcionan mayor eficacia y presentan cómodos sistemas de limpieza.

A continuación, desarrollaremos brevemente los tamices más utilizados:

**Tamices estáticos:** Este tamiz se basa en el efecto COANDA, es decir, se basa en que el fluido que circula sobre una superficie curva tiende a adherirse, sin embargo, los sólidos que circulan sobre la misma superficie tienden a ser expulsados.



*Ilustración 1. Tamiz Estático. Fuente: (Hidro Water, 2019)*

**Tamices rotativos o de tambor:** El tamiz rotativo, que consta de una malla sobre un cilindro giratorio, tiene como objetivo separar de manera continua los

sólidos en suspensión de un líquido. En estos tamices el flujo del agua puede circular de dos maneras distintas.

Por un lado, el agua entra por un extremo del tambor y sale a través de la superficie del tamiz reteniéndose así los sólidos en la parte interior del tambor.

Por otro lado, el agua entra por la parte exterior del tambor y sale por su parte interior reteniéndose así los sólidos en la parte exterior del tambor.



*Ilustración 2. Tamiz rotativo o de tambor.  
Fuente: (GEDAR Gestión de Aguas y Residuos, 2019)*

**Tamices deslizantes:** Están compuestos por una serie de bandejas u dientes de manera escalonada formando una cadena cuyo objetivo es separar los sólidos.



*Ilustración 3. Tamiz Deslizante. Fuente:  
(DOCPLAYER (Documento de CEDEX), 2019)*

**Tamices de escalera:** Estos tamices están compuesto por láminas fijas o móviles, dichas láminas forman una malla que retienen los sólidos. Las láminas

móviles se encargan de transportar escalón a escalón los sólidos hasta llegar a los últimos escalones donde se produce la descarga.



*Ilustración 4. Tamiz de escalera.  
Fuente: (Procesos Auto-Mecanizados  
Pam, 2019)*

**Tamices de tornillo:** Los sólidos se retienen en la malla filtrante donde un tornillo sin fin se encarga de transportar los sólidos de forma automática fuera del canal hacia una zona de compactación.



*Ilustración 5. Tamiz de tornillo. Fuente: (WANGROUP,  
2019)*

## - Desarenado

Etapa que suele ser posterior al desbaste y antes del tratamiento primario teniendo por objetivo eliminar las arenas, es decir, la mayor parte de los granos de naturaleza mineral más densos que el agua y de un tamaño superior a 200 micras para evitar así su sedimentación en canales.

Encontramos dos tipos básicos de desarenadores:

**Desarenadores estáticos de flujo horizontal:** el agua circula a su través en dirección horizontal, existiendo dos modalidades diferentes.



*Ilustración 6. Desarenador estático de doble canal. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)*

- **Canales desarenadores de flujo variable:** Las arenas se extraen manualmente de la zona inferior de un canal.
- **Canales desarenadores de flujo constante:** Debido a que mantienen una velocidad de paso fija, se consigue que se sedimente la mayor parte de las partículas de origen inorgánico y la menor parte posible de las de origen orgánico.

**Desarenadores aireados:** En estos desarenadores se inyecta aire con el objetivo de reducir el contenido de materia orgánica de la arena.

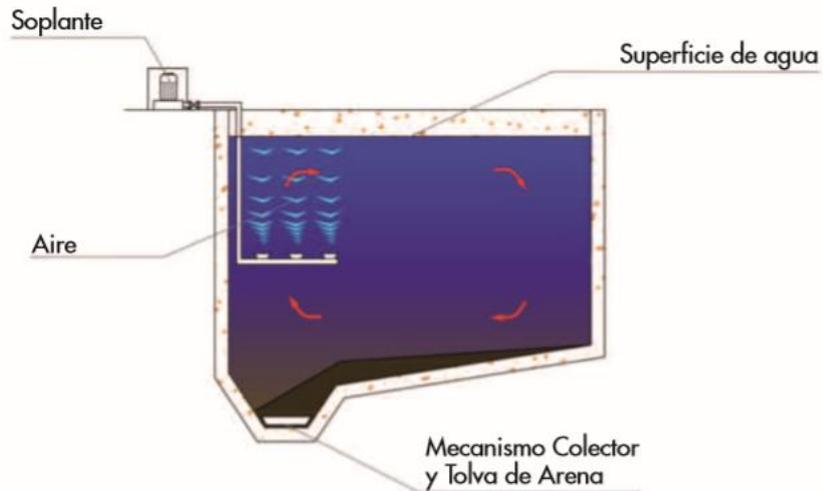


Ilustración 7. Desarenador aireado. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

## - Desengrasado

Tiene como objetivo eliminar toda la materia flotante más ligera que el agua como las grasas. Encontramos dos tipos:

**Desengrasadores estáticos:** En estos desengrasadores, las aguas se hacen pasar a través de un depósito donde los componentes de menor densidad flotan y son retenidos por un tabique deflector para obligar que las aguas salgan por la parte inferior. Los residuos flotantes en la superficie se suelen retirar de forma manual



Ilustración 8. Desengrasador estático. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

**Desengrasadores aireados:** Estos desengrasadores se utilizan si se combinan con la acción de desarenado. Su proceso consiste en inyectar aire por la parte inferior con el objetivo de desemulsionar las grasas y de mejorar la flotación de estas.

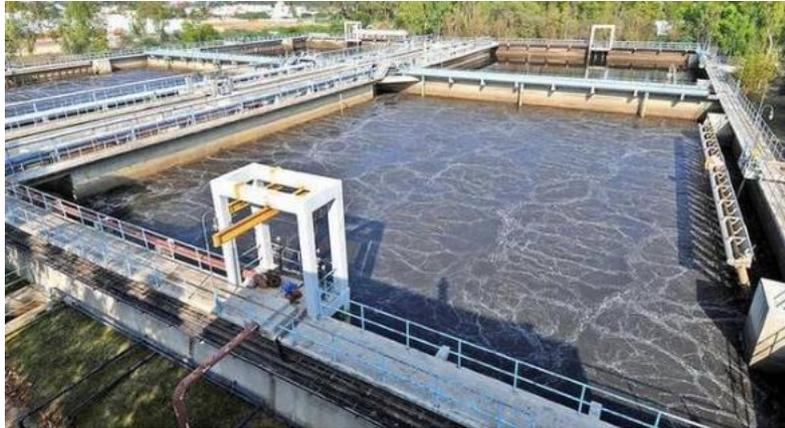


Ilustración 9. Desengrasador aireado. Fuente: (DOMOS agua, 2019)

### 1.3.2. Tratamiento Primario

El principal objetivo del tratamiento primario es la eliminación de los sólidos en suspensión, tanto sedimentables como flotantes. Los tratamientos primarios más empleados son:

#### - Fosa séptica

La Fosa Séptica va a realizar un tratamiento primario cuyo objetivo es separar los aceites y grasas de las aguas residuales que flotan y sólidos sedimentables que van al fondo por la acción de la gravedad.

Por otro lado, aquellos sólidos orgánicos que se quedan en el fondo de la fosa séptica van a ir biodegradándose mediante reacciones anaeróbicas de manera que su volumen se irá reduciendo ya que parte de esos sólidos se van a convertir en material soluble en el agua y gas. La parte restante que queda de sólidos se debe retirar cada cierto tiempo de la fosa.

Las fosas sépticas pueden ser de uno, de dos o de tres compartimentos.

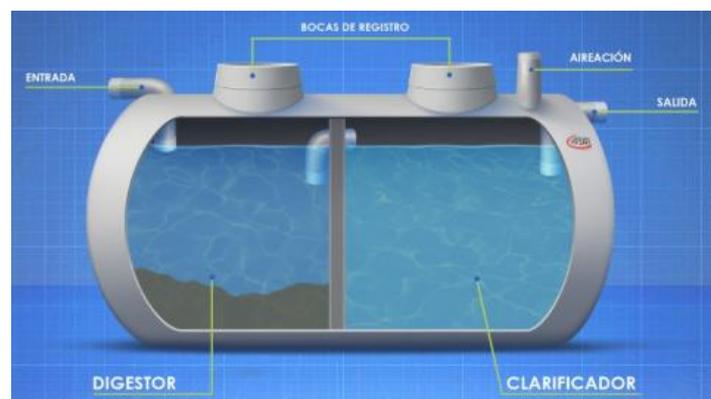


Ilustración 10. Fosa séptica. Fuente: (EUROPLAST, 2019)

## - Tanques Imhoff

Los Tanques Imhoff tienen como objetivo eliminar los sólidos en suspensión de las aguas residuales.

El Tanque Imhoff típico es de forma rectangular y consta de una cámara de sedimentación y una cámara de digestión. En los tanques Imhoff a diferencia de lo que ocurre en las fosas sépticas, los gases que se generan en la cámara de digestión no afectan a la decantación de los sólidos debido a la forma de la apertura que comunica ambas cámaras.

Ahora bien, los procesos que se realizan en estos tanques son exactamente los mismos que en los que ocurren en las fosas sépticas, es decir, por un lado se van a separar los sólidos sedimentables, aceites y grasas de las aguas residuales por la acción de la gravedad y por otro lado aquellos sólidos que se quedan en el fondo del tanque se van a ir degradando mediante reacciones anaeróbicas de manera que su volumen se irá reduciendo ya que parte de esos sólidos se van a convertir en material soluble en el agua y gas.

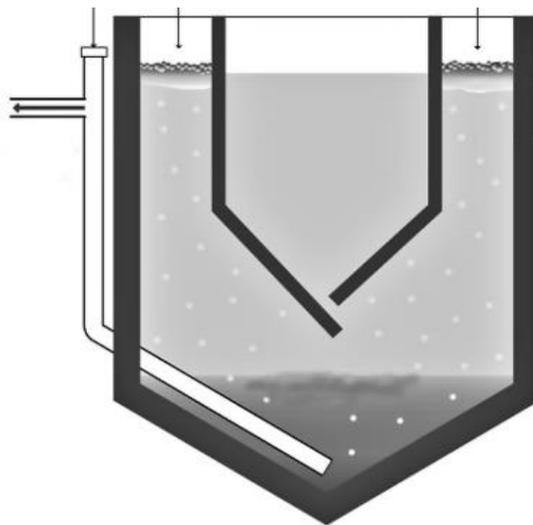


Ilustración 11. Tanque Imhoff. Fuente: (SSWM, 2019)

## - Decantación primaria

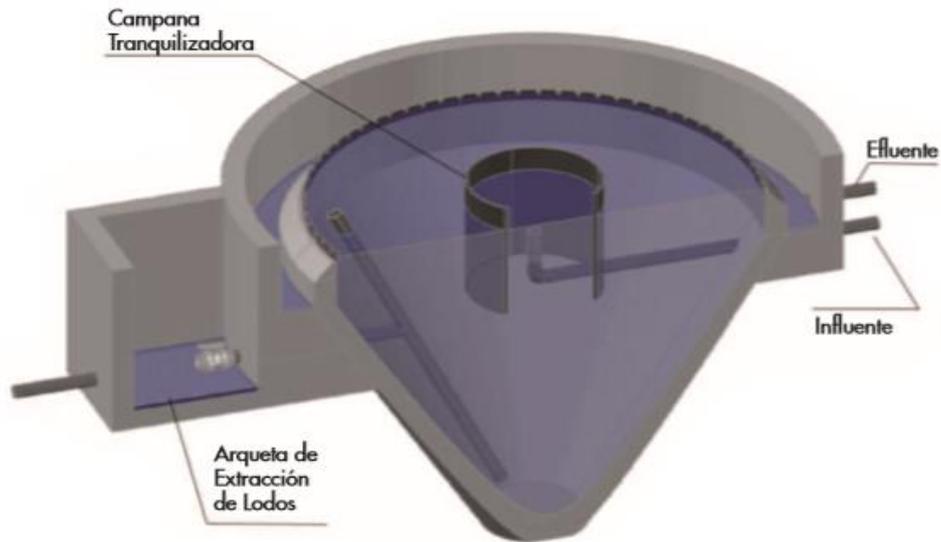
El objetivo de la decantación primaria es la reducción de los sólidos en suspensión de las aguas residuales bajo la exclusiva acción de la gravedad. Por tanto, sólo se puede pretender la eliminación de los sólidos sedimentables y las materias flotantes, los sólidos disueltos y coloidales permanecerán inalterados.

La retirada previa de estos sólidos es primordial, ya que en caso contrario originarían fuertes demandas de oxígeno en el resto de las etapas de tratamiento.

Existen 2 tipos básicos de decantadores según tenga o no sistemas electromecánicos para la recogida de lodos y residuos flotantes.

**Decantadores estáticos:** carentes de partes mecánicas, de los cuales fundamentalmente se utilizan dos tipos:

- Decantadores cilindrocónicos, de caudales pequeños, para poblaciones de menos de 2.000 habitantes.



*Ilustración 12. Decantador estático cilindrocónico. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)*

- Decantadores lamelares, que son más pequeños gracias a que tienen de lamelas inclinadas en las que impactan las partículas en su recorrido para la sedimentación.



*Ilustración 13. Decantador lamelar. Fuente: (ECOTEC, 2019)*

**Decantadores dinámicos:** disponen de sistemas electromecánicos para recogida de lodos y flotantes, de los cuales fundamentalmente se utilizan dos tipos:



Ilustración 14. Decantador dinámico. Fuente: (POGGI-SPA, 2019)

**Decantadores circulares:** El agua se introduce por el centro del decantador y es recogida en toda la periferia de este. La salida habitual del agua es a través de un vertedero triangular, dicha salida es lo más óptimo al considerar las grandes variaciones de caudal.

Finalmente, la evacuación de los fangos sigue el siguiente proceso:

La acumulación de los fangos se realiza por gravedad con un fondo inclinado con forma de tolva, posteriormente los fangos se almacenan en pocetas ubicadas en el centro del decantador y por último se lleva a cabo el proceso de extracción de fangos.

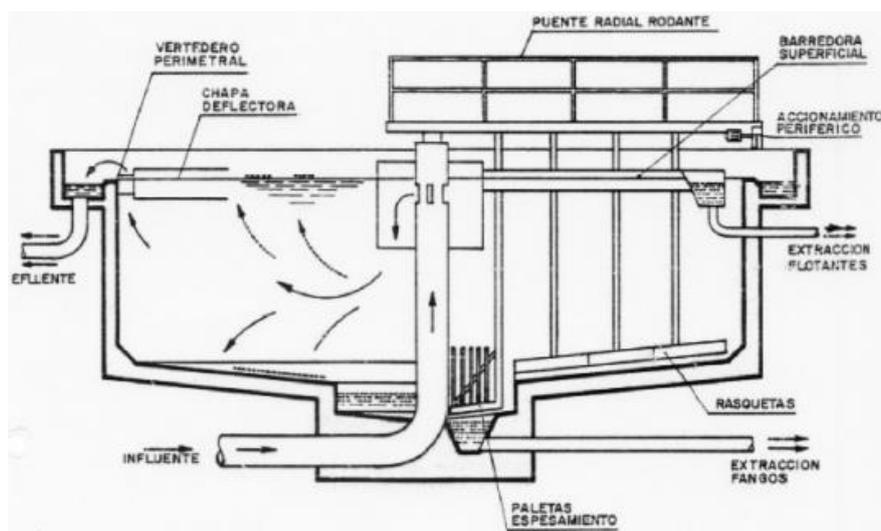


Ilustración 15. Decantador circular. Fuente: (Water action plan, 2019)

**Decantadores rectangulares:** La alimentación es generalmente por uno de los lados más estrechos, saliendo el agua por el lado opuesto, también a través de un vertedero triangular.

La evacuación de fangos sigue el siguiente proceso:

La acumulación de los fangos se realiza por gravedad o por rasquetas, posteriormente los fangos se almacenan en pocetas situadas a lo ancho del decantador y por última se lleva a cabo el proceso de extracción.



*Ilustración 16. Decantador rectangular. Fuente: (VICTORIANO MAQUINARIA S.L., 2019)*

### 1.3.3. Tratamientos secundarios extensivos

Las tecnologías extensivas son aquellos procesos de depuración que transcurren a velocidad natural, es decir, sin aporte de energía. Ahora bien, debido a que transcurre a velocidad natural se necesita una mayor superficie para tratar las aguas residuales.

Los tratamientos extensivos más empleados son:

#### - **Humedales artificiales:**

Los Humedales Artificiales son sistemas de depuración en los que las aguas residuales van a ser depuradas en dichos humedales mediante procesos físicos, biológicos y químicos.

La depuración de las aguas residuales se realiza a medida que va circulando a lo largo del humedal. Este humedal consta de:

- **El sustrato:** Este sustrato tiene como objetivo, además de mantener el enraizamiento de las plantas, ayudar en la formación de una biopelícula los microorganismos para realizar el proceso de eliminación de los contaminantes del agua residual.

- **Las plantas acuáticas (macrófitas):** Estas plantas acuáticas se encargan de oxigenar el sustrato, eliminar los nutrientes, facilitar la filtración y de la absorción de los constituyentes del agua residual gracias a la formación de la película bacteriana.

Los Humedales Artificiales se clasifican en dos tipos:

**Humedales de Flujo Superficial:** En estos humedales el agua residual circula por la superficie, es decir, circula alrededor de las plantas. Debido a que circula por encima del sustrato, el agua residual está en contacto directo con la atmósfera. En estos humedales predomina la depuración natural, al igual que en los lagunajes.

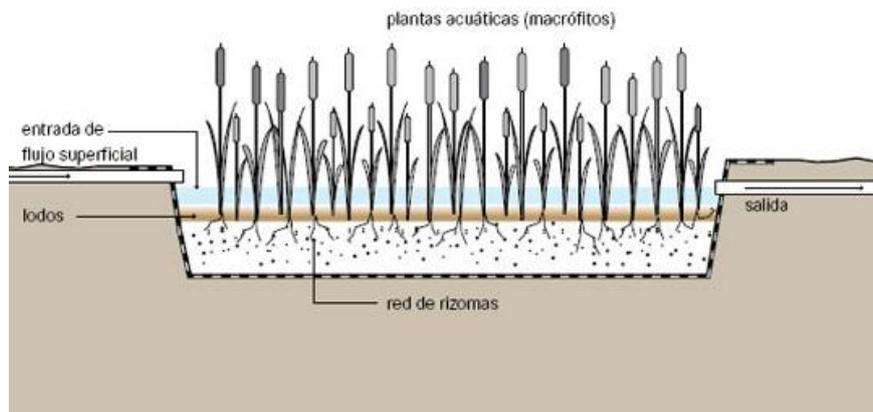


Ilustración 17. Humedal de flujo superficial. Fuente: (Alianza por el agua, 2019)

**Humedales de Flujo Subsuperficial:** En estos humedales el agua residual circula de forma subterránea a través de grava estando en contacto directo con las raíces de las plantas macrófitas. En este caso el proceso de depuración es más parecido a un proceso de filtración.

Encontramos dos tipos de Humedales de flujo Subsuperficial:

- **Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal:** En este humedal el agua circula de manera horizontal y su alimentación se realiza de forma continua. El agua se mantiene durante días y mantiene un ambiente anaeróbico por lo que no hay oxígeno disuelto en el efluente.

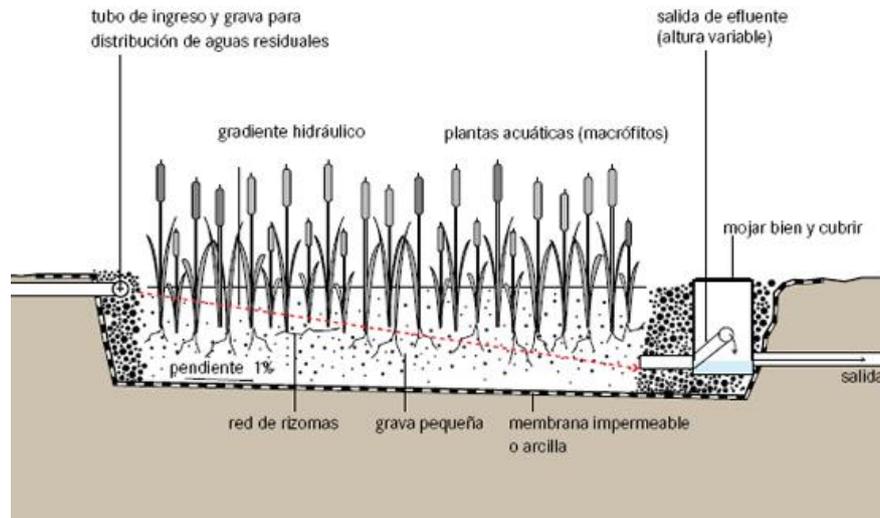


Ilustración 18. Humedal de flujo subsuperficial horizontal. Fuente: (Alianza por el agua, 2019)

- Humedal de Flujo Subsuperficial Vertical:** En este humedal el agua circula de manera vertical y su alimentación se realiza de forma intermitente. El agua se mantiene solo durante unas horas y el ambiente es principalmente aeróbico con efluente oxigenado. Son instalaciones de menor tamaño que las de flujo superficial con menos olores, menos insectos y menos exposición directa a las personas, pero son más costosos.

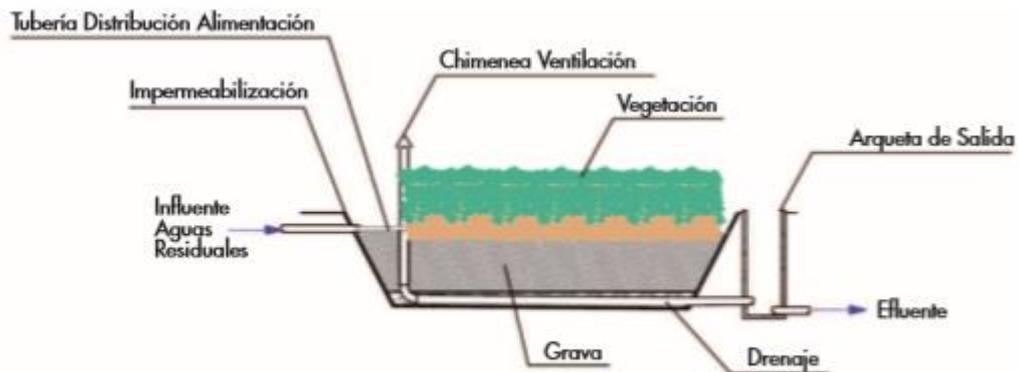


Ilustración 19. Humedal de flujo subsuperficial vertical. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

- **Filtros intermitentes de arena**

Estos filtros intermitentes de arenas son lechos poco profundos que se utilizan para depurar las aguas que previamente han sido tratadas por un pretratamiento y un tratamiento primario. Estos filtros están compuestos por una red de distribución (Encargada de distribuir el agua a tratar por la superficie) y una red de recogida (Encargada de recolectar las aguas ya depuradas).

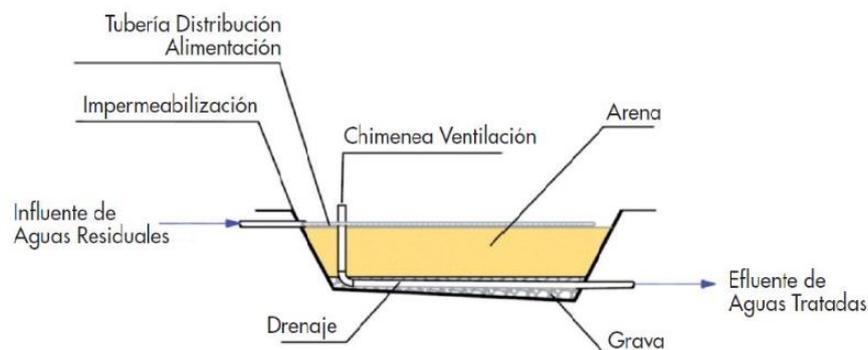
En este proceso, los sólidos en suspensión de las aguas a tratar son eliminados mediante un proceso de filtración una vez el agua circule de manera vertical a través del lecho arenoso. Estos filtros permanecen grandes periodos de tiempo en funcionamiento gracias a la intermitencia y a las condiciones aeróbicas, ahora bien, cuando el filtro se satura hay que proceder a dejar el filtro fuera de servicio y limpiar la capa de arena que contiene los sólidos en suspensión o reemplazarla para que así este sistema vuelva a funcionar.

En estos filtros arenosos actúan tres mecanismos diferentes:

- **Filtración:** Reteniendo la mayor parte de las partículas en suspensión en los estratos más superiores de lecho arenoso.
- **Absorción de contaminantes solubles y coloides** por la película microbiana que se forma y cubre los granos de arena.
- **Oxidación biológica** de la contaminación absorbida y retenida por la biomasa microbiana adherida a la arena.

Se pueden distinguir dos tipos de filtros intermitentes de arena:

- **Filtros sin recirculación:** las aguas a tratar atraviesan el lecho filtrante de arriba abajo y en tan sólo una ocasión.



*Ilustración 20. Filtro intermitente de arena sin recirculación. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)*

- **Filtros con recirculación:** En este caso una fracción de las aguas que ya han sido tratadas van a un depósito de recirculación.

En este depósito de recirculación, dichas aguas se mezclan con aguas provenientes del tratamiento primario, produciéndose así, una dilución de las aguas tratadas.

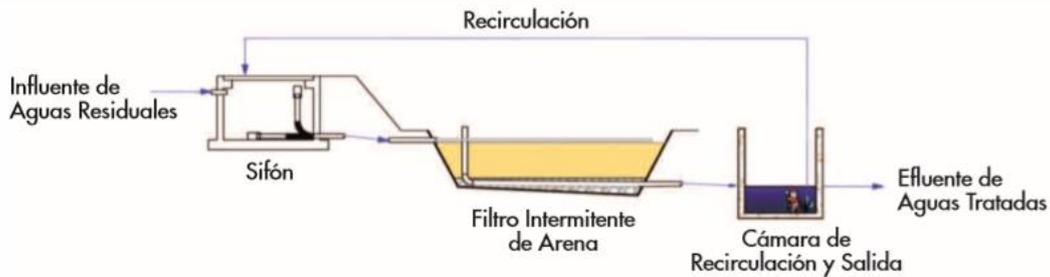


Ilustración 21. Filtro intermitente de arena con recirculación. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

## - Infiltración-Percolación

El tratamiento de las aguas residuales mediante sistemas de Infiltración-Percolación (I-P) se basa en un proceso de depuración aeróbica en el que se utiliza un medio granular determinado.

Este proceso trata las aguas que provienen de un tratamiento primario y consiste en hacer pasar estas aguas a través de dicho medio granular con el objetivo de servir de soporte para la fijación de la población bacteriana que se encarga de la eliminación de los contaminantes.

Al igual que en el proceso anterior, en la infiltración-percolación, la gran mayoría de los materiales en suspensión se quedan en la capa superficial del lecho.

Una modalidad muy utilizada en estos sistemas es utilizar el suelo como elemento depurador. Encontramos 2 tipos:

- **Filtros verdes:** El agua a tratar se distribuye por una superficie donde exista una o varias especies vegetales que tengan una gran capacidad de absorber nutrientes.
- **Zanja filtrante:** El agua tratada se infiltra en el terreno a través de una zanja de grava.

Existe una variante de este sistema denominado **Infiltración-Percolación modificado (I-Pm)**, esta variante mejora las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua debido a los procesos de filtración, oxidación y desinfección ocurridas en el lecho filtrante. Además, cuenta con una red de recogida para la recolección del agua tratada.

La aireación del sustrato filtrante es indispensable para mantener un ambiente aeróbico.

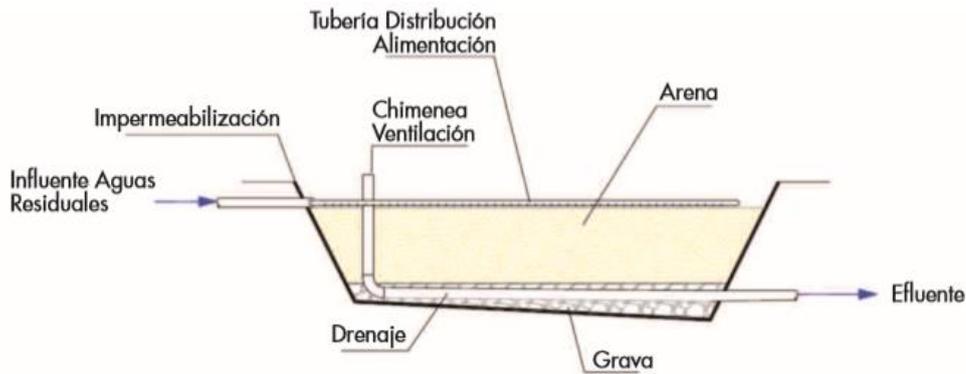


Ilustración 22. Infiltración-Percolación modificado. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

### - Filtros de turba

En estos sistemas el agua residual se filtra a través de una capa de turba asentada sobre una capa de grava y gravilla. La mayor parte de la depuración se realiza en la capa de turba ya que presenta un conjunto de propiedades fisicoquímicas que lo hacen especialmente apto para este proceso.

Tras un periodo de tiempo, el agua residual que circula a través de la turba, que tiene una alta porosidad y polaridad, se interrumpe para así dejar secar los lodos de la capa superficial. Tras ello, la capa de turba se remueve para dejar que se oxigene y pueda volver a utilizarse.

En resumen, el objetivo de depurar se consigue debido a tres acciones:

- Acción física, la turba realiza la acción de filtro gracias al conjunto de propiedades fisicoquímicas que presenta.
- Acción química, conseguidas debido a las reacciones redox que se generan en el filtro gracias a la alternancia entre el encharcamiento (situación dada cuando se filtra el agua residual) y la aireación (situación dada cuando se corta el flujo de agua para dejar que se sequen los lodos y remover la capa de turba para que se oxigene)
- Acción biológica, realizada por los microorganismos que intervienen en la descomposición de la materia orgánica.

