



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DE LA LÍNEA DE AGUAS PARA  
UNA EDAR INCLUYENDO UNA ETAPA DE  
FLOTACIÓN PARA MEJORAR LA  
ELIMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS  
CONTENIDOS EN EL AGUA RESIDUAL  
( $Q_d=5.000 \text{ m}^3/\text{d}$ )**

AUTORA: ESTER PÉREZ VALIENTE

TUTORA: M<sup>a</sup> AMPARO BES PIÁ

COTUTOR: JOSÉ ANTONIO MENDOZA ROCA

Curso Académico: 2019 - 20

## **RESUMEN**

El presente TFG tiene como objetivo realizar el diseño de la línea de aguas para una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) que trata  $5.000 \text{ m}^3/\text{d}$ , incluyendo una etapa de flotación y así favorecer la separación de los microplásticos contenidos en el agua residual.

Se pretende reducir la cantidad de microplásticos vertidos con el agua residual y concentrarlas en el fango primario antes de llegar al reactor biológico, dado que la bibliografía apunta que los microplásticos se acumulan en los flóculos del fango biológico. De esta forma se reduciría tanto la contaminación por microplásticos en el campo, ya que los fangos se usan principalmente en la agricultura, como la contaminación microplástica marina debida al vertido del agua tratada.

Además del diseño del flotador para reducir la cantidad de microplásticos, se ha diseñado el proceso de tratamiento biológico por fangos activos para la eliminación de la materia orgánica biodegradable del agua residual.

La línea de aguas se compondrá de una etapa de pretratamiento con rejillas y tamices, un tratamiento primario con la etapa de flotación y un tratamiento secundario con un reactor biológico y un decantador.

Palabras clave: EDAR; Flotación; Microplásticos; Agua residual

## **RESUM**

El present TFG té com a objectiu realitzar el disseny de la línia d'aigües per a una estació depuradora d'aigües residuals (EDAR) que tracta  $5.000 \text{ m}^3/\text{d}$ , incloent-hi una etapa de flotació i així afavorir la separació dels microplàstics continguts a l'aigua residual.

Es pretén reduir la quantitat de microplàstics abocats amb l'aigua residual i concentrar-les en el fang primari abans d'arribar al reactor biològic, donat que la bibliografia assenyala que els microplàstics s'acumulen en els flocs del fang biològic. D'aquesta manera es reduirà tant la contaminació per microplàstics en el camp, ja que els fangs s'usen principalment a l'agricultura, com la contaminació microplàstica marina deguda a l'abocament de l'aigua tractada.

A més del disseny del flotador per reduir la quantitat de microplàstics, s'ha dissenyat el procés del tractament biològic per fangs actius per a l'eliminació de la matèria orgànica biodegradable de l'aigua residual.

La línia d'aigües es componrà d'una etapa de pretractament amb reixes i tamisos, un tractament primari amb l'etapa de flotació i un tractament secundari amb un reactor biològic i un decantador.

Paraules claus: EDAR; Flotació; Microplàstics; Aigua residual

## **ABSTRACT**

This TFG aims to design the water line for a wastewater treatment plant (WWTP) that treats  $5.000 \text{ m}^3/\text{d}$ , including a flotation process with the purpose of promoting the separation of the microplastics contained in the wastewater.

It is intended to reduce the amount of microplastics discharged to the wastewater and to concentrate them into the primary sludge before they reach the biological reactor, as the literature indicates that microplastics accumulate in the flocs of the biological sludge. This would reduce microplastic pollution in the fields, as sludge is mainly used in agriculture. Moreover, it will take place a decline of the microplastic pollution of the sea due to the discharge of treated water.

In addition to the design of the flotation stage to reduce the amount of microplastics, a biological treatment process of active sludge has been designed in order to remove biodegradable organic material from wastewater.

The water line will consist of a preliminary treatment with bar screens and fine screen, a primary treatment with a flotation tank and a secondary treatment with an aeration tank and a clarifier.

Keywords: WWTP; Flotation; Microplastics; Wastewater

## **ÍNDICE DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO**

### **Documentos contenidos en el TFG**

- Memoria
- Planos
- Presupuesto

# **DOCUMENTO 1: MEMORIA**

## ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.	OBJETO DEL PROYECTO .....	1
2.	JUSTIFICACION.....	2
2.1.	Justificación medioambiental.....	2
2.2.	Justificación académica .....	3
3.	ANTECEDENTES .....	4
3.1.	Introducción .....	4
3.2.	Microplásticos en el agua residual .....	6
4.	LEGISLACIÓN .....	11
4.1.	Legislación Europea.....	11
4.2.	Legislación Nacional .....	13
4.3.	Legislación Autonómica .....	13
5.	DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA DE AGUAS Y DE FANGOS DE UNA EDAR .....	15
5.1.	Línea de Aguas.....	15
5.1.1.	<i>Aliviadero</i> .....	16
5.1.2.	<i>Pretratamiento</i> .....	16
5.1.3.	<i>Tratamiento primario</i> .....	16
5.1.4.	<i>Tratamiento secundario</i> .....	17
5.1.5.	<i>Tratamiento terciario</i> .....	17
5.2.	Línea de Fangos .....	17
6.	MICROPLÁSTICOS (MPs).....	20
6.1.	Impacto medioambiental .....	20
6.2.	Clasificación de los microplásticos .....	21
6.3.	Fuentes de emisión de microplásticos .....	21
6.4.	Materiales .....	23
6.5.	Tipos de microplásticos por su forma .....	24
6.5.1.	<i>Microfibra</i> .....	24
6.5.2.	<i>Microesferas</i> .....	25
6.5.3.	<i>Fragmentos</i> .....	26
6.6.	Proceso para la separación de MP .....	26
6.6.1.	<i>Separación por densidad</i> .....	26
6.6.2.	<i>Elutriación</i> .....	27
6.6.3.	<i>Extracción</i> .....	28
6.6.4.	<i>Flotación por espuma</i> .....	28
6.6.5.	<i>Tamizado</i> .....	29

6.6.6. Filtración.....	29
6.7. Identificación y dificultades .....	30
6.7.1. Sistema estandarizado de clasificación por tamaño y color .....	30
6.7.2. Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier.....	31
6.7.3. Reflexión total atenuada .....	31
6.7.4. Espectroscopía Raman .....	32
6.7.5. Pirólisis – Cromatografía de gases – Espectrometría de masas.....	32
6.7.6. Microscopio electrónico de barrido.....	33
6.7.7. Espectroscopía de infrarrojo cercano.....	33
6.7.8. Resonancia magnética nuclear .....	33
7. FLOTACIÓN.....	35
7.1. Sistemas de flotación .....	36
7.2. Sistema de flotación por aire disuelto (DAF) .....	36
7.2.1. Configuraciones y sus ventajas .....	36
7.2.2. Parámetros de diseño y de control.....	39
8. TRATAMIENTO BIOLÓGICO POR FANGOS ACTIVOS.....	42
8.1. Proceso de fangos activos .....	42
8.2. Parámetros de diseño reactor biológico .....	44
8.3. Parámetros de diseño del decantador .....	45
9. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN .....	47
9.1. Datos iniciales.....	47
9.2. Diseño etapa de desbaste .....	49
9.2.1. Diseño de rejillas .....	49
9.2.2. Diseño de tamices.....	54
9.3. Diseño flotador.....	56
9.3.1. Parámetro A/S.....	57
9.3.2. Cantidad de aire inyectado.....	58
9.3.3. Dimensionado del tanque .....	58
9.3.4. Cálculo de las corrientes de salida .....	59
9.3.5. Dimensiones del calderín.....	60
9.4. Diseño reactor biológico .....	60
9.4.1. Producción de fango.....	61
9.4.2. Edad de fango .....	61
9.4.3. Dimensionado del reactor .....	61
9.4.5. Tiempo de retención hidráulico.....	62
9.4.6. Necesidad de oxígeno.....	62

9.4.7. Aireación.....	63
9.5. Diseño decantador secundario .....	64
9.5.1. Caudales de salida del decantador.....	64
9.5.2. Dimensionado del tanque de decantación .....	65
9.6. Diseño hidráulico.....	66
9.6.1. Diseño de tuberías.....	66
9.6.2. Válvulas .....	68
9.6.3. Bombas.....	69
9.6.4. Línea de fango .....	70
10. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	72
11. ESTUDIO ECONÓMICO .....	74
11.1. Costes de personal .....	74
11.2. Costes de energía .....	74
11.3. Costes de mantenimiento .....	75
11.4. Costes de la gestión de residuos .....	76
11.5. Costes totales.....	76
12. CONCLUSIONES .....	77

## ÍNDICE TABLAS

<i>Tabla 1: Estimación anual de emisión de microplásticos al medio acuático por las diferentes fuentes (ton/año) .....</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 2: Efectividad de eliminación de microplásticos en EDARs en distintos países .....</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 3: Valores límite de los parámetros controlados en las depuradoras según la Directiva 98/15/CE .....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 4: Fuentes de emisión de microplásticos por sectores .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 5: Ventajas e inconvenientes de un sistema de DAF sin recirculación .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 6: Ventajas e inconvenientes que presenta un sistema DAF con recirculación .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 7: Diferentes parámetros de diseño óptimos para diferentes investigadores .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 8: Composición típica de agua residual doméstica .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 9: Valores de contaminantes elegidos.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 10: Concentraciones de microplásticos para diferentes efluentes en la EDAR .....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 11: Rango de valores recomendados para los parámetros del diseño de rejillas de gruesos .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 12: Rango de valores recomendados para los parámetros de diseño de rejillas de finos ...</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 13: Caudales máximos de agua a tratar por distintos modelos de tamices .....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 14: Parámetros del flotador para su diseño .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 15: Valores habituales de los parámetros de diseño para los procesos de fangos activos .....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 16: Relación entre el diámetro y el calado en un decantador secundario .....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 17: Diámetros de las tuberías para cada sector.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 18: Pérdidas de carga para cada sector de tuberías .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 19: Pérdidas de carga localizadas debido a las válvulas .....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 20: Parámetros de diseño de las bombas.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 21: Datos para la elección de las bombas para fangos .....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 22: Costes referentes a la mano de obra.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 23: Costes referentes al gasto energético anual .....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 24: Costes referentes al mantenimiento de equipos e instalaciones por año .....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 25: Costes de la gestión de los residuos .....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 26: Costes totales anuales.....</i>	<i>76</i>

## ÍNDICE FIGURAS

<i>Figura 1: Distribución de porcentajes, en la Unión Europea, para cada tratamiento de los residuos plásticos .....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2: Ejemplos de tiempos de descomposición para diferentes plásticos .....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3: Diagrama de bloques de los distintos tratamientos del agua residual en una depuradora.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4: Comparativa de las distintas definiciones en rango de tamaños para cada tipo de plástico .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 5: Consumo global de fibras en 2019 .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 6: Método de separación por densidad .....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 7: Método de elutriación .....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 8: Método de flotación por espuma .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 9: Método de separación por tamizado .....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 10: Método de filtración.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 11: Esquema del código creado por el método de SCS .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 12: Método de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier .....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 13: Método de reflexión total atenuada .....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 14: Esquema de funcionamiento del método de Raman .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 15: Método Pyr-GC-MS .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 16: Esquema del método SEM.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 17: Funcionamiento del método RMN .....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 18: Equipo de flotación en una EDAR.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 19: Esquema de un sistema DAF sin recirculación .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 20: Esquema de un sistema DAF con recirculación .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 21: Curva de correlación entre los parámetros A/S y la cantidad de sólidos en suspensión .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 22: Esquema funcionamiento de sistema de fangos activos .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 23: Esquema del funcionamiento de un equipo de tamiz rotatorio.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 24: Diagrama de flujo del sistema de flotación DAF .....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 25: Volumen de control en el decantador .....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 26: Diagrama de Moody .....</i>	<i>67</i>

## 1. OBJETO DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto consiste en la realización del diseño de la línea de aguas de una depuradora que trata  $5000 \text{ m}^3/\text{d}$  de agua residual urbana haciendo especial hincapié en la eliminación de los microplásticos presentes en el agua residual mediante una etapa de flotación y disminuir así la emisión de microplásticos al medio ambiente.

Para alcanzar este objetivo se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Realizar una búsqueda bibliográfica sobre la problemática de los microplásticos en aguas residuales.
- Diseñar un proceso de flotación como tratamiento primario.
- Diseñar el proceso biológico de depuración por fangos activos.
- Realizar el diseño hidráulico de la instalación.
- Realizar el estudio económico y presupuesto de la instalación.

## 2. JUSTIFICACION

### 2.1. Justificación medioambiental

Con el aumento de la población mundial y de la 'calidad de vida', la producción de productos y materiales ha crecido. Esto no solo conlleva la producción masiva de productos sino también de los residuos que estos producen cuando se desechan o de los residuos que se generan en su producción.

Muchos de estos residuos son contaminantes, perjudiciales tanto para el medio ambiente como para las personas. Y uno de estos son los plásticos.

La producción de productos plásticos genera millones de toneladas de residuos plásticos y la capacidad para gestionarlos de forma correcta aún es bastante deficiente. Esta producción incontrolada de residuos plásticos termina como contaminantes en suelos, aire y en el agua.

Con la preocupación creciente por estos residuos plásticos y el aumento en los análisis para mejorar su gestión, especialmente en el medio acuático, se ha detectado en el agua la presencia de un gran número de microplásticos con diferentes formas, como fragmentos, perlas, fibras... Tal como se ha mencionado, la gestión/reducción de productos plásticos aún es ineficiente, por lo que en cuanto a la problemática de los microplásticos es más inexistente aún ya que es más complicado por su difícil identificación debido a su tamaño.

Por ello, es necesario el desarrollo de métodos que permitan reducir el contenido de microplásticos que llegan al medio ambiente, ya que su acumulación al ser menos visible se complica en entornos más grandes, como los océanos. Por ello es necesario identificar estos contaminantes antes de que lleguen al medio.

En 2015 la ONU se reunió para acordar los Objetivos de Desarrollo Sostenible a cumplir en los siguientes 15 años. Algunos de estos objetivos se centran en luchar contra la pobreza, la igualdad o la paz, y muchos otros se centran en la protección del planeta, entre ellos los relacionados con la producción y consumo responsable (ODS 12) o la protección de la vida en los diferentes ecosistemas terrestres mediante la protección de los bosques, combatir la desertificación o frenar la pérdida de la diversidad biológica (ODS 15).

Otro punto importante acordado entre estos objetivos y en el que se centra el presente trabajo, es asegurar un agua limpia y con un saneamiento correcto (ODS 6), en donde el papel de las depuradoras de aguas residuales es importante para garantizar que el agua llegue limpia tanto a océanos y mares como a los campos donde se usa como agua de riego. Este saneamiento se refiere tanto a toxinas, patógenos y otros contaminantes como los microplásticos.

Por todo ello, en este trabajo se pretende diseñar una línea de aguas con una etapa de flotación que mejore la separación de microplásticos. De esta forma la cantidad de microplásticos presentes en el agua residual depurada será menor y la facilidad de eliminación previa a su llegada al medio ambiente, aumenta.

## 2.2. Justificación académica

El presente trabajo corresponde al Trabajo de Fin de Grado (TFG) de la titulación de Grado en Ingeniería Química equivalente a 12 ECTS.

En este trabajo se pretende aplicar los conocimientos adquiridos durante el transcurso del grado, y su aplicación y desarrollo en un tema real y actual. Para ello, se utilizarán los conocimientos correspondientes a las asignaturas de Tecnología del medio ambiente, Control de contaminantes de la industria, Ciencia de materiales y Mecánica de Fluidos, entre otras.

## 3. ANTECEDENTES

### 3.1. Introducción

A medida que la humanidad ha evolucionado, ha ido buscando nuevos materiales para mejorar la calidad de vida. Los primeros “plásticos” que se encontraron fueron aquellos materiales naturales que presentaban una capacidad plástica. A partir de su descubrimiento, se empezó a modificar estos materiales naturales para obtener otros en los que esta capacidad fuese aumentada respecto a la original, hasta que a mediados del siglo XIX empezaron a surgir los primeros plásticos totalmente sintéticos [1].

Actualmente los plásticos se han consolidado en el ranking de los materiales más usados llegando a significar, incluso, un indicativo de una sociedad moderna.

La amplia gama de características que ofrecen, ya sea por los distintos tipos o por las distintas composiciones que existen dentro de cada tipo, conlleva una enorme variedad de aplicaciones, y por consiguiente, que cada año la cantidad de plástico que se produce vaya en aumento así como los residuos plásticos generados.

La gran cantidad de residuos plásticos producidos en las últimas décadas y su mínima degradabilidad ha contribuido a una acumulación de residuos en el medio ambiente, tanto en el medio acuático como en el medio terrestre, constituyendo uno de los principales problemas de contaminación en la actualidad.

Por su amplio campo de aplicaciones, la producción plástica en las últimas décadas ha ido en aumento, llegando a una producción mundial en el año 2018 de casi 360 millones de toneladas aumentando 9 millones desde el año anterior. Asia fue el continente que más contribuyó a esta producción de plásticos con más de la mitad (51%) encabezado por China con el 30% [2].

En el caso de Europa se produjo el 17% de la producción total (61,8 millones), disminuyendo 2,6 millones su producción respecto al año anterior. En cuanto a la producción de residuos plásticos en Europa, las industrias que más han contribuido son, en primer lugar, la producción de envases con un 39,9%, seguido de la industria de construcción y edificación con un 19,8% [2].

Aunque con los años la mayoría de la población mundial es consciente de la contaminación que generan los residuos en general, y en concreto, los residuos plásticos, la cantidad que se recoge para tratar aún es muy inferior a la deseada.

En Europa donde se produjeron casi 62 millones de toneladas de plásticos en el año 2018, apenas se recogieron 29 millones de toneladas de residuos plásticos. El tratamiento que recibieron estos se reparte como muestra la Figura 1: un 32,5% se destinó a reciclaje, un 42,6% a recuperación energética y un 24,9% se llevó a vertederos [2].

## Tratamiento de residuos plásticos en 2018



**Figura 1:** Distribución de porcentajes, en la Unión Europea, para cada tratamiento de los residuos plásticos (Elaboración propia)

A pesar de los datos, debe recalcar que los porcentajes de reciclaje y recuperación energética de los residuos plásticos aumentan todos los años, mientras que el de vertedero va descendiendo.

Para el caso concreto de España, en el año 2018, se recogieron 2,6 millones de toneladas de residuos plásticos y fue el primer año donde el porcentaje de residuos destinados a reciclar fue superior al porcentaje de residuos llevados a vertederos, con un 41,9% y un 38,8% respectivamente.

La característica principal que llamó la atención de este material y por el que su producción no ha parado de crecer en las últimas décadas es su durabilidad, es decir su largo tiempo de descomposición (ver Figura 2). Aunque al mismo tiempo es considerado su principal problema ya que algunos pueden tardar centenares de años en descomponerse y es esta razón la que lo determina como un contaminante ambiental.



**Figura 2:** Ejemplos de tiempos de descomposición para diferentes plásticos [3]

Además, la ligereza es otra característica que contribuye a su definición como un importante contaminante ya que le permite una gran dispersión y la facilidad para llegar a mares y océanos.

Los residuos plásticos llevan acumulándose décadas en el medio ambiente, y aunque su producción cada vez es menor, la acumulación sigue creciendo y perjudicando los recursos naturales.

Por parte de las administraciones poco se ha hecho contra este tipo de contaminación y es ahora cuando empiezan a surgir políticas centradas en reducir los residuos de envases plásticos, así como la reducción del uso de plásticos de 'usar y tirar'. Un ejemplo de ello es la obligación de cobrar las bolsas de plástico en supermercados que se impuso en España a partir de 2018, y que tiene como objetivo la prohibición de la totalidad de las bolsas no biodegradables a partir de 2021.

### 3.2. Microplásticos en el agua residual

En los últimos años el aspecto medioambiental más preocupante ha estado en torno a la acumulación de plásticos en los océanos (ver Tabla 1). Los plásticos de gran tamaño que llegan a

los océanos suelen acabar en el fondo del mar y en cuanto a los más pequeños, flotan pudiendo llegar a ser consumidos por especies marinas.

Estos plásticos más pequeños son conocidos como microplásticos y en los últimos años han empezado a surgir nuevas investigaciones sobre ellos declarándolos un nuevo contaminante.

La tardanza en la concienciación de la sociedad hacia la contaminación de este tipo de plásticos, debido a su menor visibilidad, ha producido que se haya estado acumulando y continúe haciéndose, ya que su gestión aún no está muy regulada.

Al igual que los plásticos, los microplásticos siguen acumulándose en el medio ambiente pero además tienen una mayor incidencia en la fauna ya que por su tamaño más pequeño son ingeridos por animales, principalmente en el medio acuático, y que acaban afectando a toda la cadena trófica [4].

**Tabla 1:** Estimación anual de emisión de microplásticos al medio acuático por las diferentes fuentes (ton/año) [5]

PAÍS	Población ( $\times 10^6$ )	Detergentes	Cosméticos	Césped sintético	Desgaste neumáticos	Pinturas	Fibras de lavado
Bélgica	10,952	1,3	94	7,9	1851	276	370
Dinamarca	5,561	0,7	48	8,2	940	140	188
Finlandia	5,375	0,6	46	3,7	908	135	182
Francia	63,128	7,6	540	60,9	10669	1588	2134
Alemania	81,752	9,8	700	70,6	13816	2057	2763
Islandia	0,318	0,0	3	0,8	54	8	11
Irlanda	4,481	0,5	38	1,4	54	113	151
Luxemburgo	0,512	0,1	4	0,2	87	13	17
Países bajos	16,656	2,0	143	58,5	2229	419	563
Noruega	4,92	0,6	42	25,3	831	124	166
Portugal	10,637	1,3	91	-	1798	268	360
España	46,153	5,5	395	56,5	7800	1161	1560
Suécia	9,416	1,1	81	11,9	1591	237	318
Suiza	7,867	0,9	67	3,2	1330	198	266
Reino Unido	62,436	7,5	534	16,9	10552	1571	2110
<b>TOTAL</b>	<b>326</b>	<b>39,6</b>	<b>2825</b>	<b>326</b>	<b>54508</b>	<b>8306</b>	<b>11160</b>

El agua es el recurso natural más importante y es un componente esencial para toda forma de vida, ya que es el medio donde se producen las reacciones químicas en los seres vivos. De ahí la necesidad de que sea un recurso a proteger. Aunque se trata de un recurso renovable, debido a la contaminación puede llegar a ser perjudicial para la salud y, por tanto, su uso se vuelve limitado.

Una de las fuentes más importantes de emisión de microplásticos al medio es mediante el agua y el fango, producidos y tratados, en las depuradoras de aguas residuales (EDAR), tanto urbanas como industriales.

Los microplásticos se consideran, de forma general, plásticos con un tamaño inferior a los 5 mm. Existen dos categorías de microplásticos distintos: los primarios, que se producen directamente como tales (con un tamaño menor de 5 mm), y los secundarios, producidos por degradación de plásticos de un tamaño mayor.

Los estudios sobre la detección y separación de microplásticos en EDARs indican que la efectividad de eliminación depende del tamaño. Como se puede observar en la Tabla 2 [5], el rango de eficacia en la eliminación de microplásticos suele ser alto, aunque varía de unos estudios a otros, principalmente porque los métodos usados en cada estudio varían para cada caso, por lo que los resultados pueden ser difíciles de comparar entre sí.

En cuanto a los datos mostrados en la Tabla 2, se debe indicar que en el caso del porcentaje nulo (caso de Heenvliet, Holanda) podría ser excluido de las estadísticas ya que la concentración de microplásticos del efluente (salida) es mayor que en el influente (entrada), posiblemente por un error en la transcripción de la tabla o en el método de detección en el proceso experimental.

**Tabla 2:** Efectividad de eliminación de microplásticos en EDARs en distintos países [5]

CONCENTRACIÓN MICROPLÁSTICOS ( $\text{N}^\circ/\text{m}^3$ )			
EDAR	INFLUENTE	EFLUENTE	% RETIRADO
París, Francia	290.000	32.000	88,9
Viikinmaki, Finlandia	180.000	13.800	92,3
Lysekil, Suecia	10.700	4	99,9
St. Petersburgo, Rusia	467.000	160.000	65,7
Fuglevik, Noruega	68.000	6.000	91,1
Tonsberg, Noruega	51.000	4.500	91,6
Vestfjorden, Noruega	103.000	3.000	97,1
Glasgow, Irlanda	15.700	250	98,4
Destelbergen, Bélgica	17.000	5.000	80,0
Heenvliet, Holanda	87.000	89.000	0,0
Westpoort, Holanda	910.000	91.000	90,0
MEDIA	190.940	37.255	81

A partir de los datos de la Tabla 2, debe tenerse en cuenta que la cantidad de microplásticos contemplados es por  $\text{m}^3$ , suponiendo una cantidad de entrada diaria a la depuradora de  $5000 \text{ m}^3$ , implicarían casi dos millones de  $\text{m}^3$  anuales, por lo que las cantidades de microplásticos ascenderían a los 70 millones de media en la entrada y a una media en la salida de más de 13,5 millones. Con lo cual, aunque el porcentaje medio de eliminación de microplásticos sea superior al 80%, siguen liberándose millones de microplásticos al medio ambiente.

En el caso de España, pocos estudios se han realizado para ver el contenido de microplásticos en las depuradoras. El más importante es el de la depuradora de Cartagena, realizado en 2017.

En él se analizaron, aproximadamente, 200 L de agua residual (el 13,7% a la entrada de la planta, 13,4% a la salida del decantador primario, 34,2% a la salida del reactor biológico y el 38,7% en el

efluente de salida) y 5 kg de fango, tanto del fango primario como del fango deshidratado al 50%. De estas muestras se encontraron unas 870 partículas de menos de 5 mm de las cuales casi el 46% se trataban de microplásticos (de los cuales el 50,2% fueron fragmentos, el 32,7% films, un 14,2% microesferas, un 2,6% de fibras y un 0,3% de espumas de plástico). Entre la cantidad de microplásticos a la entrada y a la salida del efluente se calculó un factor de eliminación del 92,7% [6].

Otras investigaciones fuera de la Unión Europea han sido el estudio de Gies et al. en el año 2018 en una depuradora de Vancouver con un porcentaje de eliminación del 99% entre el tratamiento primario y el secundario, o el estudio de Gündoğu et al., también en 2018, en una depuradora de Turquía con una reducción de microplásticos del 91% considerando la entrada y el efluente secundario [7].

En términos legislativos o propuestas en lo referente a los microplásticos, apenas hay leyes o recomendaciones a lo largo del mundo que controlen su producción y su vertido.

Según un comunicado de la Unión Europea [8] (*Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions a European Strategy for Plastics in a Circular Economy*) se estima que entre 75.000 y 300.000 toneladas de microplásticos anuales se emiten al medio ambiente solo en la Unión Europea. A través de este comunicado se informa que se han invertido 200 millones en I+D, la mitad para desarrollar materias primas alternativas, y el resto se repartirá para desarrollar plásticos más inteligentes y reciclables, procesos de reciclaje más eficientes o la eliminación de contaminantes peligrosos en los plásticos. En el Anexo I de dicho comunicado, se encuentran las medidas a tomar en un futuro, algunas de ellas destinadas a los microplásticos.

Una de estas medidas que afectan directamente a los microplásticos es la iniciativa que propone la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA) a través del reglamento REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de las Sustancias Químicas) que se centra en reducir el número de fibras y fragmentos de microplásticos que se añaden intencionadamente a productos cosméticos y de cuidado personal (por ejemplo, pasta de dientes, espumas de afeitar, geles...) que solo se añaden por conveniencia y beneficio del productor, y que no aportan nada al producto ni al consumidor. Según la ECHA entre 10.000 y 60.000 toneladas de los MP que son añadidos intencionadamente acaban en el medio ambiente y tardarán miles de años en desaparecer [9]. A día de hoy, esta propuesta presentada por la ECHA sigue sin ser legislada y está en proceso de discusión, pero se estima que, si llega a aprobarse, se podrá adoptar a partir de 2022 [10].

Otras iniciativas tomadas son por ejemplo las de California (Estados Unidos), donde se realizó un estudio para ver la cantidad de microplásticos presentes en el mar. A partir de los resultados, en los que se detectaron microfibras y microplásticos en todas las muestras, se firmaron dos proyectos ley. El primero en el que se exigían datos anuales e informes sobre la concentración de microplásticos y cuyos datos se harían públicos con el objetivo de concienciar a la población. En el segundo, se implementó una estrategia para buscar soluciones contra la contaminación microplástica [11].

Otra medida que se pretendió tomar en California, pero que se quedó en el proceso, fue la propuesta de ley de etiquetar la ropa sintética y así concienciar al consumidor, de forma que fuera consciente de que el producto que adquiría estaba hecho de microfibras plásticas [12].

A pesar del gran problema que conlleva la generación de residuos plásticos apenas se han instaurado controles sobre la contaminación que producen y, la mayoría de las normativas que lo controlan están en procesos de aprobación o simplemente solo son recomendaciones. No hay prohibiciones estrictas ya que este problema es difícil de solucionar pues se desconocen cuáles serían las mejores formas de lidiar con él. Es por ello, que aún es necesario la realización de estudios sobre los residuos microplásticos para conocer mejor el problema y saber cuál es la mejor forma de gestionarlos.

A raíz de las pocas iniciativas legislativas a nivel mundial existen muchas organizaciones ecologistas como Greenpeace o la asociación European Climate Foundation (ECF), que luchan contra el cambio climático y por una mayor regulación y control de la contaminación producida, para proteger el medio ambiente.

Si bien estas organizaciones consiguen concienciar a la población y a los gobiernos, aún es necesario una legislación medioambiental clara y uniforme en todo el planeta.

## 4. LEGISLACIÓN

El problema de la contaminación se ha convertido en un tema relevante en todo el mundo. El interés y la preocupación por los recursos del planeta han ido creciendo a medida que la necesidad de ellos aumentaba y su cantidad disminuía.

Las organizaciones e instituciones han empezado a poner restricciones a la emisión y gestión de los residuos contaminantes, pero aún queda mucho por hacer ya que estas siguen siendo mínimas e insuficientes para el gran problema que suponen.

Como se ha comentado anteriormente, el problema de la contaminación en el medio ambiente, y sobre todo en el medio acuático debido a los residuos plásticos, ha ido en aumento. Por suerte, a medida que el problema aumenta también lo hace el interés en él por parte de la población y de la comunidad científica. Este interés ha conseguido que el entorno político empiece a buscar formas de gestionar esta contaminación regulando los procesos en los que se produce y buscando formas de reducir su emisión al medio ambiente.

### 4.1. Legislación Europea

En primer lugar, en el campo de control de las aguas residuales se encuentra la **Directiva 91/271/CEE** del Consejo del 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, en el que se garantiza un tratamiento adecuado de dichas aguas antes de su vertido.

Esta directiva, tiene como objetivo la recogida, el tratamiento y el vertido de las aguas residuales urbanas, y el tratamiento y vertido de las aguas residuales de algunos sectores industriales. Y de esta forma proteger el medio ambiente de los efectos negativos de los vertidos.

Con esta directiva se controlan las características de un vertido procedente de una depuradora, principalmente los parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos en suspensión, contenido en fósforo y contenido en nitrógeno (estos dos últimos en cuanto a zonas sensibles). Los valores límites definidos por esta directiva para los parámetros nombrados vienen mostrados en la Tabla 3.

Posteriormente, esta directiva fue modificada por la **Directiva 98/15/CE** de la Comisión de 27 de febrero de 1998 en la que se modificó el Anexo I de la **Directiva 91/271/CEE**, que detalla las especificaciones para los parámetros referentes al control de vertidos de las aguas residuales en zonas sensibles.

**Tabla 3:** Valores límite de los parámetros controlados en las depuradoras según la Directiva 98/15/CE

Parámetro	Concentración (ppm)
DBO <sub>5</sub>	25
DQO	125
SS	
2.000 – 10.000 he	65
> 10.000 he	35
Si además se trata de una zona sensible, también deberá cumplir:	
<b>Fósforo total</b>	
10.000 – 100.000 he	2
> 100.000 he	1
<b>Nitrógeno total</b>	
10.000 – 100.000 he	15
> 100.000 he	10

En cuanto al presente trabajo, el diseño de la línea de agua se realizará contemplando lo que marca la *Directiva 91/271/CEE*, ya que se supondrá un vertido a zona no sensible.

En el caso particular de la gestión de fangos producidos en las depuradoras de aguas residuales, aunque su tratamiento no es el objetivo de este trabajo, cabe nombrar que queda controlado por la *Directiva 86/278/CEE* del Consejo, de 12 de junio de 1986 relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura. Aunque esta directiva controla principalmente las cantidades de metales pesados en los fangos, no se contempla nada sobre plásticos o microplásticos presentes.

A pesar de que la normativa referente a los envases plásticos y los residuos de envases no afectan de forma directa al diseño de la línea de agua, algunos microplásticos provienen de ellos por lo que a continuación se hará referencia a algunas directivas que afectan a este tema y a la protección del medio ambiente frente a los contaminantes.

En primer lugar, en cuanto al control de residuos de envases, este viene regulado por la *Directiva 94/62/CE* del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, adoptada para prevenir o reducir el impacto en el medio ambiente a causa de los envases y de sus residuos. Esta directiva ha sido modificada por otras, siendo las más significativas la *Directiva 2018/852* en cuanto al reciclaje y el sistema de devolución, recogida y valorización, y la *Directiva 2015/720* en lo que se refiere a la reducción del consumo de bolsas de plástico ligeras.

También se debe hacer referencia a la *Directiva 2008/98/CE* del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, modificada por la *Directiva (UE) 2018/851* del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018. Esta tiene como objetivo establecer medidas destinadas a

proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de la generación de residuos y de sus impactos negativos.

Finalmente, nombrar la **Directiva 2010/75/UE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).

## 4.2. Legislación Nacional

En cuanto a nivel nacional, cabe nombrar en primer lugar la transposición de la *Directiva 91/271/CEE*, 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, y el **Real Decreto 509/1996**, de 15 de marzo, que constituye el desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, donde se incorporan los anexos de la *Directiva 91/271/CEE* que no habían sido añadidos previamente. Posteriormente, fue modificado por el **Real Decreto 2116/1998** que añadió los cambios de la *Directiva 98/15/CE* en lo referente a las zonas sensibles.

En el caso específico del control de lodos queda regulado por el **Real Decreto 1310/1990**, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de lodos de depuración en el sector agrario y es la transposición de la *Directiva 86/278/CEE*, además de por la **Orden AAA/1072/2013**, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario donde se actualiza el contenido del Registro Nacional de Lodos y la información que deben proporcionar las instalaciones depuradoras de aguas residuales y las instalaciones de tratamiento de los lodos de depuración. Al igual que se ha comentado para el caso de la directiva, a nivel nacional el control que se tiene sobre el vertido de fangos tampoco tiene en cuenta la presencia de microplásticos.

Respecto a la gestión de residuos a nivel nacional está la transposición de la *Directiva 2008/98/CE*, la **Ley 22/2011** que tiene como objetivo prevenir la generación de residuos y mitigar su impacto tanto en el medio ambiente como en la salud.

El control de la contaminación viene regulado por el **Real Decreto Legislativo 1/2016**, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación.

En relación con otra de las Directivas anteriores, cabe mencionar que en 2018 se transpuso la *Directiva 2015/720* como **Real Decreto 293/2018**, de 18 de mayo, sobre reducción del consumo de bolsas de plástico y por el que se crea el Registro de Productores. Este Real Decreto tiene como objeto reducir el consumo de plástico y reducir los impactos adversos en el medio ambiente principalmente en ecosistemas acuáticos.

## 4.3. Legislación Autonómica

En el ámbito autonómico la principal ordenanza en cuanto a la contaminación es la **Ley 6/2014**, de 25 de julio, de Prevención, Calidad y Control Ambiental de Actividades en la Comunitat Valenciana. Esta ley tiene como objetivo establecer el régimen jurídico al que se someten las actividades

incluidas en el ámbito de aplicación de dicha disposición en función de su potencial incidencia ambiental.

Para las aguas residuales vienen reguladas por la **Ley 2/1992**, de 26 de marzo, del Gobierno Valenciano, de saneamiento de aguas residuales de la Comunidad Valenciana, teniendo como objetivo garantizar una actuación eficaz entre las administraciones públicas en cuanto a evacuación, tratamiento y reutilización de las aguas residuales.

También en relación con las aguas residuales, pero más en el aspecto económico, se tienen los cánones de saneamiento que vienen determinados por el **Decreto 266/1994** modificado por el **Decreto 193/2001**.

## 5. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA DE AGUAS Y DE FANGOS DE UNA EDAR

Las aguas residuales contienen todo tipo de contaminación, desde microorganismos patógenos a contaminantes sólidos como papel o plástico. El objetivo de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), es proteger el medio ambiente mediante el tratamiento de las aguas residuales (urbanas e industriales) de aquellos efectos negativos producidos por su vertido.

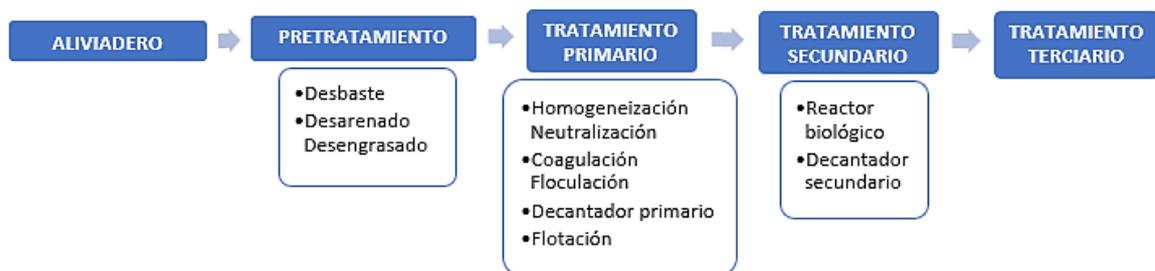
Los efectos negativos que pueden causar los vertidos de aguas residuales sin tratamiento son:

- *Reducción del nivel de oxígeno:* la materia orgánica presente en las aguas residuales es degradada por los microorganismos consumiendo el oxígeno presente en el medio acuático receptor (río, lago, mar...) que originalmente está disponible para la fauna y flora del medio.
- *Riesgo a la salud pública* debido a los patógenos que presentan las aguas residuales.
- *Eutrofización:* la presencia en exceso de nutrientes produce un crecimiento excesivo de algas que impedirá la fotosíntesis de la fauna seguido de un aumento del consumo de oxígeno cuando los microorganismos se alimenten de la vegetación muerta.
- *Toxicidad química* producida por algunos compuestos, principalmente de metales pesados.
- *Deterioro estético* del medio acuático al cual se vierten las aguas residuales, esto influirá en los aspectos económicos y sociológicos de la zona de vertido.

El tratamiento que ofrecen las depuradoras se puede separar en dos grupos o fases: la parte del tratamiento del agua (línea de aguas) y la parte del tratamiento de los fangos generados en la línea de aguas (línea de fangos).

### 5.1. Línea de Aguas

El agua residual suele pasar por cuatro tratamientos (tras pasar por el canal de entrada que puede actuar de aliviadero) antes de poder ser vertida al cauce (Figura 3).



**Figura 3:** Diagrama de bloques de los distintos tratamientos del agua residual en una depuradora (elaboración propia)

### 5.1.1. Aliviadero

En primer lugar, el agua residual pasa por un aliviadero con el objetivo de eliminar el exceso de agua reduciendo la cantidad que pasará a las siguientes etapas. De esta forma poder obtener, en los procesos posteriores, un mayor rendimiento.

### 5.1.2. Pretratamiento

A continuación, pasa al pretratamiento, el objetivo del cual es eliminar la contaminación de mayor tamaño (aceites, grasas, sólidos grandes, arena...). Con este proceso se consigue evitar o reducir posibles obstrucciones y/o abrasión en las etapas posteriores.

En esta etapa del tratamiento puede haber uno o los dos de los procesos siguientes: el desbaste (mediante rejas o tamices) en el que se consiguen eliminar grandes objetos, y el desarenado o desengrase, que separarán arenas y grasas (partículas de más de  $200 \mu\text{m}$ ) pero no la materia orgánica.

### 5.1.3. Tratamiento primario

La tercera etapa se trata del tratamiento primario. En esta etapa se consigue eliminar sólidos en suspensión y materia orgánica por medios físicos, gracias a su tamaño y densidad. Aunque principalmente se trata de una etapa de tratamiento físico, también puede incluir algún proceso donde se eliminan coloides usando productos químicos.

Las etapas que se pueden presentar en el tratamiento primarios son:

- *Balsa homogeneización-neutralización*: se mezcla el agua para uniformar sus propiedades. También se utiliza para ajustar el pH y eliminar metales pesados antes de pasar al tratamiento secundario.
- *Coagulación-floculación*: Las suspensiones coloidales en el agua residual son muy estables por lo que es necesario desestabilizarlas y poder aglomerarse. No es una etapa que siempre esté presente, pero se suele usar para reducir el tamaño del posterior decantador y reducir costes. Mediante la coagulación se desestabilizan las partículas para que sedimenten y con la floculación se consigue la unión de las partículas para formar macroflóculos.
- *Decantación*: depósito donde se separan los fangos primarios del agua residual, los cuales se depositan en la parte inferior. En esta etapa se reducen los sólidos sedimentables y la materia orgánica debido a la naturaleza orgánica de parte de los sólidos sedimentados y al arrastre de materia orgánica en la sedimentación.
- *Flotación*: tratamiento físico en el que se separan las partículas más ligeras retirándose de la superficie mediante una rasqueta. Se elimina también una parte de los sólidos en suspensión.

#### 5.1.4. Tratamiento secundario

Se trata de un tratamiento biológico donde los microorganismos son capaces de eliminar la materia orgánica mediante su oxidación e incorporación a la célula para su crecimiento.

En este tratamiento también se acaban de eliminar los sólidos en suspensión que quedan de las fases anteriores y se continúa reduciendo la materia orgánica disuelta presente en el agua, medida a través de los parámetros  $\text{DBO}_5$  (demanda bioquímica de oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno). También se eliminan nutrientes en el caso de que se vaya a verter en zonas sensibles.

Los tratamientos pueden ser aerobios o anaerobios dependiendo si interviene oxígeno o no, respectivamente. Los procesos aerobios pueden ser:

- *Fangos activos*: se compone de un reactor de tanque agitado donde los microorganismos se encuentran en suspensión en contacto con el agua residual, seguido de un decantador secundario para la separación agua-microorganismos. Este proceso es el más empleado.
- *Lechos bacterianos o filtros percoladores*: se suele usar para poblaciones más pequeñas con un caudal menor ya que su rendimiento es más bajo que el tratamiento de fangos activos. Se pasa el agua residual por un relleno de alta superficie específica, formando los microorganismos una capa sobre ellos denominada biopelícula. Después, el agua residual depurada y los microorganismos desprendidos de la biopelícula se dirigen al decantador.
- *Contactador biológico rotativo (biodiscos/biocilindros)*: Al igual que en los lechos bacterianos, los microorganismos crecen en forma de película. El agua pasa de forma horizontal en un tanque con discos que están medio sumergidos. Al girar está en contacto con el aire garantizando que el proceso sea aerobio.

Al finalizar esta etapa se produce la separación de los fangos en el decantador secundario, dando resultado a los conocidos como fangos secundarios cuyo contenido en sólidos es menor que el de los fangos primarios.

#### 5.1.5. Tratamiento terciario

Por último, el agua residual pasará al tratamiento terciario. Este tratamiento se suele utilizar en el caso de que se quiera reutilizar el agua, y así asegurar que se cumple la legislación.

Su objetivo es eliminar sólidos en suspensión (mediante filtros de arena y microfiltración), materia orgánica y patógenos (con métodos de ultrafiltración, cloración u ozonización) que no hayan sido retenidos en los tratamientos anteriores.

## 5.2. Línea de Fangos

El tratamiento de fangos recogidos en el tratamiento primario (fangos primarios) y en el tratamiento secundario (fangos secundarios) tiene como objetivo reducir su volumen (por

concentración y deshidratación) y reducir el poder de fermentación que presentan (mediante la estabilización de la materia orgánica que poseen).

Los fangos primarios están formados principalmente por partículas sólidas y, en cambio los secundarios, al provenir de un proceso biológico, están compuestos principalmente de biomasa [13].

El proceso de tratamiento difiere dependiendo de la cantidad de población a la que corresponde la depuradora (número de habitantes equivalentes), pero la mayoría de los procesos están siempre presentes, variando el orden en el que tienen lugar.

Los cuatro procesos utilizados para la estabilización de los fangos son:

- *Concentración*: Este proceso se realiza mediante etapas de espesamiento o flotación por aire disuelto, este último principalmente para fangos secundarios. El objetivo es reducir el contenido de agua en los fangos.
- *Estabilización por procesos de digestión (aerobia o anaerobia) o incineración*:
  - Digestión aerobia: se trata de una aireación prolongada (mayor de 15 días) de la mezcla de fangos primarios y secundarios, en el que se pretende destruir las células y reducir los sólidos en suspensión volátiles. Es un proceso sencillo, pero con un alto gasto energético.
  - Digestión anaerobia: se suele usar en depuradoras que presenten mayor cantidad de fangos a tratar, aunque es un proceso más inestable y necesita mayor tiempo de actuación.
  - Incineración: se usa fundamentalmente para plantas de tratamiento grandes (más de 100.000 habitantes equivalentes). Su objetivo es la eliminación total del agua (deshidratar) pero también la eliminación de la materia orgánica (combustión). Es necesario que los fangos hayan pasado antes por un proceso de deshidratación. Algunos ejemplos de equipos utilizados son: horno de hogar múltiple, atomizador, horno rotatorio o de lecho fluidizado.
- *Acondicionamiento*: en esta etapa se pretende mejorar la posterior deshidratación de los fangos, rompiendo la estabilidad coloidal para aumentar el tamaño de los flóculos mediante un acondicionamiento químico (con reactivos inorgánicos como la cal o el  $\text{FeCl}_3$ , o con reactivos orgánicos como los polielectrolitos) o con un acondicionamiento térmico.
- *Deshidratación*, algunos equipos o procesos para disminuir la cantidad de agua presente en los fangos son:
  - Era de secado: es el tratamiento más económico y se usa para plantas de tratamiento pequeñas. Consiste en un lecho de arena y grava donde se depositan los lodos y se deja que percole. Además, el agua es eliminada por evaporación por mecanismos de radiación y convección.
  - Filtro a vacío (tambor rotatorio): es el más usado para secar lodos. Se aplica el vacío desde el centro del tambor rotatorio reteniendo los lodos alrededor del tambor formando una torta.

- Filtros prensa (de placas o de banda): se obtiene una torta más seca que con los de vacío lo que es conveniente si se va a incinerar posteriormente.
- Centrifugación: el tambor gira a gran velocidad y se emplea la fuerza centrífuga para compactar el lodo en las paredes y el agua se queda en el centro.
- Secado térmico: proceso donde se pone en contacto el fango con aire muy caliente, de forma que se evapora el agua del fango que no puede separarse por medio mecánicos. Se obtienen fangos con sequedades superiores al 90%, pero se necesita una gran cantidad de calor.

Una vez pasado por estos tratamientos, estos fangos ya estabilizados, son usados principalmente para uso agrícola (aproximadamente el 80% de los lodos generados acaban en los campos) siempre cumpliendo los parámetros especificados en la *Directiva 86/278/CEE*. Si bien, la presencia de compuestos persistentes y patógenos en los mismos ha hecho que algunos países de la UE como Alemania limiten este uso.

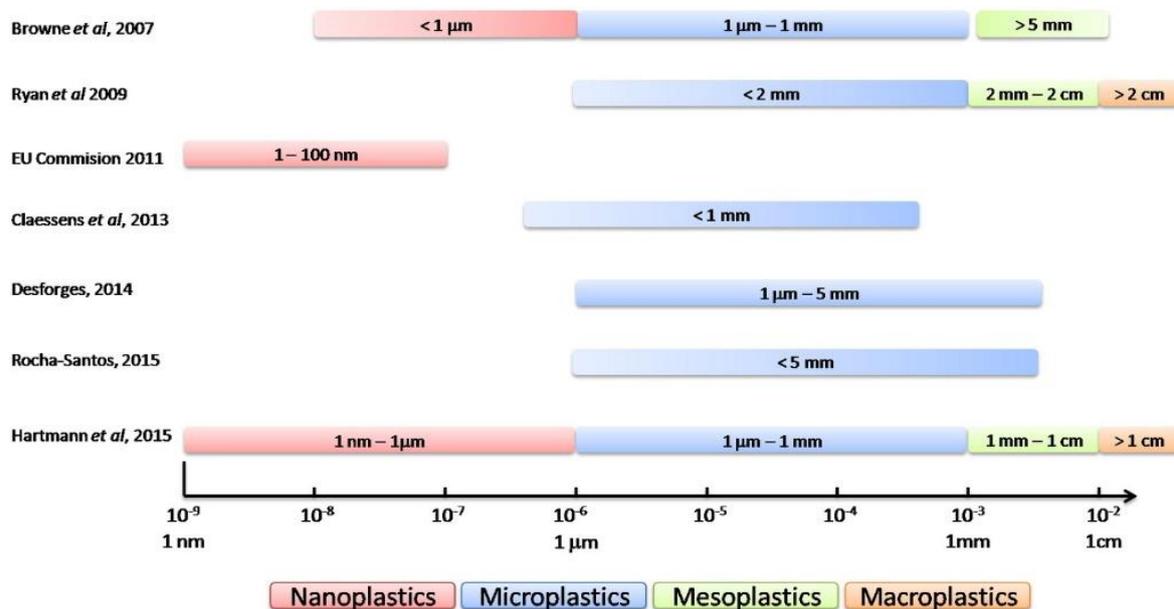
Otro destino final es el de los vertederos, sin embargo, este es el menos recomendado y debe cumplir la legislación de vertidos a vertedero. En los últimos años se ha conseguido la reducción de esta última opción como destino de los fangos, llegando actualmente a que sólo el 8% de los fangos acaben allí. La incineración es otra opción que va aumentando con los años y ahora supone el 4% de los fangos totales [14].

## 6. MICROPLÁSTICOS (MPs)

En este apartado se amplía la revisión bibliográfica sobre microplásticos que se ha desarrollado en el apartado 3.2, ahondando en su clasificación y en las técnicas para su separación y posterior análisis.

Se conoce con el término de plásticos a aquellos materiales compuestos por polímeros a los que se le ha añadido aditivos para obtener las características que se desean. Se caracterizan por su capacidad de moldear, de ahí el nombre plástico, que proviene del griego «plastikos» [1].

Como se ha comentado en el apartado 3.2, el término microplástico se refiere a aquellos plásticos que presentan un diámetro menor de 5 mm, aunque, su definición respecto el rango de tamaños, varía según los estudios, algunas definiciones los declaran aquellos plásticos con menos de 1 mm de longitud. Algunas de estas diferencias en los rangos de tamaño se muestran en la Figura 4.



**Figura 4:** Comparativa de las distintas definiciones en rango de tamaños para cada tipo de plástico [15]

### 6.1. Impacto medioambiental

Debido al pequeño tamaño que presentan, hasta hace poco, los microplásticos no habían sido considerados un problema real para el medio ambiente. Sin embargo, en la última década, la preocupación ha ido en aumento a la vez que las investigaciones demostraban su mayor aparición en diversos ecosistemas, siendo de especial interés los ecosistemas acuáticos.

Estos microplásticos son ingeridos por especies de cualquier nivel de la cadena trófica. La ingesta por parte de los peces y de especies marinas filtradoras como las ostras o los mejillones, les puede producir problemas estomacales. Además, se ha detectado la presencia en especies crustáceas planctónicas (como por ejemplo *Daphnia magna*) de fibras de poliestireno que puede causarles la muerte [16].

A parte del problema de la ingestión por parte de organismos marinos, se debe tener presente que los (micro)plásticos contienen aditivos químicos que pueden ser tóxicos, y existen análisis e investigaciones en los que se ha demostrado que son capaces de transportar patógenos y sustancias como pesticidas.

Se debe tener en consideración que los estudios indican la dificultad de identificar y cuantificar las consecuencias para el medio ambiente y para la salud humana, ya que los (micro)plásticos no son un grupo homogéneo (cada uno presenta diferentes concentraciones, aditivos, formas, tamaños...) y eso puede influir en los efectos biológicos que puedan causar [4].

## 6.2. Clasificación de los microplásticos

Los microplásticos pueden clasificarse en dos categorías según su origen: primarios o secundarios. Los microplásticos primarios son lo que se fabrican como tal y se usan para hacer productos más grandes o directamente se emplean para la formulación de productos cosméticos como exfoliante o pasta de dientes. En cuanto a los secundarios se forman por la desintegración de plásticos más grandes [4].

Esta degradación dependerá de diferentes factores químicos, físicos y biológicos. Los más importantes son:

- Degradación física: esta degradación se puede deber a procesos de abrasión, calentamiento y enfriamiento, congelación y descongelación...
- Fotodegradación: principalmente por luz ultravioleta. Este proceso no será tan importante para aquellos plásticos que se encuentren en el fondo del mar ya que la exposición a los rayos solares es menor.
- Degradación química: procesos como la oxidación o la hidrólisis
- Biodegradación por organismos (bacterias, hongos, algas...)

Estos procesos desintegrarán los plásticos (macroplásticos o mesoplásticos) en microplásticos, y si el proceso continúa reduciendo su tamaño, acabarán transformándose en nanoplásticos.

## 6.3. Fuentes de emisión de microplásticos

A parte de la degradación de los plásticos por parte del medio ambiente comentadas anteriormente (biodegradación, fotodegradación, oxidación...), existen otras formas en que los microplásticos lleguen al medio, especialmente al acuático.

Estas fuentes de emisión son muy variadas y complicadas de determinar. Debido a esta diversidad, aún deben hacerse muchos estudios para saber cómo contribuye cada sector, de qué forma acaban los microplásticos en el mar y qué opciones hay para mitigar la contaminación que producen.

En la Tabla 4 se muestran algunos ejemplos de fuentes de emisión clasificadas por diferentes sectores tanto industriales como domésticos, y proponen distintas formas que podrían adoptarse para controlar las emisiones.

A pesar de todos estos posibles caminos de llegada al medio ambiente, según los estudios realizados hasta el momento, las dos principales fuentes de emisión de microplásticos son los procesos no controlados de abrasión, como los sufridos por los neumáticos de los automóviles, y la degradación de plásticos de mayor tamaño.

**Tabla 4:** Fuentes de emisión de microplásticos por sectores [4]

SECTOR	FUENTES DE EMISIÓN	POSIBLES MEJORAS/MEDIDAS
Producción	Microplásticos en cosméticos	Eliminarlos de los productos. Reemplazarlos por alternativas benignas.
	Pellets de preproducción mal administrados	Regulación en el manejo de los pellets. Ej: Operation Clean Sweep®
Comercialización	Abrasión industrial	Mejora en la contención, recuperación y necesidad de alternativas.
	Emisión de microplásticos en instalaciones de la industria textil	Mejoras en la etapa de filtración
	Agricultura: películas, macetas y tuberías degradadas.	Mejora en la recuperación. Plásticos biodegradables.
Consumidor	Desgaste de neumáticos	Avances tecnológicos; cambios en las superficies de carretera.
	Residuos domésticos de pequeños artículos (filtros de cigarrillos, esquinas rotas de embalaje, envoltorios pequeños de película...)	Multas una mala gestión de la basura, educación del consumidor, estrategias en la gestión de residuos como la EPR (Extended Producer Responsibility...)
	Lavado doméstico. Efluente de aguas residuales.	Lavados con máquinas de carga superior. Contención de aguas residuales, tejidos textiles de fibra única. Revestimientos textiles.
Gestión residuos	Fragmentación de residuos no recuperados debida a la circulación de vehículos.	Mejora en la gestión de residuos
	Degradaciones (UV, química, física...)	Mejora en la gestión de residuos.
	Efluentes de aguas residuales (fibras sintéticas)	Filtración en lavanderías. Innovación en la industria textil.
	Desbordamiento de aguas residuales.	Mejora de infraestructuras
	Trituraciones mecánicas de los residuos plásticos con la poda de la vegetación.	Mejor legislación y refuerzo de la aplicación de la ley. Valorización de los residuos.