Finalmente, los efluentes son recogidos mediante canales de drenaje para evacuar las aguas tratadas.

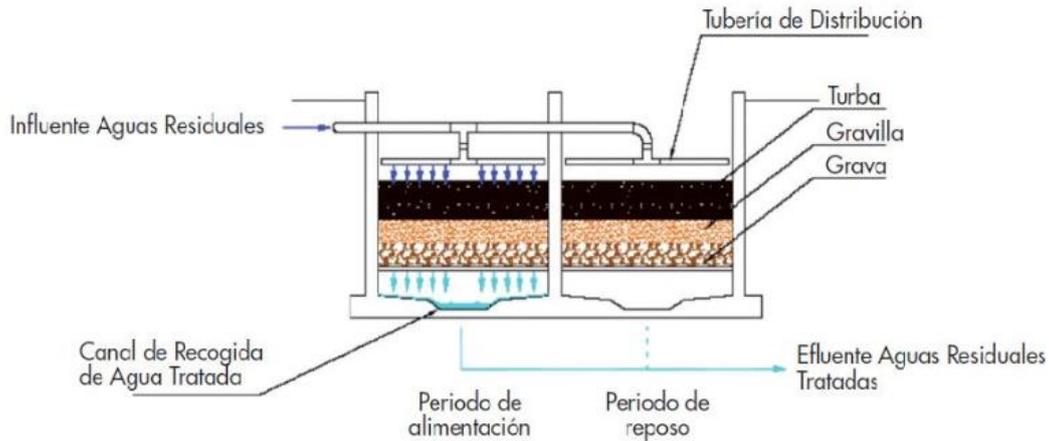


Ilustración 23. Filtro de turba. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

## - Lagunaje

La tecnología de Lagunaje consta de tres lagunas conectadas en serie, de mayor a menor profundidad, combinándose condiciones de ausencia y presencia de oxígeno, consiguiendo así la descontaminación natural de manera similar a la que ocurre en los ríos.

Los 3 tipos de lagunas existentes son:

- **Lagunas Anaerobias:** Constituye la primera etapa del lagunaje. En esta etapa, la materia orgánica en su mayoría sedimentable en el agua decanta y se produce una degradación anaeróbica en estas lagunas profundas, consiguiéndose así, fangos altamente estabilizados.
- **Lagunas Facultativas:** Constituyen la segunda etapa del lagunaje, presentando una menor profundidad y mayor extensión que las lagunas anaerobias.

En estos lagunajes coexisten 3 estratos:

- **Un estrato superior.** En este estrato se dan condiciones aeróbicas debido a la presencia de microalgas.
  - **Un estrato intermedio.** En este estrato se dan condiciones variables debido a que se producen procesos de degradación aeróbica (oxidación) de la superficie y también se producen procesos de degradación anaeróbica de la materia orgánica que se acumula al fondo del lago. Todo ello gracias a la biomasa de microbacterias facultativas.
  - **Un estrato inferior.** En este estrato se dan condiciones anaeróbicas y está ocupado por los sedimentos.
- **Lagunas de Maduración:** Constituyen la última etapa del lagunaje. Estas lagunas son las de menor profundidad de las tres, por lo cual, se realiza un

proceso de desinfección y eliminación de microorganismos debido a la penetración de la radiación solar.

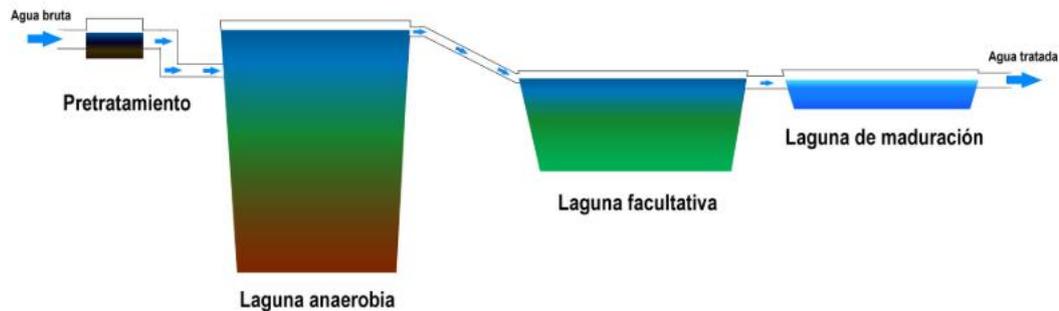


Ilustración 24. Lagunaje. Fuente: (MOBIOUS, 2019)

#### 1.3.4. Tratamientos secundarios intensivos

Estos tratamientos se realizan en tanques y reactores a velocidades aceleradas gracias al aporte de oxígeno mediante equipos electromecánicos.

Encontramos los siguientes tratamientos:

##### - **Aireación prolongada**

La Aireación Prolongada se enmarca dentro de los procesos de fangos activos. Después de la etapa de pretratamiento, el agua a tratar se introduce en un reactor biológico donde se encuentra el “licor mezcla” que es como se denomina el cultivo bacteriano en suspensión formado por un gran número de microorganismos agrupados en flóculos.

Un sistema de aireadores mecánico (turbinas o eyectores) o aireadores por difusión (difusores de membrana) provoca la homogeneización del licor mezcla y la degradación biológica del agua a tratar se realiza de forma aeróbica.

Posteriormente el licor mezcla pasa a un decantador donde se separa el efluente depurado de los lodos. Una fracción de los fangos se recirculan al reactor para mantener una concentración de microorganismos determinada. Los fangos restantes se someten a purgación.

En definitiva, en el reactor se produce la oxigenación biológica para la degradación y en el decantador se produce la separación de sólidos y líquidos.

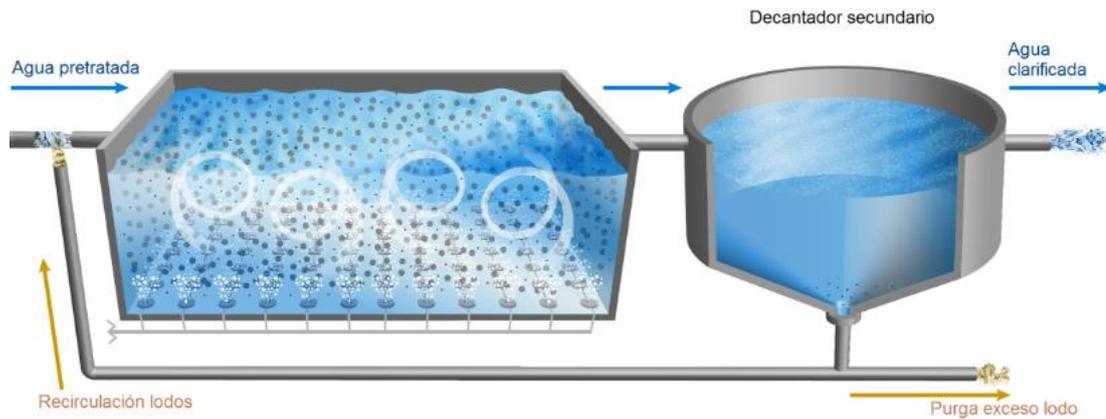


Ilustración 25. Proceso de aireación prolongada. Fuente: (GEDAR Gestión de Aguas y Residuos, 2019)

### - Lechos bacterianos o filtros percoladores

Los Lechos Bacterianos o filtros percoladores se basan en hacer pasar por gravedad el agua a tratar a través de un material relleno, a lo largo de la percolación se elimina gran parte de la materia orgánica gracias a la biopelícula microbiana que se forma en el material. En esta biopelícula se encuentran y crecen los microorganismos.

La degradación de la contaminación biodegradable contenida en el agua se produce tras entrar la alimentación por la parte superior del lecho bacteriano hasta entrar en contacto con la biopelícula de microorganismos y con el oxígeno del aire que entra por la parte inferior del lecho.



Ilustración 26. Lecho bacteriano. Fuente: (Iagua, 2019)

### - Contactores biológicos rotativos

Los Contactores Biológicos Rotativos (CBR) son reactores de película fija similares a los biofiltros porque los organismos se unen a los medios de soporte. En el caso del CBR, los medios de soporte giran lentamente estando parcialmente sumergidos en aguas residuales que fluyen en el reactor.

Estos medios de soporte, al girar lentamente, exponen su superficie al agua y al aire durante un periodo de tiempo de manera que se va desarrollando una película biológica en su superficie.

Durante el periodo en el que la película biológica bacteriana se encuentra en el agua, se encarga de la degradación de la materia orgánica que utiliza como sustrato y durante el periodo en el que la película biológica se encuentra en el exterior se encarga de absorber la cantidad de oxígeno suficiente.

Dentro de los Contactores Biológicos Rotativos cabe distinguir entre:

- **Biodiscos:** en los que el medio de soporte para la fijación bacteriana está constituido por un conjunto de discos de material plástico. Los discos se mantienen paralelos gracias a un eje central que pasa a través de sus centros. La superficie de los discos se corresponde, aproximadamente, con la superficie biológicamente activa para el tratamiento de las aguas.



Ilustración 27. Biodiscos. Fuente: (Hidrometálica, 2019)

- **Biocilindros:** constituyen una modificación del sistema de biodiscos, en la que el rotor consiste en una jaula cilíndrica perforada, que alberga en su interior un relleno de material plástico, al que se fija la biomasa bacteriana.



Ilustración 28. Biocilindros. Fuente: (Distriambiente, 2019)

## - Reactores secuenciales discontinuos

Los reactores secuenciales discontinuos (SBR) son aquellos en los que el agua residual se mezcla con el lodo biológico en un medio aireado de manera secuencial en función de ciclos de alimentación o llenado, reacción, aireación, sedimentación y vaciado. El sistema combina en un mismo reactor el proceso de la degradación de los contaminantes y la decantación.

En los SBR se llevan a cabo las siguientes etapas:

- **Llenado:** En esta etapa el proceso a seguir puede ser estática o agitada/aireada, dependiendo del objetivo que se quiera conseguir.

En el llenado estático el licor mezcla no se remueve para no promover las reacciones biológicas, tener una entrada mínima de energía y una concentración alta de sustratos al final de la etapa.

En la fase de llenado agitado o aireado, el licor mezcla se remueve, por lo que se superpone con la fase de reacción, en la que tienen lugar los procesos bioquímicos que permiten la depuración del agua residual. Esta etapa se genera al comienzo de las reacciones aerobias y mantienen bajas concentraciones de sustrato.

- **Reacción:** En esta fase se produce la eliminación de la materia orgánica del agua residual. Generalmente se permite el consumo de sustrato en condiciones anóxicas-anaeróbicas o aeróbicas. Las condiciones anóxicas-anaeróbicas favorecen a la eliminación biológica del fósforo y a la desnitrificación. La condición aeróbica se lleva a cabo para realizar la oxidación de la materia orgánica y la nitrificación.
- **Sedimentación:** Tiene como objetivo proporcionar las condiciones favorables para la sedimentación del fango activo. Este lodo podría obtenerse al final de la fase de reacción o durante la fase de sedimentación. Consiste en interrumpir la aireación y mezcla del reactor. Los sólidos se dejan separar del líquido en condiciones de quietud, consiguiendo así agua residual clarificada que puede ser descargada como efluente.
- **Vaciado:** el agua residual clarificada se retira del reactor.

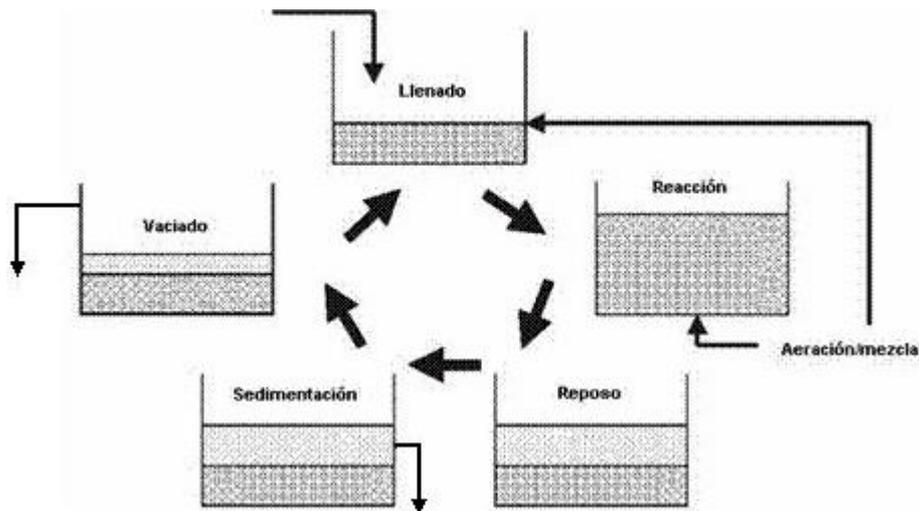


Ilustración 29. Proceso de un reactor secuencial discontinuo. Fuente: (Madrimasd, 2019)

#### - Sistema de biomasa fija sobre lecho móvil

El proceso tiene como base el crecimiento de la biomasa en soportes plásticos que se mueven en el reactor biológico mediante la agitación generada por sistemas de aireación, en el caso de procesos aerobios, o por sistemas mecánicos, en el caso de reactores anóxicos o anaerobios.

Se utilizan lechos móviles para evitar en su mayor medida los problemas de atascamiento por el crecimiento excesivo de la biomasa que obliga a limpiar el lecho de manera continua.

Su principal objetivo es aumentar la cantidad de microorganismos presentes en el sistema sin aumentar el volumen del sistema. Para conseguir dicho objetivo se utiliza un soporte con una superficie específica elevada.

Encontramos dos tipologías:

- **Proceso puro de Lecho Móvil (MBBR):** El crecimiento bacteriano se da exclusivamente en los soportes plásticos, no existiendo recirculación de los fangos sedimentados en el decantador secundario.



Ilustración 30. Lecho móvil (MBBR). Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

- **Proceso híbrido (IFAS):** Esta basado en un sistema mixto con una parte de la biomasa en forma de biopelícula fijada en un lecho móvil y otra parte en suspensión. En este caso, para conseguir una concentración adecuada de fangos activados en el reactor, se necesita recircular los fangos sedimentados en el decantador secundario.

#### Esquema de Proceso MBBR-IFAS

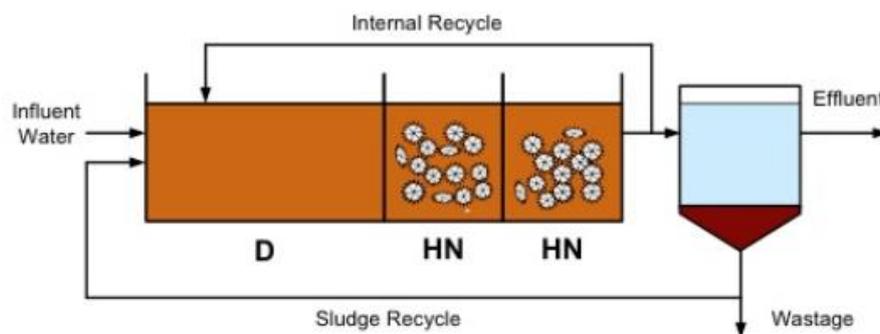


Ilustración 31. Proceso híbrido IFAS. Fuente: (Aguas Residuales, 2019)

## 2. MEMORIA

### 2.1. Objetivo

Este trabajo de fin de grado estudia la depuración de aguas residuales urbanas de una pequeña población rural, Sotres (Asturias), que presenta una elevada estacionalidad, ocurriendo que en época de invierno su población es de 114 habitantes equivalentes y en verano su población aumenta hasta 220.

Las características que se presentan en esta población nos llevan a dos problemas que debemos abarcar y resolver:

- Se trata de una población muy pequeña, por lo cual, nos lleva a utilizar sistemas de depuración no convencionales o extensivos.
- Gran estacionalidad, debido a las adversas fluctuaciones que sufre Sotres, debemos utilizar sistemas que nos garanticen la capacidad de abastecer los caudales puntas y las sobrecargas hidráulicas y orgánicas en época de verano.

Procederemos a describir los distintos sistemas aplicables a las pequeñas poblaciones centrándonos especialmente en el humedal de flujo subsuperficial horizontal y el humedal de flujo subsuperficial vertical.

Desarrollaremos:

- Ventajas y desventajas entre ambos sistemas.
- Ventajas y desventajas de estos sistemas frente al resto de sistemas posibles que se podrían implementar en esta población.
- Dimensionamiento de ambos sistemas depurativos.
- Proceso constructivo.
- Comparativa económica.
- Posibles mejoras de ambos sistemas.

### 2.2. Alcance

Este proyecto comprende el desarrollo explicativo, comparativo, constructivo, económico y dimensionado de los dos posibles mejores procesos depurativos para el poblado de Sotres (Asturias).

Se desarrollará la composición de ambos sistemas completos, puntualizando las características de cada equipo con el objetivo de demostrar que son las dos mejores opciones.

Finalmente se mostrarán tres posibles opciones para el vertido de las aguas residuales ya tratadas que serán:

- Llevar las aguas depuradas hasta el río Duje.
- Utilizar el agua depurada para riego.
- Drenar el agua en el terreno mediante zanjas filtrantes.

## 2.3. Normas y Referencias

### 2.3.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

#### **Normativa europea**

La Normativa Europea con respecto a los vertidos de aguas residuales y calidad de las aguas la podemos clasificar en 3 grupos:

#### - Objetivos de calidad

Este primer grupo fue desarrollado en la década de los años setenta y contiene las directivas relacionadas con la regulación de las características de las aguas de acuerdo con el uso al que vayan a estar destinadas. Como usos más importantes que aparecen regulados se encuentran:

- los que hacen referencia al consumo y actividades humanas relacionadas directamente con las aguas, entre ellas:
  - las destinadas a la producción de agua potable (Directivas 75/440/CEE y 79/869/CEE).
  - al consumo humano de agua potable (Directiva 98/83/CE).
  - actividades recreativas como el baño (Directiva 2006/7/CE y 76/160/CEE).
- los relacionados con los usos ambientales y regulación de la calidad de las aguas necesaria para la protección o mejora de la vida piscícola (Directiva 2006/44/CE versión codificada de la derogada 78/659/CEE) y para la cría de moluscos (Directiva 2006/113/CE versión codificada de la derogada 79/293/CEE).

#### - Control de emisiones de sustancias peligrosas

- Directiva relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad (2006/11/CE, versión codificada de la derogada 76/464/CEE y derivadas). [(...)].

En esta directiva se establece una relación de sustancias, denominadas peligrosas (divididas en dos categorías de Lista I y Lista II) [(...)].

Se ha establecido un conjunto de siete directivas que desarrollan el contenido de la citada Directiva 76/464/CEE para cada una de las diecisiete sustancias de la Lista I:

- Directiva 82/176/CEE, relativa a los valores límites y a los objetivos de calidad para los vertidos de mercurio del sector de la electrólisis de los cloruros alcalinos.
- Directiva 84/156/CEE, relativa a los valores límites y a los objetivos de calidad para los vertidos de mercurio de los sectores distintos de la electrólisis de los cloruros alcalinos.
- Directiva 83/513/CEE, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de cadmio.
- Directiva 84/791/CEE, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de hexaclorociclohexano.
- Directiva 86/280/CEE, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los residuos de determinadas sustancias peligrosas comprendidas en la lista I del Anexo de la Directiva 76/464/CEE.
- Directiva 88/347/CEE, por la que se modifica el Anexo II de la Directiva 86/280/CEE relativa a los valores límite y los objetivos de calidad para los residuos de determinadas sustancias peligrosas comprendidas en la lista I del Anexo de la Directiva 76/464/CEE.
- Directiva 90/415/CEE, por la que se modifica el Anexo II de la Directiva 87/280/CEE relativa a los valores límite y los objetivos de calidad para los residuos de determinadas sustancias peligrosas comprendidas en la lista I del Anexo de la Directiva 76/464/CEE. [(...)].

Directiva relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas (80/68/CEE).

Directiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de diciembre de 2006 relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

- Prevención de la contaminación

- Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (91/271/CEE y 98/15/CE)
- Directiva relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura (91/676/CEE)
- Directiva relativa a la prevención y control integrados de la contaminación (96/61/CE)
- Directiva por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (2000/60/ CE “Directiva Marco”)

(Ruza, Bordas, Espinosa, & Puig, 2007)

## Normativa española

La Normativa española relacionada con vertidos de aguas residuales y calidad de las aguas puede clasificarse en los siguientes cuatro grupos, de acuerdo con su contenido y los objetivos perseguidos en su desarrollo:

- Legislación básica relativa a calidad de las aguas
  - Ley de Aguas, aprobada por R.D. Legislativo 1/2001, de 20 de julio (Anexo I)
  - Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH), aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VIII de la Ley de Aguas. (Anexo II)
  - Orden por la que se aprueban los modelos oficiales para la declaración de vertido y se desarrollan determinados aspectos relativos a la autorización de vertido y liquidación del canon de control de vertidos (Orden MAM/1873/2004, de 2 de junio)
- Legislación relativa a objetivos de calidad

DIRECTIVA	TRANSPOSICIÓN
75/440/CEE Directiva del Consejo de 16 de Junio de 1975, relativa a la calidad requerida para las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable en los Estados miembros.	Reglamento de la Administración Pública del Agua (Anexo I) Orden Ministerial de 11/5/1988 Orden Ministerial de 15/10/1990 Orden Ministerial de 30/11/1994 Real Decreto 1541/1994
79/869/CEE Directiva del Consejo de 9 de Octubre de 1979, relativa a los métodos de medición y a la frecuencia de los muestreos y del análisis de las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable en los Estados miembros	Orden 8/2/1988
2006/7/CE Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de Febrero de 2006 relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE (derogación 31/12/2014)	Reglamento de la Administración Pública del Agua (Anexo II)
76/160/CEE Directiva del Consejo de 8 de Diciembre de 1975, relativa a la calidad de las aguas de baño	Real Decreto 734/1988

<p>2006/44/CE Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de Septiembre de 2006 relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces (versión codificada de la derogada 78/659/CEE)</p>	<p>Reglamento de la Administración Pública del Agua (Anexo III)  Orden 16/12/1988</p>
--	---

Tabla 1. Legislación relativa a objetivos de calidad. Fuente: (Ruza, Bordas, Espinosa, & Puig, 2007)

- Legislación relativa al control de emisiones de sustancias peligrosas

PARÁMETRO	DIRECTIVA EUROPEA	NORMATIVA ESPAÑOLA	
		VERTIDOS AGUAS RESIDUALES	VERTIDOS DESDE TIERRA AL MAR
mercurio	82/176/CEE-84/156/CEE	Orden 12 de noviembre de 1987 modificada por Orden 27 de febrero de 1991 y Orden 25 de mayo de 1992	Orden 31 de octubre de 1989 modificada por Orden de 9 de mayo de 1991
cadmio	83/513/CEE		
hexaclorociclohexano (lindano)	84/491/CEE		
tetracloruro de carbono	86/280/CEE		
DDT			
pentaclorofenol			
aldrín	88/347/CEE	Orden de 13 de marzo de 1989	
dieldrín			
endrín			
isodrín			
hexaclorobenceno			
hexaclorobutadieno			
cloroformo			
1,2 dicloroetano	90/415/CEE	Orden de 28 de junio de 1991	Orden de 28 de octubre de 1992
percloroetileno			
tricloroetileno			
triclorobenceno			

Tabla 2. Legislación relativa al control de emisiones de sustancias peligrosas. Fuente: (Ruza, Bordas, Espinosa, & Puig, 2007)

Real Decreto 995/2000, de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifica el RDPH

En este Real Decreto se definen:

- los objetivos de calidad en aguas interiores de superficie,
- los métodos de control,
- los métodos de medida de referencia,

de determinadas sustancias de la relación II del Anexo al Título III del RD 849/1986, denominadas sustancias preferentes.

- Legislación relativa a la prevención de la contaminación

DIRECTIVA	TRANSPOSICIÓN
91/271/CEE Directiva del Consejo de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas	Real Decreto Legislativo 11/1995 R.D. 509/1996 R.D. 2116/1998
91/676/CEE Directiva del Consejo de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura	Real Decreto 261/1996
96/61/CE Directiva del Consejo de 24 de septiembre de 1996 relativa a la prevención y control integrados de la contaminación	Ley 16/2002
2000/60/CE Directiva 2000/60/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas	Modificaciones de la Ley de Aguas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Artículo 129 de la Ley 62/2003 de medidas fiscales, administrativas y de orden social.</li> <li>• Disposición final primera de Ley 11/2005, de modificación de la Ley del Plan Hidrológico Nacional</li> </ul>

Tabla 3. Legislación relativa a la prevención de la contaminación. Fuente: (Ruza, Bordas, Espinosa, & Puig, 2007)

Real Decreto sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos de fuentes agrarias (R.D. 261/96)

Real Decreto-Ley por el que se establece las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas (RD Ley 11/1995 y RD 509/1996)

Ley de prevención y control integrados de la contaminación (Ley 16/2002, de 1 de julio)

(Ruza, Bordas, Espinosa, & Puig, 2007)

## 2.4. Desarrollo General

### 2.4.1. Ventajas e inconvenientes

Se mostrarán las ventajas e inconvenientes de todos los sistemas expuestos en el apartado 1.3

PRETRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Sistemas manuales y automáticos	Dado que la limpieza se realiza de manera automática, se reduce el número de atascos	Dado que los equipos de limpieza automática son sistemas electromecánicos, necesitan un consumo energético para su funcionamiento.
	Se obtienen mayores rendimientos debido a la reducción de atascos conseguida	Posibles averías en los equipos electromecánicos.
	Reducción del personal para el mantenimiento de los equipos.	Mayor coste de los equipos utilizados

Tabla 4. Pretratamiento. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

TRATAMIENTO PRIMARIO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fosa Séptica	Bajos costes de mantenimiento	Presencia de olores
	Precisa poco espacio superficial ya que están enterradas.	
	No tiene consumo energético.	Mantenimiento constante
	Rápida instalación en el caso de unidades prefabricadas.	
Tanques Imhoff	Bajos costes de mantenimiento	Presencia de olores
	No tiene consumo energético.	Riesgo de contaminar las aguas subterráneas en caso de mala construcción
	Precisa poco espacio superficial ya que están enterradas.	Menor adaptación a la fuerte estacionalidad.
	Rápida instalación en el caso de unidades prefabricadas.	

Decantación Primaria	Bajos costes de mantenimiento	Coste energético.
	Bajo impacto sonoro	Escasa estabilidad frente a sobrecargas hidráulicas.
	Facilidad de instalación	Presencia de olores
		Se generan lodos no estabilizados.

Tabla 5. Tratamiento Primario. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

TRATAMIENTOS SECUNDARIOS EXTENSIVOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Humedales Artificiales	Nulo o mínimo consumo energético.	Precisan más superficie para su implementación.
	Ausencia de olores.	Riesgo de colmatación del sustrato en los humedales de flujo subsuperficial horizontal.
	Perfecta instalación en zona rurales	Aparición de plagas y mosquitos en los humedales de flujo superficial.
	Uso de plantas autóctonas de la zona	Necesidad de buena construcción, dimensionamiento y funcionamiento debido a que hay pocos factores de control.
	Aprovechamiento de la biomasa vegetal	

Filtros Intermitentes de Arena	Nulo o mínimo consumo energético.	Precisan más superficie para su implementación en comparación a las tecnologías intensivas.
	Sencillez operativa.	Si el sustrato no es el conveniente, puede haber riesgo de colmatación.
		Grandes costes de implementación si el material no es el adecuado.
Infiltración-Percolación	Nulo o mínimo consumo energético.	Precisan más superficie para su implementación en comparación a las tecnologías intensivas.
	Mínima producción de olores	Si el sustrato no es el conveniente, puede haber riesgo de colmatación.
	Alcanza elevados niveles de nitrificación.	Grandes costes de implementación si el material no es el adecuado.
	Elevados rendimientos de eliminación de materia orgánica y materia en suspensión	Necesita periodos de reposo.
Filtros Turba	El sistema puede operar sin consumo energético	Elevado coste de la turba en comparación con el resto de las tecnologías extensivas.
	Elevado grado de depuración de los vertidos.	Los efluentes pueden presentar una ligera coloración.
		Grandes costes de implantación si no se dispone de los componentes adecuados.

Lagunajes	Nulo consumo energético.	El terreno donde se implantará necesita cumplir grandes requisitos.
	Ausencia de averías si no se utiliza ningún equipo electromecánico.	Es aconsejable implementarlo solo en zonas determinadas (zonas que no sean frías y haya alta radiación solar).
	Escasa producción de fangos.	Posibles plagas.
	Alta mineralización de los fangos debido a un elevado tiempo de retención.	Elevadas concentraciones de sólidos en suspensión.
	Elevado poder de inactivación de microorganismos patógenos.	