## 6.4. Materiales

Los materiales plásticos pueden clasificarse por diversos criterios, entre ellos, la diferenciación en cuatro tipos según la resistencia que presenta el material al efecto del calor.

Termoplásticos: polímeros formados por cadenas lineales o ramificadas. Se unen por fuerzas intermoleculares cuya intensidad se reduce por el efecto del calor. Son fundibles y solubles, y gracias a su capacidad de moldearse son polímeros reciclables. Algunos ejemplos son:

- Policarbonato (PC)
- Poliestireno (PS)
- Polipropileno (PP)
- Cloruro de polivinilo (PVC)
- Polietileno (PE)
- Resinas de acrilonitrilo – butadieno – estireno (ABS)
- Polimetacrilato de metilo (PMMA)

Termoestables: presentan una estructura desordenada de cadenas largas. Son duros y rígidos, pero presentan una fragilidad alta. No pueden ser fundidos, razón principal de que no puedan reciclarse. Algunos termoestables son:

- Poliuretano (PUR)
- Resinas fenólicas (PF)
- Resinas epóxidos (EP)
- Urea formaldehído (UF)

Elastómeros: este tipo de polímero presenta una estructura desordenada de cadenas largas con pocos entrecruzamientos, y es gracias a su estructura la que los confiere de un comportamiento elástico, es decir, son capaces de recuperar su forma original después de ser sometidos a una fuerza sobre ellos, siempre y cuando no se supere su límite elástico. No son solubles ni fundibles por tanto no pueden ser reciclados. El caucho sintético, el neopreno o la silicona serían ejemplos de elastómeros.

Dentro del grupo de elastómeros se encuentran las fibras, aunque al ser un grupo extenso con distintos tipos y diferentes características puede considerarse otro grupo independiente. Las fibras se caracterizan por una estructura lineal y ordenada, además de una alta resistencia lo que les permite enlazarse.

Las fibras pueden ser naturales de origen vegetal (algodón, lino, esparto), naturales de origen animal (lana, seda, cuero), naturales de origen mineral (fibra de vidrio), fibras artificiales (fibrolana, vícara, rayón) y fibras sintéticas (nailon, tergal, licra) [17].

Las fibras sintéticas se diferencian de las fibras artificiales ya que estas últimas proceden de materias primas naturales, en cambio la materia prima de las sintéticas viene de la síntesis química.

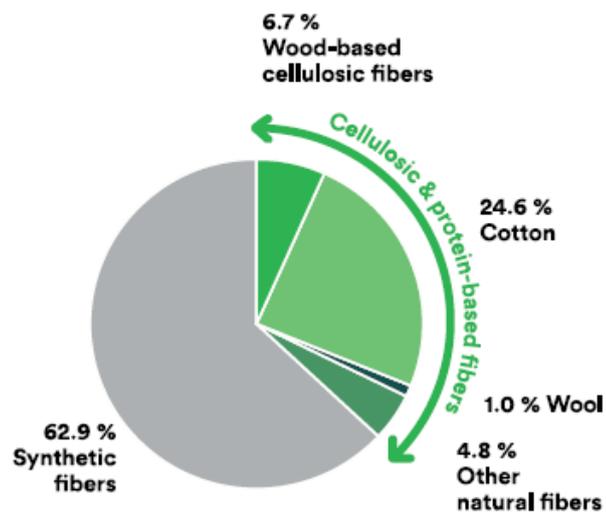
## 6.5. Tipos de microplásticos por su forma

### 6.5.1. Microfibra

Según Euratex, en el año 2018, el número de empresas y compañías textiles y de ropa en Europa rondaba las 171.000 [18]. Este alto número se ha alcanzado en los últimos años debido al aumento de la población y de la nueva forma de consumo, donde la ropa tiene una vida más corta, además de las promociones a comprar por parte de las campañas de marketing.

La industria textil está respaldada por la industria petrolera ya que la mayoría de los textiles que se producen actualmente son sintéticos, fabricados a partir de algunas fracciones del petróleo.

El consumo mundial de textil en 2019 alcanzó los 106,4 millones de toneladas. Las fibras sintéticas fueron las que más se consumieron con una cantidad próxima a los 67 millones de toneladas, seguida del algodón con un consumo de 26,2 millones de toneladas. En menor medida se consumió la fibra celulósica de madera con 7,2 millones, la lana con un millón y los otros 5 millones se repartieron en otras fibras naturales [19]. En la Figura 5 se muestra la distribución en el consumo según los distintos tipos de textiles.



**Figura 5:** Consumo global de fibras en 2019 [19]

Más de la mitad del consumo del textil se produce con fibras sintéticas, fibras con origen en las síntesis químicas. Algunos ejemplos de estos tipos de fibras son [17]:

- Fibras de poliamidas: son fibras resistentes y elásticas, la más conocida es el nailon.
- Fibras de poliéster: son las más utilizadas en la industria textil, suelen ir mezclada con lana. El principal ejemplo es el tergal.
- Fibras acrílicas: son muy resistentes a la acción de la intemperie y a la luz.
- Fibras polivinílicas: se trata de fibras muy suaves, que suelen usarse en ropa de bebé.
- Fibras de polietileno: presentan una gran resistencia a la abrasión y se usan para tapicería, alfombras o moquetas.

- Fibras de polipropileno: presentan resistencia a la abrasión, a diversos tratamientos y agentes químicos.
- Fibras de poliuretano: son fibras con gran elasticidad, el principal ejemplo es la licra.

De tal modo que aquellas partículas o fibras que provienen de estos tipos de textiles sintéticos y que presentan una longitud menor de 5 mm, se conocen como microfibras y son consideradas microplásticos secundarios.

La liberación de este tipo de microplástico es debida principalmente a la degradación de prendas textiles durante el proceso de lavado, tanto en las industrias como el lavado doméstico, que acaban en las depuradoras y finalmente en los océanos.

Se estima que cada año, alrededor de medio millón de toneladas de microfibras sintéticas son liberadas al océano [20].

A pesar de que la emisión de microfibras al océano a través del lavado es la más importante, existen otras fuentes de emisión estudiadas. Según Rachid Dris et al. [4] las microfibras pueden desprenderse de la ropa textil al ir paseando por la calle y que estas sean transportadas por el viento tanto a ambientes marinos como a terrestres, en donde pueden ser ingeridos por organismos terrestres o llegar al medio acuático por escorrentías.

### 6.5.2. Microesferas

Las microesferas son microplásticos primarios fabricadas directamente con su tamaño para aplicarlas sin transformaciones. Su uso principal es en cosméticos, aunque también se usan en otros productos como pasta de dientes, geles desinfectantes, pastillas de lavavajillas...

Estas microesferas principalmente suelen estar hechas de polietileno, aunque también se producen de polipropileno, tereftalato de polietileno y de nailon.

La industria cosmética ha crecido con los años, cada vez se usan más productos de cuidado personal y de belleza, y los exfoliantes naturales que se usaban antes en los productos se han sustituido por microesferas de plástico que actúan como sustituto de exfoliantes y les dan textura, aunque no hay pruebas concluyentes sobre que sean beneficiosos ni tampoco perjudiciales para las personas.

Los exfoliantes naturales son más efectivos por lo que se necesitaría un menor uso del producto, en cambio las microesferas actúan por un corto periodo de tiempo y debe aplicarse más a menudo. Es por ello las empresas han ido aumentando el uso de estos microplásticos en su producto, consiguiendo mayores números de ventas [21].

Con el aumento de su uso aumenta también la cantidad de microesferas plásticas que acaban en los océanos ya que debido a su tamaño las plantas de tratamiento no son capaces de detectarlas y separarlas en su totalidad [22].

### 6.5.3. Fragmentos

Los fragmentos suelen tratarse de microplásticos secundarios formados por la degradación y fragmentación de plásticos de mayor tamaño, por esta razón su principal característica es que presentan formas irregulares.

Al tratarse de microplásticos formados a través de la degradación, es el tipo más encontrado en los océanos. Según Tibbetts et al. (2018) entre el 50 y el 65 % de los microplásticos secundarios presentes en los mares y océanos son microfragmentos [23].

Al ser los más presente en el medio acuático también es de los que más posibilidad tienen de ser ingeridos o filtrados por las especies marinas [24].

Por esta razón es importante el control de este tipo de microplásticos. Al ser secundarios, su proceso de formación es debido, mayoritariamente, a condiciones no controlables como la fotodegradación o debido a la erosión del agua y del viento. Por esta razón la mejor forma para controlar y reducir su formación es desde su origen, es decir, a través del control de los residuos plásticos de mayor tamaño, y así evitar su posterior degradación.

## 6.6. Proceso para la separación de MP

Cuanto más pequeña es la partícula plástica la separación del medio donde se encuentran presenta una mayor dificultad, y si además se añaden las características de los microplásticos tales como forma irregular debida a la degradación o un color transparente o semitransparente, este proceso se complica.

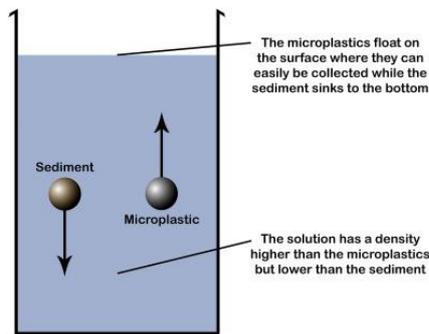
Una vez obtenidas las muestras a analizar, se someten a los procesos de separación que pueden ser por densidad, elutriación, extracción, flotación o tamizado. Cabe comentar que estas técnicas se están utilizando para la cuantificación y análisis de microplásticos en muestras de agua residual de aguas naturales o de sedimentos, no para su separación a gran escala en EDAR.

### 6.6.1. Separación por densidad

Este es el principal proceso de separación de microplásticos en una muestra de agua. Como muestra la Figura 6, con este método se consigue que los microplásticos floten mediante una disolución de alta densidad, normalmente con un valor recomendado de  $1,4 \text{ kg/L}$ .

La más usada, debido a su coste económico y a su ausencia de toxicidad, es una solución saturada de cloruro sódico, NaCl, ( $\rho \approx 1,2 \text{ kg/L}$ ), pero éste tiene un efecto limitado ya que no consigue la separación de aquellas partículas más densas como por ejemplo el PVC o el PET.

Para contrarrestar este inconveniente se han hecho pruebas con otras disoluciones como yoduro de sodio (NaI), el politungstato de sodio o el cloruro de zinc ( $\text{ZnCl}_2$ ). Estas disoluciones son más densas por lo que separaría aquellas partículas plásticas que presentan una mayor densidad y que no se consiguen separar con el NaCl. Sin embargo, tienen la desventaja de ser más caras que el cloruro sódico y algunas presentan mayores grados de toxicidad [7].



**Figura 6:** Método de separación por densidad [25]

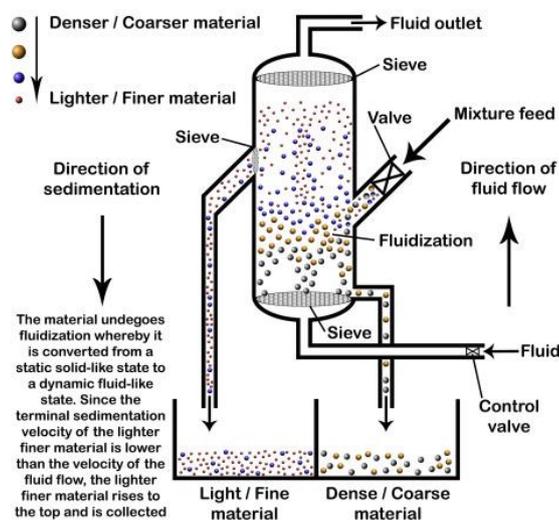
En el caso de muestras procedentes de depuradoras este método de separación va seguido de una etapa de digestión para eliminar la materia orgánica, ya que ésta interfiere en el análisis de caracterización de los microplásticos.

### 6.6.2. Elutriación

Esta es una alternativa adecuada y rentable a la separación por densidad en la que se produce la separación de todas aquellas partículas plásticas hasta una densidad de  $1,4 \text{ kg/L}$  [4].

Es un proceso que se basa en la diferencia de la velocidad de sedimentación de los componentes. Separa las partículas dependiendo de su forma, tamaño y densidad, mediante una corriente de flujo (generalmente agua o aire) que fluye a contracorriente de la dirección de sedimentación (Figura 7). Para microplásticos se suele usar agua que fluye de forma ascendente provocando la fluidización de los sedimentos [25].

Este método se puede mejorar mediante un fraccionamiento previo del tamaño de las partículas [4].



**Figura 7:** Método de elutriación [25]

### 6.6.3. Extracción

La extracción acelerada de disolventes (ASE) es otra alternativa que principalmente se usa para separar microplásticos de suelos.

Se produce la extracción a alta presión y temperatura para conseguir una mayor rapidez en la ebullición del disolvente y, por tanto, una extracción más rápida y eficiente.

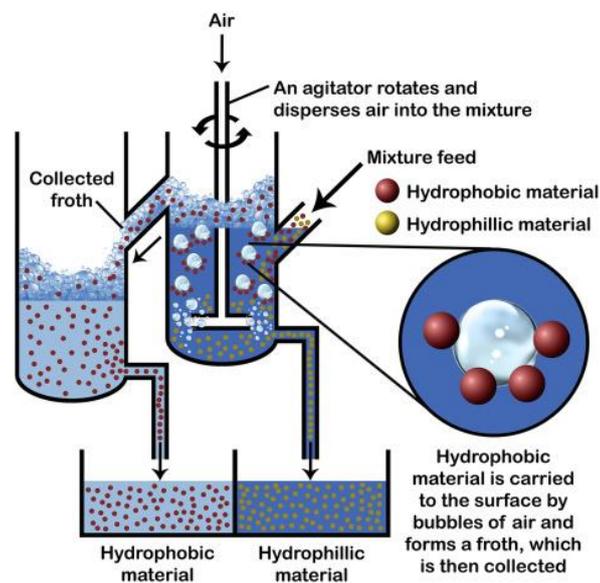
Con este método se evita la necesidad de una gran purificación de la muestra y permite una extracción cuantitativa de pequeñas partículas de plástico. Pero no es un buen método para extractos con distintos tipos de polímeros [4].

### 6.6.4. Flotación por espuma

Esta flotación se trata de un método que se suele usar en muestras de sedimentos, habitualmente en industrias mineras. No solo depende de la densidad como en la separación por densidad, sino también por la naturaleza hidrófoba o hidrófila de las partículas a separar.

Los materiales plásticos presentan una naturaleza hidrofóbica por lo que al introducir aire y producir las burbujas estas partículas van a la superficie como se muestra en la Figura 8, formando una capa de espuma que se puede recoger fácilmente.

También es un método que se usa para separar dos tipos de plástico diferente entre ellos. Esto se consigue adicionando un agente depresor que se adsorbe en uno de los plásticos y produce que se hunda.

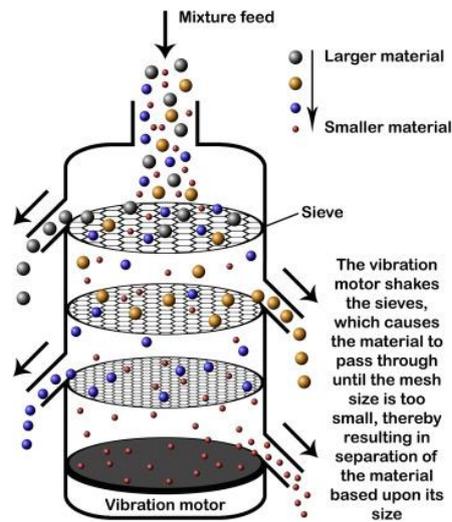


**Figura 8:** Método de flotación por espuma [25]

### 6.6.5. Tamizado

Proceso para muestras de agua, por el cual se hace pasar la corriente con las partículas sólidas a través de varios tamices con luz de malla (obertura de los orificios) en orden descendente como se muestra en la Figura 9. De esta forma se separan las partículas clasificándolas por tamaño dependiendo del tamiz en el que se quede retenido.

Técnica apropiada para muestras de agua limpia, por ejemplo, en tratamientos terciarios donde el agua está limpia ya que si se trata de agua sucia los tamices se obstruyen con más facilidad.



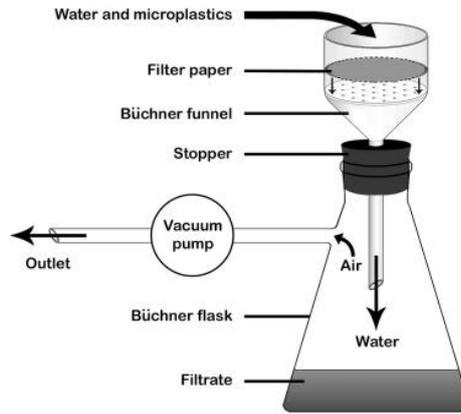
**Figura 9:** Método de separación por tamizado [25]

### 6.6.6. Filtración

Método utilizado principalmente en muestras de agua. Se separan los sólidos del líquido haciéndolo pasar por un medio poroso que retiene las partículas sólidas y se deja atravesar por el fluido (agua), como se puede observar en la Figura 10.

El tamaño de los sólidos retenidos dependerá del tamaño de poro que presente el medio de separación. En el caso de microplásticos el medio que se suele usar es papel de filtro acompañado de un sistema de vacío.

El problema que presenta este medio es la obstrucción del medio que debe limpiarse de forma regular [25].



**Figura 10:** Método de filtración [25]

## 6.7. Identificación y dificultades

Una vez se ha recogido la muestra y se han separado los microplásticos que contenía, se procede a la identificación del tipo o tipos de polímeros que están presentes.

El método más simple utilizado es la identificación visual. Éste no es el más práctico ni eficaz, pero se suele usar en lugares donde se tienen recursos limitados o no hay acceso a técnicas más complejas y exactas [26].

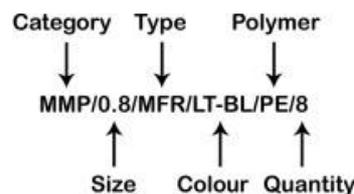
La mayoría de las técnicas de identificación se basan en la microscopía o la espectroscopía.

### 6.7.1. Sistema estandarizado de clasificación por tamaño y color

El sistema estandarizado de clasificación por tamaño y color (SCS) no es un método de identificación como tal, sino más bien, un proceso para poder clasificar cada tipo de plástico presente en una muestra.

Se siguen seis pasos para identificar el plástico de la muestra: en primer lugar, se clasifica por tamaño, posteriormente se hace una clasificación adicional de la apariencia (según tamaño, forma y composición básica), el tercer paso se trata de clasificar según el color que presenta, seguido del tipo de polímero y, por último, se informa de la cantidad de cada pieza de plástico [26].

Con estos seis pasos se crea un código único (Figura 11) para cada muestra que se va a identificar.



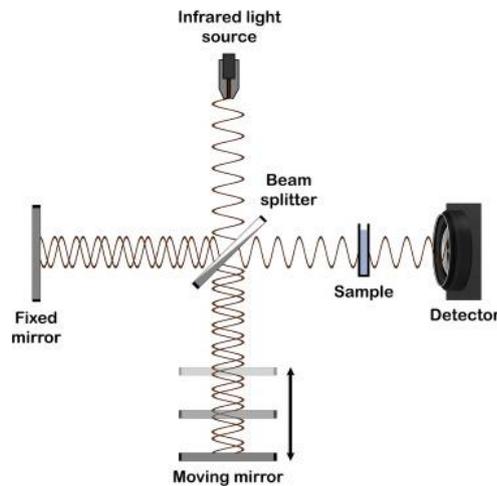
**Figura 11:** Esquema del código creado por el método de SCS [26]

### 6.7.2. Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es la técnica más popular y posiblemente la más usada por su precisión.

Mide la cantidad de radiación infrarroja que absorbe la muestra a diferentes frecuencias y de esta forma se crea un espectro de absorción (ver Figura 12). Cada tipo de plástico tiene un espectro propio e individual por lo que se puede identificar de qué tipo de plástico se trata la muestra analizada.

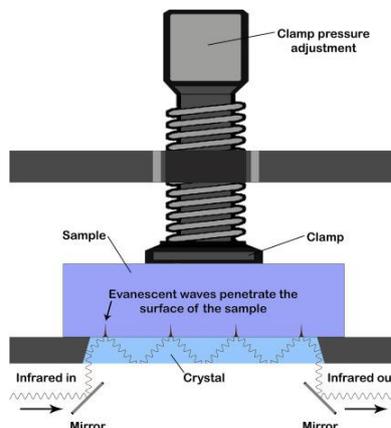
Esta técnica se puede acoplar a un microscopio de reflectancia (micro-FTIR) lo cual permite ampliar el rango de detección a partículas más pequeñas.



**Figura 12:** Método de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier [26]

### 6.7.3. Reflexión total atenuada

La reflexión total atenuada (ATR) analiza la superficie del plástico al emitir una onda a la muestra que se encuentra en contacto con un cristal de germanio, diamante o seleniuro de cinc (ZnSe). Es un método que se usa junto a FTIR y puede observarse su representación en la Figura 13.

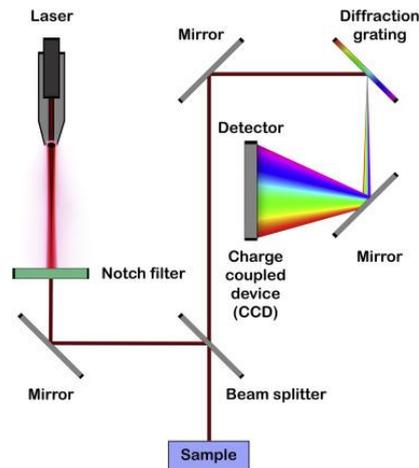


**Figura 13:** Método de reflexión total atenuada [26]

#### 6.7.4. Espectroscopía Raman

Esta técnica, cuyo funcionamiento se esquematiza en la Figura 14, identifica el tipo de microplástico al incidir un haz de luz láser monocromática sobre la muestra. Al incidir la luz se absorbe, se refleja o se dispersa. Esta luz dispersa puede ser elástica o inelástica, y esta última es la que interesa. Al recoger esta luz dispersa es la que constituye el espectro Raman, y al igual que en la técnica FTIR, cada tipo de plástico tiene un espectro característico.

Suele ser una técnica complementaria a FTIR ya que esta última identifica mejor los grupos polares y la espectroscopía Raman identifica mejor los no polares.

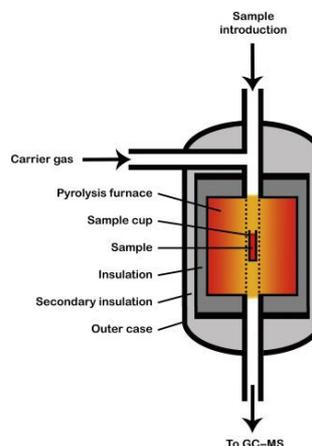


**Figura 14:** Esquema de funcionamiento del método de Raman [26]

#### 6.7.5. Pirólisis – Cromatografía de gases – Espectrometría de masas

Técnica que combina la pirólisis (Pyr), la cromatografía de gases (GC) y la espectrometría de masas (MS). Es una técnica destructiva que impide análisis posteriores de la muestra.

Se basa en la descomposición de las moléculas grandes de un alto peso molecular mediante calor en presencia de una atmósfera inerte o en vacío (Figura 15). De esta forma se crean restos de bajo peso molecular y mediante la espectrometría de masa determina la composición de los restos.

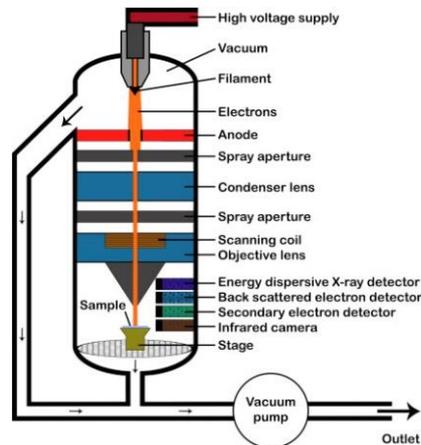


**Figura 15:** Método Pyr-GC-MS [26]

### 6.7.6. Microscopio electrónico de barrido

El microscopio electrónico de barrido (SEM) es un método que no identifica la composición de la muestra, sino que crea una imagen del microplástico. Como se ejemplifica en la Figura 16, dispara un haz de electrones de alta intensidad a la superficie de la muestra y crea una imagen.

Con él se puede distinguir si la muestra es un plástico o no lo es, pero no es capaz de indicar de qué tipo de polímero se trata, a no ser que se combine con un análisis de rayos X (SEM-EDS) [4].



**Figura 16:** Esquema del método SEM [26]

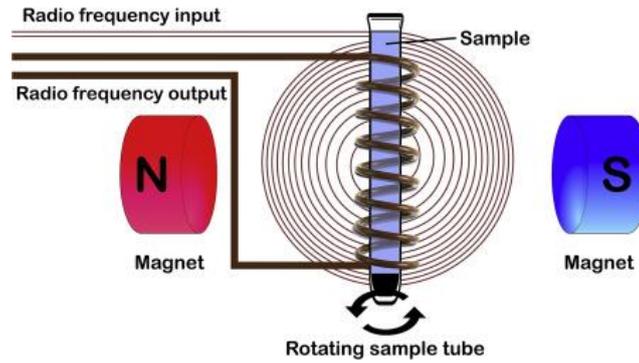
### 6.7.7. Espectroscopía de infrarrojo cercano

En este caso, se expone la muestra a la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) y de esta forma las partículas plásticas absorben la radiación y se puede identificar el tipo de polímero dependiendo de las bandas características de los enlaces (C-H, N-H y C-O).

No es una técnica muy sensible y se utiliza para muestras grandes sin necesidad de una preparación previa.

### 6.7.8. Resonancia magnética nuclear

Con la espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN) se obtiene información del comportamiento de los núcleos al someterlos a un campo magnético y a radiación electromagnética de forma simultánea (Figura 17). Con esta información se obtiene la información del entorno químico del núcleo.



**Figura 17:** Funcionamiento del método RMN [26]

Existen otros métodos de identificación, algunos son combinaciones entre varios de los comentados anteriormente, como TDS-GC-MS (desorción térmica GC-MS) junto con TGA (análisis termogravimétrico), y otros métodos que aún necesitan investigación y desarrollo como la detección de microplásticos con citometría de flujo combinada con la visualización por *visNE* [4].

## 7. FLOTACIÓN

La flotación es una operación unitaria de separación de partículas en una fase líquida, en el cual las partículas en suspensión más ligeras que el agua (sólidas o líquidas) suben hacia la superficie, y así se pueden retirar mediante los mecanismos oportunos, quedando bajo el clarificado que se separará (Figura 18).

Con esta etapa no solo se consigue eliminar los sólidos en suspensión, sino que puede tener otros objetivos, que son [13]:

- 1) Separar grasas, aceites, fibras y otros sólidos de baja densidad del agua residual.
- 2) Espesar los fangos procedentes de los procesos de fangos activos.
- 3) Espesar los fangos floculados químicamente que resultan del tratamiento de coagulación.



**Figura 18:** Equipo de flotación en una EDAR [27]

Como se ha comentado anteriormente, la operación de flotación se usa en el tratamiento de agua en las depuradoras de aguas residuales para concentrar los fangos, pero también se usan en otros sectores industriales con otros objetivos. Por ejemplo, en el caso de la industria alimentaria o de la industria petroquímica, la flotación es utilizada para la eliminación de grasas y aceites, y en el caso de la industria textil y papelera, se utiliza para eliminar fibras.

Dado que el objetivo principal de este TFG es eliminar microplásticos del agua residual y, en concreto, microfibras fabricadas con materiales plásticos, se propone la sustitución del decantador primario por un flotador en la línea de aguas, de forma que se asegure una mayor eliminación de las microfibras presentes.

## 7.1. Sistemas de flotación

Se pueden distinguir dos tipos de flotación: la natural, donde se deja el agua en el tanque para que las partículas menos densas floten, y la provocada.

En el caso de la flotación provocada, la separación consiste en introducir burbujas para que las partículas se adhieran a ellas y suban a la superficie por la fuerza ascensional. De esta forma no solo suben a la superficie las partículas menos densas al líquido sino también algunas más densas. Se puede conseguir de tres formas [28]:

- *Por aireación*: se introducen burbujas de aire con difusores o turbinas directamente a la fase líquida. Este método no ha resultado muy efectivo para la flotación de grasas, aceites y sólidos presentes en aguas residuales normales, pero sí con aguas residuales que tienden a generar espuma.
- *Por vacío*: se satura con aire el agua residual y se le somete a vacío. De esta forma la solubilidad del gas en el líquido disminuye formando burbujas. Las burbujas y partículas sólidas ascienden a la superficie donde forman una capa de espuma que será recogida mediante un rascado. Los sólidos más pesados descenderán al fondo y serán extraídos mediante bombeo. Es un método que presenta un gran rendimiento.
- *Flotación por aire disuelto (DAF)*: se somete al agua a una presión de 3 o 4 atmósferas con aire para saturarla. Posteriormente se libera la presión hasta alcanzar la presión atmosférica produciendo, de esta forma, burbujas. Esta forma puede presentar recirculación o no.

## 7.2. Sistema de flotación por aire disuelto (DAF)

Los componentes básicos de un sistema de flotación DAF son [29]:

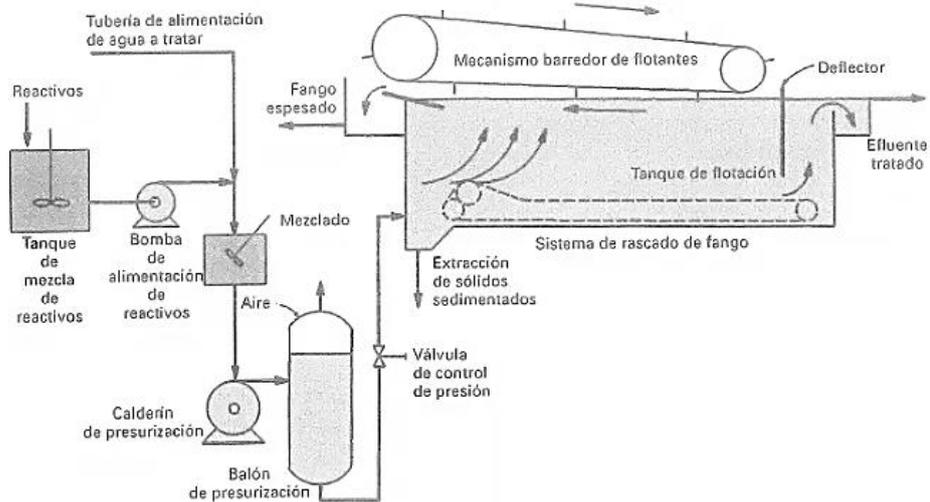
- Una bomba de presurización
- Un sistema de inyección de aire
- Un tanque de saturación
- Sistema de regulación de la presión, que normalmente se trata de una válvula reductora de presión
- Tanque de flotación
- Sistema de adición de reactivos químicos (si hay coagulación-floculación)

### 7.2.1. Configuraciones y sus ventajas

Las posibles configuraciones del sistema por aire disuelto son si presenta o no la recirculación de la corriente de salida clarificada.

- *Sin recirculación* (Figura 19): Se usa principalmente en instalaciones pequeñas. En primer lugar, se presuriza el caudal de entrada al flotador en un tanque de presurización previo a la flotación. Se le añade el aire y el caudal se mantiene en el

tanque unos minutos a baja presión para que el aire se disuelva. A continuación, se alimenta el tanque de flotación con el líquido mediante una válvula reductora y así se consigue la formación de las pequeñas burbujas cuando el aire deja de estar en disolución.



**Figura 19:** Esquema de un sistema DAF sin recirculación [28]

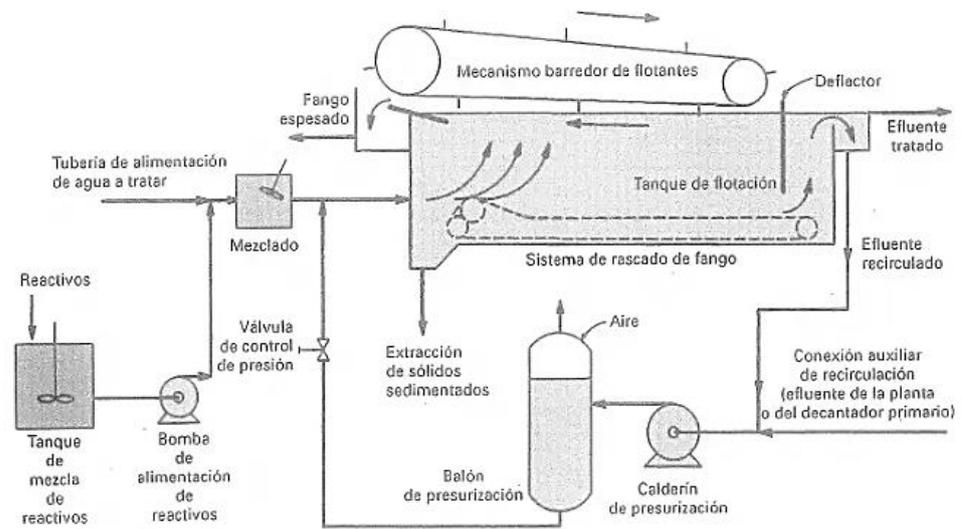
En cuanto a algunas de las ventajas e inconvenientes que pueden presentar este tipo de sistema sin recirculación son las recogidas en la Tabla 5.

**Tabla 5:** Ventajas e inconvenientes de un sistema de DAF sin recirculación

Ventajas	Inconvenientes
Para un mismo rendimiento, necesita una cámara más pequeña en comparación con un sistema con recirculación.	Al bombear el contenido total de sólidos produce mayor abrasión y, por tanto, más costes de mantenimiento y operación
Presenta una disolución máxima del gas a cualquier presión	
Debido a la mayor cantidad de gas disuelto se producen más burbujas y por tanto mayor contacto entre las fases.	

- *Con recirculación* (Figura 20): En las grandes instalaciones se utiliza la configuración con recirculación, consiguiendo que el caudal que se recircula se mezcle con la corriente de entrada al tanque que está sin presurizar. De esta forma se consigue

que el aire deje de estar en disolución y entre en contacto con las partículas sólidas en la entrada del tanque de flotación.



**Figura 20:** Esquema de un sistema DAF con recirculación [28]

En el caso de tener un sistema DAF con recirculación las ventajas y desventajas que presenta frente al sistema sin recirculación se recogen en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Ventajas e inconvenientes que presenta un sistema DAF con recirculación

Ventajas	Inconvenientes
La bomba de presurización es más pequeña y, por tanto, son menos costes de operación.	Necesita mayores tanques de flotación
No se bombean tantos sólidos por lo que la abrasión de los elementos del sistema disminuye.	La tasa de eliminación máxima de sólidos se consigue con un porcentaje de recirculación de 20 al 50%.
En el caso de la formación de flóculos estos no se ven sometidos a la posibilidad de rotura por parte de la bomba de presurización.	

### 7.2.2. Parámetros de diseño y de control

Los procesos de flotación están controlados por muchos parámetros de diseño en los que se incluyen las dimensiones del tanque de flotación, la disposición de las corrientes de entrada y de salida, las características de los equipos auxiliares y la capacidad de adaptación a variaciones en la operación (por ejemplo, la cantidad de aire introducida o los tipos de reactivos químicos añadidos) [29].

Sin embargo, el sistema de flotación también se ve afectado por parámetros de operación que pueden modificarse según las características que presente el agua residual.

Algunos de estos parámetros de operación son:

- Cantidad de aire introducido
- Ratio aire/sólido (A/S)
- Carga hidráulica
- Tipo y cantidad de químicos
- Ajustes en el pH

En cuanto a estos parámetros no hay un acuerdo unánime en los valores óptimos o recomendados, teniendo distintos rangos dependiendo de que estudios o investigaciones se consulten. En la Tabla 7 se recogen algunos de estos rangos.

**Tabla 7: Diferentes parámetros de diseño óptimos para diferentes investigadores [29]**

<b>Presión del aire en el tanque de presurización (Pa)</b>		
Adams et al.	275790 - 413685	
DeRenzo	172369 - 482633	
Beychock	241317 - 379212	
Wang et al.	172369 - 517101	
<b>Tiempo retención (min)</b>	<i>Flotation tank</i>	<i>Pressurization time</i>
DeRenzo	20 – 60	0,5 – 3
Beychock	15 – 20	2
API	10 – 40	1 – 2
Wang et al.	3 - 5	0,17
<b>Carga hidráulica (<math>\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2</math>)</b>		
Adams et al.	2,44 – 9,77	
Beychock	7,33 – 0	
API	4,88 – 6,11	
Wang et al.	8,55 – 12,22	
<b>Aire requerido (<math>\text{Nm}^3/\text{m}^3</math>)</b>		
Beychock	$1,87 \cdot 10^{-3} - 0,0374$	
API	$3,74 \cdot 10^{-3} - 7,49 \cdot 10^{-3}$	

### Parámetro de la carga hidráulica

La carga hidráulica hace referencia al volumen de agua tratada en el flotador por metro cuadrado de superficie y por unidad de tiempo. Mediante este parámetro se determina la superficie del flotador que será el resultado de dividir el caudal entre su valor, como puede observarse en la Ecuación 1:

$$q_A = \frac{Q}{S} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Siendo,

$q_A$  : Carga hidráulica ( $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ )

Q: Caudal ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

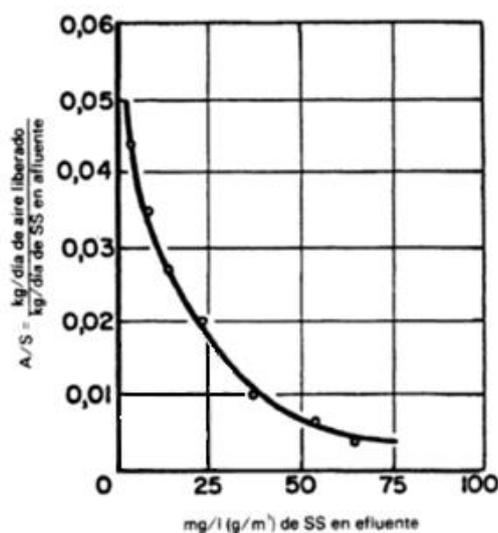
S: Superficie del tanque de flotación ( $\text{m}^2$ )

### Ratio A/S

En el diseño de un sistema de flotación, el parámetro de diseño fundamental es la relación A/S que representa la cantidad de aire liberado en la despresurización frente a la cantidad de sólidos en el afluente (corriente de entrada).

La finalidad es obtener el área del tanque de flotación necesario (en caso de ser circular, obtener el diámetro) para unos parámetros dados, como la temperatura y la carga hidráulica.

El parámetro A/S se estima a partir de estudios realizados en un laboratorio en una célula de flotación o planta piloto. Con los resultados se obtiene la relación entre este parámetro y la cantidad de sólidos en suspensión en el efluente clarificado (Figura 21) y se puede crear la curva de correlación entre ambos [13].



**Figura 21:** Curva de correlación entre los parámetros A/S y la cantidad de sólidos en suspensión [13]

- En el caso de un sistema de **flotación sin recirculación** se usará la Ecuación 2 para obtener la presión del proceso necesaria para concentrar los sólidos en suspensión hasta cierto porcentaje definido:

$$\frac{A}{S} = \frac{\rho_a \cdot \delta_a \cdot (f \cdot P - 1)}{X_0} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde las variables corresponden a:

A: Aire liberado (kg/d)

S: Sólidos en el afluente (kg/d)

$X_0$ : Concentración de sólidos a la entrada ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\delta_a$ : Solubilidad del aire en el agua a  $P=1\text{atm}$  ( $L_{\text{aire}}/L_{\text{agua}}$ )

$\rho_a$ : Densidad del aire a  $P=1\text{atm}$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

P: Presión absoluta de trabajo (atm)

f: Factor de saturación (0,5 – 0,8)

- En el caso de un sistema **con recirculación** la ecuación a utilizar sería la indicada bajo (Ecuación 3):

$$\frac{A}{S} = \frac{Q_R}{Q_0} \cdot \frac{\rho_a \cdot \delta_a \cdot (f \cdot P - 1)}{X_0} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Siendo:

$Q_R$ : Caudal de recirculación ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

$Q_0$ : Caudal de entrada ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

En este caso se calcula el caudal a recircular ( $Q_R$ ) y una vez obtenido se puede obtener el área necesaria para el tanque mediante la Ecuación 4:

$$S = \frac{Q_0 + Q_R}{q_A} \quad (\text{Ecuación 4})$$

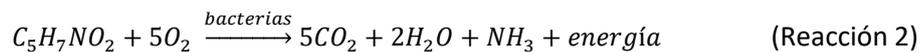
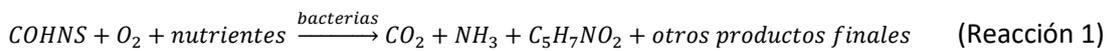
Una vez obtenido el área y, en caso de que el tanque sea circular, se determinará el diámetro del mismo.

## 8. TRATAMIENTO BIOLÓGICO POR FANGOS ACTIVOS

El tratamiento secundario consiste en un tratamiento biológico donde la materia orgánica y los nutrientes presentes en el agua residual se eliminan por la acción de los microorganismos.

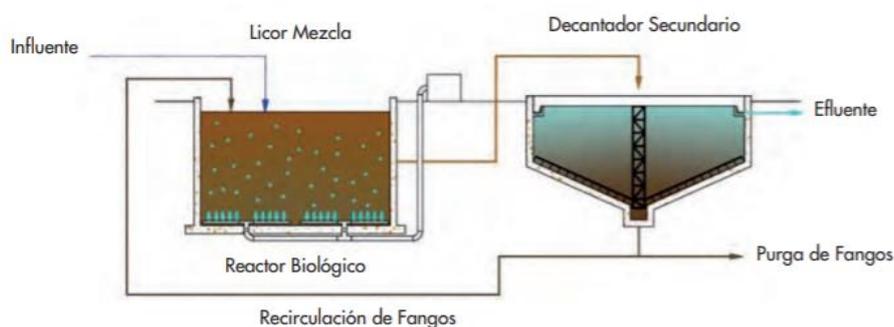
El funcionamiento del tratamiento biológico consiste en dos reacciones principales. La primera es la oxidación y síntesis de nuevos microorganismos (reacción 1) donde parte de la materia orgánica (COHNS) que está presente en el agua residual se oxida por la acción de los microorganismos (principalmente bacterias).

Una vez ya en ausencia de materia orgánica, las células bacterianas ( $C_5H_7NO_2$ ) continuarán siendo oxidadas por otras bacterias en lo que se denomina la etapa de respiración endógena (reacción 2) y en la que se produce productos gaseosos finales y energía.



### 8.1. Proceso de fangos activos

En el proceso por fangos activos, el agua residual que proviene del tratamiento primario sigue el esquema de la Figura 22. Entra en un reactor de tanque agitado donde se encuentran los microorganismos en suspensión y tras un tiempo determinado en contacto con los microorganismos, pasa a un decantador para sedimentar el fango (decantador secundario o clarificador).



**Figura 22:** Esquema funcionamiento de sistema de fangos activos [30]

En el tratamiento de fangos activos existen diversas configuraciones, las más importantes son: convencional o flujo pistón, mezcla completa y de oxidación total.

- Mezcla completa: Es la configuración más usada debido a la dispersión uniforme del agua, es decir, presenta condiciones estables a lo largo de todo el sistema. Además, esta configuración presenta un mejor soporte de vertidos puntuales que presenten un alto contenido en materia orgánica o compuestos tóxicos.
- Tipo pistón: Con este tipo hay menos riesgo de '*bulking*' (crecimiento en exceso de compuestos filamentosos) y es más sensible ante cargas puntuales. La demanda de oxígeno en el interior es irregular siendo al inicio mayor que el oxígeno aportado, y menor hacia el final del tanque. Esto es un inconveniente al que en los últimos años se ha hecho frente mediante un sistema de aireación prolongada, donde los difusores se distribuyen según la necesidad de oxígeno.
- Oxidación total: Esta configuración se utiliza para tratamientos de agua procedente de pequeñas comunidades. Se necesitan valores elevados de tiempos de residencia y de edades de fango, lo que produce que el volumen del tanque sea elevado. Con esta configuración se es capaz de producir agua muy tratada y pequeñas producciones de fangos.

El reactor biológico es un tanque cuyo contenido está agitado para conseguir una distribución uniforme de los microorganismos y evitar la formación de sedimentos. En él se mezcla el agua residual con los microorganismos y es lo que se conoce como licor de mezcla. Además, este tanque debe ser aireado para asegurar que sea un proceso aerobio. Los sistemas de aireación que se suele utilizar son mediante un agitador mecánico como una turbina superficial, mediante difusores o por eyectores de aire.

Tras un determinado tiempo, el licor de mezcla pasa al decantador donde el fango sedimenta.

En el decantador se pretende separar la biomasa del agua depurada. Los decantadores pueden ser dinámicos o estáticos.

- Los decantadores dinámicos pueden ser circulares (los más habituales) o rectangulares. Estos emplean elementos electromecánicos para recoger los fangos flotantes y llevarlos a los puntos de recogida.
- Los decantadores estáticos pueden ser con forma cilíndrico-cónica, los cuales se usan para caudales pequeños y presentan un rendimiento bajo. También pueden ser decantadores lamelares que, aunque también se usan para tratar caudales pequeños, tienen un mayor rendimiento gracias al aumento de la superficie de contacto que proporcionan las lamelas. Este tipo de decantadores suelen usarse en el tratamiento primario y no como decantadores secundarios.

A partir de la corriente concentrada de fangos se hace una recirculación a la entrada del reactor para permitir una mayor presencia de microorganismos, de tal forma que la concentración de microorganismos se mantenga y el rendimiento sea mayor. El resto de la corriente se purga y pasará al tratamiento de la línea de fangos.

## 8.2. Parámetros de diseño reactor biológico

Para el diseño del reactor suele fijarse una carga másica según la configuración del sistema. A partir de esta, se calcula la producción de fango y el volumen del reactor.

Una vez obtenido el volumen de tanque, las dimensiones vienen determinadas por el sistema de aireación. Si presenta aireadores superficiales, se considera un calado de 3 a 5 m y en el caso de presentar difusores, el calado será de 3 a 6 metros [31].

Los parámetros de diseño más importantes son:

- Tiempo de retención hidráulico (TRH): tiempo que permanece el agua residual dentro del reactor. Se calcula a partir de la Ecuación 5 con la relación entre el volumen del reactor y el caudal.

$$TRH = \frac{V_{reactor}}{Q} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

Q: Caudal del afluente ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$V_{reactor}$ : Volumen del reactor ( $\text{m}^3$ )

- Carga másica ( $C_M$ ): parámetro que relaciona la materia orgánica que entra al reactor por unidad de tiempo y la cantidad de sólidos en suspensión presentes en la corriente del licor de la mezcla. Se obtiene mediante la Ecuación 6 y sus unidades son  $\text{kg}_{\text{DBO}_5}/\text{kg}_{\text{SS}} \cdot \text{d}$ . Un valor alto de carga másica indica que hay demasiado sustrato para la cantidad de microorganismos presentes.

$$C_M = \frac{m_{\text{DBO}_5,e}}{[\text{SSLM}] \cdot V_{reactor}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

$m_{\text{DBO}_5,e}$ : caudal másico de  $\text{DBO}_5$  ( $\text{kg}_{\text{DBO}_5}/\text{d}$ )

SSLM: sólidos en suspensión en el licor mezcla ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$V_{reactor}$ : volumen del reactor ( $\text{m}^3$ )

Producción de fangos en exceso: Para el cálculo de la producción de fangos se pueden utilizar diversas ecuaciones, siendo la más usada la relación de Huisken (ver Ecuación 7) que relaciona la producción de fangos en exceso y la carga másica.

$$Pe = 1,2 \cdot Cm^{0,23} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde,

$C_M$ : Carga másica (kg DBO<sub>5</sub>/kg SS)

$Pe$ : Producción específica de fangos (kg SS/kg DBO<sub>5</sub>)

- Edad del fango ( $\theta$ ): corresponde a la cantidad de tiempo que permanecen los microorganismos en el sistema. Se mide en días y viene definida por la Ecuación 8.

$$\theta = \frac{1}{Pe \cdot C_M} \quad (\text{Ecuación 8})$$

- Producción neta de fangos: Viene definida por la Ecuación 9.

$$\Delta X = Pe \cdot Q \cdot [DBO_5] \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde,

$\Delta X$ : Producción neta de fangos (kgSS/d)

$[DBO_5]$ : Concentración DBO<sub>5</sub> (kg/m<sup>3</sup>)

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

Otros parámetros que deben considerarse a la hora de diseñar un reactor biológico son:

- Las condiciones ambientales, especialmente la temperatura que pueden variar la velocidad de reacción, el pH que pueden inhibir el crecimiento microbiano y favorecer la aparición de organismos filamentosos, y la alcalinidad que podrá variar el pH.
- Oxígeno requerido, tanto para la oxidación del sustrato como para la respiración endógena de los microorganismos.
- Necesidad de nutrientes: para que un proceso biológico funcione de forma correcta deben estar presentes ciertas cantidades de nutrientes (los principales son el nitrógeno y el fósforo).
- Control de compuestos filamentosos: El crecimiento excesivo de este tipo de organismos, fenómeno conocido como '*bulking*', puede producir problemas en el funcionamiento del reactor ya que su aumento provoca la creación de un fango poco sedimentable.

### 8.3. Parámetros de diseño del decantador

En cuanto al diseño del decantador secundario los parámetros de diseño son:

- Carga hidráulica (o velocidad ascensorial): viene definida por la Ecuación 10 con unidades de  $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ .

$$q = \frac{Q}{A_{dec}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde Q es el caudal del efluente secundario (no se tiene en cuenta el caudal de recirculación) con unidades de  $\text{m}^3/\text{h}$  y el área del decantador con unidades de  $\text{m}^2$ .

- Carga de sólidos: se trata de la superficie requerida para que se produzca un espesamiento adecuado del fango. Presenta las unidades de  $\text{kg}_{\text{SS}}/\text{m}^2\cdot\text{h}$  y viene definida por la Ecuación 11.

$$CS = \frac{Q \cdot X}{A_{dec}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Siendo:

X: Concentración SSLM en el reactor biológico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Q: Caudal del afluente ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$A_{dec}$ : Área del decantador ( $\text{m}^2$ )

- Tiempo de retención hidráulico: tiempo de permanencia en el decantador, puede obtenerse mediante la Ecuación 12:

$$TRH = \frac{V_{dec}}{Q} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

$V_{dec}$ : Volumen del decantador ( $\text{m}^3$ )

Q: Caudal del efluente ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

- Calado del decantador: La profundidad del agua influye tanto en la eficacia para eliminar sólidos como en la capacidad de concentrar el fango a recircular.
- Carga hidráulica sobre vertedero: hace referencia al caudal de efluente respecto a la longitud del vertedero de salida. Se determina por la Ecuación 13.

$$CH_V = \frac{Q}{L_V} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde  $L_V$  es la longitud del vertedero en metros.

## 9. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

En este apartado se procede a realizar los cálculos del diseño de la instalación para un caudal de entrada en la depuradora de  $5.000 \text{ m}^3/\text{d}$ .

La instalación diseñada se compone de las etapas de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario, las cuales conforman la línea de aguas, objeto de este TFG.

En primer lugar, se realizará el diseño del proceso de desbaste que consistirá en unas rejillas gruesas, seguido de otras rejillas finas y, por último, de un sistema de tamices.

En cuanto al tratamiento primario, como se ha indicado anteriormente, se realizará el diseño de una etapa de flotación con el objetivo de la eliminación aproximada del 95% de las fibras que haya presente en el agua residual. Para ello se realizará el diseño de un sistema de flotación por aire disuelto (DAF).

Y para finalizar, se diseñará el tratamiento de fangos activos con un reactor biológico de aireación prolongada seguido de un decantador secundario con el fin de alcanzar los valores límites exigidos por la legislación explicada en el apartado 4.

### 9.1. Datos iniciales

#### Caracterización del agua residual

En la Tabla 8 se muestran los valores medios habituales del agua residual clasificada según el grado de contaminación (baja, media y alta), hay que tener en cuenta que se trata de valores de guía ya que los valores son muy variables, tanto de la zona donde es recogida el agua residual como del día, hora o temporada del año.

**Tabla 8:** Composición típica de agua residual doméstica [28]

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN (ppm)		
	BAJA	MEDIA	ALTA
Sólidos disueltos	250	500	850
Sólidos en suspensión (SS)	100	220	350
Sólidos sedimentables	5	10	20
DBO <sub>5</sub>	110	220	400
DQO	250	500	1000
Nitrógeno	20	40	85
Fósforo	4	8	15
Grasas	50	100	150

A partir de estos rangos, el agua residual del proyecto se considerará de una contaminación cercana al nivel medio. Los valores elegidos se presentan en la tabla siguiente (Tabla 9).

**Tabla 9:** Valores de contaminantes elegidos (elaboración propia)

PARÁMETRO	VALORES HABITUALES
SS	250 mg/L
DBO <sub>5</sub>	240 mg/L
DQO	500 mg/L
Nitrógeno	20 mg/L
Fósforo	5 mg/L
Grasas	10 mg/L

#### Contaminación microplástica en el agua residual

Los datos sobre concentración de microfibras en aguas residuales una vez pretratadas y decantadas en una EDAR han sido obtenidos de Bretas Alvim et al. (2020). Se trata de un trabajo del grupo de investigación PROMETEO del Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM) de la UPV.

En la Tabla 10 se recogen las concentraciones medidas de microplásticos, especificando las de microfibras en muestras de aguas residuales tras el tratamiento primario y el de fango activo ya que son los principales tipos de microplásticos encontrados en las muestras.

**Tabla 10:** Concentraciones de microplásticos para diferentes efluentes en la EDAR [32]

	Microfibras/L	Fragmentos/L	Microplásticos/L
Efluente primario	10,7	0,4	11,1
Fango activo	264	16	280
Efluente secundario	2,6	0,2	2,8

Los datos de la tabla indican que:

- Tras un tratamiento primario convencional la concentración de microfibras en el agua residual es elevada (más de 10 MF/L).
- Las microfibras se acumulan en el fango activo formando parte de los flóculos, de forma que la concentración obtenida es elevada.
- Salen de la EDAR 2,6 MF/L, es decir, poco más de 2 mil millones de fibras por año serían vertidas con el agua residual.

Por tanto, una mayor eficiencia en la separación de fibras en el tratamiento primario redundará en una considerable menor presencia de fibras en el fango activo y por ende en el agua depurada, concentrando las fibras en un menor volumen (fango del flotador).

### Habitantes equivalentes

El concepto de habitante equivalente (he) viene definido por la Directiva 91/271/CEE como la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días ( $\text{DBO}_5$ ) de 60 g de oxígeno por día.

Teniendo en cuenta que el caudal de diseño (caudal medio,  $Q_m$ ) es  $5.000 \text{ m}^3/\text{d}$  y que el caudal de dotación se fija en  $250 \text{ L/he/d}$ , el cálculo de los habitantes para la cual está destinada la instalación se calcula de la siguiente forma:

$$n_{\text{habitantes}} = \frac{Q_m}{Q_{\text{dotación}}} = \frac{5.000.000}{250} = 20.000 \text{ he}$$

### Caudal punta

El caudal a lo largo del día no es uniforme ya que puede haber horas con un mayor consumo de agua y, por tanto, de mayor generación de agua residual. Por ello se calcula un caudal punta para prevenir un aumento en el caudal y que no se produzca un desbordamiento.

Para el cálculo de este caudal se usa un coeficiente punta ( $F_p$ ), que puede calcularse por la ecuación de Harman (Ecuación 14) donde P es la población.

$$F_p = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Con un valor del coeficiente punta de 1,096, el caudal punta se calcula como:

$$Q_p = Q_m \cdot F_p = 5000 \cdot 1,096 = 5.481,36 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

## 9.2. Diseño etapa de desbaste

El desbaste es la primera operación que se lleva a cabo en el pretratamiento, donde el objetivo es la eliminación inicial de los sólidos de mayor tamaño presentes en el agua.