Tabla 6. Tratamientos Secundarios Extensivos. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

TRATAMIENTOS SECUNDARIOS INTENSIVOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Aireación Prolongada	Se necesita poca superficie para su implantación.	Gran consumo energético.
	Altos rendimientos de eliminación de nitrógeno total.	Sensible a sobrecargas hidráulicas.
	Producción de fangos estabilizados.	Generación de fangos de forma continua.
	Olores mínimos	

Lechos Bacterianos	Se necesita poca superficie para su implantación.	Producción de fangos no estabilizados
	Gran tolerancia a sobrecargas hidráulicas.	Mala integración paisajística
	Bajo consumo energético	Mayor cantidad de equipos electromecánicos en comparación con las tecnologías extensivas
Contactores Biológicos Rotativos (CBR)	Se necesita poca superficie para su implantación.	Elevado coste de implantación
	Bajo consumo energético.	Producción de fangos no estabilizados
	Mínimo ruido.	Mayor cantidad de equipos electromecánicos en comparación con las tecnologías extensivas
	Buen comportamiento ante la presencia de tóxicos debido a que la biomasa va a alternar su contacto entre el agua residual y la atmósfera.	
Reactores Secuenciales Discontinuos (SBR)	Se necesita poca superficie para su implantación.	Elevado coste de implantación
	Poca producción de fangos.	Gran consumo energético
	Flexibilidad frente a variaciones de caudal.	Alto nivel de mantenimiento
	Altos rendimientos de eliminación de nitrógeno total	En la fase de sedimentación puede haber gran probabilidad de taponamiento en los dispositivos de aireación.
	Olores mínimos	
Sistema de Biomasa Fija sobre Lecho Móvil	Reducción del volumen del reactor biológico debido al uso de un soporte con una superficie específica elevada.	El material de relleno es muy costoso.
	Buen adaptamiento a las variaciones de carga.	Gran producción de fangos no estabilizados.
	Mantenimiento sencillo	Dificultad para vaciar el reactor biológico.

Tabla 7. Tratamientos Secundarios Intensivos. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

### 2.4.2 Criterios para elegir el sistema más adecuado

Se presentan los criterios, considerados prioritarios, para el proceso de selección de las tecnologías de tratamiento a implantar en las pequeñas poblaciones. Los criterios que se consideran son los siguientes:

Criterios técnicos:

- Calidad requerida del efluente según el medio receptor.
- Tamaño de la población a tratar.
- Superficie y características del terreno disponible para la construcción de la EDAR.
- Origen y concentración de la contaminación en el agua residual.
- Versatilidad del tratamiento.
- Climatología.
- Producción y calidad de los fangos generados.
- Complejidad en la explotación y mantenimiento.

Criterios ambientales:

- Producción de malos olores.
- Generación de ruidos.
- Integración paisajística

Criterios económicos:

- Costes de explotación
- Costes de implantación

(Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

### 2.4.3. Nivel depurativo alcanzado en función a los sistemas utilizados

SISTEMA	ETAPA	EFLUENTE FINAL (mg/l)					
		SS (%)	DBO <sub>5</sub> (%)	DQO (%)	N-NH <sub>4+</sub> (%)	N <sub>t</sub> (%)	P <sub>t</sub> (%)
Fosa Séptica	Primario	50-60	20-30	20-30			
Tanque Imhoff	Primario	50-60	20-30	20-30			
Decantación Primaria	Primario	60-65	30-35				
Lagunaje	Secundario	40-80	75-85	70-80	30-70	40-80	30-60
Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Horizontal	Secundario	90-95	85-90	80-90	20-25	20-30	20-30

Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Vertical	Secundario con nitrificación	90-95	90-95	80-90	60-70	60-70	20-30
Filtro de Turba modificado	Secundario con nitrificación	85-95	90-95	80-90	85-95	15-20	70-80
Filtro Intermitente de Arena	Secundario con nitrificación	90-95	90-95	80-90	70-80	40-50	15-30
Filtro intermitente de Arena (con recirculación)	Secundario con nitrificación	90-95	90-95	80-90	70-80	40-50	15-30
Infiltración-Percolación	Secundario con nitrificación	90-95	90-95	80-90	70-80	40-50	15-30
Contactador Biológico Rotativo	Secundario o Secundario con nitrificación	85-95	85-95	80-90	60-80	20-35	10-35
Lecho Bacteriano	Secundario o Secundario con nitrificación	85-95	85-95	80-90	60-80	20-35	10-35
Aireación Prolongada	Secundario con nitrificación	85-95	85-95	80-90	90-95	80-85	20-30
Reactor Secuencial	Secundario con nitrificación	> 90	> 90	80-90	90-95	80-85	55-65
Reactor Biopelícula sobre lecho móvil	Secundario o Secundario con nitrificación	85-95	85-95	80-90	90-95	70-80	20-30

Tabla 8. Rendimientos de eliminación. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

#### 2.4.4. Rango de aplicación recomendable para los distintos sistemas de depuración

SISTEMA	RANGO DE POBLACIÓN			
	50-200	200-500	500-1.000	1.000-2.000
Fosa Séptica				
Tanque Imhoff				
Decantación Primaria				

Lagunaje				
Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Horizontal				
Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Vertical				
Filtro de Turba modificado				
Filtro Intermitente de Arena				
Filtro intermitente de Arena (con recirculación)				
Infiltración-Percolación				
Contactador Biológico Rotativo				
Lecho Bacteriano				
Aireación Prolongada				
Reactor Secuencial				
Reactor Biopelícula sobre lecho móvil				

Tabla 9. Rango de aplicación de los sistemas. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

Como se puede observar, el sistema de depuración formado por Fosa Séptica y Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial es uno de los más aptos a implementar para el pueblo de Sotres (Asturias).

Los motivos por los cuales se decide desarrollar dos posibles alternativas en las que en ambas se contemplan humedales artificiales se debe a:

- Sotres es una zona rural, por lo cual, se busca implementar un sistema que tenga un bajo impacto visual.
- Acorde al impacto visual, también se busca implementar un sistema que tenga la mayor integración paisajística posible.

- Se desea implementar sistemas que carezcan de equipos electromecánicos y/o contengan el mínimo de ellos.
- Implementación de sistemas cuya complejidad de explotación y mantenimiento sea lo más sencillo posible. Los tratamientos secundarios extensivos son menos complejos que los intensivos.
- Sistemas de tratamiento que generen la menos cantidad de fangos posibles, además, los subproductos que generan los humedales artificiales no necesitan un tratamiento de estabilización posterior.
- Acorde con la generación de fangos, cabe destacar también que los humedales artificiales son sistemas cuya extracción de fangos se realizan con menos frecuencia.
- Se intenta implementar sistemas que generen el mínimo ruido posible y que consigan tener ausencia de olores o los mínimos posibles.

#### 2.4.5. Introducción al diseño

#### **Localización vía satélite de Sotres (Asturias)**

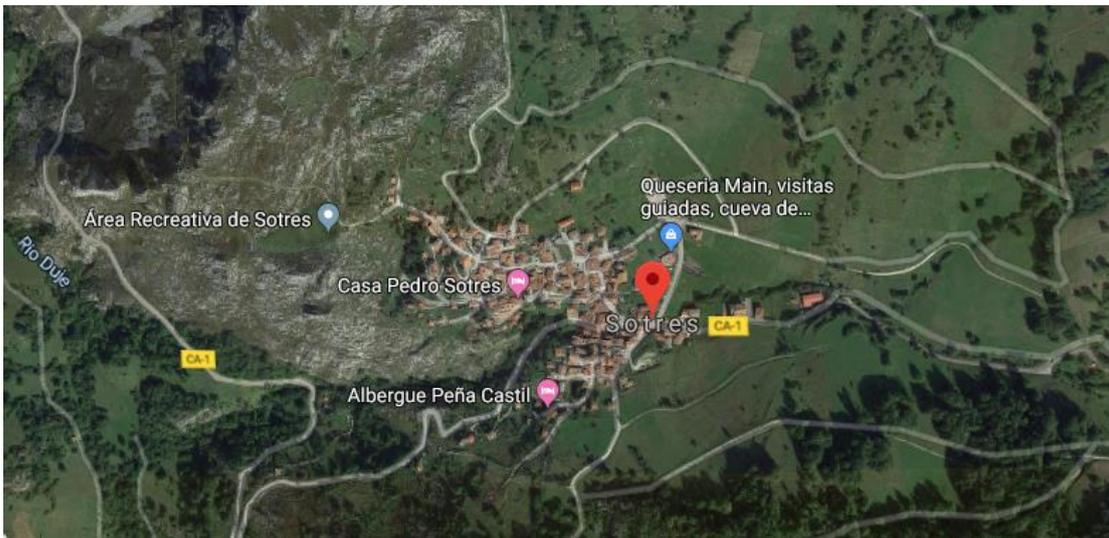


Ilustración 32. Localización Sotres. Fuente: (Google maps, 2019)

Como se puede observar, a los alrededores del pueblo de Sotres, hay extensión suficiente como para instalar una de las dos posibles alternativas.

#### **Características del agua residual**

Debido a que no ha sido posible disponer de unos análisis del agua residual de Sotres, se considera para este proyecto una composición del agua residual “tipo” para una población de similares características que llegan al sistema depurativo.

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN (mg/l)
Sólidos en suspensión	250
DBO <sub>5</sub>	300
DQO	600
N-NH <sub>4</sub>	30
N <sub>t</sub>	50
P <sub>t</sub>	10
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	10 <sup>7</sup>

Tabla 10. Composición de agua residual tipo. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

Posteriormente, se va a desarrollar el procedimiento a seguir para poder dimensionar de manera adecuada los dos posibles sistemas depurativos seleccionados. Antes de iniciar dicho desarrollo, se mostrará el diagrama de flujo de las dos posibles alternativas elegidas capaces de abastecer el tratamiento de las aguas residuales de Sotres.

Como primera alternativa se mostrará el diagrama de flujo de un sistema de tratamiento de aguas residuales compuesto por un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal.



Ilustración 33. Diagrama de flujo primera alternativa. Fuente: (Rossi, 2019)

Como segunda alternativa se mostrará el diagrama de flujo de un sistema de tratamiento de aguas residuales compuesto por un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical.



Ilustración 34. Diagrama de flujo segunda alternativa. Fuente: (Rossi, 2019)

El motivo de omitir en ambos diagramas de flujo el pretratamiento es debido a que no será abarcado en este trabajo fin de grado, el motivo se desarrolla en el “Dimensionamiento del pretratamiento”

### **Dimensionamiento del pretratamiento**

Como se indica en el apartado anterior, este trabajo fin de grado comprende las etapas que diferencian un sistema depurativo del otro desde el punto de vista constructivo hasta el punto de vista económico. Por lo cual, el dimensionamiento del pretratamiento no se abarcará en este trabajo, ya que, en ambos sistemas, según la Fundación CENTA, el pretratamiento se compone por los mismos equipos:

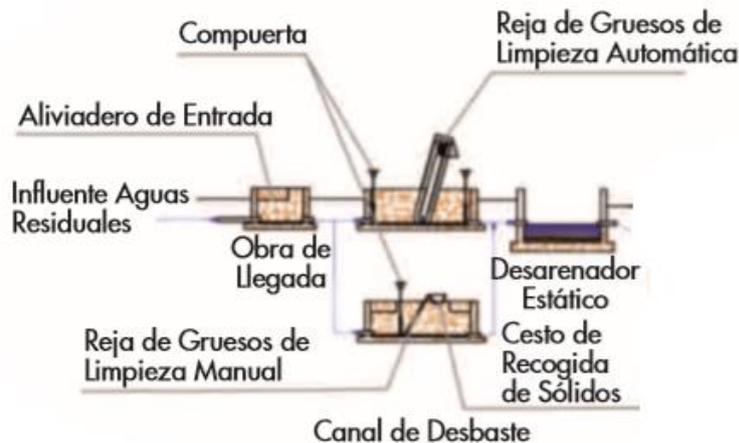


Ilustración 35. Pretratamiento para ambos humedales. Fuente (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

### Dimensionamiento de la fosa séptica

Para asegurar el buen funcionamiento de la fosa séptica, se aconseja estimar 300 litros por cada habitante equivalente.

El sobredimensionamiento de la fosa permitirá conseguir que el tiempo de retención hidráulico sea de unos 2 días aproximadamente y que este equipo acepte de manera favorable los caudales puntas y las sobrecargas hidráulicas y orgánicas debido a la estacionalidad de los habitantes equivalentes.

$$V_{fs} = p * v \quad (1)$$

$V_{fs}$ : Volumen de la Fosa Séptica (l)

p: Población

v: Volumen estimado por cada habitante equivalente (l)

### Dimensionamiento general de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal

Los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial se pueden considerar como reactores de flujo pistón, siguiendo, por lo tanto, una cinética de primer orden.

Ecuación del Reactor Flujo-Pistón:

$$\frac{C_s}{C_e} = e^{K_T t} \quad (2)$$

$$K_t = K_{20}(1.06)^{(T-20)} \quad (3)$$

$C_s$ : Concentración del contaminante en el fluido de salida.

$C_e$ : Concentración del contaminante en el fluido de entrada.

$K_T$ : Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura ( $d^{-1}$ ).

$K_{20} = cte = 1.104 d^{-1}$

t: Tiempo de retención hidráulica (d).

Para poder hallar el tiempo de retención hidráulico ( $t$ ), utilizaremos la siguiente fórmula:

$$t = \frac{LWyn}{Q} \quad (4)$$

L: Longitud del humedal (m).

W: Ancho del humedal (m).

y: Profundidad del humedal (m).

n: Porosidad del sustrato filtrante.

Q: Caudal medio de alimentación ( $m^3/d$ )

$$Q = \frac{Q_e + Q_s}{2} \quad (5)$$

$Q_e$ : Caudal de entrada ( $m^3/d$ )

$Q_s$ : Caudal de salida ( $m^3/d$ )

Finalmente, si combinamos las ecuaciones (1) y (2) podremos determinar la superficie del humedal.

$$S = L * W = \frac{Q \ln\left(\frac{C_e}{C_s}\right)}{K_T yn} \quad (6)$$

S: Superficie del humedal ( $m^2$ )

### **Diseño hidráulico de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal**

El diseño hidráulico del humedal es de vital importancia, ya que se estima que estos humedales tienen el funcionamiento de un reactor flujo-pistón con flujo uniforme a través de la sección del humedal.

El flujo a través de la sección del humedal debe de superar la resistencia por fricción del propio humedal, estas resistencias por fricción son generadas por las raíces de las plantas y los sólidos acumulados. Para resolver dicho problema, la mejor solución consiste en dar al humedal una pequeña inclinación a lo largo de toda la construcción de la balsa.

La relación largo-ancho tiene una gran importancia en lo referido al diseño hidráulico y a la resistencia provocada por la fricción del propio humedal.

Las relaciones se consideran aceptable dentro del rango de proporción 1:1 hasta 4:1.

El diseño hidráulico se consigue aplicando la Ley de Darcy teniendo en cuenta que se deben cumplir las siguientes características:

- La Ley de Darcy asume un flujo laminar.
- La Ley de Darcy asume que el flujo es constante y uniforme.
- Se utilizará para la construcción de la balsa una grava de tamaño pequeño-medio.
- El sistema está apropiadamente construido para minimizar los cortocircuitos.
- El sistema está apropiadamente construido para tener una mínima dependencia del gradiente hidráulico.
- Ganancias y pérdidas del sistema adecuadamente reconocidas

Se partirá de las ecuaciones:

$$v = K_s s \quad (7)$$

v: Velocidad de Darcy (m/d).

K<sub>s</sub>: Conductividad hidráulica del medio filtrante (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d).

s: Gradiente hidráulico

$$v = \frac{Q}{Wy} \quad (8)$$

$$A_c = Wy \quad (9)$$

A<sub>c</sub>: Área de la sección transversal perpendicular al flujo (m<sup>2</sup>)

$$s = \frac{my}{L} \quad (10)$$

m: Pendiente del fondo del lecho, (% que lo vamos a expresar en decimal tras dividirlo entre 100).

$$L = \frac{S}{W} \quad (11)$$

La conductividad hidráulica ( $K_s$ ) varía en función de la viscosidad y la temperatura del agua.

$$\frac{k_{sT}}{k_{20}} = \frac{\mu_{20}}{\mu_T} \quad (12)$$

$K_{s20}$ : Conductividad hidráulica a una temperatura de 20°C.

$K_{sT}$ : Conductividad hidráulica a una temperatura T.

$\mu_{20}$ : viscosidad del agua a una temperatura de 20°C.

$\mu_T$ : viscosidad del agua a una temperatura T.

En la siguiente tabla se muestran algunos valores de los materiales de relleno a utilizar en los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (SFS).

TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO EFECTIVO $D_{10}$ (mm)	POROSIDAD n (%)	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA $K_s$ ( $m^3/m^2/d$ )
Arena gruesa	2	28-32	100-1000
Arena gravosa	8	30-35	500-5000
Grava fina	16	35-68	1000-10000
Grava media	32	36-40	10000-50000
Roca gruesa	128	38-45	50000-250000

Tabla 11. Valores de algunos de los materiales utilizados para los humedales. Fuente: (Lara, 1999)

Es aconsejable que tanto la conductividad hidráulica como la porosidad se midan en el laboratorio antes del diseño final. Por lo cual, los valores de esta tabla serán válidos solo para realizar un diseño orientativo, el diseño final se tiene que basar en mediciones reales de estos parámetros.

En el caso de que utilicemos grava gruesa o rocas, podemos utilizar una relación basada en la ecuación de Ergun para poder determinar el valor de la conductividad hidráulica.

$$k_s = n^{3.7} \quad (13)$$

Finalmente, podemos obtener la Ley de Darcy:

$$Q = K_s A_c s \quad (14)$$

A partir de las ecuaciones anteriormente descritas podemos desarrollar una ecuación para determinar el ancho mínimo del humedal que sea compatible con el gradiente hidráulico adoptado para el diseño.

$$W = \frac{1}{y} \left[ \frac{Q * S}{m * K_s} \right]^{0.5} \quad (15)$$

### **Características térmicas para humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal**

La temperatura es otro factor muy influyente en los humedales artificiales ya que afectan a las actividades físicas y biológicas del sistema. Las ganancias de calor desde el terreno pueden ser significativas, sin embargo, no se suelen tener en cuenta para desarrollar un sistema más conservador.

Se mostrará un modelo simplificado que se basa en las pérdidas por conducción a la atmósfera.

La energía ganada por el flujo del agua a través del humedal viene dada por:

$$q_G = C_p * \delta * S * y * n \quad (16)$$

$q_G$ : Energía ganada por el agua ( $J/^\circ C$ ).

$C_p$ : Capacidad de calor específico del agua ( $J/kg^\circ C$ ).

$\delta$ : Densidad del agua ( $kg/m^3$ ).

El calor perdido en el humedal se puede definir por la siguiente ecuación:

$$q_L = (T_e - T_a) * U * \sigma * S * t \quad (17)$$

$q_L$ : Energía perdida conducida a la atmósfera (J).

$T_e$ : Temperatura del agua de entrada al humedal (°C).

$T_a$ : Temperatura promedio del aire durante el periodo considerado (°C).

$U$ : Coeficiente de transferencia de calor (W/m<sup>2</sup>).

$\sigma$ : Factor de conversión (86400 s/d).

El valor  $T_a$  se puede obtener a partir de los registros locales de meteorología.

El coeficiente de transferencia de calor  $U$ , se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{y_1}{k_1}\right) + \left(\frac{y_2}{k_2}\right) + \dots + \left(\frac{y_n}{k_n}\right)} \quad (18)$$

$K_{(1-n)}$ : Conductividad de las capas 1 a n (W/m°C).

$y_{(1-n)}$ : Espesor de las capas 1 a n (m).

En la siguiente tabla mostramos los valores de la conductividad que presentan los materiales que se suelen utilizar en los SFS.

MATERIAL	K (w/m°C)
Aire (sin convección)	0.024
Nieve (nueva o suelta)	0.08
Nieve (de largo tiempo)	0.23
Hielo (a 0 °C )	2.21
Agua (a 0 °C)	0.58
Capa de restos de vegetación	0.05

Grava seca (25% de humedad)	1.5
Grava saturada	2.0
Suelo seco	0.8

Tabla 12. Valor de la conductividad en función del material.  
Fuente: (Lara, 1999)

Finalmente, el procedimiento último que debemos realizar será comparar el valor de la temperatura promedio del agua ( $T_w$ ) con el valor asumido a la hora de realizar los cálculos para la remoción de la DBO o del nitrógeno.

Para poder determinar  $T_w$ , primero deberemos hallar el cambio de temperatura en el humedal ( $T_c$ ) y la temperatura del agua de salida del humedal ( $T_s$ ). Para ello, utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$T_c = \frac{q_L}{q_G} \quad (19)$$

$T_c$ : cambio de temperatura en el humedal ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$$T_s = T_e - T_c \quad (20)$$

$T_s$ : Temperatura del agua de salida del humedal ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Una vez calculado los valores de  $T_c$  y  $T_s$ , podemos proceder a calcular el valor de  $T_w$  a partir de la siguiente ecuación:

$$T_w = \frac{T_e + T_s}{2} \quad (21)$$

$T_w$ : Temperatura promedio del agua en el humedal SFS ( $^{\circ}\text{C}$ ).

El valor de  $T_w$  se comparará con el valor de la temperatura que tendrá el agua al pasar por el humedal, si estos valores son similares se considerará que la temperatura asumida y el dimensionamiento de la balsa son correctos.

### **Remoción de la DBO<sub>5</sub>**

El rendimiento en los humedales de flujo subsuperficial es mucho mayor que en los humedales de flujo superficial debido a que tienen un área sumergida mayor que incrementa el potencial crecimiento de la biomasa.

Para determinar la remoción de la DBO<sub>5</sub> es necesario realizar los cálculos anteriormente desarrollados de dimensionamiento general, diseño hidráulico y características térmicas para garantizar el buen funcionamiento del sistema depurativo. En estos humedales la constante dependiente de la temperatura  $K_{20} = 1.104 \text{ d}^{-1}$

La profundidad típica de estos humedales suele ser de 0.6 m aproximadamente y encima se suele poner una capa de grava fina de entre 70-120 mm de espesor. Esta capa superficial tiene como objetivo facilitar el enraizamiento de la vegetación utilizada.

La remoción de la DBO<sub>5</sub> está relacionada directamente con la penetración de la profundidad de las raíces, por lo cual, se determina que el humedal deberá tener una profundidad un poco superior a dicha penetración.

Las plantas que se utilizarán para este estudio será la Phragmites Australis debido a:

- Son más eficaces en la transferencia de oxígeno porque los rizomas penetran verticalmente.
- Tiene un bajo valor alimenticio, por lo cual, no son tan atacadas por los animales como otras plantas.
- Suelen tener una penetración de 0.5 m aproximadamente.

### **Remoción de los SST**

Los rendimientos de remoción de los SST serán muy similares a los de la DBO<sub>5</sub>.

La mayor parte de los sólidos en suspensión son de naturaleza orgánica y se descomponen con el tiempo, por ello, el implementar una fosa séptica como tratamiento primario hace que los sólidos que vayan al humedal estén descompuestos y sean mínimos.

Las ecuaciones que se mostrarán a posteriori servirán para ver de modo orientativo el rendimiento de estos sistemas.

$$CH = \left( \frac{Q}{S} \right) * 100 \quad (22)$$

$$C_s = C_e * (0.1058 + (0.0011 * CH)) \quad (23)$$

CH: Carga hidráulica (cm/d)

Ce: SST en la entrada (mg/l)

Cs: SST en la salida (mg/l)

### **Dimensionamiento del tanque de desinfección y toma de muestras**

El volumen de este tanque es indiferente, ya que posee un sistema de vaciado completo del depósito para evitar así el estancamiento del agua.

Evitar este estancamiento es de vital importancia ya que así se garantiza la imposibilidad de generar unos resultados erróneos a la hora de realizar un análisis del agua depurada.

### **Dimensionamiento del pozo de bombeo**

Este equipo tendrá dos objetivos imprescindibles para poder realizar el proceso depurativo de forma eficiente y satisfactoria.

Por un lado, este equipo se encargará de impulsar el agua hacia los humedales artificiales donde se realizará la mayor parte del proceso depurativo.

Por otro lado, las dos bombas implantadas en el pozo de bombeo serán bombas trituradoras para aguas residuales para así conseguir la eliminación de los SST y proporcionar a las balsas un agua residual similar a la que proviene de una fosa séptica.

En el dimensionamiento del pozo de bombeo se determina con el uso de dos bombas ya que este tipo de humedal de flujo subsuperficial vertical no tiene tratamiento primario (Fosa Séptica) como ocurre en el horizontal, por lo cual, las bombas van a jugar un papel fundamental en el proceso depurativo ya que serán las encargadas de otorgar a las balsas los periodos de alimentación y de descanso.

Estos periodos son de vital importancia ya que van a regular el crecimiento de la biomasa adherida al sustrato.

El funcionamiento de las bombas se va a ir alternando, es decir, mientras una bomba se encarga de impulsar el agua a una balsa para alimentarla durante varios días, la otra bomba permanecerá en reposo para mantener la otra balsa en una fase de reposo para que realice de manera eficiente el proceso de

depuración. Posteriormente la bomba que estaba en reposo se activará para alimentar a la otra balsa y la bomba que estaba activa entrará en reposo.

Como se puede observar, el volumen en este pozo va a ser indiferente ya que por un lado solo se necesitará un volumen lo suficientemente grande como para que las boyas de nivel máximo y mínimo de las bombas puedan activar y desactivar dichas bombas.

Por otro lado, la intermitencia del uso de las bombas dependerá de cómo se programe el cuadro eléctrico y no del volumen del depósito.

### **Dimensionamiento general de humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical**

Se determina en base a datos empíricos, siendo lo habitual emplear valores de carga orgánica de 20 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>d (con relación al agua residual a tratar).

Conocidos el caudal de aguas residuales a tratar (m<sup>3</sup>/d) y su concentración en DBO<sub>5</sub> (g/m<sup>3</sup>), el producto de ambas cantidades permite obtener la carga (g DBO<sub>5</sub>/d) que llega a la estación de tratamiento. Dividiendo esta carga por la carga orgánica recomendada, se obtiene la superficie (m<sup>2</sup>) necesaria de humedal.

(Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

$$C_{DBO_5} = Q * [DBO_5] \quad (24)$$

$C_{DBO_5}$ : Carga de DBO<sub>5</sub> (g/d).

Q: Caudal de entrada (m<sup>3</sup>/d).

[DBO<sub>5</sub>]: Concentración de DBO<sub>5</sub> (g/m<sup>3</sup>).

$$S = \frac{C_{DBO_5}}{C_{OR}} \quad (25)$$

S: Superficie del humedal (m<sup>2</sup>)

COR: Carga orgánica recomendada (gDBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>d)

## 2.4.6. Dimensionamiento de los humedales

### Dimensionamiento del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal.

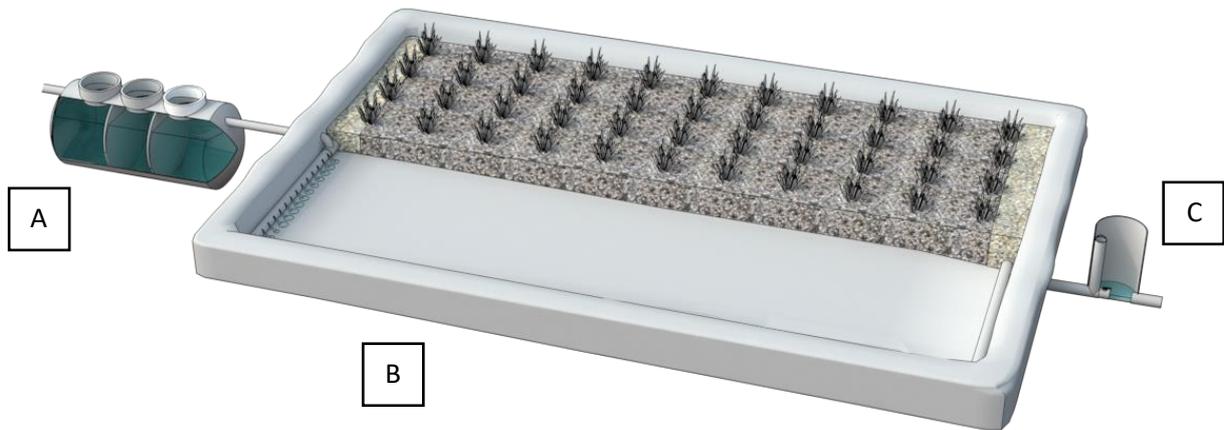


Ilustración 36. Sistema depurativo completo con un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal. Fuente: (Rossi, 2019)

#### A) Fosa séptica tricameral

La elección de utilizar fosa séptica se debe a los siguientes motivos:

- **Su baja velocidad ascensional** permite que la fosa séptica tenga una gran capacidad de adaptación ante las sobrecargas hidráulicas y orgánicas y de estacionalidad tanto de corta como de larga duración.
- **Su tiempo de retención** hidráulico de unos 2 días presenta una gran capacidad de adaptación ante el caudal punta diario y la contaminación.
- **Este sistema presenta una gran sinergia** al utilizarse como tratamiento primario de un humedal de flujo subsuperficial

#### Funcionamiento:

La Fosa Séptica va a realizar un tratamiento primario cuyo objetivo es separar los sólidos sedimentables, aceites y grasas de las aguas residuales por la acción de la gravedad.

Por otro lado, aquellos sólidos que se quedan en el fondo de la fosa séptica van a ir degradándose mediante reacciones anaeróbicas de manera que su volumen se irá reduciendo ya que parte de esos sólidos se van a convertir en material soluble en el agua y gas. La parte restante que queda de sólidos se debe retirar cada cierto tiempo de la fosa.

**Características:**

- Es el tratamiento primario más recomendado para tratar las aguas residuales de pequeñas poblaciones aisladas que carezcan de red de alcantarillado.
- Los terrenos que sean blandos y fáciles de excavar son los más recomendados a la hora de utilizar una fosa séptica, ya que generalmente dichas fosas suelen ir enterradas.
- Los valores que se suelen establecer en este tratamiento son una velocidad ascensional de 1.5 m/h y un tiempo de retención hidráulica entre 1-3 días.
- Los fangos que se van generando al fondo de la fosa séptica tienen que ser extraídos periódicamente para que no afecte a su volumen útil. Se estima que la generación de fangos suele ser unos 200-250 l/h-e año.