En el desbaste se hace pasar el agua residual por tres etapas: las rejas gruesas, las finas y, por último, los tamices. Se suelen usar dos tipos de rejas debido a que si solo se instalaran las rejas finas estas se colmatarían demasiado rápido bloqueando los equipos.

### 9.2.1. Diseño de rejas

Las rejas pueden clasificarse en manuales o automáticas según el método que presenten de limpieza.

Las rejas manuales se suelen usar más en estaciones de bombeo como protección de las bombas o en estaciones depuradoras pequeñas, ya que su inconveniente de limpieza mecánica supone grandes trabajos manuales y posibles desbordamientos por la obstrucción de los residuos en las rejas [28]. Por ello las rejas de limpieza automática suelen usarse en instalaciones de mayor tamaño.

Para el diseño de este proyecto al ser una instalación mediana de 20.000 habitantes se ha elegido unas rejas de limpieza automática, debido principalmente a la mayor eficacia que presenta en la eliminación de residuos y para evitar obstrucciones que perjudiquen la instalación, además de una reducción en costes de operarios.

Los aspectos más importantes a la hora de diseñar un sistema de rejas son la velocidad de paso del caudal ya que de ella dependerá la sedimentación o el arrastre a través de las barras de los sólidos en el agua residual, y la pérdida de carga que presenta.

Para hacer el diseño de las rejas se pretende, principalmente, calcular el número de barrotes de la reja necesarios, pero también dimensionar el canal.

#### Rejas de gruesos

Para el dimensionado del canal primeramente se procede a obtener las áreas máximas y mínimas del canal mediante las Ecuaciones 15 y 16.

$$A_{max} = \frac{Q_m}{v} \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$A_{min} = \frac{Q_p}{v} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde los caudales son en  $\text{m}^3/\text{s}$  y las velocidades en  $\text{m}/\text{s}$ .

Para el cálculo de estos parámetros se debe fijar las velocidades del agua residual. En el caso del cálculo del área máxima en la que se usa el caudal medio ( $Q_m$ ), el rango de velocidades usado suele ser entre 0,6 y 1  $\text{m}/\text{s}$ . Y en cuanto al área mínima se usa el caudal máximo ( $Q_p$ ) a velocidades menores de 1,4  $\text{m}/\text{s}$ .

El rango de velocidades viene determinado por estos valores ya que velocidades menores a las nombradas pueden provocar la sedimentación lo cual no se pretende en esta etapa del proceso, y velocidades mayores pueden impedir una buena retención de la contaminación por parte de las rejas.

Por ello para el área máxima se ha elegido una velocidad de 0,6  $\text{m}/\text{s}$  y para el área mínima una velocidad de 1,4  $\text{m}/\text{s}$ .

De esta forma se obtiene un área mínima de 0,045  $\text{m}^2$  y un área máxima de 0,096  $\text{m}^2$ . Para los cálculos posteriores se usará una media de ambos términos conocida como área libre.

$$A_{\text{libre}} = \frac{A_{\text{max}} + A_{\text{min}}}{2} = \frac{0,096 + 0,045}{2} = 0,0705 \text{ m}^2$$

Los rangos de velocidades planteados conllevan un 30% de colmatación, es decir, se supone admisible que un 30% del espacio que hay entre los barrotes de la reja esté obturado por los residuos. Debido a esto, el área total del canal corresponderá al 70% del área libre.

$$A_{\text{total}} = \frac{A_{\text{libre}}}{0,7} = \frac{0,0705}{0,7} = 0,1 \text{ m}^2$$

Al suponer que el canal tiene forma cuadrada, se calcula la altura del nivel del agua como:

$$h = \sqrt{A_{\text{total}}} = \sqrt{0,1} = 0,317 \text{ m}$$

Como resguardo se suele añadir un 40% de la altura al canal para evitar un posible desbordamiento, siempre con un valor mínimo de 0,4 m para asegurarlo.

$$h_{\text{resguardo}} = 0,4 \cdot h = 0,4 \cdot 0,317 = 0,127 \text{ m}$$

Como el resultado es menor del mínimo para garantizar que no se desborde, se continúa haciendo los cálculos como  $h_{\text{resguardo}} = 0,4 \text{ m}$ .

La altura total del canal (calado) se calcula sumando la altura calculada para el nivel del agua más el resguardo.

$$h_{\text{total}} = h + h_{\text{resguardo}} = 0,317 + 0,4 = 0,717 \text{ m}$$

Una vez obtenidos los resultados anteriores se pasa al diseño de las rejillas. Los parámetros predefinidos son el espesor de los barrotes y la distancia entre ellos. Los rangos de valores recomendados para estos parámetros vienen definidos en la Tabla 11.

**Tabla 11:** Rango de valores recomendados para los parámetros del diseño de rejillas de gruesos [33]

REJAS DE GRUESOS	
Rango espesor de los barrotes	1,2 – 2,5 cm
Rango distancia entre barrotes	5 – 10 cm

Para el diseño se ha fijado un valor de espesor para los barrotes de 2 cm y una distancia entre ellos de 5 cm.

Primero, se calcula el número de espacios como la división entre la altura del nivel del agua entre la distancia elegida entre barrotes en metros. Una vez obtenidos los números de espacios, el número de barrotes será uno menos.

$$n = \frac{h}{b_i} = \frac{0,317}{0,05} = 6,34 \approx 6$$

$$\text{barrotes} = n - 1 = 5$$

El ancho del canal se calculará con la Ecuación 17, y multiplicándolo por la altura total del canal ( $h_{\text{total}}$ ) se obtendrá el área.

$$W = b_i \cdot n + e \cdot (n - 1) \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

W: anchura del canal (m)

$b_i$ : distancia entre barrotes (m)

n: número de huecos

e: espesor de los barrotes (m)

El ancho del canal obtenido es de 0,4 m y por tanto el área del canal es de  $0,287 \text{ m}^2$ .

De esta forma, el canal donde se encuentran las rejas de gruesos presentará un ancho de 0,4 m en el que se repartirán 5 barrotes de 2 cm de espesor cada uno, separados entre sí por 5 cm.

El otro factor importante a la hora de diseñar el sistema de rejas, es la pérdida de carga y en el caso de los equipos de rejas se calculan mediante la Ecuación 18 [28].

$$h_l = \frac{1}{0,7} \left( \frac{V^2 - v^2}{2 \cdot g} \right) \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

$h_l$ : pérdida de carga (m)

0,7: coeficiente que incluye efectos de turbulencias y remolinos

V: velocidad de circulación entre las barras (m/s)

v: velocidad de aproximación a la reja (m/s)

g: aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

Para el cálculo de las velocidades se seguirán las Ecuaciones 19 y 20 [34].

$$V = \frac{Q}{A - A_{rejas}} \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$v = \frac{Q}{(W - e) \cdot h} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

Q: caudal de agua ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

W: ancho del canal (m)

h: calado (m)

e: espesor del barroto (m)

A: área de agua en el canal ( $\text{m}^2$ ),  $A = W \cdot h$

$A_{rejas}$ : área ocupada por la reja ( $\text{m}^2$ ),  $A_{rejas} = n \cdot e \cdot h$

Con estas ecuaciones se obtiene una velocidad a través de las barras de 0,714 m/s y una velocidad de aproximación a la reja de 0,526 m/s. Por lo que el correspondiente valor de pérdidas de carga es de 0,0169 m.

Esta pérdida de carga se aplica a las rejillas en caso de que estén limpias, en el momento en que estas se encuentren obstruidas o sucias la pérdida de carga aumentará.

### Rejas de finos

Una vez obtenido el ancho del canal para las rejillas de gruesos, se calcula el número de barrotes de rejillas de finos que cabrían en el ancho calculado.

Al igual que para las rejillas de gruesos, se fijarán los valores de espesor y distancia entre los barrotes, utilizando los rangos recomendados mostrados en la Tabla 12.

**Tabla 12:** Rango de valores recomendados para los parámetros de diseño de rejillas de finos [33]

REJAS DE FINOS	
Rango espesor de los barrotes (e)	0,6 – 1,2 cm
Rango distancia entre barrotes ( $b_i$ )	1 – 2,5 cm

Con estos datos, se fija un espesor de 6 mm y una distancia entre barras de 1,5 cm.

Mediante la Ecuación 17, se despejará el número de barrotes con los nuevos valores elegidos para las rejillas de finos.

$$0,4 = 0,015 \cdot n + 0,006 \cdot (n - 1)$$

$$n = 19,33 \approx 19$$

$$\text{barrotes} = n - 1 = 18$$

Con el número de barrotes aproximado se recalcula el ancho del canal ( $W'$ ) con la Ecuación 17, obteniendo una diferencia entre los dos valores de  $W$ , por lo que se obtiene un ancho espaciado límite que se repartirá para expandir los huecos extremos del canal.

$$W' = 0,015 \cdot 19 + 0,006 \cdot (19 - 1) = 0,393 \text{ m}$$

$$\text{Ancho espaciado límite} = 0,4 - 0,393 = 0,007 \text{ m}$$

$$\text{Huecos extremos} = 0,015 + \frac{0,007}{2} = 0,0185 \text{ m}$$

Por tanto, para el canal calculado anteriormente de 0,4 m se repartirán 18 barras de 6 mm a una distancia de 1,5 cm cada una y con los dos espacios laterales con un espaciado de 1,85 cm de ancho.

En cuanto a las pérdidas de carga en las rejas gruesas, al igual que para las rejas finas se utilizarán las mismas ecuaciones que para las rejas finas (Ecuaciones 18, 19 y 20) obteniendo unos valores de 0,699 m/s para la velocidad a través de las rejas, 0,507 m/s para la velocidad de aproximación y 0,0168 m para la pérdida de carga.

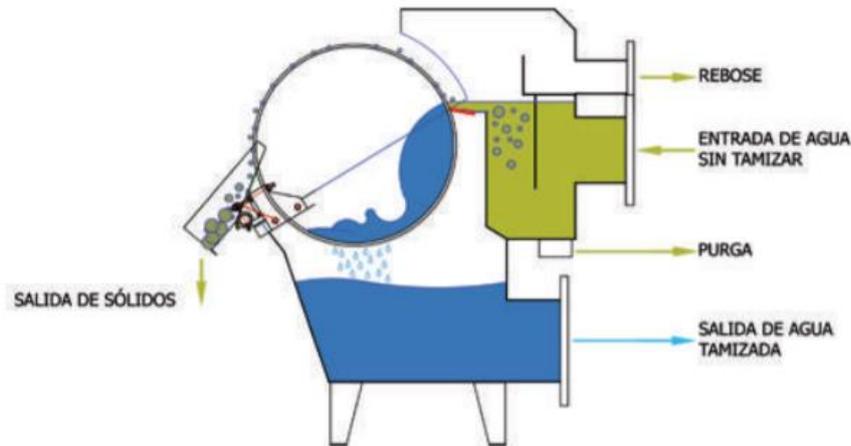
### 9.2.2. Diseño de tamices

Los tamices se utilizan en las aguas residuales para la eliminación de sólidos en suspensión, sólidos flotantes o para la separación de residuos.

Los dos principales tipos de tamices son, los estáticos y los dinámicos. Para el caso estudiado se ha escogido un tamiz dinámico ya que al tratarse de una depuradora que recibe tanto aguas urbanas como industriales que pueden contener grasas el tamiz dinámico es más recomendado.

Para la selección de los tamices se utilizan los catálogos propuestos por los fabricantes, de donde se elige el modelo dependiendo del caudal a tratar y del tamaño de luz de malla que se desee.

Se ha escogido un tamiz rotatorio dinámico de la marca Defender, fabricado por Toro Equipment S.L. (Figura 23). El agua entra al tamiz y se distribuye uniformemente en el tambor rotatorio por desbordamiento del aliviadero. El tambor gira dejando las partículas sólidas en la superficie del cilindro donde quedan retenidas y posteriormente son separadas por las rasquetas. El tambor presenta la función de autolimpieza al pasar por la parte inferior del tambor.



**Figura 23:** Esquema del funcionamiento de un equipo de tamiz rotatorio [35]

Con la tabla de caudales proporcionada por el fabricante (Tabla 13) se elige el modelo que mejor ajuste al caudal de diseño. Con un caudal punta de  $228,39 \text{ m}^3/\text{h}$  se ha elegido el modelo M-500 con una capacidad de hasta  $365 \text{ m}^3/\text{h}$  y una luz de malla de  $0,5 \text{ mm}$ . Sus características vienen definidas por el fabricante:

- Diámetro tambor: 630 mm
- Longitud tambor: 500 mm
- Potencia: 0,55 kW

**Tabla 13:** Caudales máximos de agua a tratar por distintos modelos de tamices [35]

TR HPS - Caudales Máximos Agua Limpia, $\text{m}^3/\text{h}$ (US gpm)								
Luz de Malla	Malla de Rejilla ▼▼, mm (in)						Malla Perforada Ø, mm (in)	
Modelo	0.15 (0.006)	0.25 (0.01)	0.50 (0.02)	0.75 (0.03)	1.00 (0.04)	2.00 (0.08)	2.00 (0.08)	3.00 (0.12)
M-500	133 (584)	208 (918)	365 (1,606)	486 (2,141)	584 (2,569)	834 (3,670)	332 (1,462)	467 (2,056)
M-1000	269 (1,185)	423 (1,861)	740 (3,258)	987 (4,343)	1,184 (5,212)	1,691 (7,446)	671 (2,955)	914 (4,024)
M-1500	405 (1,785)	637 (2,805)	1,115 (4,910)	1,487 (6,546)	1,784 (7,855)	2,549 (11,222)	1,011 (4,453)	1,423 (6,265)
L-1500	699 (3,079)	1,099 (4,838)	1,923 (8,466)	2,564 (11,288)	3,077 (13,546)	4,395 (19,351)	1,744 (7,679)	2,454 (10,804)
L-2000	934 (4,114)	1,468 (6,466)	2,570 (11,315)	3,426 (15,086)	4,112 (18,104)	5,874 (25,862)	2,331 (10,263)	3,280 (14,441)

Las pérdidas de carga de los tamices limpios suelen ser despreciables [28] y se calculan mediante la Ecuación 21:

$$h_l = \frac{1}{C \cdot 2 \cdot g} \left( \frac{Q}{A} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde:

$h_l$ : pérdida de carga (m)

C: coeficiente adimensional de descarga del tamiz

Q: caudal a través del tamiz ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

A: superficie efectiva sumergida del tamiz ( $\text{m}^2$ )

g: aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

El coeficiente C y el área A dependen de factores del diseño del tamiz. El valor de C suele ser 0,6 para los tamices limpios. En cuanto al valor de A, se han cogido las especificaciones dadas por el fabricante donde el diámetro del tambor es 0,63 m y la longitud 0,5 m. Teniendo en cuenta estos valores se obtiene una pérdida de carga de 0,348 mm.

### 9.3. Diseño flotador

El flotador elegido para el diseño de la instalación es un flotador con sistema DAF con recirculación. Mediante la introducción de aire en el flotador se consiguen burbujas que permitirá la elevación de partículas hacia la superficie donde serán retirados.

El objetivo del flotador que se diseña no es eliminar la mayor concentración de sólidos en suspensión posibles, sino eliminar las microfibras del agua residual.

Con los datos de la Tabla 10, se designa como dato de partida 11 microfibras/L (no se disponen de datos anteriores al decantador primario). Con un rendimiento de eliminación de microplásticos fijado en el 95%, el flotador eliminaría 57,28 millones de fibras al día. Por tanto, las fibras estarían básicamente recogidas en el fango primario, el cual se propone tratarlo de forma separada.

A día de hoy existe una gran discusión sobre el destino de los fangos, habiendo limitado algunos países, como Alemania, el uso en la agricultura, debido a la presencia de contaminantes emergentes y entre ellos los microplásticos. No es objetivo de este TFG la discusión de las alternativas en el tratamiento de los fangos generados, pero la valorización energética de los mismos tras deshidratación sería una alternativa que eliminaría tanto la materia orgánica del fango como las microfibras eliminadas.

En la Tabla 14 se indican los parámetros de diseño elegidos para la instalación.

**Tabla 14:** *Parámetros del flotador para su diseño (elaboración propia)*

Parámetro	Rango recomendado	Valor utilizado
Sólidos en suspensión afluente		250 mg/L
Sólidos en suspensión en el fango concentrado		15.000 mg/L
Sólidos en suspensión clarificado		100 mg/L
Parámetro f	0,5 – 0,8 [13]	0,5
Presión de operación	2-4 atm [13]	4 atm
Carga hidráulica	0,5 – 9,6 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ [28]	5 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$
Caudal	-	5.481,36 $\text{m}^3/\text{d}$
Tiempo de retención	10-60 min [29]	30 min

La cantidad de sólidos en suspensión quiere concentrarse de un  $0,25 \text{ kg SS}/\text{m}^3$  en el agua hasta un valor estimado de  $15 \text{ kg SS}/\text{m}^3$  en el fango. Se elige esta concentración en el fango acorde con el resto de los datos de diseño. Si bien no es elevada tratándose de un fango primario, cabe recordar que el objetivo de esta etapa no es eliminar un elevado porcentaje de sólidos en suspensión sino conseguir una gran reducción en el contenido de microfibras.

El parámetro f, que hace referencia a la fracción (o eficiencia) del aire disuelto en la cámara de saturación, tiene un rango habitual de 0,5 a 0,8 siendo la presión de 2 a 4 atm. Generalmente se suele elegir el valor más conservador de 0,5 [13].

Para el valor de la carga hidráulica se suele tener un valor entre  $0,5 - 9,6 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$  [28], siendo el rango más habitual de  $3 - 5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ . Para el diseño de esta instalación se ha elegido un valor de  $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$  ( $= 120 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ) ya que, a pesar de que un valor más pequeño produciría una mejor separación, los costes se incrementarían.

El tiempo de retención para un equipo de retención varía entre 10 y 60 minutos [29], siendo el rango más habitual entre 20 y 40 minutos, por ello se ha elegido para este diseño un valor intermedio de 30 minutos.

### 9.3.1. Parámetro A/S

Este parámetro viene definido por las gráficas obtenidas por el análisis de diferentes muestras. Conociendo el valor de la concentración de sólidos en la corriente de clarificado de  $100 \text{ mg}/\text{L}$  y, a partir del gráfico de la Figura 21, se obtiene un valor para A/S de 0,005.

Según Metcalf et al. el rango habitual de este parámetro está entre 0,005 y 0,06, un valor dentro de este rango asegura una buena eficiencia ya que se formarán suficientes burbujas para elevar los sólidos y poder separarlos. Aunque el valor obtenido es muy pequeño y está en el límite de este rango habitual, como en este diseño se pretende eliminar las fibras y no los sólidos en suspensión es un valor aceptado.

### 9.3.2. Cantidad de aire inyectado

Con el valor de A/S conocido puede calcularse la aportación necesaria de aire al flotador (A).

$$\frac{A}{S} = \frac{\text{kg/d de aire}}{\text{kg/d de sólidos en suspensión en el afluente}}$$

$$\frac{A}{0,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5481,36 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = 0,005$$

$$A = 6,85 \frac{\text{kg aire}}{\text{d}}$$

### 9.3.3. Dimensionado del tanque

A partir de la Ecuación 3 se va a obtener en primer lugar, el caudal a recircular. Una vez calculado este valor, se puede calcular la superficie necesaria del flotador y su diámetro.

$$Q_R = \frac{A/S \cdot Q_0 \cdot X_0}{\rho_a \cdot \delta_a \cdot (f \cdot P - 1)}$$

Se considera una temperatura de 21°C, por lo que los parámetros de densidad y solubilidad serán 1,202 g/L y 19,88 mL<sub>aire</sub>/mL<sub>agua</sub>, respectivamente.

Una vez obtenidos todos los parámetros necesarios, se sustituirán en la Ecuación 3:

$$Q_R = \frac{0,005 \frac{\text{kg aire}}{\text{kg sólidos}} \cdot 5481,36 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 0,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1,202 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,01988 \frac{\text{L}}{\text{L}} \cdot (0,5 \cdot 4 - 1)}$$

$$Q_R = 286,73 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Se obtiene un caudal de 286,73 m<sup>3</sup>/d, lo cual supone que el 19,11% del caudal total se recircula.

Con el caudal necesario para recircular calculado, ya se puede obtener el área del flotador mediante la Ecuación 4.

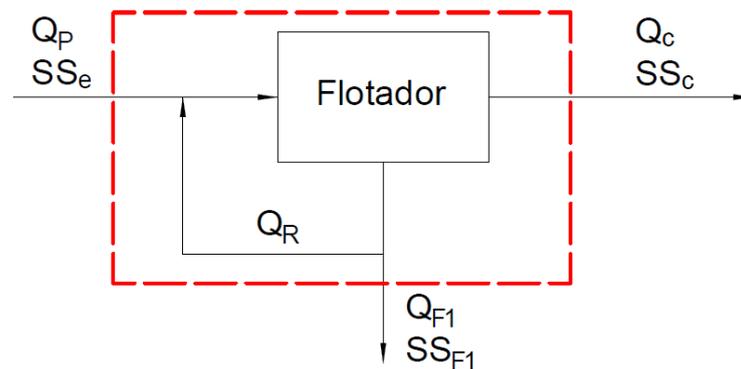
$$A_{flot} = \frac{5481,36 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + 286,73 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{120 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}} = 48,07 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta que se trata de un flotador circular, se obtiene un diámetro de 7,82 m:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{flot}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 48,07}{\pi}} = 7,82 \text{ m}$$

#### 9.3.4. Cálculo de las corrientes de salida

Una vez dimensionado el flotador, se pasa a calcular los caudales de salida (clarificado y fango concentrado) con el volumen de control en el flotador (ver Figura 24).



**Figura 24:** Diagrama de flujo del sistema de flotación DAF (elaboración propia)

Haciendo un balance de materia de las corrientes de la unidad de flotación, se obtiene las Ecuaciones 22 y 23, a partir de las cuales se pueden calcular los dos caudales de salida.

$$Q_P = Q_{F1} + Q_C \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$Q_P \cdot SSe = Q_{F1} \cdot SS_{F1} + Q_C \cdot SS_C \quad (\text{Ecuación 23})$$

$$5481,36 = Q_{F1} + Q_C$$

$$5481,36 \cdot 0,25 = Q_{F1} \cdot 15 + Q_C \cdot 0,1$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones, se obtiene un valor para el caudal de fango ( $Q_{F1}$ ) de 55,18  $\text{m}^3/\text{d}$  y un caudal del clarificado ( $Q_C$ ) de 5.426,17  $\text{m}^3/\text{d}$ .

### 9.3.5. Dimensiones del calderín

EL volumen del tanque de presurización viene definido por el caudal de recirculación del flotador y el tiempo de retención (Ecuación 24).

$$V_{calderin} = Q_R \cdot t_r \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde el caudal vendrá definido en  $\text{m}^3/\text{min}$  y para el tiempo de retención se elige un valor de 2 minutos (ver Tabla 7).

$$V_{calderin} = 0,199 \cdot 2 = 0,398 \text{ m}^3$$

Así se obtiene un volumen de  $0,398 \text{ m}^3$ .

## 9.4. Diseño reactor biológico

Para el diseño del reactor biológico se ha escogido un sistema de flujo pistón con aireación prolongada para evitar la diferencia en la demanda de oxígeno a lo largo de él. Es un proceso que presenta menores posibilidades de 'bulking' ya que en la parte del reactor donde se introduce el agua del flotador y el fango de recirculación la carga orgánica es alta, lo que favorece el crecimiento de las bacterias formadoras de flóculos frente al crecimiento de las bacterias filamentosas. En cuanto al sistema de aireación, contará con un sistema de difusores conectados a un soplante que aportarán el oxígeno necesario al sistema.

Los valores de los parámetros de diseño varían dependiendo de la configuración que se utilice. En la Tabla 15 se muestran los valores para la configuración elegida que corresponde a aireación prolongada.

**Tabla 15:** Valores habituales de los parámetros de diseño para los procesos de fangos activos [28]

PROCESO	$C_m$ ( $\text{kg}_{\text{DBO}_5}/\text{kg}_{\text{SSLM}} \cdot \text{d}$ )	Carga volumétrica ( $\text{kg}_{\text{DBO}_5}/\text{kg}_{\text{SSLM}} \cdot \text{m}^3$ )	$SS_{LM}$ (mg/L)	$t_r$ (h)	$r$
<b>Aireación prolongada</b>	0,05 – 0,15	0,16 – 0,40	3.000 – 6.000	3 - 5	0,50 – 1,50

A partir de los resultados de las etapas anteriores y de los datos de la Tabla 15 se eligen los valores de partida siguientes:

- Carga másica:  $0,1 \text{ kg}_{\text{DBO}_5}/(\text{kg}_{\text{SST}} \cdot \text{d})$ .
- Concentración de sólidos en suspensión en el licor de mezcla:  $4 \text{ kg}/\text{m}^3$ .
- Caudal de entrada al reactor ( $Q_c$ ):  $5426,17 \text{ m}^3/\text{d}$ .
- El contenido de  $\text{DBO}_5$  a la entrada del reactor será de  $180 \text{ mg}/\text{L}$ , de tal forma que constituya el 75% del contenido inicial en el agua (se supone que se elimina un 25% en la etapa de flotación).

#### 9.4.1. Producción de fango

En primer lugar, se calculará la producción de fangos, específica y neta mediante las Ecuaciones 7 y 9.

$$Pe = 1,2 \cdot Cm^{0,23} = 1,2 \cdot 0,1^{0,23} = 0,71 \frac{\text{kg SS}}{\text{kg DBO}_5}$$

$$\Delta X = Pe \cdot Qc \cdot DBO_5 = 0,71 \cdot 5426,17 \cdot 0,18 = 693,46 \frac{\text{kg SS}}{\text{d}}$$

#### 9.4.2. Edad de fango

Una vez se tiene el valor de los fangos producidos, se calcula la edad del fango con la Ecuación 8, dando como resultado 14 días.

$$\theta = \frac{1}{Pe \cdot Cm} = \frac{1}{0,71 \cdot 0,1} = 14,08 \text{ días}$$

#### 9.4.3. Dimensionado del reactor

Para el dimensionado del tanque de reacción se utilizará la Ecuación 6, de la cual se despejará el volumen del reactor.

$$V_{reactor} = \frac{DBO_5 \cdot Q_C}{[SS_{LM}] \cdot C_m} = \frac{0,18 \text{ kgDBO}_5/\text{m}^3 \cdot 5426,17 \text{ m}^3/\text{d}}{4 \text{ kgSS}/\text{m}^3 \cdot 0,1 \text{ kgDBO}_5/\text{kgSS} \cdot \text{d}} = 2.441,77 \text{ m}^3$$

Para el diseño del reactor biológico no se ha considerado la reducción de nutrientes ya que no es objeto del presente TFG, por lo que el reactor no estará separado por zonas (aerobia, anóxica y anaerobia) y será toda una única sección.

Con el volumen calculado, se fijarán dos de las dimensiones del tanque (longitud y profundidad) para obtener la anchura mediante la Ecuación 25.

$$V_{reactor} = L \cdot a \cdot h \quad (\text{Ecuación 25})$$

Donde,

L: longitud tanque (m)

a: anchura del tanque (m)

h: calado o altura del tanque (m)

Al ser un tanque aireado mediante difusores el calado viene regulado en un rango de 3 a 6 metros. Se elige un valor de 4 metros, ya que cuanto mayor es el calado mayor es la eficacia en la transferencia de oxígeno, pero mayor es el consumo.

En cuanto al valor de la longitud, se recomienda que este comprendida entre 10 y 15 veces el valor de su profundidad [28], por tanto, se fijará como longitud 40 metros (10 veces su altura).

De esta forma se obtiene una anchura del reactor de 15,26 m.

#### 9.4.5. Tiempo de retención hidráulico

El tiempo que estará el agua dentro del reactor se calculará con el caudal en  $\text{m}^3/\text{h}$  y tendrá como resultado el siguiente:

$$TRH = \frac{V_{reactor}}{Q} = \frac{2441,77}{226,09} = 10,8 \text{ horas}$$

#### 9.4.6. Necesidad de oxígeno

El oxígeno que es necesario en el reactor está compuesto por el oxígeno que necesitan los microorganismos para la oxidación, para la respiración endógena y para el proceso de nitrificación.

- Oxidación del sustrato: Para la relación de oxígeno con la materia orgánica ( $\text{gO}_2/\text{gDBO}_5$ ) se usará la ecuación propuesta por la universidad de Delft según  $0,5 + 0,01 \cdot \theta$ , donde  $\theta$  es la edad de fango [36].

$$O_2 \text{ necesario} = 0,6408 \frac{\text{gO}_2}{\text{gDBO}_5} \cdot 0,18 \frac{\text{gDBO}_5}{\text{m}^3} \cdot 5426,17 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 625,88 \frac{\text{gO}_2}{\text{d}}$$

- Respiración endógena: Para la relación de oxígeno con la materia orgánica se usará la ecuación propuesta por la universidad de Delft según  $0,15 - 0,0055 \cdot \theta$  [36].

$$O_2 \text{ necesario} = 0,07 \frac{\text{gO}_2}{\text{gDBO}_5} \cdot 0,18 \frac{\text{gDBO}_5}{\text{m}^3} \cdot 5426,17 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 70,87 \frac{\text{gO}_2}{\text{d}}$$

- Nitrificación: aunque no es objetivo de este TFG la eliminación de los nutrientes para la obtención del oxígeno necesario se considerará el proceso de la nitrificación ya que a la edad de fango del proceso proliferan, principalmente en verano (su crecimiento se ve favorecido con la temperatura), las bacterias nitrificantes, las cuales también consumen oxígeno. La nitrificación es el proceso biológico por el que el nitrógeno del amoníaco consume oxígeno del agua. Para el cálculo se considera  $0,01 \text{ kg N}/\text{m}^3$  y se utiliza un factor de  $4,57 \text{ kgO}_2/\text{kgN}$  ya que se necesitan 2 moles de  $\text{O}_2$  para oxidar 1 mol de nitrógeno amoniacal [31].

$$O_2 \text{ necesario} = 4,57 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgN}} \cdot 0,01 \frac{\text{kgN}}{\text{m}^3} \cdot 5426,17 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 247,98 \frac{\text{kgO}_2}{\text{d}}$$

De tal forma que el caudal de aire a aportar al tanque será la suma de los tres anteriores, obteniendo un total de  $944,73 \text{ kgO}_2/\text{d}$ .

#### 9.4.7. Aireación

Una vez calculada la cantidad de oxígeno que se necesita para el tratamiento se va a determinar el número de difusores a instalar en el reactor mediante la Ecuación 26.

$$\text{Número difusores} = \frac{Q_{\text{aire necesario}}}{Q_{\text{aire difusor}}} \quad (\text{Ecuación 26})$$

Para ello es necesario obtener la cantidad de aire correspondiente a la cantidad de oxígeno calculado en el apartado anterior. Estos se relacionarán con la densidad del aire y con la fracción de oxígeno en el aire (23,3%).

$$\text{Aire necesario} = 944,73 \frac{\text{kgO}_2}{\text{d}} \cdot \frac{100 \text{ kg aire}}{23,3 \text{ kgO}_2} \cdot \frac{1 \text{ m}^3 \text{ aire}}{1,206 \text{ kg aire}} = 3.362,05 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Obtenido la equivalencia del oxígeno a la cantidad de aire, se calculará el caudal teniendo en cuenta la eficacia de los difusores. Se va a elegir difusores de burbuja fina de la marca Repicky y modelo RG-300, cuyas especificaciones, determinadas por el fabricante, son las siguientes [37]:

- Rango de caudal:  $2\text{-}8 \text{ m}^3/\text{h}$
- Pérdida de carga a  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ :  $40 \text{ mbar}$
- Eficacia (SOTE):  $8\%$  por metro de inmersión
- Diámetro:  $310 \text{ mm}$

$$Q_{\text{aire}} = \frac{\text{Aire necesario}}{\text{Efectividad} \cdot \text{Altura tanque}} = \frac{140,08 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,08 \cdot 4} = 437,75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El número de difusores necesarios para suministrar este caudal de aire será:

$$\text{Número difusores} = \frac{437,75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 87,55 \cong 88$$

Se redondeará a 88 para asegurar que se suministra siempre más oxígeno del necesario. Los difusores se repartirán por la superficie del reactor distribuyendo más unidades al inicio ya que la necesidad de oxígeno disminuye a lo largo del reactor.

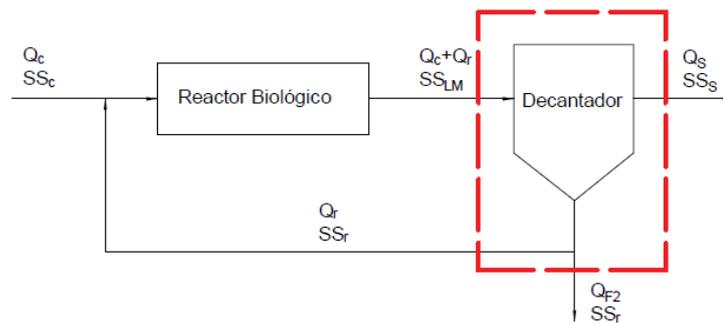
Para suministrar el aire se utilizarán dos líneas de aireación con soplantes que proporcionarán el aire a todos los difusores.

## 9.5. Diseño decantador secundario

El decantador elegido para el diseño es un decantador circular con rasquetas de barrido en el fondo, con una pendiente del 10%.

### 9.5.1. Caudales de salida del decantador

En primer lugar, se calculará el caudal a recircular al reactor. Esto se hará mediante un balance de materia al decantador secundario (Ecuación 27).



**Figura 25:** Volumen de control en el decantador (elaboración propia)

$$(Q_r + Q_c) \cdot SS_{LM} = (Q_r + Q_{F2}) \cdot SS_r + Q_s \cdot SS_s \quad (\text{Ecuación 27})$$

Se va a sustituir  $r = \frac{Q_r}{Q_c}$  y teniendo en cuenta que la producción de fangos ( $\Delta x$ ) es igual a los términos de salida del proceso se obtiene la expresión siguiente (Ecuación 28):

$$r = \frac{\Delta X - Q_c \cdot SS_{LM}}{Q_c \cdot (SS_r - SS_{LM})} \quad (\text{Ecuación 28})$$

Considerando que la producción de fangos tiene un valor pequeño frente a los términos de la recirculación, se considera despreciable y la expresión queda simplificada según la Ecuación 29.

$$r = \frac{SS_{LM}}{SS_r - SS_{LM}} \quad (\text{Ecuación 29})$$

Fijando un valor típico para la concentración de sólidos en suspensión en la recirculación de 8.000 mg/L, se obtiene la relación:

$$r = \frac{Q_r}{Q_c} = \frac{4}{8 - 4} = 1$$

$$Q_c = Q_r$$

Por tanto, el caudal de recirculación será de 5.426,17 m<sup>3</sup>/d.

Por último, el caudal de fango vendrá definido por la Ecuación 30.

$$Q_{F2} = \frac{\Delta X}{SS_r} \quad (\text{Ecuación 30})$$

Obteniendo un valor de  $Q_{F2}=86,68 \text{ m}^3/\text{d}$ , y mediante un balance, el caudal de salida del decantador será  $Q_s=5.339,49 \text{ m}^3/\text{d}$ .

### 9.5.2. Dimensionado del tanque de decantación

Para el dimensionado del decantador, en primer lugar, se calculará la superficie que debe tener mediante la Ecuación 11, fijando un parámetro de carga hidráulica. Según los rangos proporcionados por la CEDEX, para un caudal punta, la carga hidráulica debe ser menor de  $1,5 \text{ m}/\text{h}$ .

Fijando una carga de  $1,5 \text{ m}/\text{h}$  y el caudal en  $\text{m}^3/\text{h}$ , se obtiene la superficie siguiente:

$$A_{decant} = \frac{Q_c}{q} = \frac{226,09}{1,5} = 150,73 \text{ m}^2$$

Al ser un decantador circular, el diámetro que presenta el decantador es de:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{decant}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 150,73}{\pi}} = 13,85 \text{ m}$$

El calado del decantador depende de su diámetro según las relaciones de la Tabla 16. Por lo que para un diámetro de  $13,85 \text{ m}$  corresponde una altura mínima de  $4 \text{ metros}$ .

**Tabla 16:** Relación entre el diámetro y el calado en un decantador secundario [38]

DIÁMETRO	CALADO MÍNIMO
< 12 m	3,5 m
12 – 21 m	4 m
21 – 30 m	> 4 m

Con la superficie y fijando un valor para la altura de  $4 \text{ m}$ , se calculará la capacidad del tanque:

$$V = A \cdot h = 150,73 \cdot 4 = 602,92 \text{ m}^3$$

Y, por último, de la Ecuación 13 se obtendrá el tiempo de retención en el decantador secundario.

$$THR = \frac{602,92}{226,09} = 2,67 \text{ h}$$

Para finalizar se comprueba que se cumpla los rangos de diseño para los parámetros de la carga de sólidos y la carga hidráulica sobre vertedero ( $C_s < 6 \text{ kg}/\text{m}^2\text{-d}$  (a  $Q_p$ ) y  $CH_v < 10 \text{ m}^2/\text{h}$  [38]). Para ello se utilizarán las Ecuaciones 11 y 13 respectivamente.

$$CS = \frac{226,09 \cdot 4}{150,73} = 5,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

$$CH_V = \frac{226,09}{2 \cdot \pi \cdot 13,85} = 2,6 \text{ m}^2/\text{h}$$

## 9.6. Diseño hidráulico

### 9.6.1. Diseño de tuberías

El diámetro de las tuberías vendrá definido por la Ecuación 31. Las velocidades de diseño están comprendidas entre 0,5 y 2 m/s, ya que velocidades menores pueden causar estancamiento y velocidades mayores producen pérdidas de carga. Por ello se ha elegido un valor medio de 1,5 m/s.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad (\text{Ecuación 31})$$

Donde:

Q: caudal que pasa por la tubería ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

v: velocidad del agua (m/s)

Aplicando la Ecuación 31 a cada tramo de la instalación se obtendrá los resultados recogidos en la Tabla 17. Se van a utilizar tuberías de polietileno por su ligereza y su alta resistencia química y a la abrasión. Se usan tuberías PN 10 que cumplen la normativa UNE 12201 fabricadas por la empresa MASA.

**Tabla 17:** Diámetros de las tuberías para cada sector (elaboración propia)

	Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$D_{\text{int}}$ (mm)	DN (mm)	e (mm)
Desbaste – Flotación (A)	0,0634	232	280	16,6
Flotación – Reactor biológico (B)	0,0628	230	280	16,6
Recirculación flotador (C)	0,0033	53	63	3,8
Reactor biológico – Decantador (D)	0,1256	327	400	23,7
Recirculación decantador (E)	0,0628	230	280	16,6

A continuación, se calcularán las pérdidas de carga en las conducciones de la instalación. Para ello se utilizará la ecuación de Darcy -Weisbach (Ecuación 32) para tuberías circulares.

$$h_f = \frac{L \cdot 8 \cdot f \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^5 \cdot g} \quad (\text{Ecuación 32})$$

Donde,

L: longitud de la tubería (m)

f: coeficiente de fricción de Darcy

Q: caudal del agua ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

D: diámetro interno de la tubería (m)

g: aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

Para la obtención del factor de fricción se utilizará el ábaco de Moody (Figura 26), para el cual es necesario el número de Reynolds, que viene definido por la Ecuación 33, y el factor  $\epsilon/D$  que corresponde con la rugosidad absoluta del material entre el diámetro de la tubería (para plásticos  $\epsilon=0,015$  [39]).

$$Re = \frac{4 \cdot Q \cdot \rho}{\pi \cdot \mu \cdot D} \quad (\text{Ecuación 33})$$

Donde,

Q: caudal de agua ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\rho$ : densidad del agua a  $21^\circ\text{C}$  ( $997,992 \text{ kg/m}^3$ )

$\mu$ : viscosidad del agua a  $21^\circ\text{C}$  ( $9,79 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ )

D: diámetro interno de la tubería (m)

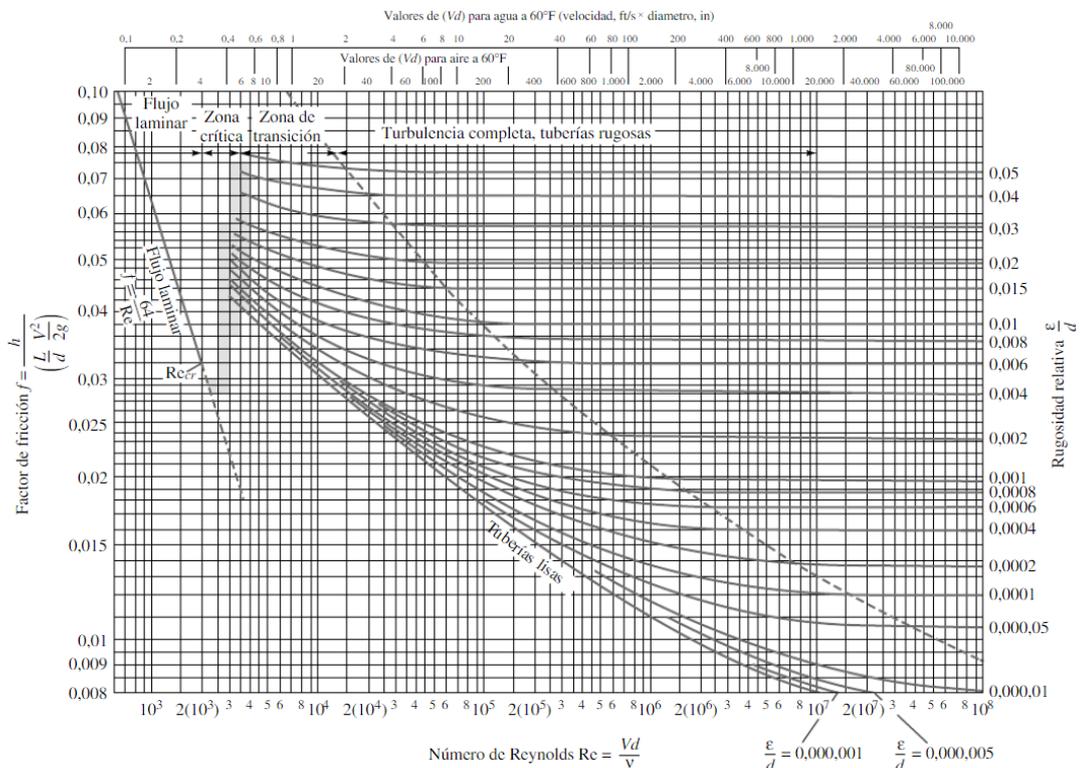


Figura 26: Diagrama de Moody [39]

Además de las pérdidas de carga por fricción, se debe añadir las pérdidas de carga localizadas producidas por los codos, que vienen definidas por la Ecuación 34.

$$h_l = \frac{8 \cdot k \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4} \quad (\text{Ecuación 34})$$

Donde,

k: coeficiente de resistencia del caudal

Q: caudal de agua ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

g: aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

D: diámetro interno de la tubería (m)

En la Tabla 18 se recogen las pérdidas de carga por fricción ( $h_f$ ) y las pérdidas de carga localizadas ( $h_l$ ) debida al total de codos por sector. En cuanto a la longitud de las tuberías y el número de codos se utilizarán los valores indicados en el plano de la Distribución en planta, del Documento 2. Se considera todos los codos de  $90^\circ$  y un coeficiente k de 0,9 [40].

**Tabla 18:** Pérdidas de carga para cada sector de tuberías (elaboración propia)

	Re	$\epsilon/D$	f	L (m)	$h_f$ (m)	codos	$h_l$ (m)
Desbaste – Flotación (A)	$3,547 \cdot 10^5$	$6,465 \cdot 10^{-6}$	0,014	3,23	0,0223	-	-
Flotación – Reactor biológico (B)	$3,544 \cdot 10^5$	$6,521 \cdot 10^{-6}$	0,014	26,48	0,1879	1	0,1049
Recirculación flotador (C)	$8,082 \cdot 10^4$	$4,587 \cdot 10^{-6}$	0,0195	8,78	0,3687	1	0,1027
Reactor biológico – Decantador (D)	$4,985 \cdot 10^5$	$2,830 \cdot 10^{-5}$	0,013	19,55	0,0887	2	0,2054
Recirculación decantador (E)	$3,544 \cdot 10^5$	$6,521 \cdot 10^{-6}$	0,014	45,57	0,3233	1	0,1049

### 9.6.2. Válvulas

Para el diseño de la instalación han hecho falta 5 válvulas de compuerta y 1 válvula reductora de presión (VRP), repartidas como se muestran en el plano del Diagrama de flujo del Documento 2.

El cálculo de las pérdidas de carga producidas por las válvulas se hace mediante la Ecuación 34. Para las válvulas de compuerta se considera un valor de coeficiente  $k$  de 0,2 [40]. En cuanto a la válvula de reducción de presión se ha escogido un valor de 10 [41].

En la Tabla 19 quedan recogidas las pérdidas de carga producidas por las diferentes válvulas presentes en cada sector de tuberías.

**Tabla 19:** Pérdidas de carga localizadas debido a las válvulas (elaboración propia)

	$D_{int}$ (mm)	VRP	Válvulas de compuerta	$h_l$ (m)
Desbaste – Flotación (A)	232	-	1	0,0229
Flotación – Reactor biológico (B)	230	-	1	0,0233
Recirculación flotador (C)	53	1	1	1,1643
Reactor biológico – Decantador (D)	327	-	1	0,0228
Recirculación decantador (E)	230	-	1	0,0233

Las válvulas de compuerta elegidas son de la marca Masa de diámetros DN65 para la recirculación del flotador, DN400 para el tramo el reactor al decantador y DN280 para el resto de los tramos. Todas fabricadas con acero inoxidable para aplicar en aguas residuales.

En cuanto a la válvula reguladora se elige una válvula de DN63 de la marca Brass fabricada de latón.

También se colocarán cuatro válvulas de seguridad tras las bombas para evitar sobrepresiones. Las válvulas elegidas son de apertura total instantánea de la marca VYC, modelo 496.

### 9.6.3. Bombas

Para la selección de bombas primero será necesario obtener las pérdidas de carga totales, que viene descritas en la Tabla 20, y se calcularán como la suma de las pérdidas en tuberías por fricción más las pérdidas de carga producidas por los accesorios en dichas tuberías (válvulas, codos). En el caso del tramo de la etapa de desbaste, se tendría en cuenta las pérdidas de carga calculadas en el Apartado 9.2 pero se despreciarán porque presentan un valor muy pequeño.

A estas, se les debe añadir la diferencia de alturas ( $\Delta H$ ) que debe superar la bomba para obtener la altura manométrica ( $H_B$ ), la cual es un parámetro de diseño de las bombas. Con este valor y el caudal se obtiene el modelo de bomba mediante la curva H-Q proporcionada por el fabricante.

Otro parámetro a la hora de elegir la bomba es la potencia, que viene definida por la Ecuación 35:

$$Pot = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad (\text{Ecuación 35})$$

Donde,

$\gamma$ : peso específico del fluido,  $\gamma=\rho \cdot g$  ( $\text{kg}/\text{s}^2 \cdot \text{m}^2$ )

Q: caudal de agua que atraviesa la bomba ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

H: altura manométrica (m)

$\eta$ : rendimiento de la bomba

**Tabla 20:** Parámetros de diseño de las bombas (elaboración propia)

	h totales (m)	$\Delta H$ (m)	$H_B$ (m)	Q ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Pot (kW)
Desbaste – Flotación (A)	0,0452	2,21	2,2552	228,24	2,166
Recirculación flotador (C)	1,6357	1,5	3,1357	11,952	0,639
Recirculación decantador (E)	0,4515	4	4,4515	226,08	5,597

Se han utilizado 4 bombas centrífugas para el diseño de la instalación, todas de la marca Grundfos. Se ha utilizado un modelo distinto para cada una según los valores de los parámetros de la altura y el caudal.

- Para la etapa de desbaste se ha usado dos bombas del modelo NB 150-200/210-168, con una potencia máxima de 2,2 kW y un rendimiento de 64,4%. Eje de acero inoxidable, con un motor de 6 polos y frecuencia de 50 Hz.
- Para la recirculación del flotador, se ha escogido el modelo SLV.65.65.09.2.50B con una potencia de hasta 0,9 kW y un rendimiento del 15%.
- Para la recirculación del decantador se ha elegido el modelo SE1.100.100.75.A.EX.4.51E.B. Presenta un rendimiento del 50,8% y una potencia máxima de 7,5 kW. Motor de 4 polos y de frecuencia 50 Hz.

#### 9.6.4. Línea de fango

Para la línea de fango se utilizará una válvula de mariposa y una bomba para cada conducto (fango primario y fango secundario).

Al no ser objeto de este TFG el diseño de la línea de fango, se supondrá unas pérdidas de carga de  $h=0,5 \text{ m}$ .

**Tabla 21:** Datos para la elección de las bombas para fangos (elaboración propia)

	h totales (m)	$\Delta H$ (m)	$H_B$ (m)	Q ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
Fangos flotador	0,5	0	0,5	2,30
Fangos decantador	0,5	4	4,5	3,61

Con los datos de altura y de caudal, se elige bombas centrífugas para aguas residuales y fangos, de la marca ENFound, modelo FKS con una altura máxima de 31 metros y un caudal máximo de 87  $\text{m}^3/\text{h}$ . Potencia máxima de 11 kW.

## 10. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

Se ha diseñado la instalación con el propósito de aumentar el rendimiento de eliminación de microplásticos en el proceso de depuración del agua residual. Además del cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE, cuyos parámetros se muestran en la Tabla 3, con el objetivo de poder verter de forma segura las aguas residuales al medio ambiente.

Esta instalación sigue el diagrama de flujo contenido en el Documento 2, y se ha diseñado para una población de 20.000 habitantes y un caudal punta de  $228,39 \text{ m}^3/\text{h}$ ,

El agua residual llega a una etapa de pretratamiento donde pasará por un desbaste en el que se incluye rejas gruesas, finas y tamices. En ellos se eliminarán los sólidos y residuos más grandes. Posteriormente, pasará al tratamiento primario, compuesto por una etapa de flotación en el que el objetivo principal es eliminar los microplásticos presentes. Por último, pasará a un tratamiento biológico de fangos activos del tipo aireación prolongada para acabar de reducir los parámetros a controlar en el agua.

En primer lugar, el caudal de agua residual recogida ( $Q = 5.481,36 \text{ m}^3/\text{d}$ ) será impulsada por una bomba centrífuga modelo NB 150-200/210-168 de la marca Grundfos hacia un canal de hormigón armado tipo HA-30/B/20/IIa. El canal presenta 0,4 metros de ancho y una altura de 0,717 m, donde están colocadas las rejas gruesas y, posteriormente las rejas finas. Las rejas gruesas se componen de 5 barros de 2 cm de espesor separadas por 5 cm, y las finas de 18 barros de 6 mm de espesor a una distancia de 1,5 cm excepto los dos barros extremos que estarán a una distancia del muro del canal de 1,85 cm.

Tras el paso por las rejas, el agua residual es sometida a la última etapa del pretratamiento, el tamizado, el cual se lleva a cabo en un equipo dinámico rotatorio y al que llega mediante la impulsión de otra bomba centrífuga modelo NB 150-200/210-168 y marca Grundfos. Tras la bomba se instala un sistema de purga con una válvula de seguridad de la marca VYC para evitar momentos de sobrepresión.

El tamiz rotatorio es el modelo M-500 de la marca Defender, que dispone de una malla de rejilla de 0,5 mm y que tiene una capacidad de hasta  $365 \text{ m}^3/\text{h}$ . El equipo separa los residuos recogidos que se quedan retenidas en el tambor. Estos residuos se recogerán dos veces a la semana para evitar la acumulación excesiva. Además, se hará una limpieza adicional una vez al mes a la superficie filtrante con la finalidad de limpiar grasas que se hayan quedado acumuladas.

Tanto para las dos rejas como para el tamiz, los residuos recogidos por el sistema de autolimpieza se trasladan por cintas transportadoras, pasando por un proceso de compactación hasta un contenedor. Aquellos que no sean extraídos por la limpieza automática, se recogerán de forma manual una vez por semana. En el caso que se detecten residuos en el fondo del canal de las rejas, se deberán extraer de forma manual.

Al ser un agua con una cantidad de grasa pequeña, los residuos pueden mezclarse y recogerse juntos. Estos serán recogidos por una empresa externa que se encargará de su gestión final, incluyendo su transporte.

Una vez completado el pretratamiento, el agua residual sigue hacia el tratamiento primario que se compone de una etapa de flotación con el objetivo de la separación de microplásticos. A la etapa de flotación llega el agua residual, tras pasar por una válvula de compuerta de la marca Masa, con una concentración de sólidos en suspensión de  $0,25 \text{ kg}/\text{m}^3$  y se concentrará hasta una concentración de  $15 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Al flotador se estima que entran  $11 \text{ MF}/\text{L}$ , siendo el rendimiento de separación previsto del 95%.

El equipo de flotación es un sistema por aire disuelto y con recirculación. Se trata de un flotador circular de hormigón armado tipo HA-30/B/20/IIa con un área de  $48,07 \text{ m}^2$ , un diámetro de  $7,82 \text{ m}$  y una altura de  $3 \text{ m}$ . Cuenta con una pasarela superior con un sistema de raspadores de superficie que se mueve gracias a un pequeño motor.

El caudal que se recircula a la entrada del flotador es de  $286,73 \text{ m}^3/\text{d}$  que, tras atravesar una válvula de compuerta, es impulsada por una bomba tipo SLV.65.65.09.2.50B de marca Grundfos hacia un tanque de saturación de  $0,398 \text{ m}^3$  donde permanece  $2 \text{ min}$  y se le inyecta  $6,85 \text{ kg}/\text{d}$  de aire mediante un compresor de marca Wuto. Después la corriente pasa por una válvula reductora de presión de la marca Brass antes de mezclarse con la corriente de entrada.

El caudal de clarificado que sale del flotador es de  $5.426,17 \text{ m}^3/\text{d}$  con una concentración de sólidos en suspensión de  $0,1 \text{ kg}/\text{m}^3$ . La otra corriente de salida del flotador son los fangos concentrados a  $15 \text{ kg}/\text{m}^3$ , esta corriente será la constituida por los fangos primarios con un caudal de  $55,18 \text{ m}^3/\text{d}$  que atraviesa una válvula de mariposa de la marca Sei y es impulsada por una bomba centrífuga para fangos de la marca ENFound modelo FKS, para llegar a las etapas de su tratamiento, el diseño del cual no es objeto de este trabajo.

La corriente del clarificado continua hacia el tratamiento biológico pasando por una válvula de compuerta, el cual se compone de un reactor tipo pistón con aireación prolongada. A este se le introduce aire mediante  $88$  difusores que aportan  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  de aire cada uno de la marca Repicky. El aire suministrado a los difusores se produce mediante dos líneas equipadas con soplantes de la marca Proyectus y válvulas antirretorno.

El reactor biológico tiene una capacidad de  $2.441,77 \text{ m}^3$  y una longitud de  $40 \text{ m}$ , una anchura de  $15,26 \text{ m}$  y un calado de  $4 \text{ m}$ . En él, el agua residual, permanece  $10,8$  horas donde los microorganismos descomponen la materia orgánica. Una vez pasado este tiempo, la corriente pasa a través de una válvula de compuerta al decantador secundario construido en hormigón armado tipo HA-30/B/20/IIa.

El decantador presenta un diámetro de  $13,85 \text{ m}$  con capacidad para  $602,92 \text{ m}^3$ . El agua a tratar permanece  $2,67$  horas dentro del decantador. Una vez transcurrido este tiempo se recircula una corriente de caudal  $5.426,17 \text{ m}^3/\text{d}$  a la entrada del reactor biológico. De esta forma se vuelven a introducir microorganismos en el reactor para mantener la actividad biológica. Esta corriente es impulsada mediante una bomba centrífuga de marca Grundfos tipo SE1.100.100.75.A.EX.4.51E.B y atraviesa una válvula de compuerta antes de mezclarse con la corriente de entrada al reactor.

Del decantador se purgan  $86,68 \text{ m}^3/\text{d}$  a través de una válvula de mariposa mediante una bomba centrífuga para fangos modelo FKS de la marca ENFound que impulsa la corriente hacia el tratamiento de fangos. El sobrenadante del decantador secundario, con un caudal de  $5.339,49 \text{ m}^3/\text{d}$ , es el agua depurada que ya cumple los requisitos para poder verterlas a cauce.