**Dimensionamiento:**

DATOS DE PARTIDA	VALOR
Población (h.e.)	220
Volumen por cada habitante equivalente (l/h.e.)	300

Tabla 13. Datos de partida

Calculamos el volumen de la fosa séptica utilizando la ecuación (1).

$$V_{fs} = 220 * 300 = 66.000 \text{ l}$$

Por lo tanto, necesitaremos una Fosa séptica de 66 m<sup>3</sup>.

Ahora bien, para otorgar un rango de seguridad se colocarán en paralelo dos fosas sépticas de 35 m<sup>3</sup> cada una con el objetivo de conseguir una mayor operatividad por división de caudales.

Además, cabe destacar que el uso de dos fosas nos otorga versatilidad, facilidad de mantenimiento y la alternativa de utilizar solo una fosa en épocas de invierno ya que la población se reduce a la mitad.

Como las fosas sépticas van a ser tricamerales, el primer compartimento ocupará el 50% del volumen total de la fosa mientras que los otros dos compartimentos van a ocupar el 25% del volumen total cada uno.

### Rendimientos:

PARÁMETRO	EFLUENTE INICIAL (mg/l)	REDUCCIÓN (%)	EFLUENTE FINAL (mg/l)
Sólidos en Suspensión	250	50-60	100-125
DBO <sub>5</sub>	300	20-30	210-240
DQO	600	20-30	420-480

Tabla 14. Rendimiento Fosa Séptica. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

## B) Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal

La elección de utilizar un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal se debe a los siguientes motivos:

- **Se consigue una buena adaptación de las puntas diarias de caudal** debido a que las aguas a tratar permanecen durante varios días en el sistema, garantizando además una buena depuración de las aguas.
- **Se consigue una buena adaptación ante las sobrecargas hidráulicas y orgánicas** debido al elevado tiempo de retención hidráulica que se da en estos sistemas.
- **Cuando utilizamos una fosa séptica** como tratamiento primario en los humedales de flujo subsuperficial conseguimos amortiguar las puntas de contaminación habituales en las pequeñas poblaciones.
- **Pueden operar sin energía eléctrica.**

### Funcionamiento:

En estos humedales el agua residual circula de forma subterránea y horizontal a través de grava estando en contacto directo con las raíces de las plantas macrófitas.

**Características:**

- Se suelen implementar principalmente en aquellas poblaciones menores de 2.000 habitantes equivalentes.
- La circulación del agua se realiza a través del terreno, por lo cual, el agua no entra en contacto directo con la atmósfera. Además, al combinarse esta característica junto con la protección térmica que produce la biomasa generada en la superficie, se consigue que la influencia de las condiciones climatológicas en estos equipos se disminuya notablemente.

Esta disminución produce que estos sistemas sean aptos también para poder implantarse en lugares cuyas temperaturas son bajas.

- Los terrenos que contienen las mejores características para llevar a cabo esta implantación son aquellos que son fáciles de excavar y de naturaleza impermeable.
- En caso de que haya variaciones estacionales de la población, estos sistemas se diseñaran tomando los valores máximos de caudal y carga orgánica. Debido a ello, se consigue que los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal tengan una buena capacidad de adaptación ante las variaciones estacionales.

**Dimensionamiento:**

DATOS DE PARTIDA	VALOR
DBO5 entrada (mg/l)	210
DBO5 salida (mg/l)	20
SST entrada (mg/l)	125
Caudal (m3/d)	66
Población	220
Material:	
Grava media (mm)	32
Porosidad	0.4

Conductividad Hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d)	15000
Profundidad del humedal (m)	0.6
Pendiente del fondo del lecho (% pasado a decimal)	0.05
Temperatura del agua que entra en el humedal (°C)	10
Temperatura del agua al pasar por el humedal (°C)	9
Temperatura promedio del aire en invierno (°C)	-8

Tabla 15. Datos de partida

Para realizar un diseño más conservador, utilizamos como dato de partida la temperatura del agua en invierno, ya que, en las zonas del norte este clima frío puede resultar muy significativo en la hora de dimensionar el humedal.

Por lo cual, para realizar un dimensionamiento de la manera más cautelosa, utilizaremos la población más desfavorable (Población de verano) y la temperatura del agua más desfavorable (Temperatura de invierno).

(El nitrógeno y el fósforo no son factores limitantes para el diseño, por lo cual, no se tendrán en cuenta a la hora de diseñar la balsa.)

### Remoción de DBO<sub>5</sub>

1. Cálculo de la constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura ( $K_T$ ) a partir de la fórmula (3):

$$K_{10} = 1.104 * (1.06)^{(9-20)} = 0.5816 d^{-1}$$

2. Cálculo del área superficial del humedal a partir de la fórmula (6):

$$S = \frac{66 * (\ln(210) - \ln(20))}{0.5816 * 0.6 * 0.4} = 1111.81 m^2 = 1112 m^2$$

3. Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulico a partir de la fórmula (4):

$$t = \frac{1112 * 0.6 * 0.4}{66} = 4.04 d$$

4. Cálculo de la temperatura promedio del agua utilizando las fórmulas (16), (17), (18), (19), (20), (21), y (22):

Para calcular el valor del coeficiente de transferencia de calor, tendremos que tener en cuenta:

- Capa de restos de vegetación
- Nieve (de largo tiempo)
- Grava media
- Última capa de roca gruesa

ELEMENTO	ESPESOR (cm)	CONDUCTIVIDAD (w/m°C)
Resto de vegetación	10	0.05
Nieve	5	0.23
Grava media	60	2.0
Roca gruesa	10	1.5

Tabla 16. Elementos. Fuente: (Lara, 1999)

$$U = \frac{1}{\left(\frac{0.1}{0.05}\right) + \left(\frac{0.05}{0.23}\right) + \left(\frac{0.6}{2}\right) + \left(\frac{0.1}{1.5}\right)} = 0.39$$

$$T_c = \frac{(10 - (-8)) * 0.39 * 1112 * 86400 * 4.04}{4186 * 1000 * 1112 * 0.6 * 0.4} = 2.44 \text{ °C}$$

$$T_s = 10 - 2.44 = 7.56 \text{ °C}$$

$$T_w = \frac{10 + 7.56}{2} = 8.78 \text{ °C}$$

Como podemos observar el valor de  $T_w$  y el valor asumido de la temperatura del agua al pasar por el humedal son muy similares, por lo cual, se puede confirmar que la temperatura asumida es correcta y que el dimensionamiento de la balsa también.

5. Cálculo del largo y el ancho de la balsa y su relación entre ellas a partir de las fórmulas (11) y (15):

$$W = \frac{1}{0.6} \left[ \frac{66 * 1112}{0.05 * 15000} \right]^{0.5} = 16.49 \text{ m} = 17 \text{ m}$$

$$L = \frac{1112}{17} = 65.41 \text{ m} = 66 \text{ m}$$

Relación Largo-Ancho:

$$\frac{L}{W} = \frac{66}{17} = 3.88$$

Como se puede observar la relación Largo-Ancho obtenida es  $L:W = 3.88:1$ . Por lo cual, esta relación se considera apta para llevarla a cabo.

### **Remoción de los SST**

1. Para determinar el rendimiento aproximado en la remoción de los SST se utilizan las fórmulas (22) y (23):

$$CH = \left( \frac{66}{1112} \right) * 100 = 5.94 \text{ cm/d}$$

$$C_s = 125 * (0.1058 + (0.0011 * 5.94)) = 14.04 \text{ mg/l}$$

Como se puede observar en esta estimación, el rendimiento del sistema con respecto a la eliminación de los SST ronda el 90%

## Conjuntos y accesorios del humedal artificial

### - Geomembrana y Geotextil

Para la determinación de la superficie total de la geomembrana y el geotextil se tiene que tener en cuenta la profundidad de la balsa más 80 cm que se deja de pestaña por cada lado más un 10 % del resultado total debido a que la geomembrana y geotextil no quedan completamente lisas, por lo tanto, se pierde metros en sus ondulaciones.

$$L_{Geom.} = L_{Geot.} = 66 + 0.6 + 0.6 + 0.8 + 0.8 = 68.8 \text{ m} = 69 \text{ m}$$

$$W_{Geom.} = W_{Geot.} = 17 + 0.6 + 0.6 + 0.8 + 0.8 = 19.8 \text{ m} = 20 \text{ m}$$

$$S_{Geom.} = S_{Geot.} = 69 * 20 = 1380 \text{ m}^2$$

Se añade el 10% del total debido a las ondulaciones finales que quedan en al instalarse.

$$1380 \text{ m}^2 * 0.1 = 138 \text{ m}^2$$

$$S_{Geom.} = S_{Geot.} = 1380 + 138 = 1518 \text{ m}^2$$

Se necesita una Superficie total de Geomembrana de 1518 m<sup>2</sup>.

En el Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal hay 1 capa de geomembrana y 2 capas de geotextil, por lo cual:

$$S_{Geot.} = 1518 \text{ m}^2$$

$$S_{TotalGeot.} = 1518 * 2 = 3036 \text{ m}^2$$

Se necesita una Superficie total de Geotextil de 3036 m<sup>2</sup> (Cada capa es de 1518m<sup>2</sup>).

## - Plantas

Se plantan 5 plantas por cada metro cuadrado, por lo cual:

$$S_{humedal} = 17 * 66 = 1122 \text{ m}^2$$

Tener en cuenta que las plantas solo se plantarán en la capa de grava fina, es decir, la parte de bolos de canto redondos no tienen plantas.

Los bolos de canto redondo ocupan aproximadamente un 10% de la balsa.

$$1122 * 01 = 112.2 \text{ m}^2$$

$$S_{de\ plantación} = 1122 - 112.2 = 1009.8 \text{ m}^2 = 1010 \text{ m}^2$$

Finalmente se determina el número de plantas que necesitamos:

$$N_{plantas} = 1010 * 5 = 5050 \text{ plantas}$$

## - Material filtrante

- Los metros cúbicos de grava media son:

$$V_{humedal} = 17 * 66 * 0.6 = 673.2 \text{ m}^3$$

A este volumen hay que quitarle el volumen que ocupa los bolos.

$$V_{bolos} = 112.2 * 0.6 = 67.32 \text{ m}^3$$

Finalmente:

$$V_{grava\ media} = 673.2 - 67.32 = 605.88 \text{ m}^3 = 606 \text{ m}^3$$

- Los metros cúbicos de grava fina son:

$$V_{capa\ de\ grava\ fina\ y\ bolos} = 17 * 66 * 0.07 = 78.54 \text{ m}^3$$

A este volumen hay que quitarle el volumen que ocupa los bolos.

$$V_{\text{bolos}} = 112.2 * 0.07 = 7.854 \text{ m}^3$$

Finalmente:

$$V_{\text{grava fina}} = 78.54 - 7.854 = 70.69 \text{ m}^3 = 71 \text{ m}^3$$

- Los metros cúbicos de bolos de canto redondo son:

$$V_{\text{bolos}} = 112.2 * 0.67 = 75.174 \text{ m}^3 = 76 \text{ m}^3$$

#### - **Tuberías y accesorios**

- La tubería de distribución y recogida ocuparán prácticamente todo el ancho de la balsa, por lo cual, se determina 32 metros de tubería.

Ahora bien, en los costes hay que considerar 35 metros ya que las tuberías más largas que se venden son de 5 metros de longitud.

- Se necesitará una T para unir la tubería que proviene de la fosa séptica con la tubería de distribución y otra T para unir la tubería de recogida con la tubería que irá al tanque de desinfección y toma de muestras.
- Como las tuberías son de 5 metros, se tendrá que poner un manguito para unir una tubería con otra. Como se necesitan 32 metros de tubería total, entonces, se necesitarán 6 manguitos.
- Es necesario 4 tapones ciegos para cerrar los 2 extremos de la tubería de distribución y los dos extremos de la tubería de recogida.

**Rendimientos:**

PARÁMETRO	EFLUENTE INICIAL (mg/l)	REDUCCIÓN (%)	EFLUENTE FINAL (mg/l)
Sólidos en suspensión	100-125	90-95	13-25
DBO <sub>5</sub>	210-480	85-90	15-30
DQO	420-480	80-90	60-120
N-NH <sub>4</sub> (mgN/l)	30	20-25	22-24
N <sub>t</sub> (mgN/l)	50	20-30	35-40
P <sub>t</sub> (mgP/l)	10	20-30	7-8
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	10 <sup>7</sup>	1-2 u log	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>

Tabla 17. Rendimientos Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

**C) Tanque de desinfección y toma de muestras**

La elección de utilizar un tanque de desinfección y toma de muestras se debe a los siguientes motivos:

- Como medida de seguridad, se le puede implementar **un sistema de desinfección** con posibilidad de alojamiento de pastillas de hipoclorito de calcio (Cloro sólido).
- Tanque diseñado para facilitar la toma de muestras del agua depurada para realizar análisis.
- Tanque con sistema de vaciado total para evitar el estancamiento de agua y así evitar resultados erróneos en los análisis debido a las posibles impurezas que pudieran quedarse en el agua estancada.

### Funcionamiento:

El tanque de desinfección tiene un dispositivo en su toma de entrada donde se pueden depositar pequeñas pastillas de hipoclorito de calcio (Cloro sólido) con el objetivo de que, al recibir el agua de la balsa, esta agua entre en contacto con el cloro sólido durante un breve periodo de tiempo para realizar un último proceso de desinfección.

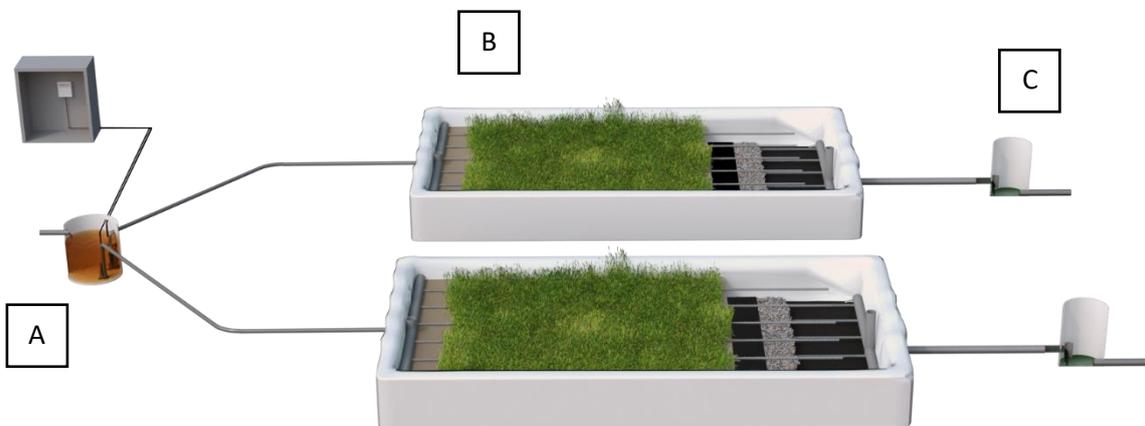
Finalmente, este equipo posee un sistema de vaciado total para evitar que pueda quedar en el equipo agua estancada. Evitar el estancamiento de agua asegura que no se puedan producir resultados erróneos a la hora de realizar los análisis en el agua depurada.

### Dimensionamiento:

La única característica a tener en cuenta es que el depósito sea lo suficientemente grande como para aceptar que en él se coloque una tubería de entrada, otra de salida y el sistema de desinfección.

Se establece que el diámetro de las tuberías será de 125 mm, por lo cual, con un tanque de desinfección y toma de muestras de 300 litros de capacidad útil es suficiente.

### Dimensionamiento del Humedal Artificial de flujo Subsuperficial Vertical.



*Ilustración 37. Sistema depurativo completo con un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical.  
Fuente: (Rossi, 2019)*

#### A) Pozo de bombeo

La elección de utilizar un pozo de bombeo se debe a los siguientes motivos:

- No hace falta utilizar tratamiento primario (Fosa Séptica).
- Gracias a las bombas trituradas se eliminan la mayor parte de los sólidos en suspensión.
- Las bombas trituradoras nos otorgan los periodos de alimentación y de reposo.
- Son más económicos que las fosas sépticas de gran tamaño.

### **Funcionamiento:**

El agua pretratada entra en dentro del pozo de bombeo, tras ello este equipo se encarga de impulsar el agua hacia las balsas y triturar los SST mediante las cuchillas que poseen las propias bombas.

Estas bombas estarán configuradas mediante un cuadro eléctrico de manera que cuando una bomba se encargue de alimentar una balsa, la otra bomba estará en reposo con el objetivo de que mientras una balsa está en la etapa de alimentación, la otra balsa está en la etapa de reposo.

La bomba que permanece activa en la etapa de alimentación de la balsa va a estar compuesta por una boya de nivel máximo y una boya de nivel mínimo.

La función principal de la boya de nivel máximo es encender la bomba trituradora cuando el agua alcance el nivel máximo indicado por la boya. En este momento, la bomba se enciende y empieza a impulsar el agua hacia la balsa.

Durante el proceso de impulsión, el agua que se encuentra dentro del depósito empieza a descender hasta el punto de alcanzar el nivel que indica la boya de nivel mínimo. En este momento, la bomba se apaga quedándose a la espera de que el agua vuelva a llegar al nivel indicado por la boya de nivel máximo para encenderse

.

### **Dimensionamiento:**

Se escogerá un volumen que permita trabajar a las bombas de manera discontinua, es decir, que la bomba que este activa impulse el agua cada cierto tiempo para que así las balsas puedan tener un periodo de reposo para realizar el proceso depurativo.

Por lo cual, el volumen del pozo de bombeo será de 5.000 litros.

La elección de las bombas trituradoras se determinará en el dimensionamiento del humedal, ya que en función a la longitud del humedal habrá que escoger una bomba que sea capaz de abastecer dicha longitud.

## B) Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical

La elección de utilizar un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical se debe a los siguientes motivos:

- **Se consigue una buena adaptación de las puntas diarias de caudal** debido a que las aguas a tratar son impulsadas por las bombas trituradoras de manera intermitente.
- **La superficie necesaria** por habitante equivalente es inferior a los humedales de flujo subsuperficial horizontal.
- **Los rendimientos depurativos** son mayores que en los humedales de flujo subsuperficial horizontal.

### Funcionamiento:

En estos humedales el agua residual circula de forma subterránea y vertical a través de grava estando en contacto directo con las raíces de las plantas macrófitas.

### Características:

- Se suelen implementar principalmente en aquellas poblaciones menores de 2.000 habitantes equivalentes.
- La circulación del agua se realiza a través del terreno, por lo cual, el agua no entra en contacto directo con la atmósfera. Además, al combinarse esta característica junto con la protección térmica que produce la biomasa generada en la superficie, se consigue que la influencia de las condiciones climatológicas en estos equipos se disminuya notablemente.

Esta disminución produce que estos sistemas sean aptos también para poder implantarse en lugares cuyas temperaturas son bajas.

- Los terrenos que contienen las mejores características para llevar a cabo esta implantación son aquellos que son fáciles de excavar y de naturaleza impermeable.
- En caso de que haya variaciones estacionales de la población, estos sistemas se diseñaran tomando los valores máximos de caudal y carga orgánica. Debido a ello, se consigue que los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial vertical tengan una buena capacidad de adaptación ante las variaciones estacionales ya que se construyen dos balsas para garantizar un proceso de depuración de gran eficacia.

**Dimensionamiento:**

DATOS DE PARTIDA	VALOR
DBO5 entrada (g/m <sup>3</sup> )	210
Caudal (m <sup>3</sup> /día)	66
Carga Orgánica (gDBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> d)	20

Tabla 18. Datos de partida

1. Calculamos la carga de DBO<sub>5</sub> a partir de la ecuación (24):

$$C_{DBO_5} = 66 * 210 = 13860 \frac{g}{día}$$

2. Una vez calculada la carga de DBO<sub>5</sub>, procedemos a calcular la superficie de la balsa a partir de la fórmula (25):

$$S = \frac{13860}{20} = 693 m^2$$

Como este sistema se compone de dos balsas:

$$S_1 = S_2 = \frac{693}{2} = 346.5m^2 = 347 m^2$$

Cada balsa será de 347 m<sup>2</sup>

Dejando una relación Largo-Ancho similar a la obtenida en el dimensionamiento del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, se determina que:

- El ancho de la balsa será de 10 m
- El largo de la balsa será de 35 m

Finalmente, se obtienen dos balsas de 350 m<sup>2</sup> cada una cuya relación L:W = 3.5:1.

## Conjuntos y accesorios del humedal artificial

### - Geomembrana y Geotextil

Para la determinación de la superficie total de la geomembrana y el geotextil se tiene que tener en cuenta la profundidad de la balsa más 80 cm que se deja de pestaña por cada lado más un 10 % del resultado total debido a que la geomembrana y geotextil no quedan completamente lisas, por lo tanto, se pierde metros en sus ondulaciones.

$$L_{Geom.} = L_{Geot.} = 35 + 0.8 + 0.8 + 0.8 + 0.8 = 38.2 \text{ m} = 39 \text{ m}$$

$$W_{Geom.} = W_{Geot.} = 10 + 0.8 + 0.8 + 0.8 + 0.8 = 13.2 \text{ m} = 14 \text{ m}$$

$$S_{Geom.} = S_{Geot.} = 39 * 14 = 546 \text{ m}^2$$

Se añade el 10% del total debido a las ondulaciones finales que quedan en al instalarse.

$$546 \text{ m}^2 * 0.1 = 54.6 \text{ m}^2$$

$$S_{Geom.} = S_{Geot.} = 546 + 54.6 = 600.6 \text{ m}^2 = 601 \text{ m}^2$$

Cada balsa necesita una Superficie Total de 601 m<sup>2</sup> de Geomembrana.

En el Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical hay 1 capa de geomembrana y 4 capas de geotextil, por lo cual:

$$S_{Geot.} = 601 \text{ m}^2$$

$$S_{TotalGeot.} = 601 * 4 = 2404 \text{ m}^2$$

Cada balsa necesita una Superficie Total de 2404 m<sup>2</sup> de Geotextil (Cada capa es de 544 m<sup>2</sup>).

### - Plantas

Se plantan 4 plantas por cada metro cuadrado, por lo cual:

$$S_{humedal} = 10 * 35 = 350 \text{ m}^2 \text{ cada balsa}$$

$$N_{plantas} = 350 * 4 = 1400 \text{ plantas para cada balsa}$$

Se necesita un total de 2800 plantas.

- **Material Filtrante**

- Los metros cúbicos de grava media son:

$$V_{grava\ media} = 10 * 35 * 0.3 = 105\ m^3$$

Cada balsa necesita 105 m<sup>3</sup> de grava media

- Los metros cúbicos de grava fina son:

$$V_{grava\ fina} = 10 * 35 * 0.3 = 105\ m^3$$

Cada balsa necesita 105 m<sup>3</sup> de grava fina

- Los metros cúbicos de grava gruesa son:

$$V_{grava\ gruesa} = 10 * 35 * 0.2 = 70\ m^3$$

Cada balsa necesita 70 m<sup>3</sup> de grava gruesa

- **Tuberías y accesorios**

- La colocación del sistema de tuberías de distribución (Ø 50 mm) y el sistema de tuberías de recogida (Ø 125 mm) se mostrarán en el apartado de los planos. Por lo cual, en este apartado se dirá directamente los metros que necesitamos de ambas tuberías.

$$Metros\ de\ tubería = (4\ brazos * 34\ m) + 6\ m = 142\ m$$

Se necesitará para cada balsa 142 metros de tubería para el sistema de distribución (Entrada) y 142 metros de tuberías para el sistema de recogida (Salida).

Cabe destacar que las tuberías del sistema de distribución tienen que ser tuberías de presión ya que provienen de una bomba y las de recogida serán de evacuación.

- Como cada sistema consta de 4 brazos, se precisará para cada balsa 5 accesorios T de Ø 50 mm para el sistema de tuberías de distribución y 5 accesorios T de Ø 125 mm para el sistema de tuberías de recogida.

Una T de Ø 50 mm unirá la tubería que proviene del pozo de bombeo con el sistema de distribución y una T de Ø 50 mm para unir el sistema de recogida con la tubería de salida de la balsa.

- Como las tuberías son de 5 metros, se tendrá que poner un manguito para unir una tubería con otra. Como se necesitan 284 metros de tubería total por cada balsa, entonces, se necesitarán 56 manguitos.

De estos 56 manguitos, 28 manguitos serán de Ø 50 mm y los otros 28 serán de Ø 125 mm.

- Es necesario 8 tapones ciegos por cada balsa para cerrar los 4 extremos del sistema de tuberías de distribución y los 4 extremos del sistema de tuberías de recogida.
- Se precisará de 4 codos de 90° por cada balsa, dos codos de 90° serán de Ø 50 mm para conectar los dos brazos externos al resto del sistema de distribución y los otros dos codos de 90° serán de Ø 125 mm para conectar los dos brazos externos al resto del sistema de recogida.

#### - Bombas

En función a la longitud del humedal y a al conjunto de brazos que van a formar el sistema de tuberías de distribución, se optará por implementar en el pozo de bombeo 2 bombas trituradoras sumergibles para agua residuales modelo GRN 400/2/G50H A1FT5.



#### PRENSACABLE

Se puede evitar el deterioro anómalo del cable eléctrico debido a sollicitaciones químicas y mecánicas causadas por el líquido en el interior del depósito, instalando un tubo rígido de protección (opcional) donde alojar el cable que se fija directamente al prensacable gracias a la rosca GAS universal.

#### SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Cada modelo de la serie N se puede instalar con una camisa de acero que se encarga de la refrigeración del motor mediante el líquido tratado, si está lo suficientemente limpio, o bien mediante una fuente externa a presión.

De esta forma se garantiza un funcionamiento uniforme y continuo incluso en condiciones de sumergencia parcial.

Ilustración 38. Bomba GRN 400/2/G50H A1FT5. Fuente: (Rossi, 2019)

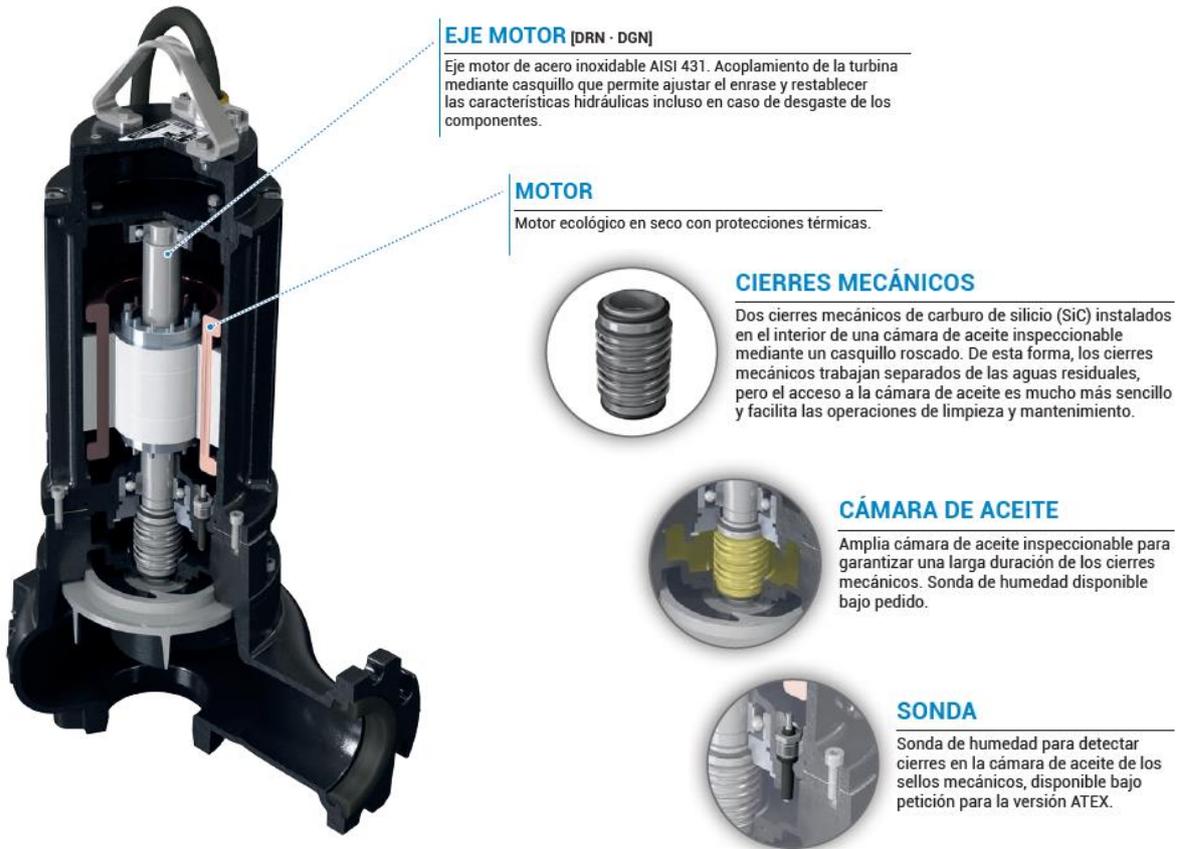


Ilustración 39. Características de la bomba. Fuente: (Rossi, 2019)

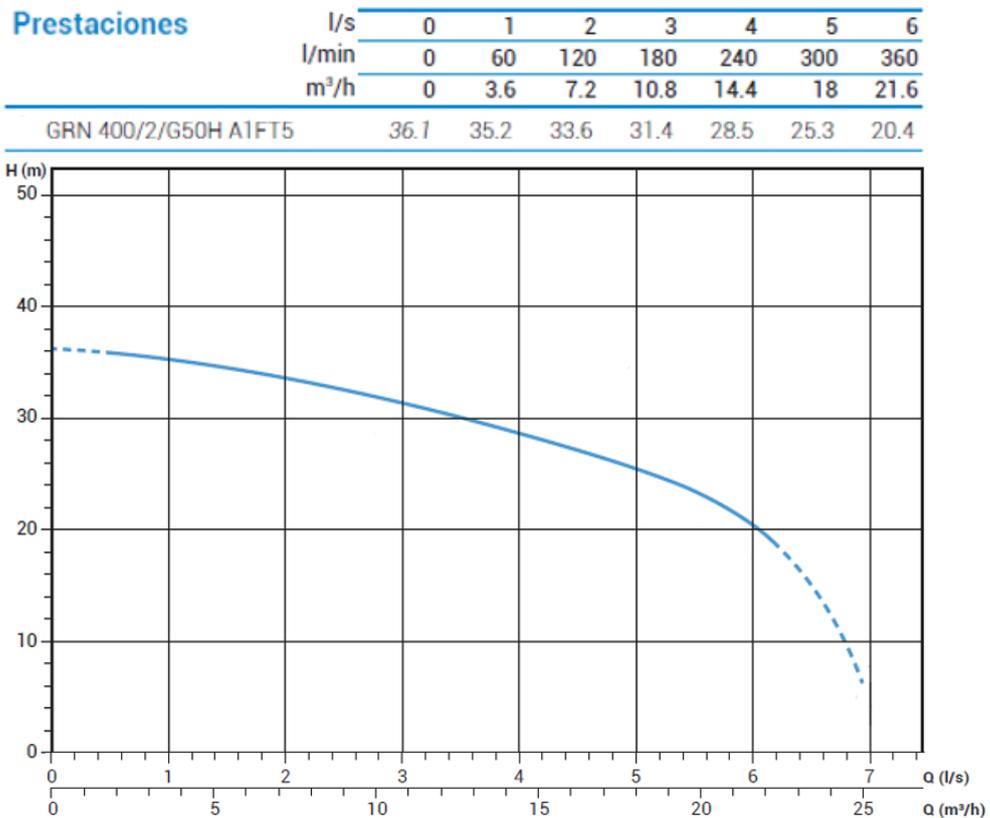


Ilustración 40. Prestaciones de la bomba. Fuente: (Rossi, 2019)

Dimensiones y pesos

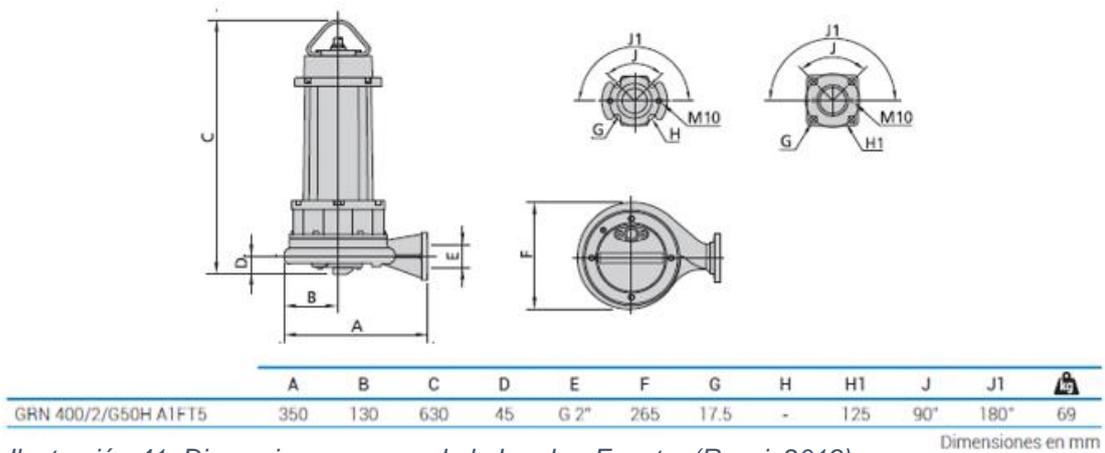


Ilustración 41. Dimensiones y peso de la bomba. Fuente: (Rossi, 2019)

**Rendimiento:**

PARÁMETRO	REDUCCIÓN (%)	EFLUENTE FINAL (mg/l)
Sólidos en suspension	90-95	13-25
DBO <sub>5</sub>	90-95	15-25
DQO	80-90	60-120
N-NH <sub>4</sub> (mgN/l)	60-70	9-12
N <sub>t</sub> (mgN/l)	60-70	15-20
P <sub>t</sub> (mgP/l)	20-30	7-8
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	1-2 u log	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>

Tabla 19. Rendimientos Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

**C) TANQUE DE DESINFECCIÓN Y TOMA DE MUESTRAS**

La elección de utilizar un tanque de desinfección y toma de muestras se debe a los siguientes motivos:

- Como medida de seguridad, se le puede implementar **un sistema de desinfección** con posibilidad de alojamiento de pastillas de hipoclorito de calcio (Cloro sólido).
- Tanque diseñado para facilitar la toma de muestras del agua depurada para realizar análisis.
- Tanque con sistema de vaciado total para evitar el estancamiento de agua y así evitar resultados erróneos en los análisis debido a las posibles impurezas que pudieran quedarse en el agua estancada.

**Funcionamiento:**

El tanque de desinfección tiene un dispositivo en su toma de entrada donde se pueden depositar pequeñas pastillas de hipoclorito de calcio (Cloro sólido) con el objetivo de que, al recibir el agua de la balsa, esta agua entre en contacto con el cloro sólido durante un breve periodo de tiempo para realizar un último proceso de desinfección.

Finalmente, este equipo posee un sistema de vaciado total para evitar que pueda quedar en el equipo agua estancada. Evitar el estancamiento de agua asegura que no se puedan producir resultados erróneos a la hora de realizar los análisis en el agua depurada.

**Dimensionamiento:**

La única característica a tener en cuenta es que el depósito sea lo suficientemente grande como para aceptar que en él se coloque una tubería de entrada, otra de salida y el sistema de desinfección.

Se establece que el diámetro de las tuberías será de 125 mm, por lo cual, con un tanque de desinfección y toma de muestras de 300 litros de capacidad útil es suficiente.

### 3. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Aunque la construcción de la balsa se realice in situ, el resto de los depósitos serán prefabricados, debido a que son los más aconsejables para poblaciones pequeñas. En las instalaciones de mayor tamaño, lo más aconsejable sería construir los depósitos in situ y de hormigón.

#### 3.1. Fosa Séptica

Tanque compacto, preinstalado, prefabricado, monobloque, cilíndrico, horizontal, fabricado en PRFV (poliéster reforzado con tejidos de fibra de vidrio), para enterrar. Su función es el almacenamiento y depuración (Primaria) de las aguas residuales procedentes de Sotres (Asturias).

El primer compartimento de ambas fosas ocupará el 50% del volumen total de la fosa mientras que los otros dos compartimentos van a ocupar el 25% del volumen total cada uno. Cada fosa constará de tres bocas de hombre para permitir la inspección del equipo y su mantenimiento, dichas bocas de hombre serán de 60 cm cada una.

Están equipadas con:

- Pared de separación entre compartimentos.
- Tapas abatibles en las bocas de hombre, para inspecciones y mantenimiento completa de tornillos, tuercas y arandelas en acero inox. AISI 304 para su correcta fijación y seguridad.
- Tubería de entrada.
- Tubería de salida.
- Tuberías de interconexión entre los compartimentos de las fosas.

A la hora de implantar las fosas sépticas en el terreno se deben cumplir las siguientes indicaciones.

- Las fosas sépticas se implantarán en paralelo.
- Se harán huecos individuales para cada fosa con el objetivo de evitar la mayor cantidad posible de presión que pueda ejercer el terreno sobre los equipos.
- Distancia de 2 m entre huecos.
- Se fabricará una losa de hormigón armado de unos 20 cm para otorgar una superficie lisa.

- Se pondrá una capa de 20 cm de arena gruesa o grava fina encima de la losa de hormigón para que el depósito no entre en contacto directo con la losa y pueda descansar en esta capa evitando así cualquier posible rotura que pudiera suceder si está en contacto directo con la losa.
- Una capa de 30 cm de arena gruesa o grava fina por cada lado del depósito para disminuir la presión que puede ejercer el terreno sobre los equipos.
- La profundidad del hueco debe ser igual a la suma del diámetro del equipo más la losa de hormigón armado de 20 cm más la capa de otros 20 cm de arena gruesa o grava fina que se sitúa entre la losa de hormigón y el depósito.
- El ancho del hueco debe de ser igual a la suma del diámetro del equipo más una capa de 30 cm de arena gruesa o grava fina por cada lado del depósito.
- Las únicas partes visibles de las fosas sépticas serán las bocas de hombre para permitir la inspección y mantenimiento de los equipos.

### 3.2. Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal

Los requisitos para realizar la construcción de la balsa son los siguientes:

- Se realizará un hueco de 0.6 metros de profundidad, 17 metros de ancho y 66 metros de largo.
- Para evitar la contaminación de las aguas subterráneas debido a posibles infiltraciones, se procederá a la impermeabilización del humedal. Los materiales utilizados para la impermeabilización serán:
  - Una capa de Geomembrana (Lámina PEAD de 2 mm de espesor).
  - Dos capas de Geotextil (Una por encima de la Geomembrana y otra por debajo).
- Como sustrato filtrante se utilizará grava media cuyo diámetro está entre 20-32 mm y encima se pondrá una pequeña capa de grava fina cuyo diámetro está entre 10-16 mm para facilitar el enraizamiento de las plantas.
- Para evitar posibles obstrucciones en las tuberías de distribución (Entrada y recogida (Salida) se utilizará un sustrato de bolos de canto redondo cuyo diámetro está entre 100-120 mm.
- Se plantarán *Phragmites Australis* (Carrizo).
- La balsa se protegerá con un bordillo para evitar que, en épocas de lluvia, el agua arrastre material al interior de la balsa

- Constará de una tubería de distribución perforada a la entrada y una tubería de recogida a la salida que recorrerá el ancho de la balsa. Estas tuberías estarán en el interior del sustrato de los bolos de canto redondo.

### 3.3. Tanque de desinfección y toma de muestras

Tanque compacto, preinstalado, prefabricado, monobloque, cilíndrico, vertical, fabricado en PRFV (poliéster reforzado con tejidos de fibra de vidrio), para enterrar. Su función es la desinfección final del agua residual tratada y facilitar la toma de muestras para los análisis. Está equipado con:

- Tapa abatible, para inspecciones y mantenimiento completa de tornillos, tuercas y arandelas en acero inox. AISI 304 para su correcta fijación y seguridad.
- Tubería de entrada con sistema de alojamiento para pastillas de cloro sólido.
- Tubería de salida

A la hora de implantar el tanque de desinfección y toma de muestras en el terreno se deben cumplir las siguientes indicaciones:

- El hueco tendrá una profundidad que será igual a la altura del depósito más 30 cm que corresponderán a una capa de arena gruesa o grava fina y un diámetro que será igual al diámetro del depósito más una capa de 30 cm de arena gruesa o grava fina por cada lado del depósito.
- La única parte visible del depósito será la tapa que permite la inspección y toma de muestras del sistema.

Este equipo se instalará igual para los dos sistemas depurativos.

### 3.4. Pozo de bombeo

Tanque compacto, preinstalado, prefabricado, monobloque, cilíndrico, vertical, fabricado en PRFV (poliéster reforzado con tejidos de fibra de vidrio), para enterrar. Su función es la depuración (Primaria) de las aguas residuales y la impulsión de las aguas hacia las balsas. Está equipado con:

- 2 Bombas sumergibles modelo
- Cuadro Eléctrico.
- Enlace 3 piezas, codo, manguito pegar-roscar y válvulas de Ø 50 mm. (Componentes que forman la bomba).

- Boya de nivel máximo y boya de nivel mínimo (Componentes que forman la bomba).
- Tubo de acero inoxidable y cadena de acero inoxidable para la sujeción de la bomba.
- Tubería de entrada.
- Tubería de salida de Ø 50 mm (Salida de la bomba).
- Tapa abatible, para inspecciones y mantenimiento completa de tornillos, tuercas y arandelas en acero inox. AISI 304 para su correcta fijación y seguridad.

A la hora de implantar el pozo de bombeo en el terreno se deben cumplir las siguientes indicaciones:

- El hueco tendrá una profundidad que será igual a la altura del depósito más 30 cm que corresponderán a una capa de arena gruesa o grava fina y un diámetro que será igual al diámetro del depósito más una capa de 30 cm de arena gruesa o grava fina por cada lado del depósito.
- La única parte visible del depósito será la tapa que permite la inspección y toma de muestras del sistema.

### 3.5. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical

Los requisitos para realizar la construcción de las balsas son los siguientes:

- Se realizarán dos huecos de 0.8 metros de profundidad, 10 metros de ancho y 35 metros de largo.
- Para evitar la contaminación de las aguas subterráneas debido a posibles infiltraciones, se procederá a la impermeabilización del humedal. Los materiales utilizados para la impermeabilización serán:
  - Una capa de Geomembrana (Lámina PEAD de 2 mm de espesor).
  - Cuatro capas de Geotextil (Una por debajo de la Geomembrana, otra por encima de la Geomembrana, otra entre la segunda y la tercera capa de grava y otra última entre la primera y la segunda capa de grava).
- Como sustrato filtrante se utilizará una primera capa de grava fina cuyo diámetro está entre 10-16 mm, una segunda capa de grava media cuyo diámetro está entre 20-32 mm y una tercera capa de grava gruesa cuyo diámetro está entre 40-60 mm.

- Se plantarán Phragmites Australis (Carrizo).
- La balsa se protegerá con un bordillo para evitar que, en épocas de lluvia, el agua arrastre material al interior de la balsa
- Conjunto de tuberías de distribución (Entrada) perforadas. Estas tuberías se implantarán a lo largo de la balsa con una separación entre ellas de 2 metros aproximadamente y una separación entre el borde de la balsa de 1.5 metros.
- Conjunto de tuberías de recogida (salida) perforadas. Estas tuberías se implantarán a lo largo de la balsa con una separación entre ellas de 2 metros aproximadamente y una separación entre el borde de la balsa de 1.5 metros.
- Las tuberías de distribución serán de Ø 50 mm obligatoriamente ya que provienen de la bomba.

## 4. COSTES DE LOS EQUIPOS Y LA CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DEPURATIVOS

### 4.1. Costes del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal

En este subapartado desarrollaremos dos tablas, la primera tabla mostrará los costes de los equipos y la segunda tabla mostrará el precio aproximado de la construcción e implantación del proceso.

Equipo	Unidad	Coste (€)
Fosa Séptica	2 uds	17540
Humedal Artificial		
Geomembrana	3.5 €/m <sup>2</sup>	5313
Geotextil	1.70 €/m <sup>2</sup>	5161.2
Plantas	0.50 €/Planta	2525
Grava media	12 €/m <sup>3</sup>	7272
Grava fina	5€/m <sup>3</sup>	355
Bolos de canto Redondo	15€/m <sup>3</sup>	1140
Tubería Ø 125 mm	4.66€/m	163.1
T Ø 125 mm	2.15€/ud	4.30
Manguitos Ø 125 mm	1.66€/ud	9.96
Tapón Ciego Ø 125 mm	1.85€/ud	7.4
Tanque de desinfección y toma de muestras	1 ud	300
<b>COSTE TOTAL</b>		<b>39790.96</b>

Tabla 20. Costes de equipos y sus componentes

Mano de Obra	Unidad	Coste (€)
Operarios	15€/h	9000
Máquina Retroexcavadora	30€/h	1200
Soldadura de la Geomembrana	500 €/soldadura entre 2 capas	1000
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>15€/h</b>	<b>11200</b>

Tabla 21. Costes de mano de obra

- Los operarios realizarán las siguientes labores:
  - Colocación de la Geomembrana y de las capas de Geotextil.
  - Distribución de las capas de las distintas granulometrías del humedal.
  - Colocación de las tuberías y su conexión entre equipos.
  - Perforación de las tuberías.
  - Plantación de las plantas.
  - Construcción del murete.

Se precisarán 5 operarios durante 15 días laborales (8 horas por día).

- La máquina retroexcavadora realizará:
  - Los huecos para los depósitos y para la construcción del humedal.
  - Retirada de tierra.
  - Echar las capas de las distintas granulometrías dentro de la balsa.

Se precisará el uso de la máquina retroexcavadora durante 5 días laborales (8 horas por día).

- La capa de Geomembrana está formada por varias capas de Geomembranas soldadas entre sí para finalmente formar una única capa de las dimensiones deseadas.

Las capas suelen ser de 7.5 metros de ancho, por lo cual, la manera más económica es coger 3 capas de 7.5 metros de ancho y 69 de largo. Cada soldadura coge 10 centímetros de cada capa, debido a ello se inutilizarán 40 centímetros de Geomembrana:

$$(7.5m * 3) - 0.4 m = 22.1 m \text{ de ancho de Geomembrana útil}$$

Se necesitan 20 metros de ancho de Geomembrana, así que se desperdiciarán 2.1 metros.

Finalmente, se muestra los costes de explotación y mantenimiento según la Fundación CENTA.

Población (he)		100			500		
Operación	Coste horario (€/h)	Frecuencia	Tiempo (h)	Coste anual (€)	Frecuencia	Tiempo (h)	Coste anual (€)
<b>Desplazamiento del operario</b>							
Desplazamiento del operario	25	1 vez/semana	1	1.300,00	2 veces/semana	1	2.600,00
<b>Pretratamiento</b>							
Limpieza de la reja de desbaste	16	1 vez/semana	0,17	141,44	-	-	-
Limpieza del desarenador	16	1 vez/semana	0,20	166,40	2 veces/semana	0,35	582,40
<b>Tratamiento primario</b>							
Inspección, y medición espesores flotantes y fangos	16	1 vez/año	1	16,00	2 veces/año	1	32,00
Operación	Coste (€/m³)	Frecuencia	Volumen (m³)	Coste anual (€)	Frecuencia	Volumen (m³)	Coste anual (€)
Extracción y gestión de fangos y flotantes	15	1 vez/año	20	300,00	2 veces/año	35	1.050,00
<b>Humedales Artificiales</b>							
Operación	Coste horario (€/h)	Frecuencia	Tiempo (h)	Coste anual (€)	Frecuencia	Tiempo (h)	Coste anual (€)
Inspección general: comprobación dispositivo alternancia alimentación y de su reparto uniforme	16	1 vez/semana	0,17	141,44	2 veces/semana	0,25	416,00
Limpieza tuberías distribución	16	1 vez/mes	0,5	96,00	1 vez/mes	0,5	96,00
Siego de las plantas	16	1 vez/año	24	384,00	1 vez/año	120	1.920,00
Control permeabilidad del sustrato	16	1 vez/año	4	64,00	1 vez/año	8	128,00
Operación	Coste (€/m³)	Frecuencia	Volumen (m³)	Coste anual (€)	Frecuencia	Volumen (m³)	Coste anual (€)
Evacuación residuos poda	5	1 vez/año	52	260,00	1 vez/año	262	1.310,00
<b>Consumo energético</b>							
Desbaste automático	0,09	-	-	-	-	750	67,50
<b>Mantenimiento</b>							
Operación	Coste horario (€/h)	Frecuencia	Tiempo (h)	Coste anual (€)	Frecuencia	Tiempo (h)	Coste anual (€)
Mantenimiento obra civil	16	24 veces/año	2	768,00	24 veces/año	7	2.304,00
<b>Seguimiento</b>							
Operación	Coste (€/a)	Frecuencia		Coste anual (€)	Frecuencia		Coste anual (€)
Control analítico	300	4 veces/año		1.200,00	4 veces/año		1.200,00
<b>Coste total explotación y mantenimiento (€/año)</b>				<b>4.781,75</b>			<b>11.602,60</b>
<b>Coste total unitario (€/h-e.año)</b>				<b>47,82</b>			<b>23,21</b>

Ilustración 42. Costes de explotación y mantenimiento. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

Como se puede observar el coste de 100 a 500 habitantes equivalente es 2.5 veces más. Por lo cual, de 100 a 200 habitantes el coste aumentará un 50%.

Coste total de explotación y mantenimiento (€/año) = 7172.625 €

## 4.2. Costes del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical

Equipo	Unidad	Coste (€)
Pozo de Bombeo	1 ud	12770
Humedal Artificial		
Geomembrana	3.5 €/m <sup>2</sup>	4207
Geotextil	1.70 €/m <sup>2</sup>	8173.6
Plantas	0.50 €/Planta	1400
Grava media	12 €/m <sup>3</sup>	2520
Grava fina	5€/m <sup>3</sup>	1050
Grava gruesa	13€/m <sup>3</sup>	1820
Tubería Ø 50 mm	5.385€/m	1529.34
T Ø 50 mm	16.495€/ud	164.95
Manguitos Ø 50 mm	7.71€/ud	431.76
Tapón Ciego Ø 50 mm	10.272€/ud	82.18
Codo 90° Ø 50 mm	11.596€/ud	46.39
Tubería Ø 125 mm	4.66€/m	1323.44
T Ø 125 mm	2.15€/ud	21.5
Manguitos Ø 125 mm	1.66€/ud	92.96
Tapón Ciego Ø 125 mm	1.85€/ud	14.8
Codo 90° Ø 125 mm	1.4€/ud	5.6
Tanque de desinfección y toma de muestras	2 ud	600
<b>COSTE TOTAL</b>		<b>36253.52</b>

Tabla 22. Costes de equipos y sus componentes

Mano de Obra	Unidad	Coste (€)
Operarios	15€/h	6000
Máquina Retroexcavadora	30€/h	720
Soldadura de la Geomembrana	500 €/soldadura entre 2 capas	500
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>15€/h</b>	<b>7220</b>

Tabla 23. Costes de mano de obra

- Los operarios realizarán las siguientes labores:
  - Colocación de la Geomembrana y de las capas de Geotextil.
  - Distribución de las capas de las distintas granulometrías del humedal.
  - Colocación de las tuberías y su conexión entre equipos.
  - Perforación de las tuberías.
  - Plantación de las plantas.
  - Construcción del murete.

Se precisarán 5 operarios durante 10 días laborales (8 horas por día).

- La máquina retroexcavadora realizará:
  - Los huecos para los depósitos y para la construcción del humedal.
  - Retirada de tierra.
  - Echar las capas de las distintas granulometrías dentro de la balsa.

Se precisará el uso de la máquina retroexcavadora durante 3 días laborales (8 horas por día).

- La capa de Geomembrana está formada por varias capas de Geomembranas soldadas entre sí para finalmente formar una única capa de las dimensiones deseadas.

Las capas suelen ser de 7.5 metros de ancho, por lo cual, la manera más económica es coger 2 capas de 7.5 metros de ancho y 39 de largo. Cada soldadura coge 10 centímetros de cada capa, debido a ello se inutilizarán 20 centímetros de Geomembrana:

$$(7.5m * 2) - 0.2 m = 14.8 m \text{ de ancho de Geomembrana útil}$$

Se necesitan 14 metros de ancho de Geomembrana, así que se desperdiciarán 0.8 metros.

Finalmente, se muestra los costes de explotación y mantenimiento según la Fundación CENTA.

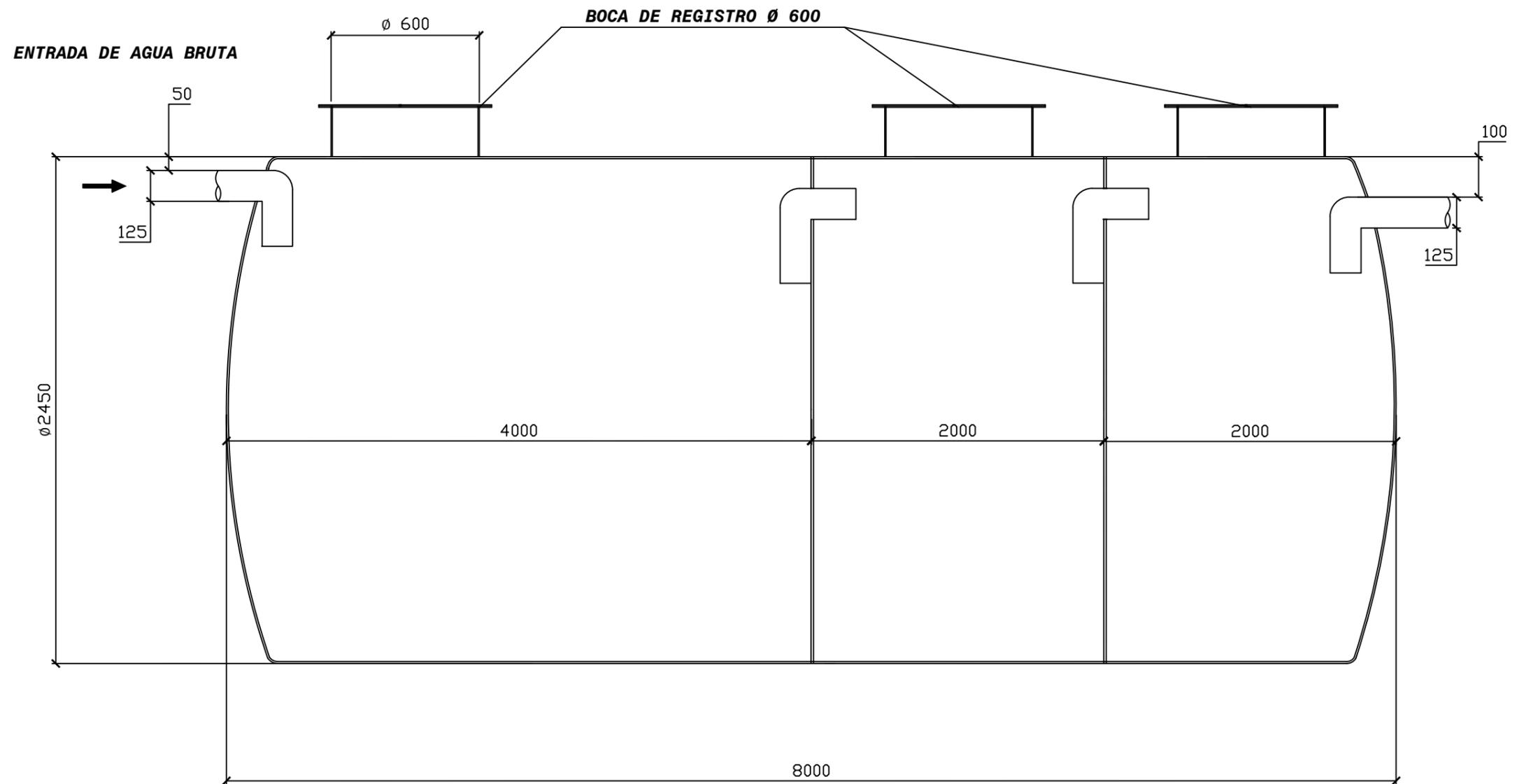
Población (ha)		100			500		
Operación	Coste horario (€/h)	Frecuencia	Tiempo (h)	Coste anual (€)	Frecuencia	Tiempo (h)	Coste anual (€)
<b>Desplazamiento del operario</b>							
Desplazamiento del operario	25	1 vez/semana	1	1.300,00	2 veces/semana	1	2.600,00
<b>Pretratamiento</b>							
Limpieza de la reja de desbaste	16	1 vez/semana	0,17	141,44	-	-	-
Limpieza del desarenador	16	1 vez/semana	0,20	166,40	2 veces/semana	0,35	582,40
<b>Tratamiento primario</b>							
Inspección, y medición espesores flotantes y fangos	16	1 vez/año	1	16,00	2 veces/año	1	32,00
Operación	Coste (€/m <sup>3</sup> )	Frecuencia	Volumen (m <sup>3</sup> )	Coste anual (€)	Frecuencia	Volumen (m <sup>3</sup> )	Coste anual (€)
Extracción y gestión de fangos y flotantes	15	1 vez/año	20	300,00	2 veces/año	35	1.050,00
<b>Humedales Artificiales</b>							
Operación	Coste horario (€/h)	Frecuencia	Tiempo (h)	Coste anual (€)	Frecuencia	Tiempo (h)	Coste anual (€)
Inspección general: comprobación dispositivo alternancia alimentación y de su reparto uniforme	16	1 vez/semana	0,17	141,44	2 veces/semana	0,25	416,00
Limpieza tuberías distribución	16	1 vez/mes	1	192,00	1 vez/mes	2	384,00
Siega de las plantas	16	1 vez/año	16	256,00	1 vez/año	80	1.280,00
Control permeabilidad del sustrato	16	1 vez/año	4	64,00	1 vez/año	8	128,00
Operación	Coste (€/m <sup>3</sup> )	Frecuencia	Volumen (m <sup>3</sup> )	Coste anual (€)	Frecuencia	Volumen (m <sup>3</sup> )	Coste anual (€)
Evacuación residuos poda	5	1 vez/año	35	175,00	1 vez/año	175	875,00
<b>Consumo energético</b>							
Desbaste automático	0,09	-	-	-	-	750	67,50
Bombeo a humedales	0,09	-	683	61,47	-	3.330	299,70
<b>Mantenimiento</b>							
Operación	Coste horario (€/h)	Frecuencia	Tiempo (h)	Coste anual (€)	Frecuencia	Tiempo (h)	Coste anual (€)
Mantenimiento obra civil	16	24 veces/año	2	768,00	24 veces/año	7	2.688,00
<b>Seguimiento</b>							
Operación	Coste (€/a)	Frecuencia		Coste anual (€)	Frecuencia		Coste anual (€)
Control analítico	300	4 veces/año		1.200,00	4 veces/año		1.200,00
<b>Coste total explotación y mantenimiento (€/año)</b>				<b>4.837,28</b>			<b>11.705,90</b>
<b>Coste total unitario (€/h-e.año)</b>				<b>48,37</b>			<b>23,41</b>

Ilustración 43. Costes de explotación y mantenimiento. Fuente: (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

Como se puede observar el coste de 100 a 500 habitantes equivalente es 2.5 veces más. Por lo cual, de 100 a 200 habitantes el coste aumentará un 50%.