## 11. ESTUDIO ECONÓMICO

En el estudio económico se va a definir los costes anuales de la instalación sin incluir los costes de construcción y equipos, los cuales vienen definidos en el documento del presupuesto.

Los costes anuales de la instalación diseñada pueden ser agrupados en cuatro grupos principales: personal, energético, mantenimiento de equipo e instalaciones y recogida de residuos.

### 11.1. Costes de personal

Para el funcionamiento correcto de la instalación diseñada se ha considerado necesario la contratación de un jefe de planta y de cuatro operarios. Se considera un horario laboral de 8 horas diarias durante 7 días a la semana. Los costes del personal contratado se describen en la Tabla 22.

Un jefe de planta suele supervisar varias plantas a la vez. Se supondrá que está trabajando en cuatro plantas y, por tanto, el número de horas anuales que trabajará en la instalación será la cuarta parte.

**Tabla 22:** Costes referentes a la mano de obra

Descripción	Uds	Cantidad (h/año)	Precio (€/h)	Importe (€/año)
OPERARIOS/AS	4	2920	15	175.200,00
JEFE/A DE PLANTA	1	730	27	19.710,00
			<b>Total:</b>	<b>194.910,00</b>

### 11.2. Costes de energía

En los costes de energía recogidos en la Tabla 23, se detallan los precios de la energía y potencia necesarias en la instalación.

Las tarifas de la energía y de la potencia se dividen en tres periodos diarios: punta, llano y valle. Siendo aproximadamente 4, 12 y 8 horas respectivamente. Los precios utilizados corresponden a la Tarifa 3.0A para empresas pequeñas y medianas con potencias contratadas de más de 15 kW.

Considerando el porcentaje de horas de cada periodo se calcula la media ponderada de las tarifas obteniendo para el coste de energía 0,011 €/kW·h y para el coste de potencia 24,39 €/kW·año.

**Tabla 23:** Costes referentes al gasto energético anual

Descripción	Uds	Potencia necesaria (kW)	Coste Energía (€/h)	Coste Energía (€/año)	Coste Potencia (€/año)	Importe total (€/año)
TAMIZ ROTATORIO	1	0,55	0,00605	52,99	13,41	66,40
BOMBA DESBASTE	2	2,2	0,0484	423,98	107,32	531,30
MOTOR FLOTADOR	1	0,4	0,0044	38,54	9,76	48,30
COMPRESOR	1	0,3	0,0033	28,91	7,32	36,23
BOMBA RECIRCULACIÓN FLOTADOR	1	0,9	0,0099	86,72	21,95	108,67
BOMBA PURGA FLOTADOR	1	11	0,121	1.059,96	268,30	1.328,26
SOPLANTE	2	4	0,088	770,88	195,12	966,00
MOTOR DECANTADOR	1	0,5	0,0055	48,18	12,20	60,38
BOMBA RECIRCULACIÓN DECANTADOR	1	7,5	0,0825	722,7	182,93	905,63
BOMBA PURGA DECANTADOR	1	11	0,121	1.059,96	268,30	1.328,26
					<b>Total:</b>	<b>5.379,43</b>

### 11.3. Costes de mantenimiento

En cuanto a costes de mantenimiento de los equipos presentes en la instalación, son recogidos en la Tabla 24. Este tipo de coste es difícil de estimar y, por ello, se considera que es un porcentaje de la inversión de la maquinaria e instalaciones. Suele variar en un rango del 6 al 10%. Para esta instalación se ha elegido un 8%.

**Tabla 24:** Costes referentes al mantenimiento de equipos e instalaciones por año

Descripción	Coste (€/año)
Presupuesto inversión	237.443,33
<b>Mantenimiento (8%)</b>	<b>18.995,46</b>

## 11.4. Costes de la gestión de residuos

Los costes de gestión de residuos se calculan como los metros cúbicos de residuos a transportar y gestionar por la empresa externa contratada, como por ejemplo limpiezas Navarro, Detugra o Recytrans, que se encargan de recoger y gestionar diferentes tipos de residuos.

Según CEDEX, la cantidad de sólidos separados en las etapas del pretratamiento suele variar en los siguientes rangos:

- Para las rejillas gruesas: 2 – 5 L/hab·año
- Para las rejillas finas: 5 – 10 L/hab·año
- Para la etapa de tamizado: 15 – 40 L/hab·año

Suponiendo una producción total de residuos de 40 L/hab·año para la etapa de pretratamiento, los costes de la gestión se recogen en la Tabla 25.

**Tabla 25:** Costes de la gestión de los residuos

Descripción	Producción (L/hab·año)	Producción ( $\text{m}^3/\text{año}$ )	Precio transporte ( $\text{€}/\text{m}^3$ )	Precio anual ( $\text{€}/\text{año}$ )
Residuos pretratamiento	40	800	6,5	5.200,00
			<b>Total:</b>	<b>5.200,00</b>

## 11.5. Costes totales

Para el coste final de la instalación se calculará el total de todos los anteriores costes mostrados.

**Tabla 26:** Costes totales anuales

Descripción	Coste ( $\text{€}/\text{año}$ )
COSTE PERSONAL	194.910,00
COSTE ENERGÍA	5.379,43
COSTE MANTENIMIENTO	18.995,46
COSTE DE GESTIÓN DE RESIDUOS	5.200,00
<b>Total:</b>	<b>224.484,89</b>

También se calcula los costes por metro cúbico de agua tratada, dividiendo los costes totales entre el caudal a tratar en un año ( $1.825.000 \text{ m}^3/\text{año}$ ), y dando como resultado **0,123  $\text{€}/\text{m}^3$** .

## 12. CONCLUSIONES

En el tratamiento que reciben las aguas actualmente, no se controla ni se tiene presente la cantidad de microplásticos que contiene y que se emiten al entorno. Es por esta razón, el motivo de este trabajo.

Debido a la situación actual por la pandemia del COVID-19 no se pudieron hacer pruebas experimentales, es por ello, que el diseño se ha hecho a partir de datos bibliográficos referenciados a lo largo del trabajo.

Mediante estos se ha diseñado una línea de agua sustituyendo el decantador primario para separar sólidos en suspensión, por un flotador de aire disuelto con la finalidad de reducir el contenido de microplásticos en el agua, y por tanto, evitar que lleguen al medio ambiente.

A continuación, se sintetizan las principales conclusiones obtenidas en lo referente a la problemática de los plásticos como contaminantes:

- La producción de plásticos ha ido disminuyendo con los años gracias a la concienciación de la población, a pesar de eso la cantidad de residuos plásticos recogidas es de más de 29 millones de toneladas, solo en la Unión Europea. Cuando estos residuos no son gestionados correctamente acaban como contaminantes del medio ambiente, principalmente en el medio acuático.
- Los microplásticos se clasifican en primarios y secundarios según su fabricación. En el caso de los microplásticos primarios son aquellos producidos directamente para su uso como las microesferas añadidas en los cosméticos. En cuanto a los microplásticos secundarios son los formados por degradación de los plásticos, como las microfibras o microfragmentos.
- El problema de los microplásticos por no ser tan visible es que ha pasado desapercibido durante años consiguiendo una acumulación en los océanos. Algunos estudios estiman que entre 75.000 y 300.000 toneladas de microplásticos anuales se emiten al medio ambiente solo en la Unión Europea, siendo una de las principales fuentes de emisión las depuradoras de aguas residuales.

En relación con el diseño de la instalación los puntos concluyentes son:

- Con el objetivo de la eliminación preliminar de los sólidos más grandes se diseñó un canal de desbaste de 0,4 metros de ancho por la que el agua pasaría a través de dos sistemas de rejillas (gruesas y finas) y de un tamiz rotatorio.
- Para el diseño del flotador, se obtuvo que el mejor sistema con el objetivo de eliminar microplásticos era el sistema de aire disuelto. Se determinó que el flotador debía presentar un diámetro de 7,8 metros y que al sistema de recirculación se debía aplicar 6,85 kg diarios de aire.
- En cuanto al diseño del tratamiento biológico, se proyectó un proceso de fangos activo tipo pistón con aireación, diseñada con una capacidad de  $2.441,77 \text{ m}^3$  a la que se le introduce  $437,75 \text{ m}^3/\text{d}$  mediante 88 difusores sumergidos.

- El decantador secundario diseñado presentará un diámetro de 13,85 metros con el objetivo final de acabar de reducir los valores de los parámetros según la *Directiva 91/271/CEE* para poder verter el agua.
- En cuanto al diseño hidráulico han sido necesarias 4 bombas centrífugas para la línea de agua y 2 bombas de fangos. En lo referente a las válvulas se utilizan 7 válvulas de compuerta (cinco en la línea de agua y dos en la de fangos), 3 válvulas antirretorno para las líneas de aireación, una válvula reductora en la recirculación del flotador y 4 válvulas de seguridad para evitar puntos de sobrepresión.
- El estudio económico anual se centra en los aspectos siguientes: mantenimiento, energía, gestión residuos y personal. Este estudio concluye con una cifra de 224.484,89 euros anuales.
- El presupuesto de inversión de la instalación diseñada que engloba costes de construcción y de material, asciende a una cifra total de 237.443,31 euros.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Plastics Europe (2020). ¿Qué es el plástico?. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/history>
- [2] Plastics Europe (2019). Plastics- The Facts 2019. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
- [3] Greenpeace (2020). ¿Cómo llega el plástico a los océanos y qué sucede entonces? Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-oceanos-y-que-sucede-entonces/>
- [4] Wagner, Martin; Scott. Lambert (2018). Freshwater Microplastics: Emerging Environmental Contaminants, 1ª ed.
- [5] ANAIP (2017). Programa de Seguimiento de microplásticos en las aguas españolas. Disponible en: <https://www.anaip.es/images/PDF/2.CEPEXPrograma-seguimiento-microplasticos-ANAIP.pdf>
- [6] Bayo, J. (2018). Emisión de microplásticos desde estaciones depuradoras de aguas residuales: ¿son los polímeros más demandados los más encontrados en nuestros efluentes? Disponible en: <http://www.conama2018.org/web/generico.php?idpaginas=&lang=es&menu=438&id=103&op=viaw&tipo=C>
- [7] Hu, Yulin. et al. (2019). Current Research Trends on Microplastic Pollution from Wastewater Systems: a Critical Review. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, vol. 18, nº 2, pp. 207–300
- [8] Eur-Lex (2018). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1516265440535&uri=COM:2018:28:FIN>
- [9] European Environmental Bureau (2019). EU moves to ban microplastics in most products. Disponible en: <https://eeb.org/eu-moves-to-ban-microplastics-in-most-products/>
- [10] The Guardian (2019). EU proposes ban on 90% of microplastic pollutants. Recuperado en: <https://www.theguardian.com/environment/2019/jan/30/eu-european-union-proposes-microplastics-ban-plastic-pollution>
- [11] Surfrider Foundation (2018). Microplastic Legislation Passes in CA. Disponible en: <https://www.surfrider.org/coastal-blog/entry/microplastic-legislation-passes-in-ca>
- [12] Surfrider Foundation (2019). Bills and Best Practices for Microfiber Pollution Solutions. Disponible en: <https://www.surfrider.org/coastal-blog/entry/bills-and-best-practices-for-microfiber-pollution-solutions>
- [13] Ramalho, R. S. (1991). Tratamiento de aguas residuales. Reverté.

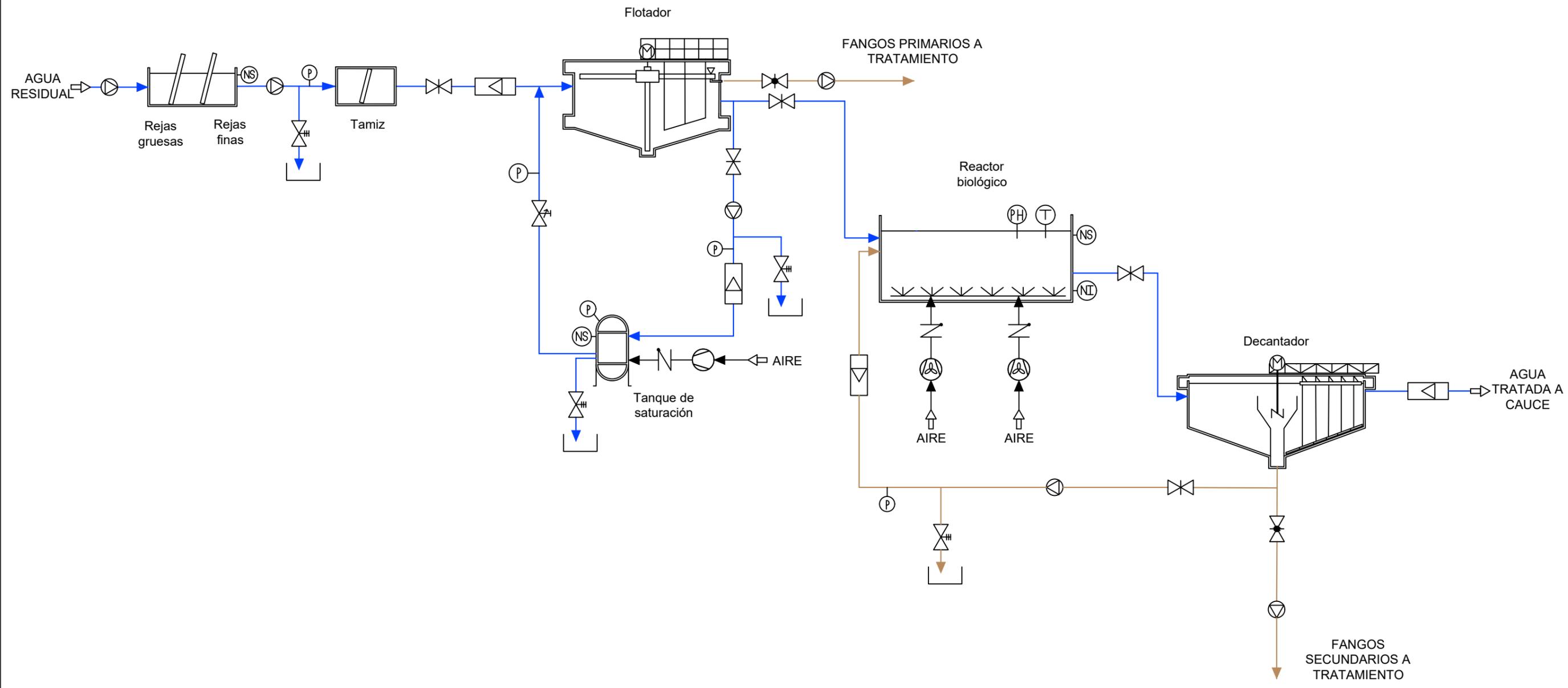
- [14] MITECO (2020). Lodos de depuración de aguas residuales. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/lodos-depuradora/>
- [15] Costa et al. (2016). (Nano) plastics in the environment – Sources, fates and effects.
- [16] Marín, R. et al. (2019). Microplásticos en aguas: presencia, investigación y potencial incidencia sanitaria sobre el ser humano. Tecno Aqua. Disponible en: [https://www.tecnoaqua.es/descargar\\_documento/reportaje-microplasticos-aguas-presencia-investigacion-incidencia-sanitaria-humano-tecnoaqua-es.pdf](https://www.tecnoaqua.es/descargar_documento/reportaje-microplasticos-aguas-presencia-investigacion-incidencia-sanitaria-humano-tecnoaqua-es.pdf)
- [17] Rodríguez Francisco, S. (2007). Tecnología industrial I. McGraw-Hill/Interamericana de España
- [18] Euratex (2019). Key Figures 2018. Disponible en: <https://euratex.eu/wp-content/uploads/2019/05/EURATEX-KEY-FIGURES-2018.pdf>
- [19] Lenzing (2020). Annual Report. Disponible en: [https://www.lenzing.com/index.php?type=88245&tx\\_filedownloads\\_file%5bfileName%5d=fileadmin/content/PDF/07\\_Finanzas/Geschaeftsberichte/EN/GB\\_2019\\_EN.pdf](https://www.lenzing.com/index.php?type=88245&tx_filedownloads_file%5bfileName%5d=fileadmin/content/PDF/07_Finanzas/Geschaeftsberichte/EN/GB_2019_EN.pdf)
- [20] Ellen Macarthur Foundation (2017). A new textiles economy: Redesigning fashion's future. Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/A-New-Textiles-Economy-Full-Report-Updated-1-12-17.pdf>
- [21] The Story of Stuff (2020). The Story of Microbeads. Disponible en: <https://www.storyofstuff.org/movies/lets-ban-the-bead/>
- [22] Beat the Microbead (2020). Plastic in Cosmetics is a Design Error. Disponible en: <https://www.beatthemicrobead.org/#what-are-microplastics>
- [23] Choi, Daheui, et al. (2020). In Vitro Chemical and Physical Toxicities of Polystyrene Microfragments in Human-Derived Cells. Journal of Hazardous Materials, vol. 400, Elsevier B.V, p. 123308, doi:10.1016/j.jhazmat.2020.123308.
- [24] Tanaka, Kosuke; Takada, Hideshige. (2016). Microplastic Fragments and Microbeads in Digestive Tracts of Planktivorous Fish from Urban Coastal Waters. Scientific Reports, vol. 6, no. 1, Springer Science and Business Media LLC, p. 34351, doi:10.1038/srep34351.
- [25] Crawford, C; Quinn, B. (2017). Microplastic separation techniques. Elsevier, págs. 203-218
- [26] Crawford, C; Quinn, B. (2017). Microplastic identification techniques. Elsevier, págs. 219-267
- [27] Ovivo (2020). Ovivo Daf Dissolved Air Flotation. Disponible en: <https://www.ovivowater.com/es/product/municipal/municipal-wastewater/sludge-handling-3/daf/ovivo-daf-dissolved-air-flotation/>
- [28] Tchobanoglous, G., et al. (1995). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill/Interamericana de España
- [29] Wang, Lawrence K.; Shammass, Nazih K.; Selke, William A.; Aulenbach, SiDonald B., Totowa, NJ. (2010). Flotation Technology, Humana Press, vol. 12, 1st ed.

- [30] MITECO (2010) Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Disponible en: <https://www.aragon.es/documents/20127/24009052/Manual+CEDEX2.pdf/32188fba-b20f-ecac-fb01-49a15e0e3cd9?t=1578648844927>
- [31] Ferrer Polo, José (2018). Tratamiento biológico de aguas residuales.
- [32] C. Bretas Alvim; M.A. Bes-Piá; J.A. Mendoza-Roca. (2020). Separation and identification of microplastics from primary and secondary effluents and activated sludge from wastewater treatment plants. Chemical Engineering Journal 402, 126293.
- [33] Tejero, I.; Suárez, J.; Jácome A; Temprano J. (2004). Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- [34] Comisión Nacional del Agua. (2019). Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Pretratamiento y tratamiento primario. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. México. Libro 26.
- [35] Toro Equipment (2015). Tamices Rotativos Defender. Disponible en: <https://www.toroequipment.com/wp/wp-content/uploads/2015/09/Tamices-Rotativos-Defender-Toro-Equipment-2.pdf>
- [36] La Iglesia, J. (2016). Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos Aireación. Recirculación/Módulo Gestión de Aguas Residuales y Reutilización.
- [37] Repicky S.A. (2016). Sistemas de Aireación para Tratamiento de Efluentes Líquidos Industriales y Cloacales. Disponible en: <http://repicky.com.ar/site/wp-content/uploads/2016/01/Folleto-Sistemas-de-Aireaci%C3%B3n-Repicky.pdf>
- [38] Jácome, A.; Suárez, J.; Ures, P. (2014). Fangos activos. Serie: Tratamientos secundarios. Inditex.
- [39] White, Frank M. (2004). Mecánica de fluidos. 5ª ed., McGraw-Hill/Interamericana de España.
- [40] Streeter; Victor Lyle; Evan Benjamin Wylie. (1993). Mecánica de los fluidos. 3ª ed., McGraw-Hill.
- [41] Sivakumar, P.; Prasad, R K. (2015). Extended Period Simulation of Pressure-Deficient Networks Using Pressure Reducing Valves. Water Resources Management, vol. 29, no. 5, Springer Netherlands, pp. 1713–30, doi:10.1007/s11269-014-0907-5.

# **DOCUMENTO 2: PLANOS**

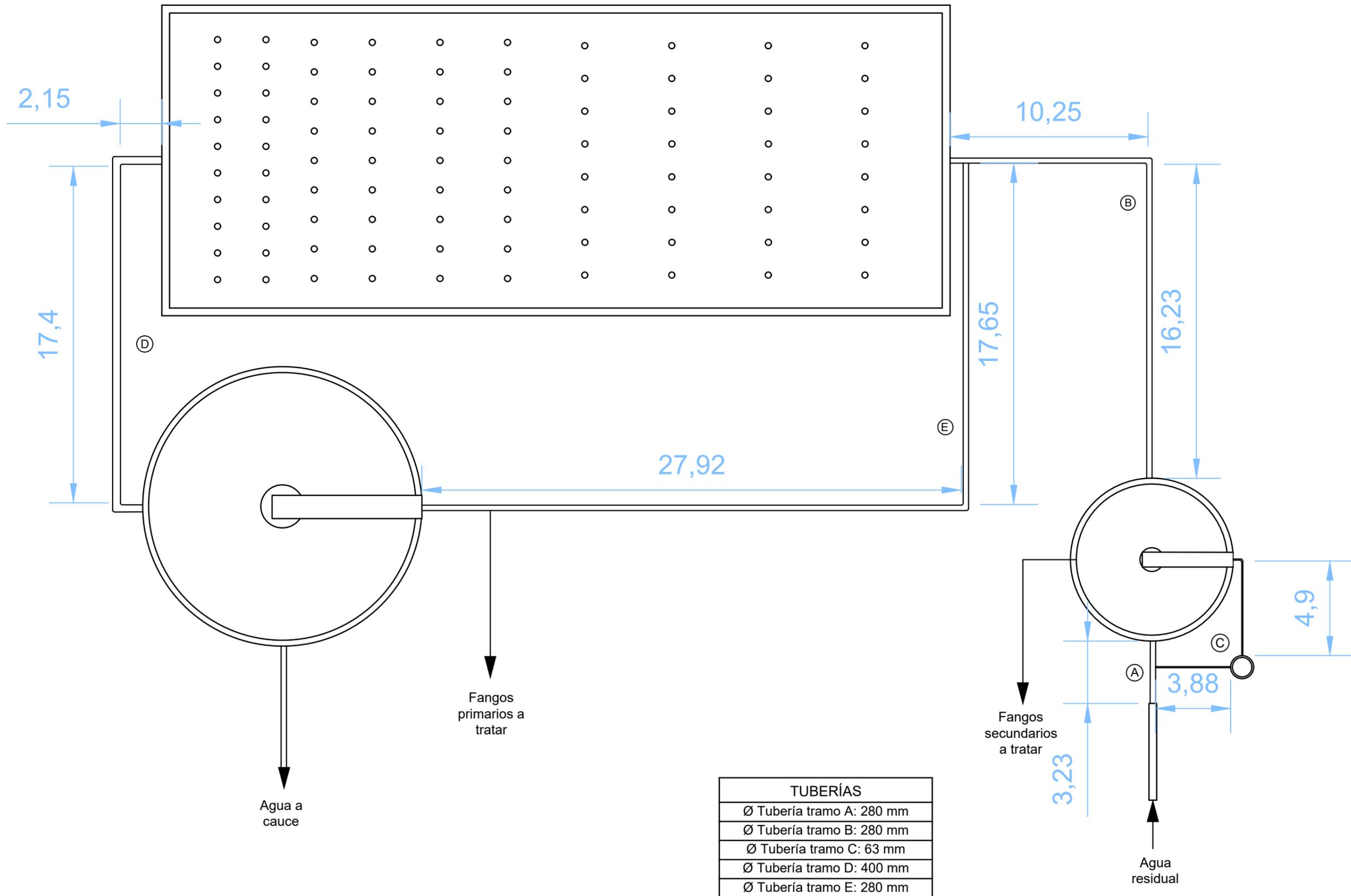
## INDICE DE PLANOS

1. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA INSTALACIÓN
2. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA Y LOCALIZACIÓN DE LA DEPURADORA
3. VISTA DEL FLOTADOR
4. VISTA DEL REACTOR BIOLÓGICO
5. VISTA DEL DECANTADOR SECUNDARIO

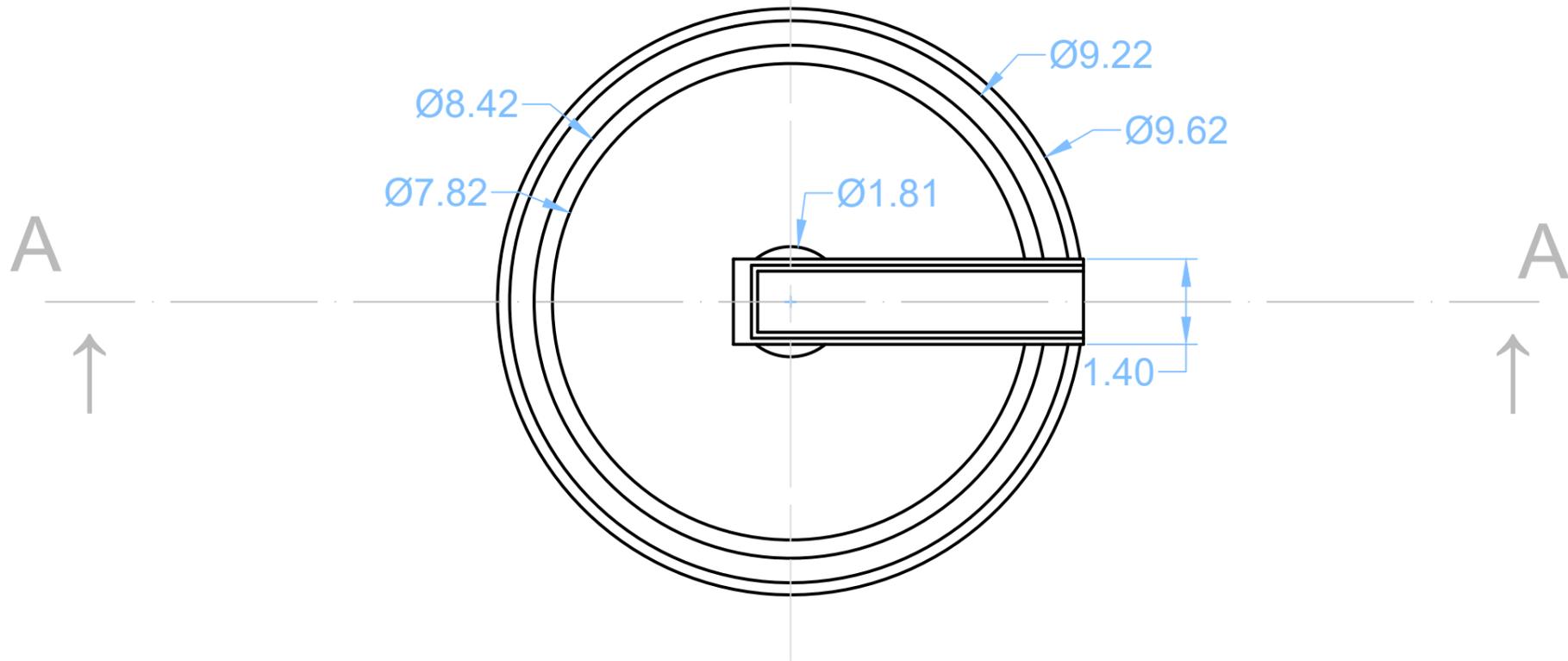
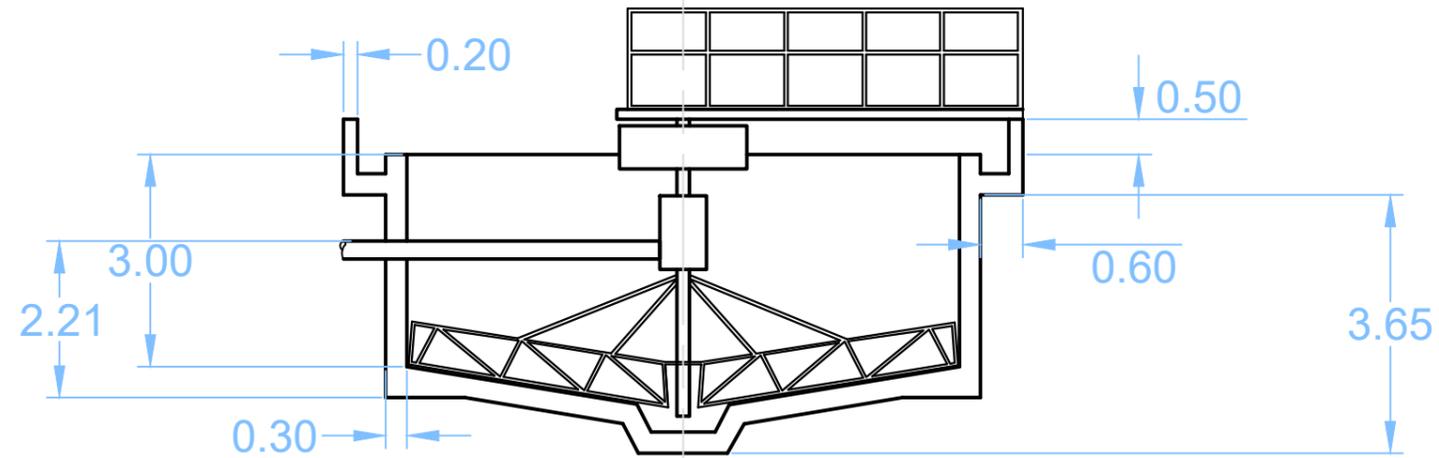