Coste total de explotación y mantenimiento (€/año) = 7255.92 €

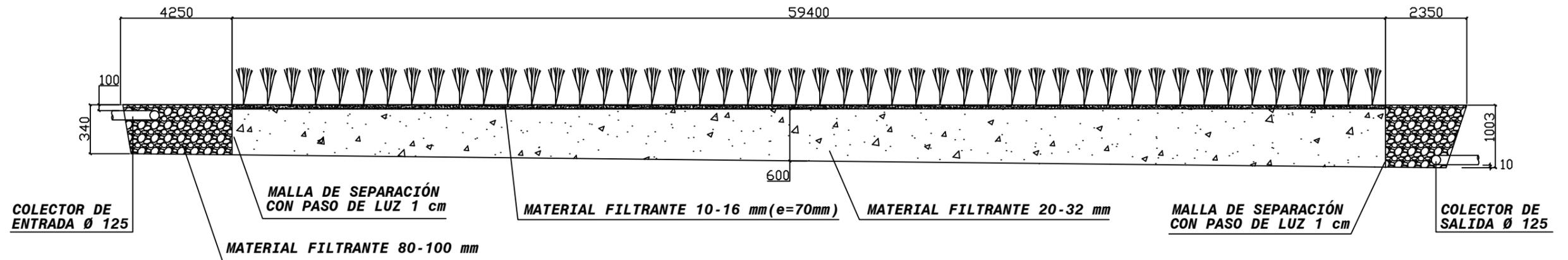
## 5. PLANOS



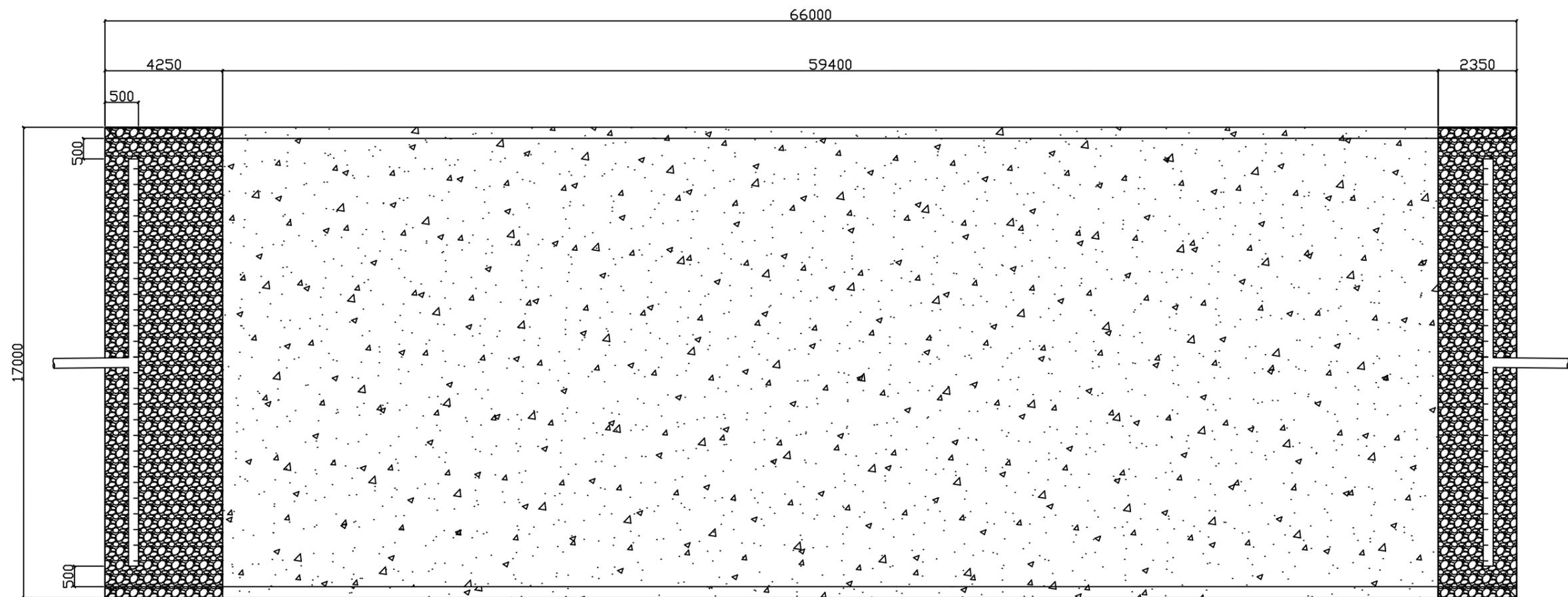
**FOSA SÉPTICA**  
**MAMPARA: ESPESOR 4 mm**  
**PARED: GROSOR 5-6 mm**

MEDIDAS Y COTAS EN mm

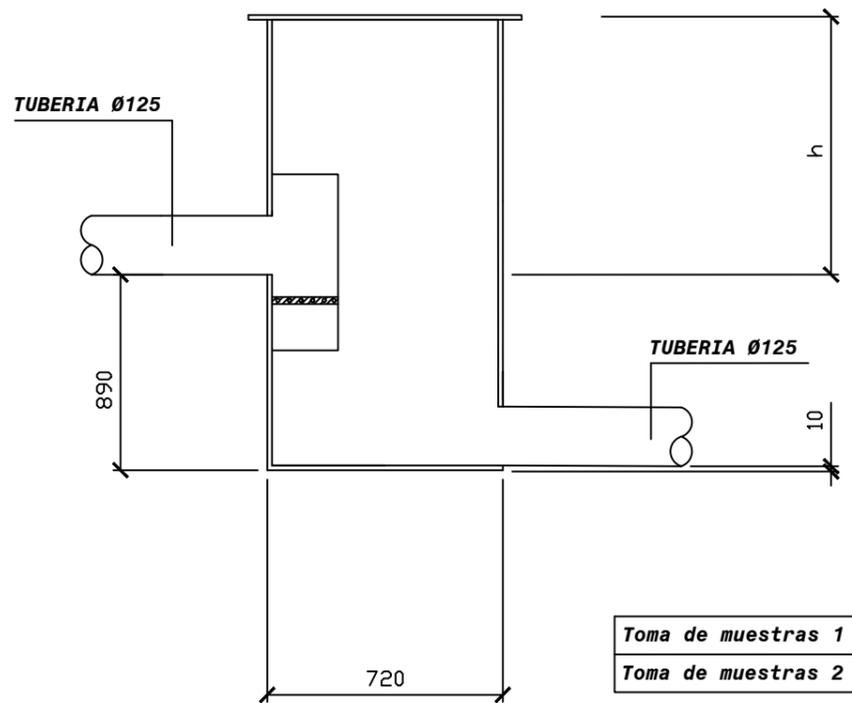
PERFIL LONGITUDINAL DE LA INSTALACIÓN



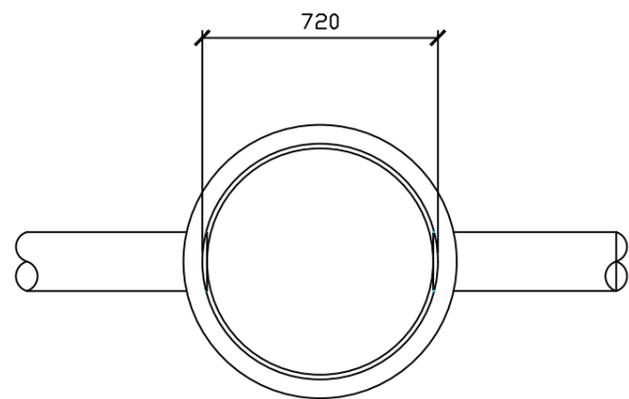
PLANTA GENERAL DE LA INSTALACIÓN



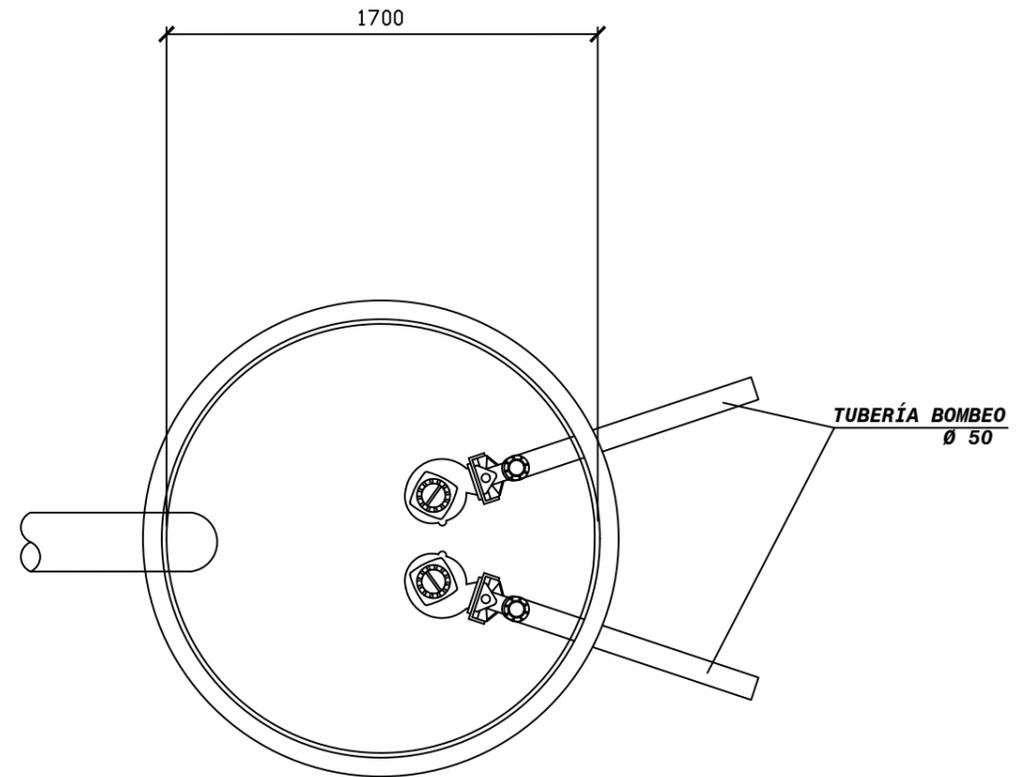
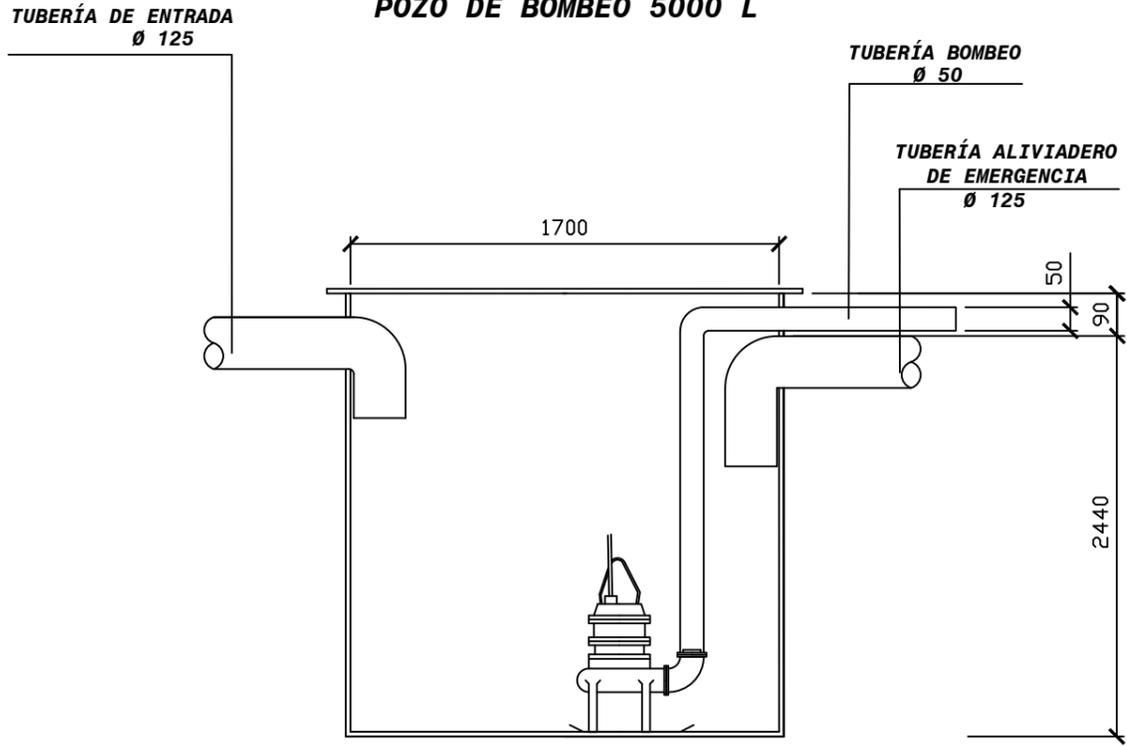
**TOMAS DE MUESTRA**

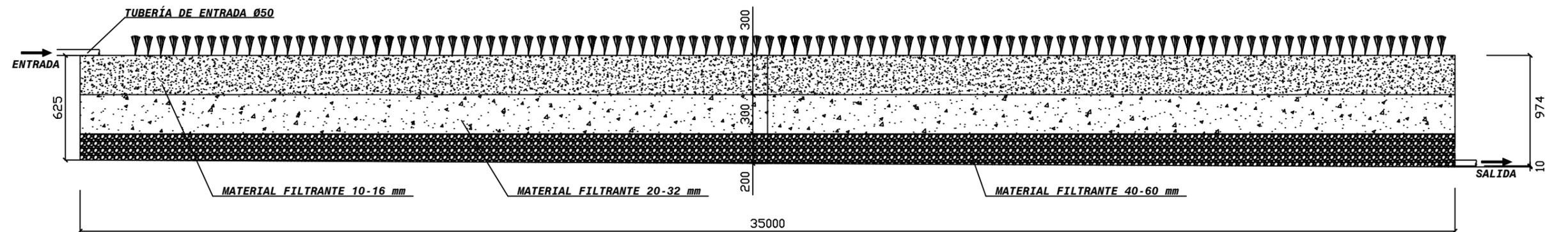
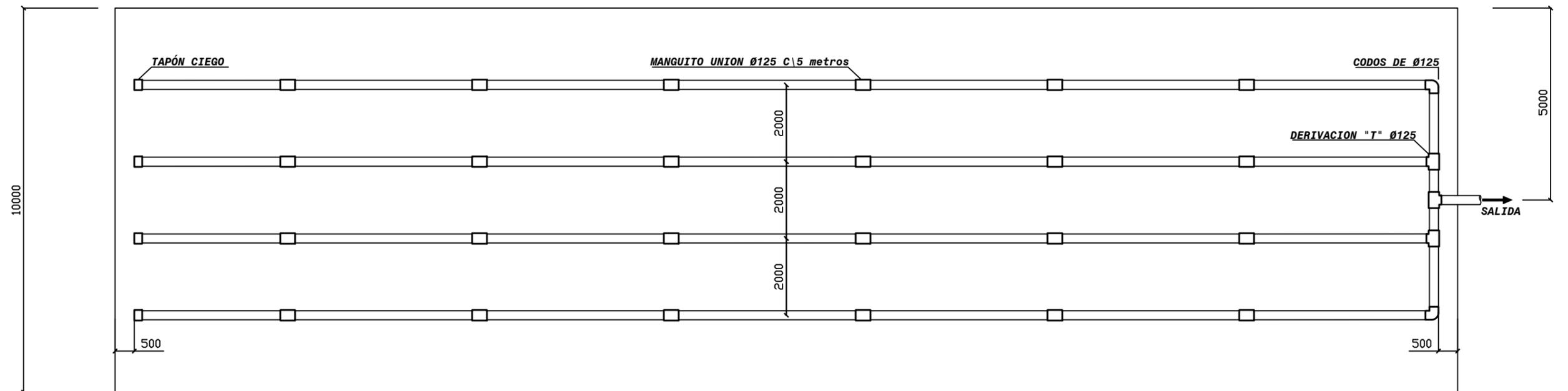
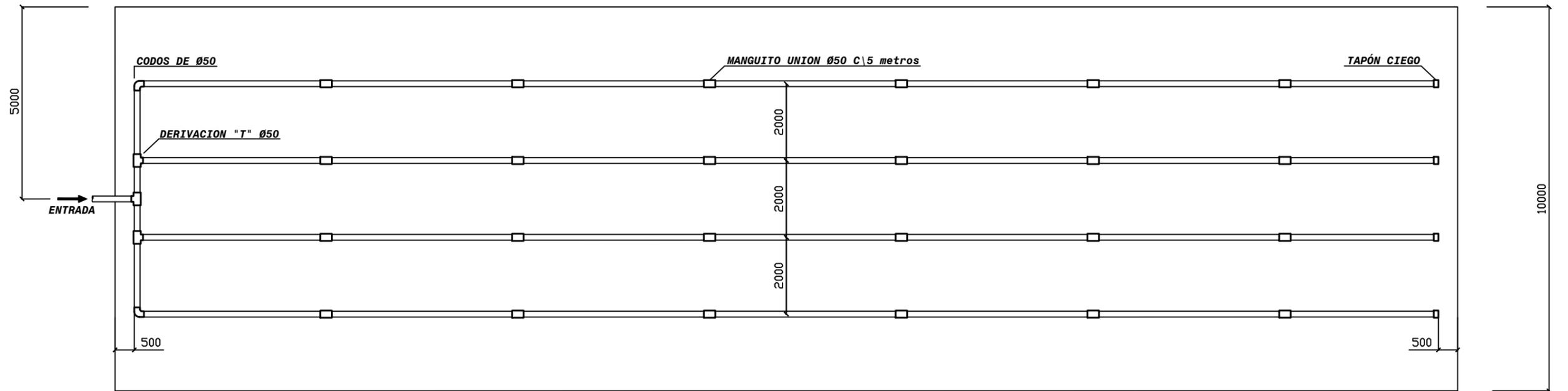


Toma de muestras 1	h=933
Toma de muestras 2	h=974



**POZO DE BOMBEO 5000 L**





## 6. OPCIONES PARA VERTER EL AGUA DEPURADA

### 6.1. Verter el agua depurada al cauce del río más próximo

El objetivo principal sería conseguir que las aguas ya depuradas desembocarán en el río más cercano de Sotres (Asturias). Este río es el Río Duje y su punto más cercano se encuentra a unos 3.5 km aproximadamente.

El hecho de tener que llevar el agua a 3.5 km desde Sotres hasta el río supone una gran inversión y coste para el diseño total del sistema, ya que tendríamos que añadir:

- 3500 – 4000 metros de tubería.
- Excavación de una zanja de 3500 – 4000 metros.
- Operarios.
- Máquina excavadora.

Estos serían algunos de los costes principales sin tener en cuentas los posibles imprevistos debido a que Sotres se encuentra en un terreno montañoso rodeado de arboleda y bosque.

### 6.2. Utilizar el agua depurada para regadío

La gran ventaja de estos dos sistemas depurativos es que nos permiten reutilizar el agua ya depurada para riego. Para poder reutilizar esta agua se necesita:

- Un depósito de acumulación del agua ya depurada.
- Un sistema de presión que se encargue de impulsar el agua a aquellas zonas donde se regaría.
- Conjunto de tuberías y accesorios para implementar el sistema de riego.

Cabe destacar que esta agua solo puede utilizarse para el riego de plantar ornamentales. En caso de que se quisiera regar plantas de cultivo sería necesario implementar un sistema de desinfección final como podría ser un generador de ozono.

### 6.3. Uso de zanjas filtrantes para verter al terreno

#### Dimensionamiento de la zanja filtrante

A continuación, se muestra la tabla de la EPA donde se exponen las posibles texturas de las superficies y su tasa de aplicación al terreno en función a la DBO de salida.

TEXTURA	ESTRUCTURA		TASA DE APLICACIÓN (l/m <sup>2</sup> DÍA)	
	FORMA	GRADO	DBO 150 PPM	DBO 30 PPM
Arena gruesa, arena, arena gruesa limosa, arena limosa.	grano suelto	sin estructura	32,8	65,7
Arena fina, arena muy fina, arena fina limosa, arena muy fina limosa.	grano suelto	sin estructura	16,4	41,1
Limo con arena gruesa, limo arenoso (franco con arena)	masiva	sin estructura	8,2	24,6
	en láminas	débil	8,2	20,5
		moderada fuerte		
	granular, prisma, bloques	débil	16,4	28,8
moderada fuerte		24,6	41,1	
Limo con arena fina o muy fina (franco con arena fina muy fina)	masiva	estructurada	8,2	20,5
	en láminas	débil, mod., fuerte		
		débil	8,2	24,6
	granular, prisma, bloques	moderada, fuerte	16,4	32,9
sin estructura		8,2	20,5	
Limo	en láminas	débil, mod., fuerte		
		débil	16,4	24,6
	granular, prisma, bloques	moderada, fuerte	24,6	32,9
		sin estructura	8,2	20,5
Franco limoso	en láminas	débil, mod., fuerte		
		débil	16,4	24,6
	granular, prisma, bloques	moderada, fuerte	24,6	32,9
		sin estructura	8,2	20,5
Franco arcilloso con arena, franco arcilloso, franco limo arcilloso	masiva	sin estructura		
	en láminas	débil, mod., fuerte		
		débil	8,2	12,3
	granular, prisma, bloques	moderada, fuerte	16,43	24,6
sin estructura				
Arcilla arenosa, arcilla, arcilla limosa	en láminas	débil, mod., fuerte		
		débil		
	granular, prisma, bloques	moderada, fuerte	8,2	12,3

Ilustración 44. Tabla EPA. Fuente: (Rossi, 2019)

La textura de terreno en Sotres (Asturias) entraría dentro del grupo de “Arena gruesa, arena, arena gruesa limosa, arena limosa”, por lo cual, se establecerá la tasa de aplicación más favorable, es de decir, 65.7 l/m<sup>2</sup>.

Ambos sistemas depurativos están dimensionados para 220 habitantes y un caudal de 66 m<sup>3</sup>/día.

Por lo cual, con una tasa de aplicación de 65.7 l/m<sup>2</sup> = 0.065 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> y un caudal máximo de vertido de 66 m<sup>3</sup>, la superficie necesaria de infiltración será de:

$$\frac{66 \text{ m}^3}{0.065 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}} = 1015.38 \text{ m}^2 = 1016 \text{ m}^2$$

- Para el Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal

Se instalarán 8 zanjas filtrantes de 43 metros de longitud y una anchura de 3 metros cada una, por lo cual, cada zanja filtrante será de 129 m<sup>2</sup> cada una y tendrán una separación entre ellas de 3m.

Con esto conseguiremos una superficie de infiltración de:

$$129 * 8 = 1032 m^2$$

Cada zanja filtrante estará compuesta por:

- Geotextil (Recubrirá los bolos y la tubería perforada)
- Bolos
- Tubería perforada
- Tierra (Por encima del geotextil hasta la superficie del terreno)

Cabe destacar que la EPA estima estas tasas de infiltración para una DBO de 30 mg/l, y en realidad los valores de vertido estarán por debajo de estos parámetros.

- Para el Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical

Se instalarán 8 zanjas filtrantes (4 zanjas por cada balsa) de las mismas dimensiones y composición que las del Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal.

#### 6.4. Conclusión

Por un lado, la opción de reutilizar el agua para regadío puede ser de gran utilidad en zonas del sur como Andalucía ya que en épocas de verano apenas llueve, sin embargo, en la zona norte de la península las precipitaciones son mucho mayor y por lo tanto esta opción no sería la más recomendada.

Por otro lado, en cuanto a costes se refiere, la construcción de las zanjas filtrantes es mucho más económicas que la construcción de una zanja que lleve el agua hasta el Río Duje. Además, al usar las zanjas filtrantes te aseguras evitar la contaminación de acuíferos o aguas subterráneas.

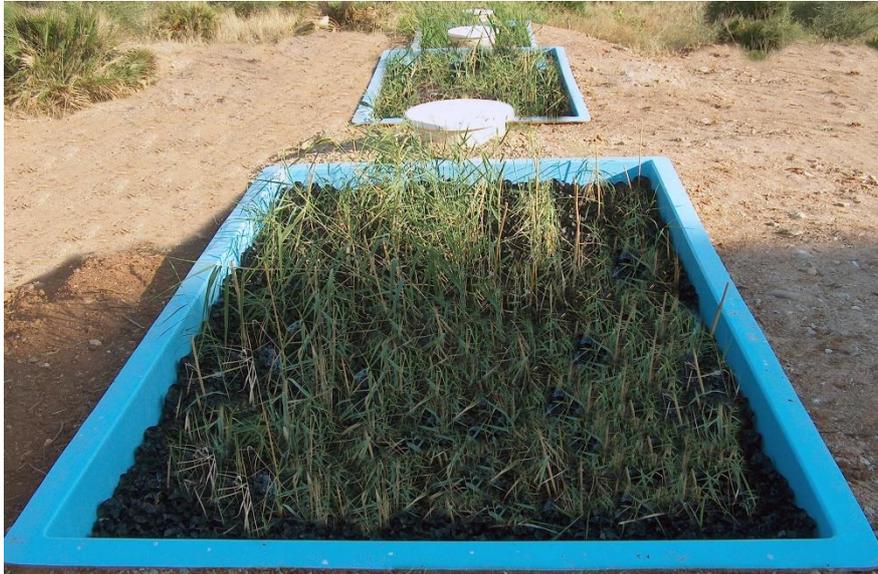
En definitiva, la opción más favorable sería la construcción de las zanjas filtrantes para verter el agua en el terreno.

## 7. POSIBLES MODIFICACIONES

### 7.1. Modificaciones del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal

Se puede dar el caso en el que la superficie disponible para la instalación no sea la suficiente como para poder implementar este tipo de humedal de manera que sea capaz de abastecer todos los requisitos exigidos. En estos casos, existe una posible alternativa para poder implementar un Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal.

Esta alternativa consiste en fabricar la balsa con relleno plástico en vez de grava, este relleno plástico presenta una superficie específica mucho mayor que la de los árido, por lo cual, otorga la posibilidad de conseguir el mismo resultado en humedales artificiales mucho más pequeños.



*Ilustración 45. Humedal artificial con relleno plástico. Fuente: (Rossi, 2019)*

### 7.2. Modificaciones del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical

En el caso de que no se disponga de electricidad para poder alimentar las bombas trituradoras, hay una segunda opción que permite conseguir la intermitencia necesaria que se precisa en estos tipos de humedales.

Esta opción consiste en sustituir el pozo de bombeo por una arqueta sifónica dosificadora de dos canales, estos canales se abrirán por turnos por cada sifonado, es decir, cuando la arqueta se llene y produzca la bajada de uno de los dos sifones, dicho sifón abrirá un canal por el que fluirá toda el agua hacia una de las dos balsas.

Posteriormente, cuando la arqueta se vuelva a llenar se bajará el otro sifón abriendo el otro canal y expulsando el agua en la otra balsa consiguiéndose así la intermitencia que otorgaban las bombas.

El único inconveniente de este sistema es que se necesita que la arqueta sifónica se encuentre en una cota más elevada que la balsa para que así por gravedad el agua pueda bajar con la suficiente fuerza como para evitar posibles obstrucciones en las tuberías y que el agua a tratar se esparza por toda la balsa.

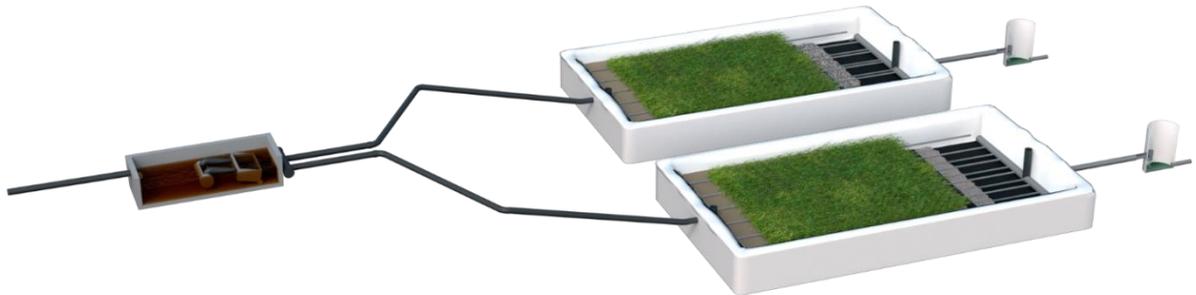


Ilustración 46. Sistema depurativo con sifón. Fuente: (Rossi, 2019)

En la siguiente ilustración se muestra el mecanismo de la arqueta sifónica dosificadora de dos canales:



Ilustración 47. Doble sifón de la arqueta sifónica dosificadora. Fuente: (Rossi, 2019)

## 8. CONCLUSIÓN

La elección final de una de las dos alternativas desarrolladas va a depender de la capacidad económica de dicha población, del terreno existente para poder realizar la implantación de los sistemas y de la complejidad de explotación y mantenimiento del sistema.

### En función a la capacidad económica:

Si no se dispone de la capacidad económica para realizar una mayor inversión inicial, la mejor opción sería el sistema de tratamiento de aguas residuales compuesto por el Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical.

### En función del terreno disponible:

Según la fundación CENTA, los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal se dimensionan a razón de 5 m<sup>2</sup> por habitante.

Sin embargo, los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Vertical se dimensionan a razón de 3 m<sup>2</sup> por habitante.

(Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010)

Como se puede observar en los cálculos desarrollados en el subapartado "2.4.6 Dimensionamiento de los humedales" estas estimaciones se cumplen.

Por lo cual, si la superficie total de terreno disponible es limitada, la mejor opción será implementar el sistema de aguas residuales compuesto por el Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical.

### Complejidad del mantenimiento y explotación del sistema:

En cuanto a complejidad de mantenimiento y explotación, la mejor opción sería implementar el sistema de tratamiento de aguas residuales compuesto por el Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal debido a que no dispone de elementos electromecánicos.

Cabe destacar también, que los costes de mantenimiento y explotación del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal son inferiores al del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Academia Ingnova. (7 de Julio de 2019). Obtenido de [https://academia.ingnova.es/recursos/apuntes\\_demo/EDAR.pdf](https://academia.ingnova.es/recursos/apuntes_demo/EDAR.pdf)
- Aguas residuales. (28 de Junio de 2019). Obtenido de <https://www.aguasresiduales.info/revista/reportajes/nuevos-medios-portantes-para-tecnologia-mbbr-mas-rendimiento-y-respeto-medioambiental>
- Aguas Residuales. (22 de Julio de 2019). Obtenido de <https://www.aguasresiduales.info/revista/protagonistas/charlamos-sobre-procesos-biologicos-avanzados-para-la-eliminacion-de-nutrientes-en-ed-DmnrK>
- Alianza por el agua. (24 de Junio de 2019). Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/s/s9.html>
- Alianza por el agua. (29 de Junio de 2019). Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t6.html>
- Alianza por el agua y CENTA. (26 de Junio de 2019). Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
- DEPURANAT. (7 de Julio de 2019). Obtenido de [http://depuranat.itccanarias.org/index2.php?option=com\\_tecnologias&func=ver&id=10](http://depuranat.itccanarias.org/index2.php?option=com_tecnologias&func=ver&id=10)
- Desatascos Cubacas. (25 de Junio de 2019). Obtenido de <https://www.desatascoscubacas.es/noticias-desatascos/ventajas-y-desventajas-de-las-fosas-septicas>
- Distriambiente. (27 de Junio de 2019). Obtenido de <http://distriambiente.com/biocilindro/>
- DOCPLAYER (Documento de CEDEX). (30 de Junio de 2019). Obtenido de <https://docplayer.es/75294571-Esquema-de-una-edar-pretratamientos.html>
- DOMOS agua. (29 de Junio de 2019). Obtenido de <https://www.domosagua.com/recursos/plantas-tratamiento-aguas-municipales>
- ECOTEC. (29 de Agosto de 2019). Obtenido de <http://www.ecotec.es/decantadores-lamelares-compactos.php>
- Épsilon Ecología. (26 de Junio de 2019). Obtenido de <http://epsilonecologia.org/Depuracion-de-Aguas/Lagunaje/>
- EUROPLAST. (24 de Junio de 2019). Obtenido de <https://www.europlast-sl.com/fosa-septica/>

- Foro Ciudad (Sotres). (5 de Julio de 2019). Obtenido de <https://www.foro-ciudad.com/asturias/sotres/habitantes.html>
- GEDAR Gestión de Aguas y Residuos. (24 de Junio de 2019). Obtenido de <https://www.gedar.com/residuales/desbaste/tamizrotativo.htm>
- GEDAR Gestión de Aguas y Residuos. (24 de Junio de 2019). Obtenido de <https://www.gedar.com/PDF/Residuales/GEDAR-Tamices-Estaticos.pdf>
- GEDAR Gestión de Aguas y Residuos. (29 de Junio de 2019). Obtenido de <https://www.gedar.com/residuales/tratamiento-biologico-aerobio/procesos-ifas.htm>
- Hidro Water. (24 de Junio de 2019). Obtenido de <http://hidro-water.com/productos/industrial/tamiz-estatico/>
- Hidrometálica. (23 de Julio de 2019). Obtenido de <https://hidrometalica.com/biodiscos/>
- Huertas, R., Marcos, C., Ibarguren, N., & Ordás, S. (s.f.). *Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones*.
- Iagua. (26 de Junio de 2019). Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/lechos-bacterianos-tecnologia-robusta-pero-tanto-olvidada>
- Lara, J. (1999). *Depuración de Agua Residuales Municipales con Humedales Artificiales*. Barcelona.
- Ley de Aguas, aprobada por R.D. Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. (07 de Marzo de 2018). Boletín Oficial Español.
- Madrimasd. (25 de Junio de 2019). Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2006/12/01/53336>
- Madrimasd. (25 de Junio de 2019). Obtenido de <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2006/12/01/53336>
- MOBIOUS. (13 de Julio de 2019). Obtenido de <http://mobius.net.co/que-es-unaptar/>
- Ortega, E., Ferrer, Y., Salas, J. J., Aragón, C., & Real, Á. (2010). *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*.
- POGGI-SPA. (28 de Agosto de 2019). Obtenido de <https://www.poggi-spa.com/es/decantadores/dinamicos/>
- Procesos Auto-Mecanizados Pam. (29 de Junio de 2019). Obtenido de [https://www.procesosautomecanizados.com/index.php?pag=producto&id=102&c\[\]=169&c\[\]=133](https://www.procesosautomecanizados.com/index.php?pag=producto&id=102&c[]=169&c[]=133)
- Real Decreto 849/1986, de 11 de Abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos Preliminar, I, IV, V,

- VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de Agosto, de Aguas . (30 de Abril de 1986). Boletín Oficial del Estado.
- Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. (s.f.). Obtenido de [http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo\\_16.pdf](http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_16.pdf)
- Rossi, L. (27 de Agosto de 2019). *Ecodena*. Obtenido de <https://ecodena.com/productos/>
- Ruza, J., Bordas, M. Á., Espinosa, G., & Puig, A. (2007). *Manual para la gestión de vertidos*.
- SAVECO. (24 de Junio de 2019). Obtenido de <https://saveco-water.es/es-ES/SPEES/Product/VTR/Tamiz-de-escalera>
- Scielo. (26 de Junio de 2019). Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v24n1/v24n1a03.pdf>
- Soluciones Medioambientales y Aguas, S.A. (26 de Junio de 2019). Obtenido de <http://www.smasa.net/aireacion-prolongada-aguas-residuales/>
- SSWM. (25 de Junio de 2019). Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/tanque-imhoff>
- Tratamiento del agua. (25 de Junio de 2019). Obtenido de <http://www.tratamientodelagua.com.mx/que-es-un-tanque-imhoff/>
- VICTORIANO MAQUINARIA S.L. (7 de Julio de 2019). Obtenido de <http://www.nochedia.net/productos/decantadoresr/>
- WANGROUP. (24 de Junio de 2019). Obtenido de <https://wamgroup.es/es-ES/WAMES/Product/WASTEMASTER%20GCP-GCE/Tamiz-tornillo>
- Water action plan. (29 de Agosto de 2019). Obtenido de <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Decantaci%C3%B3n+primaria+convencional.pdf/40f134f4-529a-d6ec-eafa-3eff20f8ad5d>

## 10. ANEXO

### 10.1. Anexo I: Ley de Aguas, aprobada por R.D. Legislativo 1/2001, de 20 de julio.

#### **Artículo 90. Comunidades de usuarios de vertidos.**

Las entidades públicas, corporaciones o particulares que tengan necesidad de verter agua o productos residuales, podrán constituirse en comunidad para llevar a cabo el estudio, construcción, explotaciones y mejora de colectores, estaciones depuradoras y elementos comunes que les permitan efectuar el vertido en el lugar más idóneo y en las mejores condiciones técnicas y económicas, considerando la necesaria protección del entorno natural. El Organismo de cuenca podrá imponer justificadamente la constitución de esta clase de comunidades de usuarios

#### **Artículo 92. Objetivos de la protección. Son objetivos de la protección de las aguas y del dominio público hidráulico:**

- a) Prevenir el deterioro, proteger y mejorar el estado de los ecosistemas acuáticos, así como de los ecosistemas terrestres y humedales que dependan de modo directo de los acuáticos en relación con sus necesidades de agua.
- b) Promover el uso sostenible del agua protegiendo los recursos hídricos disponibles y garantizando un suministro suficiente en buen estado.
- c) Proteger y mejorar el medio acuático estableciendo medidas específicas para reducir progresivamente los vertidos, las emisiones y las pérdidas de sustancias prioritarias, así como para eliminar o suprimir de forma gradual los vertidos, las emisiones y las pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias.
- d) Garantizar la reducción progresiva de la contaminación de las aguas subterráneas y evitar su contaminación adicional.
- e) Paliar los efectos de las inundaciones y sequías.
- f) Alcanzar, mediante la aplicación de la legislación correspondiente, los objetivos fijados en los tratados internacionales en orden a prevenir y eliminar la contaminación del medio ambiente marino.
- g) Evitar cualquier acumulación de compuestos tóxicos o peligrosos en el subsuelo o cualquier otra acumulación que pueda ser causa de degradación del dominio público hidráulico.
- h) Garantizar la asignación de las aguas de mejor calidad de las existentes en un área o región al abastecimiento de poblaciones.

**Artículo 92 bis. Objetivos medioambientales.**

1. Para conseguir una adecuada protección de las aguas, se deberán alcanzar los siguientes objetivos medioambientales:

a) para las aguas superficiales:

a') Prevenir el deterioro del estado de las masas de agua superficiales.

b') Proteger, mejorar y regenerar todas las masas de agua superficial con el objeto de alcanzar un buen estado de las mismas.

c') Reducir progresivamente la contaminación procedente de sustancias prioritarias y eliminar o suprimir gradualmente los vertidos, las emisiones y las pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias.

b) Para las aguas subterráneas:

a') Evitar o limitar la entrada de contaminantes en las aguas subterráneas y evitar el deterioro del estado de todas las masas de agua subterránea.

b') Proteger, mejorar y regenerar las masas de agua subterránea y garantizar el equilibrio entre la extracción y la recarga a fin de conseguir el buen estado de las aguas subterráneas.

c') Invertir las tendencias significativas y sostenidas en el aumento de la concentración de cualquier contaminante derivada de la actividad humana con el fin de reducir progresivamente la contaminación de las aguas subterráneas.

c) Para las zonas protegidas:

Cumplir las exigencias de las normas de protección que resulten aplicables en una zona y alcanzar los objetivos ambientales particulares que en ellas se determinen.

d) Para las masas de agua artificiales y masas de agua muy modificadas:

Proteger y mejorar las masas de agua artificiales y muy modificadas para lograr un buen potencial ecológico y un buen estado químico de las aguas superficiales.

2. Los programas de medidas especificados en los planes hidrológicos deberán concretar las actuaciones y las previsiones necesarias para alcanzar los objetivos medioambientales indicados.

3. Cuando existan masas de agua muy afectadas por la actividad humana o sus condiciones naturales hagan inviable la consecución de los objetivos señalados o exijan un coste desproporcionado, se señalarán objetivos ambientales menos rigurosos en las condiciones que se establezcan en cada caso mediante los planes hidrológicos.

**Artículo 92 ter. Estados de las masas de agua.**

1. En relación con los objetivos de protección se distinguirán diferentes estados o potenciales en las masas de agua, debiendo diferenciarse al

menos entre las aguas superficiales, las aguas subterráneas y las masas de agua artificiales y muy modificadas. Reglamentariamente se determinarán las condiciones técnicas definitorias de cada uno de los estados y potenciales, así como los criterios para su clasificación.

2. En cada demarcación hidrográfica se establecerán programas de seguimiento del estado de las aguas que permitan obtener una visión general coherente y completa de dicho estado. Estos programas se incorporarán a los programas de medidas que deben desarrollarse en cada demarcación.

#### **Artículo 92 quáter. Programas de medidas.**

1. Para cada demarcación hidrográfica se establecerá un programa de medidas en el que se tendrán en cuenta los resultados de los estudios realizados para determinar las características de la demarcación, las repercusiones de la actividad humana en sus aguas, así como el estudio económico del uso del agua en la misma.

2. Los programas de medidas tendrán como finalidad la consecución de los objetivos medioambientales señalados en el artículo 92 bis de esta ley.

3. Las medidas podrán ser básicas y complementarias:

a) Las medidas básicas son los requisitos mínimos que deben cumplirse en cada demarcación y se establecerán reglamentariamente.

b) Las medidas complementarias son aquellas que en cada caso deban aplicarse con carácter adicional para la consecución de los objetivos medioambientales o para alcanzar una protección adicional de las aguas.

4. El programa de medidas se integrará por las medidas básicas y las complementarias que, en el ámbito de sus competencias, aprueben las Administraciones competentes en la protección de las aguas.

#### **Artículo 93. Concepto de contaminación.**

Se entiende por contaminación, a los efectos de esta ley, la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores, con la salud humana, o con los ecosistemas acuáticos o terrestres directamente asociados a los acuáticos; causen daños a los bienes; y deterioren o dificulten el disfrute y los usos del medio ambiente.

El concepto de degradación del dominio público hidráulico, a efectos de esta ley, incluye las alteraciones perjudiciales del entorno afecto a dicho dominio.

**Artículo 94. Policía de aguas.**

1. La policía de las aguas y demás elementos del dominio público hidráulico, zonas de servidumbre y perímetros de protección, se ejercerá por la Administración hidráulica competente.

2. En las cuencas que excedan del ámbito territorial de una Comunidad Autónoma, las comisarías de aguas de los Organismos de cuenca ejercerán las siguientes funciones:

- a) La inspección y control del dominio público hidráulico.
- b) La inspección y vigilancia del cumplimiento de las condiciones de concesiones y autorizaciones relativas al dominio público hidráulico.
- c) La realización de aforos, información sobre crecidas y control de la calidad de las aguas.
- d) La inspección y vigilancia de las obras derivadas de las concesiones y autorizaciones de dominio público hidráulico.
- e) La inspección y vigilancia de las explotaciones de todos los aprovechamientos de aguas públicas, cualquiera que sea su titularidad y el régimen jurídico al que están acogidos.
- f) La dirección de los servicios de guardería fluvial.
- g) En general, la aplicación de la normativa de policía de aguas y cauces.

3. En el ejercicio de su función, los Agentes Medioambientales destinados en las comisarías de aguas de los Organismos de cuenca tienen el carácter de autoridad pública y están facultados para:

- a) Entrar libremente en cualquier momento y sin previo aviso en los lugares sujetos a inspección y a permanecer en los mismos, con respeto en todo caso a la inviolabilidad del domicilio. Al efectuar una visita de inspección, deberán comunicar su presencia a la persona inspeccionada o su representante, a menos que consideren que dicha comunicación pueda perjudicar el éxito de sus funciones.
- b) Proceder a practicar cualquier diligencia de investigación, examen o prueba que consideren necesaria para comprobar que las disposiciones legales se observan correctamente.
- c) Tomar o sacar muestras de sustancias y materiales utilizados o en el establecimiento, realizar mediciones, obtener fotografías, vídeos, grabación de imágenes, y levantar croquis y planos, siempre que se notifique al empresario o a su representante.

4. Los hechos constatados por los funcionarios de la Escala de Agentes Medioambientales que se formalicen en las correspondientes actas tendrán presunción de certeza, sin perjuicio de las pruebas que en defensa de los respectivos derechos e intereses puedan aportar los interesados.

5. Los Guardas Fluviales realizarán labores de apoyo y asistencia a los Agentes Medioambientales en el ejercicio de sus funciones de policía de aguas.

**Artículo 100. Concepto.**

1. A los efectos de la presente Ley, se considerarán vertidos los que se realicen directa o indirectamente en las aguas continentales, así como en el resto del dominio público hidráulico, cualquiera que sea el procedimiento o técnica utilizada. Queda prohibido, con carácter general, el vertido directo o indirecto de aguas y de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del dominio público hidráulico, salvo que se cuente con la previa autorización administrativa.

2. La autorización de vertido tendrá como objeto la consecución de los objetivos medioambientales establecidos. Dichas autorizaciones se otorgarán teniendo en cuenta las mejores técnicas disponibles y de acuerdo con las normas de calidad ambiental y los límites de emisión fijados reglamentariamente. Se establecerán condiciones de vertido más rigurosas cuando el cumplimiento de los objetivos medioambientales así lo requiera.

4. Cuando se otorgue una autorización o se modifiquen sus condiciones, podrán establecerse plazos y programas de reducción de la contaminación para la progresiva adecuación de las características de los vertidos a los límites que en ella se fijen.

5. La autorización de vertido no exime de cualquier otra que sea necesaria, conforme a otras leyes para la actividad o instalación de que se trate.

**Artículo 101. Autorización de vertido.**

1. Las autorizaciones de vertidos establecerán las condiciones en que deben realizarse, en la forma que reglamentariamente se determine.

En todo caso, deberán especificar las instalaciones de depuración necesarias y los elementos de control de su funcionamiento, así como los límites cuantitativos y cualitativos que se impongan a la composición del efluente y el importe del canon de control del vertido definido en el artículo 113.

2. Las autorizaciones de vertido corresponderán a la Administración hidráulica competente, salvo en los casos de vertidos efectuados en cualquier punto de la red de alcantarillado o de colectores gestionados por las Administraciones autonómicas o locales o por entidades dependientes de las mismas, en los que la autorización corresponderá al órgano autonómico o local competente.

3. Las autorizaciones de vertido tendrán un plazo máximo de vigencia de cinco años, renovables sucesivamente, siempre que cumplan las normas de calidad y objetivos ambientales exigibles en cada momento. En caso contrario, podrán ser modificadas o revocadas de acuerdo con lo dispuesto en los artículos 104 y 105.

4. A efectos del otorgamiento, renovación o modificación de las autorizaciones de vertido el solicitante acreditará ante la Administración

hidráulica competente, en los términos que reglamentariamente se establezcan, la adecuación de las instalaciones de depuración y los elementos de control de su funcionamiento, a las normas y objetivos de calidad de las aguas. Asimismo, con la periodicidad y en los plazos que reglamentariamente se establezcan, los titulares de autorizaciones de vertido deberán acreditar ante la Administración hidráulica las condiciones en que vierten.

Los datos a acreditar ante la Administración hidráulica, conforme a este apartado, podrán ser certificados por las entidades que se homologuen a tal efecto, conforme a lo que reglamentariamente se determine.

5. Las solicitudes de autorizaciones de vertido de las Entidades locales contendrán, en todo caso, un plan de saneamiento y control de vertidos a colectores municipales. Las Entidades locales estarán obligadas a informar a la Administración hidráulica sobre la existencia de vertidos en los colectores locales de sustancias tóxicas y peligrosas reguladas por la normativa sobre calidad de las aguas.

#### **Artículo 102. Autorización de vertido en acuíferos y aguas subterráneas.**

Cuando el vertido pueda dar lugar a la infiltración o almacenamiento de sustancias susceptibles de contaminar los acuíferos o las aguas subterráneas, sólo podrá autorizarse si el estudio hidrogeológico previo demostrase su inocuidad.

#### **Artículo 103. Limitaciones a las actuaciones industriales contaminantes.**

Las autorizaciones administrativas sobre establecimiento, modificación o traslado de instalaciones o industrias que originen o puedan originar vertidos, se otorgarán condicionadas a la obtención de la correspondiente autorización de vertido.

El Gobierno podrá prohibir, en zonas concretas, aquellas actividades y procesos industriales cuyos efluentes, a pesar del tratamiento a que sean sometidos, puedan constituir riesgo de contaminación grave para las aguas, bien sea en su funcionamiento normal o en caso de situaciones excepcionales previsibles.

#### **Artículo 104. Revisión de las autorizaciones de vertido.**

1. El Organismo de cuenca podrá revisar las autorizaciones de vertido en los siguientes casos:

a) Cuando sobrevengan circunstancias que, de haber existido anteriormente, habrían justificado su denegación o el otorgamiento en términos distintos.

b) Cuando se produzca una mejora en las características del vertido y así lo solicite el interesado.

c) Para adecuar el vertido a las normas y objetivos de calidad de las aguas que sean aplicables en cada momento y, en particular, a las que para cada río, tramo de río, acuífero o masa de agua dispongan los Planes Hidrológicos de cuenca.

2. En casos excepcionales, por razones de sequía o en situaciones hidrológicas extremas, los Organismos de cuenca podrán modificar, con carácter general, las condiciones de vertido a fin de garantizar los objetivos de calidad.

### **Artículo 105. Vertidos no autorizados.**

1. Comprobada la existencia de un vertido no autorizado, o que no cumpla las condiciones de la autorización, el Organismo de cuenca realizará las siguientes actuaciones:

a) Incoar un procedimiento sancionador y de determinación del daño causado a la calidad de las aguas.

b) Liquidará el canon de control de vertido, de conformidad con lo establecido en el artículo 113.

2. Complementariamente, el Organismo de cuenca podrá acordar la iniciación de los siguientes procedimientos:

a) De revocación de la autorización de vertido, cuando la hubiera, para el caso de incumplimiento de alguna de sus condiciones.

Cuando la autorización de vertido en cuencas intercomunitarias se hubiera integrado en la autorización ambiental integrada, el organismo de cuenca comunicará la revocación mediante la emisión de un informe preceptivo y vinculante a la Comunidad Autónoma competente, a efectos de su cumplimiento.

b) De autorización del vertido, si no la hubiera, cuando éste sea susceptible de legalización.

c) De declaración de caducidad de la concesión de aguas en los casos especialmente cualificados de incumplimiento de las condiciones o de inexistencia de autorización, de los que resulten daños muy graves en el dominio público hidráulico.

3. Las revocaciones y declaraciones de caducidad acordadas conforme al apartado anterior no darán derecho a indemnización.

### **Artículo 106. Suspensión de actividades que originan vertidos no autorizados.**

El Gobierno, en el ámbito de sus competencias, podrá ordenar la suspensión de las actividades que den origen a vertidos no autorizados, de no estimar

más procedente adoptar las medidas precisas para su corrección, sin perjuicio de la responsabilidad civil, penal o administrativa en que hubieran podido incurrir los causantes de los mismos.

#### **Artículo 107. Explotación de depuradoras por el Organismo de cuenca.**

El Organismo de cuenca podrá hacerse cargo directa o indirectamente, por razones de interés general y con carácter temporal, de la explotación de las instalaciones de depuración de aguas residuales, cuando no fuera procedente la paralización de las actividades que producen el vertido y se derivasen graves inconvenientes del incumplimiento de las condiciones autorizadas.

En este supuesto, el Organismo de cuenca reclamará del titular de la autorización, incluso por vía de apremio:

- a) Las cantidades necesarias para modificar o acondicionar las instalaciones en los términos previstos en la autorización.
- b) Los gastos de explotación, mantenimiento y conservación de las instalaciones.

#### **Artículo 108. Empresas de vertido.**

Podrán constituirse empresas de vertido para conducir, tratar y verter aguas residuales de terceros. Las autorizaciones de vertido que a su favor se otorguen, incluirán, además de las condiciones exigidas con carácter general, las siguientes:

- a) Las de admisibilidad de los vertidos que van a ser tratados por la empresa.
- b) Las tarifas máximas y el procedimiento de su actualización periódica.
- c) La obligación de constituir una fianza para responder de la continuidad y eficacia de los tratamientos.

La cuantía de la fianza y los efectos que se deriven de la revocación de la autorización se determinarán reglamentariamente.

#### **Artículo 108 bis. Principios generales.**

1. La protección de las aguas marinas tendrá por objeto interrumpir o suprimir gradualmente los vertidos, las emisiones y las pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias, con el objetivo último de conseguir concentraciones en el medio marino cercanas a los valores básicos por lo que se refiere a las sustancias de origen natural y próximas a cero por lo que respecta a las sustancias sintéticas artificiales.

2. Los principios generales enumerados en el apartado anterior se recogerán por la legislación sectorial aplicable en cada caso.

**Artículo 113. Canon de control de vertidos.**

1. Los vertidos al dominio público hidráulico estarán gravados con una tasa destinada al estudio, control, protección y mejora del medio receptor de cada cuenca hidrográfica, que se denominará canon de control de vertidos.

2. Serán sujetos pasivos del canon de control de vertidos, quienes lleven a cabo el vertido.

3. El importe del canon de control de vertidos será el producto del volumen de vertido autorizado por el precio unitario de control de vertido. Este precio unitario se calculará multiplicando el precio básico por metro cúbico por un coeficiente de mayoración o minoración, que se establecerá reglamentariamente en función de la naturaleza, características y grado de contaminación del vertido, así como por la mayor calidad ambiental del medio físico en que se vierte.

El precio básico por metro cúbico se fija en 0,01683 euros para el agua residual urbana y en 0,04207 euros para el agua residual industrial. Estos precios básicos podrán revisarse periódicamente en las Leyes de Presupuestos Generales del Estado.

El coeficiente de mayoración del precio básico no podrá ser superior a 4.

4. El canon de control de vertidos se devengará el 31 de diciembre, coincidiendo el período impositivo con un año natural, excepto el ejercicio en que se produzca la autorización del vertido o su cese, en cuyo caso, se calculará el canon proporcionalmente al número de días de vigencia de la autorización en relación con el total del año. Durante el primer trimestre de cada año natural, deberá liquidarse el canon correspondiente al año anterior.

5. En el supuesto de cuencas intercomunitarias este canon será recaudado por el Organismo de cuenca o bien por la Administración Tributaria del Estado, en virtud de convenio con aquél. En este segundo caso la Agencia Estatal de Administración Tributaria recibirá del Organismo de cuenca los datos y censos pertinentes que faciliten su gestión, e informará periódicamente a éste en la forma que se determine por vía reglamentaria. El canon recaudado será puesto a disposición del Organismo de cuenca correspondiente.

Asimismo, en virtud de convenio las Comunidades Autónomas podrán recaudar el canon en su ámbito territorial. En este supuesto, la Comunidad Autónoma pondrá a disposición del Organismo de cuenca la cuantía que se estipule en el convenio, en atención a las funciones que en virtud del mismo se encomienden a la Comunidad Autónoma.

6. Cuando se compruebe la existencia de un vertido, cuyo responsable carezca de la autorización administrativa a que se refiere el artículo 100, con independencia de la sanción que corresponda, el Organismo de cuenca liquidará el canon de control de vertidos por los ejercicios no prescritos, calculando su importe por procedimientos de estimación indirecta conforme a lo que reglamentariamente se establezca.

7. El canon de control de vertidos será independiente de los cánones o tasas que puedan establecer las Comunidades Autónomas o Corporaciones Locales para financiar las obras de saneamiento y depuración.

8. Cuando un sujeto pasivo del canon de control de vertidos esté obligado a satisfacer algún otro tributo vinculado a la protección, mejora y control del medio receptor establecido por las Comunidades Autónomas en ejercicio de sus competencias, el importe correspondiente a este tributo se podrá deducir o reducir del importe a satisfacer en concepto de canon de control de vertidos.

Con el objeto de arbitrar los mecanismos necesarios para conseguir la efectiva correspondencia entre los servicios recibidos y los importes a abonar por el sujeto pasivo de los citados tributos, el Ministerio de Medio Ambiente y las Administraciones autonómicas implicadas suscribirán los oportunos convenios de colaboración.

(Ley de Aguas, aprobada por R.D. Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, 2018)

## 10.2. Anexo II: Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH).

### **Artículo 245. Autorización.**

1. A los efectos de la Ley de Aguas, se consideran vertidos los que se realicen directa o indirectamente en las aguas continentales, así como en el resto del dominio público hidráulico, cualquiera que sea el procedimiento o técnica utilizada.

Son vertidos directos la emisión directa de contaminantes a las aguas continentales o a cualquier otro elemento del dominio público hidráulico, así como la descarga de contaminantes en el agua subterránea mediante inyección sin percolación a través del suelo o del subsuelo.

Son vertidos indirectos tanto los realizados en aguas superficiales a través de azarbes, redes de colectores de recogida de aguas residuales o de aguas pluviales o por cualquier otro medio de desagüe, o a cualquier otro elemento del dominio público hidráulico, así como los realizados en aguas subterráneas mediante filtración a través del suelo o del subsuelo.

2. Queda prohibido con carácter general el vertido directo o indirecto de aguas y productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del dominio público hidráulico, salvo que se cuente con la previa autorización. Dicha autorización corresponde al Organismo de cuenca tanto en el caso de vertidos directos a aguas superficiales o subterráneas como en el de vertidos indirectos a aguas subterráneas. Cuando se trate de vertidos indirectos a aguas superficiales, la autorización corresponderá al órgano autonómico o local competente.

3. La autorización de vertido tendrá como objeto la consecución del buen estado ecológico de las aguas, de acuerdo con las normas de calidad, los

objetivos ambientales y las características de emisión e inmisión establecidas en este reglamento y en el resto de la normativa en materia de aguas. Estas normas y objetivos podrán ser concretados para cada cuenca por el respectivo plan hidrológico, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 100.2 del texto refundido de la Ley de Aguas.

4. Los vertidos indirectos a aguas superficiales con especial incidencia para la calidad del medio receptor, según los criterios señalados en el apartado anterior, han de ser informados favorablemente por el Organismo de cuenca previamente al otorgamiento de la preceptiva autorización.

5. A los efectos de este reglamento, se entiende por:

a) Norma de calidad ambiental: la concentración de un determinado contaminante o grupo de contaminantes en el agua, en los sedimentos o en la biota, que no debe superarse con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente.

b) Valor límite de emisión: la cantidad o la concentración de un contaminante o grupo de contaminantes, cuyo valor no debe superarse por el vertido. En ningún caso el cumplimiento de los valores límites de emisión podrá alcanzarse mediante técnicas de dilución.

c) Contaminante: cualquier sustancia que pueda causar contaminación y en particular las que figuran en el anexo II.

d) Sustancia peligrosa: las sustancias o grupos de sustancias que son tóxicas, persistentes y bioacumulables, así como otras sustancias o grupos de sustancias que entrañan un nivel de riesgo análogo.

e) Objetivo medioambiental: para las aguas continentales, la prevención del deterioro de las distintas masas de agua, su protección, mejora y regeneración, con el fin de alcanzar un buen estado de las aguas.

#### **Artículo 246. Iniciación del procedimiento de autorización de vertidos.**

1. El procedimiento para obtener la autorización de vertido se iniciará mediante solicitud del titular de la actividad, con los datos requeridos en el artículo 70 de la Ley de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del procedimiento Administrativo Común, y con la declaración de vertido según modelo aprobado por el Ministerio de Medio Ambiente.

2. La declaración de vertido contendrá los siguientes extremos:

a) Características de la actividad causante del vertido.

b) Localización exacta del punto donde se produce el vertido.

c) Características cualitativas (con indicación de todos los valores de los parámetros contaminantes del vertido), cuantitativas y temporales del vertido.

d) Descripción de las instalaciones de depuración y evacuación del vertido.

e) Proyecto, suscrito por técnico competente, de las obras e instalaciones de depuración o eliminación que, en su caso, fueran necesarias para que el grado de depuración sea el adecuado para la consecución de los valores límite de emisión del vertido, teniendo en cuenta las normas de calidad ambiental determinadas para el medio receptor.

f) Petición, en su caso, de imposición de servidumbre forzosa de acueducto o de declaración de utilidad pública, a los efectos de expropiación forzosa, acompañada de la identificación de predios y propietarios afectados.

3. En el caso de solicitudes formuladas por entidades locales, la declaración de vertido deberá incluir además:

a) Inventario de vertidos industriales con sustancias peligrosas recogidos por la red de saneamiento municipal.

b) Contenido y desarrollo del plan de saneamiento y control de vertidos a la red de saneamiento municipal. En el caso de que las instalaciones de depuración y el sistema de evacuación formen parte de un plan o programa de saneamiento aprobado por otra Administración pública, se incluirá la información correspondiente a tal circunstancia.

4. En el caso de que el solicitante de la autorización de vertido deba solicitar, además, una concesión para el aprovechamiento privativo de las aguas, la documentación a que se refieren los apartados anteriores se presentará conjuntamente con la que resulte necesaria a los efectos de obtener dicha concesión.

#### **Artículo 247. Subsanción y mejora.**

1. Si la solicitud no reúne los requisitos establecidos en el artículo anterior, el Organismo de cuenca requerirá la subsanción al solicitante, en los términos del artículo 71.1 de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común.

2. Con independencia de la subsanción, los servicios técnicos del Organismo de cuenca comprobarán los datos consignados en la declaración de vertido presentada, y emitirán informe sobre si la solicitud es adecuada al cumplimiento de las normas de calidad y objetivos ambientales y sobre las características de emisión e inmisión. Si del informe se desprende la improcedencia del vertido, el Organismo de cuenca denegará la autorización dictando resolución motivada, previa audiencia del solicitante, o bien requerirá a éste para que introduzca las correcciones oportunas en el plazo de 30 días.

Transcurrido este plazo sin que el solicitante haya introducido las correcciones requeridas, el Organismo de cuenca denegará la autorización mediante resolución motivada y previa audiencia del solicitante.

3. El Organismo de cuenca deberá notificar las resoluciones a que se refiere el apartado 2 en el plazo de seis meses a partir de la recepción de la solicitud. Transcurrido este plazo, las solicitudes que no hayan sido denegadas se tramitarán con arreglo a lo establecido en los artículos siguientes.

#### **Artículo 248. Información pública e informes.**

1. El Organismo de cuenca someterá a información pública las solicitudes no denegadas en aplicación del artículo 247.2 por un plazo de 30 días, mediante anuncio en el boletín oficial de la provincia.

El anuncio expresará las características fundamentales de la solicitud y, en su caso, la petición de declaración de utilidad pública o de imposición de servidumbre.

2. Simultáneamente, el Organismo de cuenca recabará el informe de la comunidad autónoma y aquellos otros que procedan en cada caso.

3. De las alegaciones e informes se dará traslado al peticionario para que manifieste lo que a su derecho convenga en plazo de 10 días.

#### **Artículo 249. Resolución.**

1. Finalizado el plazo a que se refiere el artículo 248.3, el Organismo de cuenca formulará la propuesta de resolución y la notificará al solicitante y, si los hubiera, a los restantes interesados, que podrán presentar alegaciones en el plazo de 10 días.

La propuesta de resolución favorable al otorgamiento de la autorización deberá expresar el condicionado.

2. El Organismo de cuenca notificará la resolución motivada en el plazo máximo de un año y, de no hacerlo, podrá entenderse desestimada la solicitud de autorización.

3. Si el condicionado de la autorización comporta la ejecución de obras o instalaciones, la autorización de vertido no producirá plenos efectos jurídicos hasta que el Organismo de cuenca apruebe el acta de reconocimiento final favorable de aquellas, aplicándose, durante el período de ejecución, el coeficiente de mayoración correspondiente a un tratamiento no adecuado. Aprobada el acta de reconocimiento, será exigible, en su totalidad, el objetivo de calidad que en cada caso corresponda.

4. Las autorizaciones de vertido tendrán un plazo máximo de vigencia de cinco años, entendiéndose renovadas por plazos sucesivos de igual duración al autorizado, siempre que el vertido no sea causa de incumplimiento de las normas de calidad ambiental exigibles en cada momento. La renovación no impide que cuando se den otras circunstancias, el Organismo de cuenca proceda a su revisión. En este último caso se notificará al titular con seis meses de antelación.

**Artículo 250. Autorización de vertido de las entidades locales y de las comunidades autónomas.**

La autorización de vertido solicitada por entidades locales y por comunidades autónomas se ajustará a lo establecido en los artículos anteriores, con las especialidades señaladas a continuación:

a) La solicitud de autorización incluirá también:

1.º Un plan de saneamiento y control de vertidos a colectores que incluirá, en su caso, los programas de reducción de sustancias peligrosas, así como el correspondiente reglamento u ordenanza de vertidos. En el caso de que las instalaciones de depuración y evacuación necesarias formen parte de un plan o programa de saneamiento aprobado por otra Administración pública, se hará constar así en la solicitud.

2.º Información sobre la existencia de vertidos en los colectores de sustancias peligrosas a que se refiere el artículo 256.

b) Una vez concedida la autorización, las entidades locales y comunidades autónomas autorizadas están obligadas:

1.º A informar anualmente a la Administración hidráulica sobre la existencia de vertidos en los colectores de sustancias peligrosas a que se refiere el artículo 256.

2.º A informar sobre el funcionamiento de las estaciones de depuración de aguas residuales urbanas, a los fines previstos en el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, por el que se desarrolla el Real Decreto Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

**Artículo 251. Condicionado de las autorizaciones de vertido.**

1. Las autorizaciones de vertido establecerán las condiciones en que éstos deben realizarse, concretando especialmente los extremos siguientes:

a) Origen de las aguas residuales y localización geográfica del punto de vertido.

b) El caudal y los valores límite de emisión del efluente, determinados con arreglo a las siguientes reglas generales:

1.ª Las características de emisión del vertido serán tales que resulten adecuadas para el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del medio receptor. Se podrá establecer una aplicación gradual de aquéllas hasta su completa consecución.

2.<sup>a</sup> Se exigirán valores límite de emisión para los parámetros característicos de la actividad causante del vertido.

3.<sup>a</sup> Los valores límite de emisión no podrán alcanzarse mediante técnicas de dilución.

c) Las instalaciones de depuración y evacuación que el Organismo de cuenca considere suficientes para cumplir la normativa sobre la calidad del agua del medio receptor.

d) Las fechas de iniciación y terminación de las obras e instalaciones, fases parciales previstas y entrada en servicio de aquéllas, así como las medidas que, en caso necesario, se deban adoptar para reducir la contaminación durante el plazo de ejecución de aquéllas.

e) Los elementos de control de las instalaciones de depuración y los sistemas de medición del caudal y de la toma de muestras, así como la periodicidad en la que es obligatorio analizar y acreditar los parámetros y condiciones del vertido, así como cualesquiera otras declaraciones y acreditaciones a que venga obligado ante el Organismo de cuenca.

f) El plazo de vigencia de la autorización.

g) El importe del canon de control de vertidos que corresponda en aplicación del artículo 113 del texto refundido de la Ley de Aguas, especificando el precio unitario y sus componentes.

h) Las causas de modificación y revocación de la autorización.

i) Las actuaciones y medidas que, en casos de emergencia, deban ser puestas en práctica por el titular de la autorización.

j) En su caso, el establecimiento de los programas de reducción de la contaminación para la progresiva adecuación de las características del vertido a los valores límite de emisión a que se refiere el párrafo b) anterior, así como sus correspondientes plazos.

k) Cualquier otra condición que el Organismo de cuenca considere oportuna en razón de las características específicas del caso y del cumplimiento de la finalidad de las instalaciones de depuración y evacuación.

2. El condicionado de las autorizaciones de vertido que puedan afectar a las aguas subterráneas se ajustarán, además, a lo dispuesto en el artículo 259 de este reglamento.

3. El incumplimiento de las condiciones de la autorización podrá dar lugar a su revocación en los términos previstos en el artículo 263.

### **Artículo 252. Control de las autorizaciones de vertido.**

Con independencia de los controles impuestos en el condicionado de la autorización, el Organismo de cuenca podrá efectuar cuantos análisis e inspecciones estime convenientes para comprobar las características del

vertido y el rendimiento de las instalaciones de depuración y evacuación. A tales efectos, las instalaciones de toma de muestras se ejecutarán de forma que se facilite el acceso a éstas por parte de la Administración, que, en su caso, hará entrega de una muestra alícuota al representante o persona que se encuentre en las instalaciones y acredite su identidad, para su análisis contradictorio. De no hacerse cargo de la muestra, se le comunicará que ésta se encuentra a su disposición en el lugar que se indique.

**Artículo 253. Vertido de núcleos aislados de población, de polígonos industriales, urbanizaciones y otras agrupaciones sin personalidad jurídica.**

1. En los supuestos de vertidos de naturaleza urbana o asimilable procedentes de núcleos aislados de población inferior a 250 habitantes-equivalentes y sin posibilidad de formar parte de una aglomeración urbana, en los términos del Real Decreto Ley 11/95, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, la autorización se ajustará a lo establecido en este artículo.

2. Los titulares de los vertidos a que se refiere el apartado anterior presentarán ante el Organismo de cuenca una declaración de vertido simplificada, según modelo aprobado por el Ministro de Medio Ambiente, en el que figurarán, como mínimo, la situación del vertido y una memoria descriptiva de las instalaciones de depuración y evacuación del vertido.

Comprobado que el vertido es compatible con los objetivos de calidad del medio receptor y con los derechos de terceros, el Organismo de cuenca otorgará la autorización adecuada a las características del vertido. Si, por el contrario, no concurre esa compatibilidad, se seguirá el procedimiento establecido en los artículos 247 y siguientes.

3. Cuando no exista un titular único de la actividad causante del vertido, el Organismo de cuenca podrá requerir a los titulares de los establecimientos industriales o de cualquier otra naturaleza que tengan necesidad de verter aguas o productos residuales y se encuentren situados en una misma zona o polígono industrial, así como a los titulares de las urbanizaciones u otros complejos residenciales, a los efectos de la autorización de vertidos de naturaleza doméstica, para que se constituyan en una comunidad de vertidos en el plazo de seis meses.

El incumplimiento del requerimiento a constituirse en comunidad tendrá la consideración de infracción administrativa con arreglo al artículo 116.g) en relación con el 90, ambos del texto refundido de la Ley de Aguas.

4. La comunidad constituida de conformidad con el artículo 90 del texto refundido de la Ley de Aguas, ya sea por iniciativa de los propios titulares de la actividad causante del vertido, ya sea por requerimiento del Organismo de cuenca, será la titular de la preceptiva autorización de vertido.

**Artículo 254. Censos de vertidos.**

1. Los Organismos de cuenca llevarán un censo de los vertidos autorizados. Rigen para este censo las mismas condiciones de publicidad establecidas para el Registro de Aguas en los artículos 194 y 195 de este reglamento.

2. El censo de vertidos deberá contener, al menos, la siguiente información relativa a las autorizaciones:

a) Titular y localización del vertido.

b) Naturaleza y características de la actividad causante del vertido.

c) Características del vertido, con indicación de la presencia de sustancias peligrosas en los efluentes.

d) Naturaleza del medio receptor, con especial referencia a zonas protegidas.

3. El Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, elaborará y mantendrá el censo nacional de vertidos, en el que figurarán los datos correspondientes a los vertidos cuya autorización corresponde a los Organismos de cuenca y a las Administraciones hidráulicas autonómicas.

Asimismo, figurarán en el censo nacional de vertidos los vertidos efectuados desde tierra al mar, según los datos proporcionados por las comunidades autónomas.

**Artículo 255. Normas generales sobre entidades colaboradoras.**

1. Son entidades colaboradoras las que, en virtud del título correspondiente, están habilitadas para las labores de apoyo a la Administración hidráulica en materia de control y vigilancia de la calidad de las aguas. Constituirá la actividad fundamental de estas entidades la certificación de los datos a que se refiere el artículo 101.3 del texto refundido de la Ley de Aguas.

2. El Ministro de Medio Ambiente establecerá las condiciones requeridas para obtener el título de entidad colaboradora, así como el procedimiento para revalidarlo y las fórmulas de control por parte de la Administración del cumplimiento de las condiciones en que fue otorgado. No dará derecho a indemnización la pérdida de la condición de entidad colaboradora cuando obedezca a un incumplimiento de las condiciones exigidas.

3. En todo caso, la obtención del título de entidad colaboradora requiere acreditar previamente la concurrencia de los requisitos mínimos siguientes:

a) Los relativos a la demostración de los precisos méritos de capacidad técnica y económica, independencia e imparcialidad necesarios para las actuaciones a realizar.

b) Suscripción de una póliza de seguro de responsabilidad civil, un aval u otra garantía financiera con entidad debidamente autorizada por importe suficiente para garantizar los perjuicios que pudieran derivarse de las actuaciones que desarrolle.

c) El cumplimiento de los requisitos establecidos en las normas de la serie UNE-EN ISO/IEC 17025 o la que en el futuro la sustituya que sea de aplicación en función de su ámbito de actuación.

4. Se crea a estos fines un registro especial de entidades colaboradoras en el que figurarán las entidades que hayan obtenido el título.

El registro estará bajo la dependencia de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas y en él se inscribirán todos los actos administrativos referentes al otorgamiento, modificación o extinción del título.

#### **Artículo 256. Valores límite de emisión y normas de calidad ambiental.**

1. Las autorizaciones de vertido limitarán las sustancias peligrosas propias de la actividad causante del vertido para asegurar el cumplimiento de los valores límite de emisión, así como de las normas de calidad ambiental y objetivos de calidad previstos en los planes hidrológicos de cuenca y en las restantes disposiciones legales de aplicación.

2. A efectos de lo previsto en el apartado anterior, las autorizaciones de vertido:

a) Establecerán los límites de emisión de las sustancias incluidas en la relación I del anexo III que cuenten con regulación específica, con la finalidad de eliminar la contaminación del medio receptor.

b) Fijarán los valores límite de emisión de las sustancias recogidas en el Real Decreto 995/2000, de 2 de junio, con el fin de que puedan cumplirse los objetivos de calidad establecidos en él.

c) Tendrán en cuenta, para el resto de sustancias mencionadas en el anexo III, las limitaciones previstas en el apartado 1 de este artículo.

3. Lo dispuesto en los apartados anteriores será de aplicación en todos los ámbitos de planificación hidrológica, sin perjuicio de que los planes puedan establecer valores o normas más rigurosas.

#### **Artículo 257. Vertidos de sustancias peligrosas a las aguas subterráneas.**

1. Los Organismos de cuenca adoptarán las medidas necesarias para impedir que se introduzcan en las aguas subterráneas las sustancias que figuran en la relación I del anexo III, así como para limitar la introducción de las sustancias de la relación II del mismo anexo.

2. A efectos de lo previsto en el apartado anterior, se prohíbe el vertido directo de las sustancias de dicha relación I. La autoridad competente exigirá para la autorización de acciones de eliminación, o depósito de residuos o productos que pudiesen contener estas sustancias, un estudio hidrogeológico previo, con el fin de evitar su introducción en las aguas subterráneas. A tal fin, el Organismo de cuenca podrá solicitar informe del Instituto Geológico y Minero de España.

3. Con carácter general, si se desprendiese de un estudio hidrogeológico previo que las aguas subterráneas en las que se prevé el vertido de sustancias de la citada relación I son inadecuadas de forma permanente para cualquier uso, en particular para usos domésticos o agrícolas, se podrá autorizar el vertido de dichas sustancias.

En ningún caso, el vertido de las sustancias podrá obstaculizar la explotación de los recursos del suelo.

Se exigirá asimismo que dichas sustancias no puedan llegar a otros sistemas acuáticos o dañar otros ecosistemas, para lo cual deberán adoptarse las precauciones técnicas necesarias.

4. Para limitar la introducción de sustancias de la citada relación II, se someterá al estudio hidrogeológico previo no sólo el vertido directo de dichas sustancias, sino también las acciones de eliminación o depósito capaces de ocasionar un vertido indirecto.

Se podrá autorizar el vertido cuando el estudio hidrogeológico previo demostrase su inocuidad, sin perjuicio de incluir en el condicionado la adopción de las precauciones técnicas necesarias.

5. Quedan sometidas a autorización las recargas artificiales de acuíferos, que sólo podrán otorgarse cuando con ellas no se provoque la contaminación de las aguas subterráneas.

6. Los vertidos a las aguas subterráneas que no contengan sustancias peligrosas se autorizarán de acuerdo con el procedimiento regulado en los artículos 245 y siguientes de este reglamento, si bien se exigirá el estudio hidrogeológico previo que demuestre la inocuidad del vertido.

### **Artículo 258. Estudio hidrogeológico previo.**

1. El estudio hidrogeológico previo a que se refiere el artículo anterior contemplará, como mínimo, el estudio de las características hidrogeológicas de la zona afectada, el eventual poder depurador del suelo y subsuelo y los riesgos de contaminación y de alteración de la calidad de las aguas subterráneas por el vertido. Asimismo, determinará si, desde el punto de vista medioambiental, el vertido en esas aguas es inocuo y constituye una solución adecuada.

2. Este estudio deberá estar suscrito por técnico competente y deberá aportarse en la declaración de vertido prevista en el artículo 246 o ser requerido por el Organismo de cuenca cuando se presuma que el vertido

puede ocasionar una contaminación de las aguas subterráneas. El estudio se incorporará al expediente de autorización de vertido, y sobre éste podrá solicitar el Organismo de cuenca informe del Instituto Geológico y Minero de España.

### **Artículo 259. Condicionado de las autorizaciones de vertido a aguas subterráneas.**

1. En las autorizaciones de vertido se establecerán, además de las condiciones previstas en el artículo 251, las siguientes:

- a) La técnica para llevar a cabo el vertido.
- b) Las precauciones que resulten indispensables teniendo en cuenta la naturaleza y concentración de las sustancias presentes en los efluentes, las características del medio receptor, así como la proximidad de captaciones de agua, y, en particular, las de agua potable, termal y mineral.
- c) La cantidad máxima admisible de una sustancia en los efluentes, así como la concentración de dicha sustancia.
- d) Los dispositivos para controlar los efluentes evacuados en las aguas subterráneas.
- e) Las medidas que permitan la vigilancia de las aguas subterráneas y, en particular, de su calidad.

2. Las autorizaciones de vertido de sustancias peligrosas a las aguas subterráneas se otorgarán por un plazo de cuatro años renovables por períodos iguales.

3. En el caso de vertidos a aguas subterráneas transfronterizas, el Organismo de cuenca que tramite la autorización lo notificará al Ministerio de Medio Ambiente, a fin de que pueda informar a los demás Estados afectados antes de otorgarse la autorización.

### **Artículo 260. Limitaciones a las actuaciones industriales contaminantes.**

1. Las autorizaciones administrativas sobre establecimiento, modificación o traslado de instalaciones o industrias que originen o puedan originar vertidos se otorgarán condicionadas a la obtención de la correspondiente autorización de vertido.

El Gobierno podrá prohibir, en zonas concretas, aquellas actividades y procesos industriales cuyos efluentes, a pesar del tratamiento a que sean sometidos, puedan constituir riesgo de contaminación grave para las aguas, bien sea en su funcionamiento normal, bien en caso de situaciones excepcionales previsibles, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 103 del texto refundido de la Ley de Aguas.

2. Las autorizaciones de vertido tendrán, en todo caso, el carácter de previas para la implantación y entrada en funcionamiento de la industria o actividad que se trata de establecer, modificar o trasladar, y precederán a las licencias de apertura o de actividad que hayan de otorgar las Administraciones local o autonómica en razón de su competencia.

#### **Artículo 261. Supuestos de revisión de las autorizaciones de vertido.**

1. El Organismo de cuenca podrá revisar las autorizaciones de vertido en los siguientes casos:

- a) Cuando sobrevengan circunstancias que, de haber existido anteriormente, habrían justificado su denegación o el otorgamiento en términos distintos.
- b) Cuando se produzca una mejora en las características del vertido o una variación en su volumen y así lo solicite el interesado.
- c) Para adecuar el vertido a las normas de calidad ambiental correspondientes al medio receptor contemplados en el respectivo plan hidrológico de cuenca o, en su defecto, a las normas de emisión y de calidad ambiental que se dicten con carácter general.

2. En casos excepcionales, por razones de sequía o en situaciones hidrológicas extremas, los Organismos de cuenca podrán modificar, las condiciones de vertido a fin de garantizar los objetivos de calidad, de acuerdo con lo previsto en el artículo 104 del texto refundido de la Ley de Aguas.

#### **Artículo 262. Modificación del condicionado.**

1. Mediante resolución motivada y previa audiencia a los interesados, el Organismo de cuenca acordará la modificación del condicionado que resulte pertinente a consecuencia de la revisión practicada con arreglo al artículo 261.

2. La modificación del condicionado no dará lugar a indemnización.

#### **Artículo 263. Normas de actuación.**

1. Comprobada la existencia de un vertido no autorizado, o que no cumpla las condiciones de la autorización, el Organismo de cuenca realizará las siguientes actuaciones:

- a) Incoará un procedimiento sancionador y procederá a la determinación del daño causado a la calidad de las aguas.
- b) Liquidará el canon de control de vertido, de conformidad con lo establecido en el artículo 113 del texto refundido de la Ley de Aguas.

2. Además de las actuaciones contempladas en el apartado 1, el Organismo de cuenca podrá acordar la iniciación de los siguientes procedimientos:

a) De revocación de la autorización de vertido, cuando la hubiera, en los casos de incumplimiento de alguna de sus condiciones.

Cuando la autorización de vertido en cuencas intercomunitarias se hubiera incluido en la autorización ambiental integrada, a la que se refiere la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, el Organismo de cuenca comunicará a la comunidad autónoma competente, a efectos de su cumplimiento, la revocación mediante la emisión de un informe preceptivo y vinculante.

b) De autorización de vertido, si no la hubiera, cuando éste sea susceptible de legalización.

c) De declaración de caducidad de la concesión para aquellos casos especialmente cualificados de incumplimiento de las condiciones o de inexistencia de autorización, de los que resulten daños muy graves para el dominio público hidráulico.

3. Las revocaciones y declaraciones de caducidad acordadas conforme al apartado anterior no darán derecho a indemnización, de conformidad con el artículo 105 del texto refundido de la Ley de Aguas.

#### **Artículo 264. Revocación y legalización de las autorizaciones de vertido.**

1. Previo requerimiento al titular para que ajuste el vertido a las condiciones bajo las que fue otorgada la autorización y no atendido aquél en el plazo concedido, el Organismo de cuenca podrá acordar la revocación de la autorización de acuerdo con el artículo 263.2.a), con informe del Consejo del Agua de la cuenca y mediante resolución motivada.

2. A efectos de lo dispuesto en el artículo 263.2.b), el Organismo de cuenca requerirá al titular del vertido para que formule la solicitud de autorización con arreglo al artículo 246, en el plazo de un mes. Si fuera preciso adoptar medidas cautelares, el requerimiento lo será también para la realización de éstas en un plazo determinado en cada caso.

La solicitud de autorización formulada en cumplimiento de ese requerimiento ha de ajustarse a lo dispuesto para cada caso de vertido y se tramitará conforme a lo dispuesto en los artículos 247 y siguientes.

En caso de que el titular no atienda el requerimiento para solicitar la autorización o para realizar las medidas cautelares, el Organismo de cuenca acordará sin más trámite el archivo de las actuaciones para la legalización del vertido, sin perjuicio de ejecutar esas medidas y repercutir su importe en el requerido.

**Artículo 265. Supuestos de suspensión de actividades que originan vertidos no autorizados.**

El Gobierno, en el ámbito de sus competencias y previo informe del Organismo de cuenca y audiencia al interesado, podrá ordenar la suspensión de las actividades que den origen a vertidos no autorizados, de no estimar más procedente adoptar las medidas precisas para su corrección, que serán de cuenta del titular, sin perjuicio de la responsabilidad civil, penal o administrativa en que hubieran podido incurrir los causantes de los vertidos.

**Artículo 266. Procedimiento de intervención en instalaciones de depuración.**

1. El Organismo de cuenca practicará las inspecciones pertinentes en las instalaciones de depuración de aguas residuales correspondientes a un vertido autorizado.

Cuando de esas inspecciones resulte el mal funcionamiento de una estación depuradora de aguas residuales, y sin perjuicio de la incoación del procedimiento sancionador, podrá requerir al titular para que tome las medidas necesarias que permitan el correcto funcionamiento de las instalaciones, en el plazo determinado en cada caso.

Si el titular no atiende el requerimiento, el Organismo de cuenca propondrá al órgano competente la suspensión cautelar y temporal de las actividades que producen el vertido.

2. El Organismo de cuenca podrá hacerse cargo directa o indirectamente, por razones de interés general y con carácter temporal, de la explotación de las instalaciones de depuración de aguas residuales, cuando no fuera posible la paralización de las actividades que producen el vertido y se derivasen graves inconvenientes del incumplimiento de las condiciones autorizadas.

En este supuesto, el Organismo de cuenca reclamará del titular de la autorización, incluso por vía de apremio:

a) Las cantidades necesarias para modificar o acondicionar las instalaciones en los términos previstos en la autorización.

b) Los gastos de explotación, mantenimiento y conservación de las instalaciones, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 107 del texto refundido de la Ley de Aguas.

3. Cuando el Organismo de cuenca se haga cargo de modo indirecto de la explotación de las instalaciones, podrá contar para ello con la colaboración de las empresas de vertido, o de cualquier otro ente público o privado que considere idóneo, corriendo a cuenta del titular de la autorización los gastos que se deriven de tal colaboración.

**Artículo 267. Empresas de vertido.**

Podrán constituirse empresas de vertido para conducir, tratar y verter aguas residuales de terceros. Las autorizaciones de vertido que a su favor se otorguen incluirán, además de las condiciones exigidas con carácter general, las siguientes:

- a) Las de admisibilidad de los vertidos que van a ser tratados por la empresa.
- b) Las tarifas máximas y el procedimiento de su actualización periódica.
- c) La obligación de constituir una fianza para responder de la continuidad y eficacia de los tratamientos, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 108 del texto refundido de la Ley de Aguas.

**Artículo 268. Requisitos de las empresas de vertido.**

El Ministro de Medio Ambiente establecerá los requisitos necesarios para que las empresas de vertido puedan ser inscritas en el registro que se creará a tal efecto.

**Artículo 269. Condiciones de vertido.**

1. Las empresas de vertido redactarán y propondrán a los Organismos de cuenca para su aprobación, en la misma resolución de la autorización del vertido, las correspondientes condiciones de vertido, en las que se especificarán detalladamente los caudales y valores límite de emisión de los parámetros representativos de la composición de las aguas de terceros que han de ser tratadas.
2. Las empresas de vertido serán responsables de la vigilancia y control de los vertidos que traten, en orden al cumplimiento de las condiciones a que se refiere el apartado anterior.
3. Del mismo modo, redactarán y propondrán las tarifas que incluirán necesariamente la fórmula para su actualización periódica, los plazos y los procedimientos para su entrada en vigor.

**Artículo 270. Fianza.**

1. La fianza que se menciona en el artículo 108.c) del texto refundido de la Ley de Aguas será equivalente al triplo del importe del canon de control de vertidos que se fije en la autorización otorgada a la empresa de vertido.
2. Serán responsables subsidiarios los causantes de los vertidos.

**Artículo 271. Revocación de la autorización de las empresas de vertido.**

1. La revocación de la autorización se podrá producir por el incumplimiento de las condiciones bajo las que fue concedida y de aquéllas que sean de aplicación entre las establecidas, para la resolución del contrato, por la legislación de contratos de las Administraciones públicas.

2. Si se produjera dicha revocación y no fuese posible la subrogación en otra empresa de vertido, el Organismo de cuenca podrá acordar la suspensión del vertido o proponer la paralización de la actividad. También podrá hacerse cargo de forma directa o indirecta de la explotación de las instalaciones. En ambos casos se estará a lo dispuesto en el artículo 266. Con independencia de lo anterior, el Organismo de cuenca podrá imponer justificadamente la constitución de una comunidad de vertidos que integre a los causantes de los vertidos, que se constituirá en titular de la autorización de acuerdo con lo preceptuado en el artículo 90 del texto refundido de la Ley de Aguas.

3. La revocación de la autorización otorgada a una empresa de vertidos podrá llevar aparejada la pérdida de la fianza a que se refieren los artículos anteriores, previa la tramitación del correspondiente procedimiento en el que se dará audiencia al interesado.»

(Real Decreto 849/1986, de 11 de Abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de Agosto, de Aguas , 1986)