LEYENDA DE COLORES	
	Línea de fango
	Línea aire
	Línea de agua

LEYENDA							
	Válvula mariposa		Válvula reguladora		Manómetro		Válvula antiretorno
	Bomba		Control de nivel superior		Difusores		Válvula compuerta
	Caudalímetro		Control de nivel inferior		Motor		Válvula de seguridad
	Compresor		Control de pH		Soplante		Control de temperatura



A-A'



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR  
INGENIERÍA  
INDUSTRIAL  
VALENCIA

Proyecto:

DISEÑO DE LA LÍNEA DE AGUAS PARA UNA EDAR INCLUYENDO  
UNA ETAPA DE FLOTACIÓN PARA MEJORAR LA ELIMINACIÓN  
DE MP CONTENIDOS EN EL AGUA RESIDUAL ( $Q_m=5000 \text{ m}^3/\text{d}$ )

Plano:

Vista del flotador

Autor:

Ester Pérez Valiente

Fecha:

Septiembre 2020

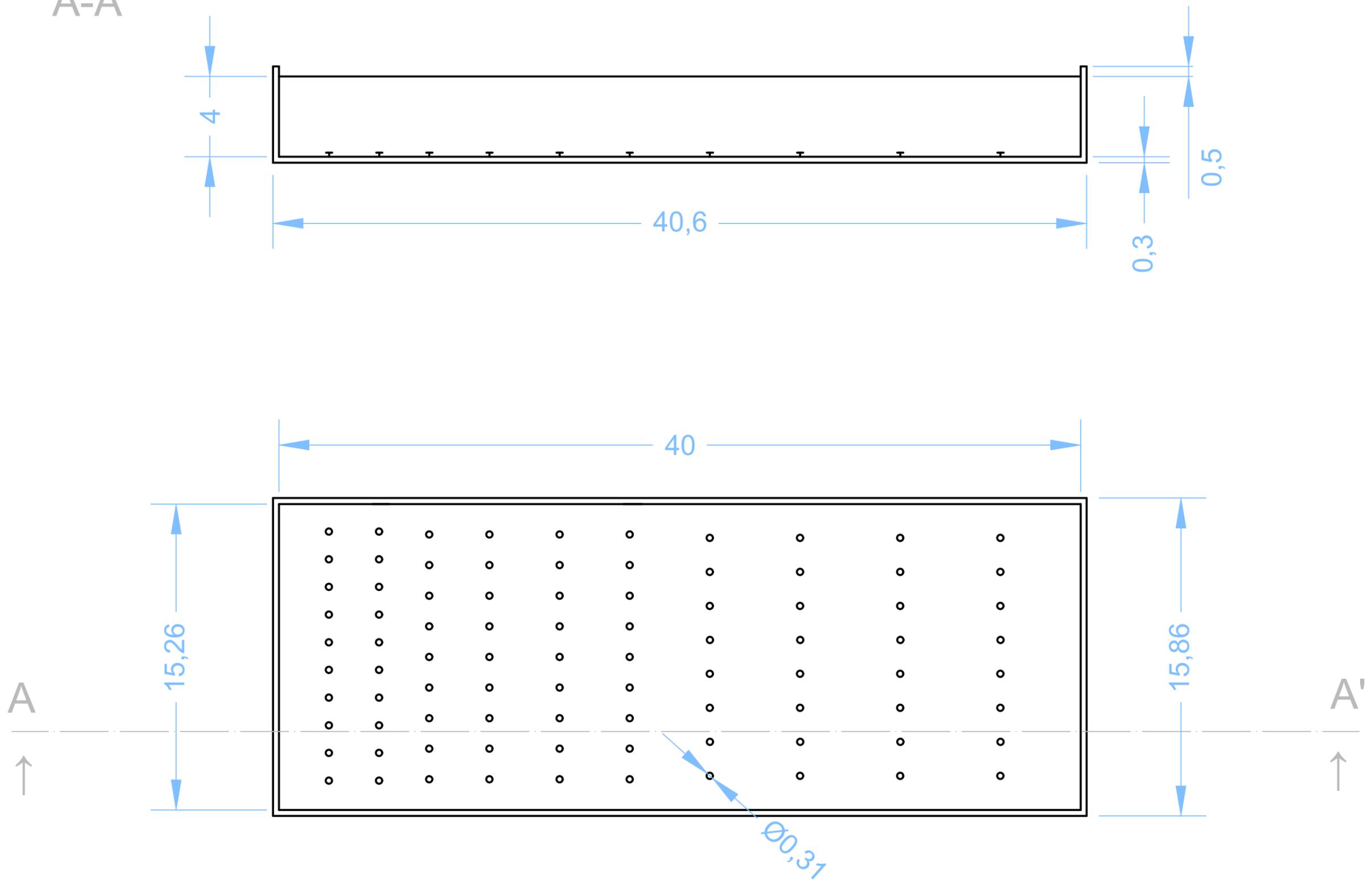
Escala:

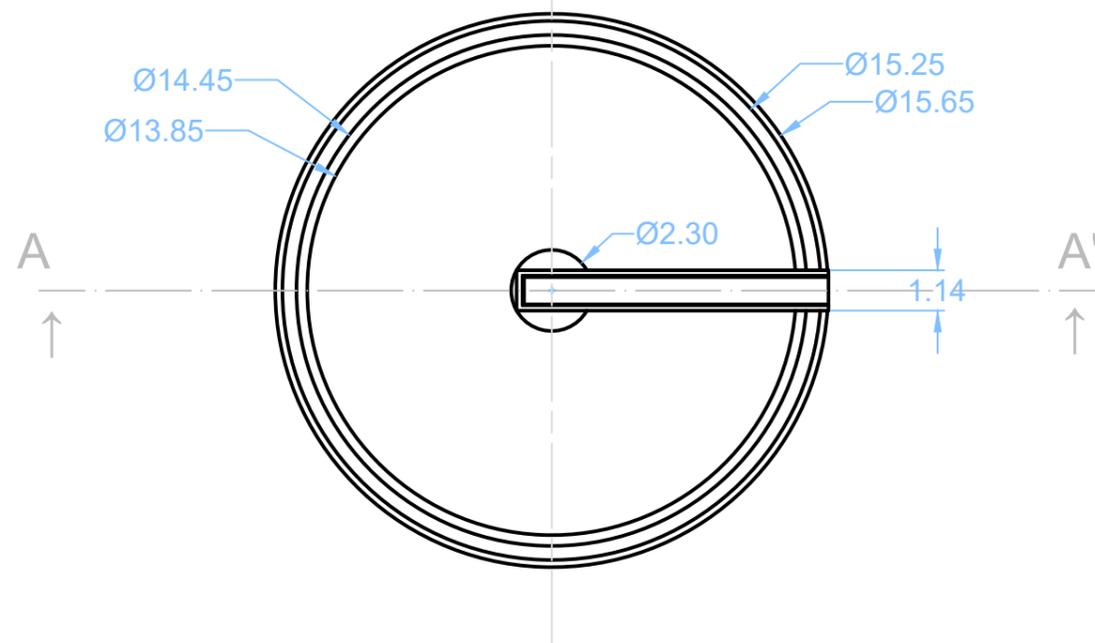
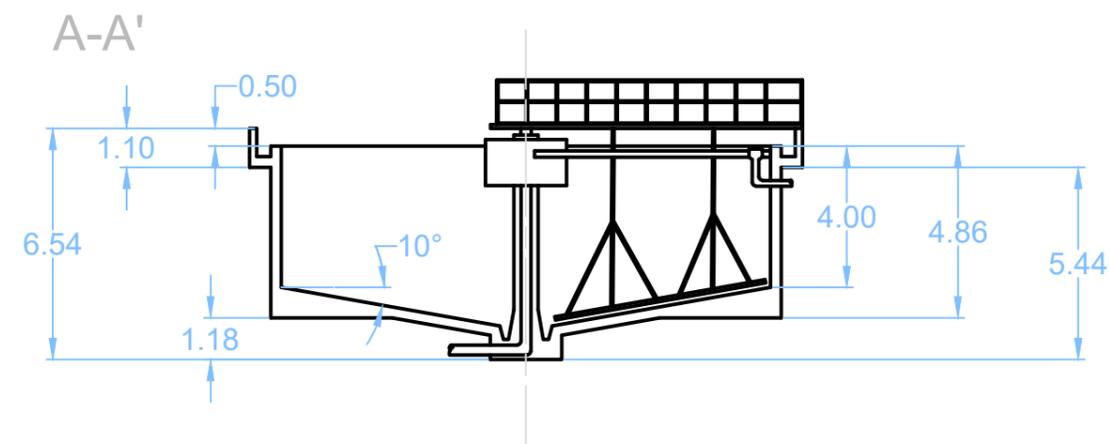
1:100

Nº Plano:

3

A-A'





# **DOCUMENTO 3: PRESUPUESTO**

## INDICE DEL PRESUPUESTO

1. MEDICIONES.....	1
2. PRESUPUESTO PARCIAL.....	8
3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL .....	15
4. PRESUPUESTO DE INVERSIÓN .....	15

## 1. MEDICIONES

En el presupuesto de precios unitarios se definirán los distintos capítulos del presupuesto de la instalación y de sus subcapítulos, y se obtendrá las mediciones de cada uno de ellos.

Nº	UM	Descripción					Cantidad
<b>1</b>		<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					<b>1,00</b>
1.1	m <sup>2</sup>	DESBROCE Y LIMPIEZA					912,46
		Desbroce y limpieza superficial del terreno con medios mecánicos, retirando una capa de 10 cm de espesor aproximadamente, incluyendo la carga por medios mecánicos y el transporte al vertedero, con p.p. de medios auxiliares.					
		<i>Descripción</i>	<i>Uds</i>	<i>Longitud</i>	<i>Ancho/Diámetro</i>	<i>Subtotal</i>	
		Canal rejas	1	5,20	0,60	3,12	
		Flotador	1		9,62	72,68	
		Tanque presurización	1		0,7	0,38	
		Reactor biológico	1	40,60	15,86	643,92	
		Decantador	1		15,65	192,36	
					<b>Total:</b>	<b>912,46</b>	
1.2	m <sup>3</sup>	EXC. ZANJAS, TIERRAS C. MEDIA, M. MECÁNICOS Y TRANSPORTE					3.430,26
		Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia media, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad máxima de 4 m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural. Incluye el transporte de tierras realizado en camión a una distancia máxima de 10 km.					
		<i>Tuberías</i>	<i>Uds</i>	<i>Largo</i>	<i>Ancho</i>	<i>Alto</i>	<i>Subtotal</i>
		DN63	1	8,87	0,363	0,263	0,85
		DN280	1	75,28	0,580	0,480	20,96
		DN400	1	19,55	0,700	0,600	8,21
						<b>Total:</b>	<b>30,02</b>
		<i>Estructuras</i>	<i>Uds</i>	<i>Largo</i>	<i>Ancho/D</i>	<i>Profundidad</i>	<i>Subtotal</i>
		Canal rejas	1	5,20	0,6	0,5	1,56
		Flotador	1		8,42	3,00	167,05
		Reactor biológico	1	40,60	15,86	4,00	2.575,66
		Decantador	1		14,45	4,00	655,97
						<b>Total:</b>	<b>3.400,26</b>

Nº	UM	Descripción	Cantidad																														
<b>2</b>		<b>CANALIZACIONES</b>	<b>1,00</b>																														
2.1	m	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DN63	8,87																														
		Suministro y montaje de tuberías de polietileno PE100 de color negro con bandas marrón fabricados según la Norma UNE-EN 12201 para indicar su uso en aguas industriales y saneamiento. Con un DN 63 y PN 10. Marca MASA o similar.																															
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Uds</th> <th>Longitud</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tubería DN63</td> <td>1</td> <td>8,87</td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	Uds	Longitud	Tubería DN63	1	8,87																									
Descripción	Uds	Longitud																															
Tubería DN63	1	8,87																															
2.2	m	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DN280	75,28																														
		Suministro y montaje de tuberías de polietileno PE100 de color negro con bandas marrón fabricados según la Norma UNE-EN 12201 para indicar su uso en aguas industriales y saneamiento. Con un DN 280 y PN 10. Marca MASA o similar.																															
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Uds</th> <th>Longitud</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tubería DN280</td> <td>1</td> <td>75,28</td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	Uds	Longitud	Tubería DN280	1	75,28																									
Descripción	Uds	Longitud																															
Tubería DN280	1	75,28																															
2.3	m	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DN400	19,55																														
		Suministro y montaje de tuberías de polietileno PE100 de color negro con bandas marrón fabricados según la Norma UNE-EN 12201 para indicar su uso en aguas industriales y saneamiento. Con un DN 400 y PN 10. Marca MASA o similar.																															
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Uds</th> <th>Longitud</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tubería DN400</td> <td>1</td> <td>19,55</td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	Uds	Longitud	Tubería DN400	1	19,55																									
Descripción	Uds	Longitud																															
Tubería DN400	1	19,55																															
2.4	m <sup>3</sup>	RELLENO, EXTENDIDO Y COMPACTADO DE ARENA	28,20																														
		Relleno, extendido y compactado de zanjas con arena por medios mecánicos incluyendo aporte de arena.																															
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Uds</th> <th>Área tubería</th> <th>Longitud</th> <th>Área excavación</th> <th>Subtotal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tubería DN63</td> <td>1</td> <td>0,00312</td> <td>8,87</td> <td>0,095</td> <td>0,82</td> </tr> <tr> <td>Tubería DN280</td> <td>1</td> <td>0,0154</td> <td>75,28</td> <td>0,278</td> <td>19,77</td> </tr> <tr> <td>Tubería DN400</td> <td>1</td> <td>0,0314</td> <td>19,55</td> <td>0,42</td> <td>7,60</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td><b>Total:</b></td> <td></td> <td><b>28,20</b></td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	Uds	Área tubería	Longitud	Área excavación	Subtotal	Tubería DN63	1	0,00312	8,87	0,095	0,82	Tubería DN280	1	0,0154	75,28	0,278	19,77	Tubería DN400	1	0,0314	19,55	0,42	7,60				<b>Total:</b>		<b>28,20</b>	
Descripción	Uds	Área tubería	Longitud	Área excavación	Subtotal																												
Tubería DN63	1	0,00312	8,87	0,095	0,82																												
Tubería DN280	1	0,0154	75,28	0,278	19,77																												
Tubería DN400	1	0,0314	19,55	0,42	7,60																												
			<b>Total:</b>		<b>28,20</b>																												
<b>3</b>		<b>PRETRATAMIENTO</b>	<b>1,00</b>																														
3.1	m <sup>3</sup>	CANAL DE DESBASTE	1,00																														
		Construcción de canal con hormigón para armar HA-30/B/20/IIa.																															
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Uds</th> <th>Longitud</th> <th>Espesor</th> <th>Altura</th> <th>Subtotal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muros largo</td> <td>2</td> <td>5,00</td> <td>0,10</td> <td>0,717</td> <td>0,72</td> </tr> <tr> <td>Muros corto</td> <td>2</td> <td>0,44</td> <td>0,10</td> <td>0,717</td> <td>0,064</td> </tr> <tr> <td>Base</td> <td>1</td> <td>5,20</td> <td>0,10</td> <td>0,42</td> <td>0,22</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td><b>Total:</b></td> <td></td> <td><b>1,00</b></td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	Uds	Longitud	Espesor	Altura	Subtotal	Muros largo	2	5,00	0,10	0,717	0,72	Muros corto	2	0,44	0,10	0,717	0,064	Base	1	5,20	0,10	0,42	0,22				<b>Total:</b>		<b>1,00</b>	
Descripción	Uds	Longitud	Espesor	Altura	Subtotal																												
Muros largo	2	5,00	0,10	0,717	0,72																												
Muros corto	2	0,44	0,10	0,717	0,064																												
Base	1	5,20	0,10	0,42	0,22																												
			<b>Total:</b>		<b>1,00</b>																												

Nº	UM	Descripción	Cantidad
3.2	ud	<b>EQUIPO REJAS</b> Equipo de rejas de acero inoxidable. Provisto de un brazo de limpieza como cepillo, peine metálico o sistema mixto accionado por un motor-reductor eléctrico. Incluye transporte e instalación. Marca Filtec o similar.	2,00
3.3	ud	<b>TAMIZ ROTATORIO</b> Tamiz dinámico rotatorio de marca Defender o similar. Tambor construido en acero inoxidable. Presenta sistema de autolimpieza con una rasqueta y provisto de una tobera para proyectar agua y limpiar la cara interior del cilindro. Provisto de un motorreductor en el eje del tambor. Incluido transporte y puesta en marcha.	1,00
3.4	ud	<b>BOMBA DESBASTE</b> Bomba centrífuga, no autocebante y de una etapa, diseñada de acuerdo con la norma ISO 5199, con dimensiones y rendimiento nominal de acuerdo con la norma EN 733. Marca Grundfos o similar.	2,00
3.5	ud	<b>VÁLVULA COMPUERTA DN250</b> Válvula de compuerta de cierre elástico con bridas. Diámetro de 250 mm y PN10. Color rojo para saneamiento y aguas residuales. Recubrimiento epoxi y eje de acero inoxidable. Homologada por AENOR. Marca MASA o similar.	1,00
3.6	ud	<b>CAUDALÍMETRO</b> Caudalímetro electromagnético. Sensor especializado para todas las aplicaciones de la industria de tratamiento de aguas y aguas residuales. Marca EndressHauser o similar.	1,00
3.7	ud	<b>CONTROL DE NIVEL</b> Sensor de nivel de agua tanto a nivel máximo (superior) como al fondo del depósito (inferior). Marca Eicos o similar.	1,00
3.8	ud	<b>MANÓMETRO</b> Manómetro analógico de precisión. Diámetro de esfera de 100 mm. Escala $40 \text{ kg/cm}^2$ . Conexión rosca $\frac{1}{2}''\text{G}$ . Marca Mercagas o similar.	1,00
<b>4</b>		<b>TRATAMIENTO PRIMARIO</b>	<b>1,00</b>
4.1	ud	<b>TANQUE DE FLOTACIÓN</b> Tanque de flotación de aire disuelto. Fabricado con hormigón para armar HA-30/B/20/IIa. Estructura circular. Incluye construcción, montaje y sistema de recogida del material flotado mediante raspadores de superficie.	1,00
4.2	ud	<b>VÁLVULA COMPUERTA DN250</b> Válvula de compuerta de cierre elástico con bridas. Diámetro de 250 mm y PN10. Color rojo para saneamiento y aguas residuales. Recubrimiento epoxi y eje de acero inoxidable. Homologada por AENOR. Marca MASA o similar.	1,00

Nº	UM	Descripción	Cantidad
<b>5</b>		<b>SISTEMA RECIRCULACIÓN FLOTADOR</b>	<b>1,00</b>
5.1	ud	VÁLVULA COMPUERTA DN65 Válvula de compuerta de cierre elástico con bridas. Diámetro de 65 mm y PN10. Color rojo para saneamiento y aguas residuales. Recubrimiento epoxi y eje de acero inoxidable. Homologada por AENOR. Marca MASA o similar.	1,00
5.2	ud	VÁLVULA REGULADORA Válvula reductora de presión. Cuerpo y diafragma de latón. Juntas MBR. Presión máxima 25 bar y temperatura máxima 80°C. Mediad diámetro DN63. Marca Brass o similar.	1,00
5.3	ud	VÁLVULA ANTIRETORNO DN15 Válvula antirretorno de disco para gas Wafer-Ayvaz. Diámetro de 15 mm. Material de acero inoxidable. Marca Mercagas o similar.	1,00
5.4	ud	TANQUE PRESURIZACIÓN Tanque presurización de acero inoxidable. Capacidad de 400 litros. De ancho 700 mm y 1500 mm de alto. Marca RotorPump o similar.	1,00
5.5	ud	COMPRESOR Compresor sin aceite con potencia 0,4 CV fabricado en acero. Incluye depósito de 20 L para acumular el aire comprimido y permitir descansos del compresor. Marca WUTO o similar.	1,00
5.6	ud	MANÓMETRO Manómetro analógico de precisión. Diámetro de esfera de 100 mm. Escala 40 kg/cm <sup>2</sup> . Conexión rosca ½" G. Marca Mercagas o similar.	3,00
5.7	ud	BOMBA RECIRCULACIÓN DEL FLOTADOR Bomba centrífuga de una etapa, no autocebante, diseñada para la gestión de aguas residuales, aguas de proceso y aguas fecales sin filtrar. La bomba está diseñada para el funcionamiento intermitente y continuo, como parte de instalaciones sumergidas. Marca Grundfos o similar.	1,00
5.8	ud	CAUDALÍMETRO Caudalímetro electromagnético. Sensor especializado para todas las aplicaciones de la industria de tratamiento de aguas y aguas residuales. Marca EndressHauser o similar.	1,00
5.9	ud	CONTROL DE NIVEL Sensor de nivel de agua tanto a nivel máximo (superior) como al fondo del depósito (inferior). Marca Eicos o similar.	1,00

Nº	UM	Descripción	Cantidad																														
<b>6</b>		<b>SISTEMA DE PURGA DEL FLOTADOR</b>	<b>1,00</b>																														
6.1	ud	VÁLVULA DE MARIPOSA DN32 Válvula automática de mariposa de acero inoxidable y hierro, con actuador eléctrico. Diámetro 32 mm. Marca Sei o similar.	1,00																														
6.2	ud	BOMBA FANGOS Bomba autoaspirante de acoplamiento cerrado. Alta eficiencia y fácil mantenimiento. Apto para aguas residuales, drenaje de lodos.	1,00																														
<b>7</b>		<b>TRATAMIENTO BIOLÓGICO</b>	<b>1,00</b>																														
7.1	m <sup>3</sup>	REACTOR Tanque rectangular de hormigón armado tipo HA-30/B/20/IIa. Provisto de sistema de entrada y salida, incluyendo tuberías, válvulas y bombas.	343,99																														
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Uds</th> <th>Alto</th> <th>Ancho</th> <th>Espesor</th> <th>Subtotal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Paredes cortas</td> <td>2</td> <td>4,5</td> <td>15,86</td> <td>0,3</td> <td>42,82</td> </tr> <tr> <td>Paredes largas</td> <td>2</td> <td>4,5</td> <td>40</td> <td>0,3</td> <td>108,00</td> </tr> <tr> <td>Base</td> <td>1</td> <td>15,86</td> <td>40,6</td> <td>0,3</td> <td>193,17</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: right;"><b>Total:</b></td> <td><b>343,99</b></td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	Uds	Alto	Ancho	Espesor	Subtotal	Paredes cortas	2	4,5	15,86	0,3	42,82	Paredes largas	2	4,5	40	0,3	108,00	Base	1	15,86	40,6	0,3	193,17	<b>Total:</b>					<b>343,99</b>	
Descripción	Uds	Alto	Ancho	Espesor	Subtotal																												
Paredes cortas	2	4,5	15,86	0,3	42,82																												
Paredes largas	2	4,5	40	0,3	108,00																												
Base	1	15,86	40,6	0,3	193,17																												
<b>Total:</b>					<b>343,99</b>																												
7.2	ud	DIFUSORES Difusores de aire. Tipo difusor de disco de burbuja fina. Caudal máximo de 8 m <sup>3</sup> /h, de diámetro 310 mm y eficacia del 8%. Se incluye la instalación y transporte. Marca Repicky o similar.	88,00																														
7.3	ud	VÁLVULA ANTIRETORNO DN125 Válvula antirretorno de disco para gas Wafer-Ayvaz. Diámetro de 125 mm. Material de acero inoxidable. Marca Mercagas o similar.	2,00																														
7.4	ud	SOPLANTE Soplante de doble etapa trifásico. Para caudal máximo de 230 m <sup>3</sup> /h con una potencia de 4 kW. Marca Provectus o similar.	2,00																														
7.5	ud	VÁLVULA COMPUERTA DN400 Válvula de compuerta de cierre elástico con bridas. Diámetro de 400 mm y PN10. Color rojo para saneamiento y aguas residuales. Recubrimiento epoxi y eje de acero inoxidable. Homologada por AENOR. Marca MASA o similar.	1,00																														
7.6	ud	DECANTADOR SECUNDARIO Tanque de hormigón armado HA-30/B/20/IIa. Estructura circular. Incluye un sistema electromecánico para la recogida del material.	1,00																														
7.7	ud	CONTROL DE NIVEL Sensor de nivel de agua tanto a nivel máximo (superior) como al fondo del depósito (inferior). Marca Eicos o similar.	2,00																														

Nº	UM	Descripción	Cantidad
7.8	ud	TERMÓMETRO Sonda de inmersión. Mediación de forma rápida y precisa en medios líquidos y semisólidos. Sensor de temperatura NTC.	1,00
7.9	ud	CONTROL DE pH Medidor de pH con sonda, incluye sujeción para pared. Marca Testo o similar.	1,00
7.10	ud	CAUDALÍMETRO Caudalímetro electromagnético. Sensor especializado para todas las aplicaciones de la industria de tratamiento de aguas y aguas residuales. Marca EndressHauser o similar.	1,00
<b>8</b>		<b>SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DECANTADOR</b>	<b>1,00</b>
8.1	ud	VÁLVULA COMPUERTA DN250 Válvula de compuerta de cierre elástico con bridas. Diámetro de 250 mm y PN10. Color rojo para saneamiento y aguas residuales. Recubrimiento epoxi y eje de acero inoxidable. Homologada por AENOR. Marca MASA o similar.	1,00
8.2	ud	BOMBA RECIRCULACIÓN DECANTADOR Bomba centrífuga de una etapa, diseñada para la gestión de aguas residuales, aguas de proceso y aguas fecales sin filtrar. Está diseñada para funcionamiento tanto intermitente como continuo. Marca Grundfos o similar.	1,00
8.3	ud	CAUDALIMETRO Caudalímetro electromagnético. Sensor especializado para todas las aplicaciones de la industria de tratamiento de aguas y aguas residuales. Marca EndressHauser o similar.	1,00
8.4	ud	MANÓMETRO Manómetro analógico de precisión. Diámetro de esfera de 100 mm. Escala $40 \text{ kg/cm}^2$ . Conexión rosca $\frac{1}{2}$ "G. Marca Mercagas o similar.	1,00
<b>9</b>		<b>SISTEMA DE PURGA DEL DECANTADOR</b>	<b>1,00</b>
9.1	ud	VÁLVULA DE MARIPOSA DN32 Válvula automática de mariposa de acero inoxidable y hierro, con actuador eléctrico. Diámetro 32 mm. Marca Sei o similar.	1,00
9.2	ud	BOMBA FANGOS Bomba autoaspirante de acoplamiento cerrado. Alta eficiencia y fácil mantenimiento. Apto para aguas residuales, drenaje de lodos.	1,00

<b>Nº</b>	<b>UM</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
<b>10</b>		<b>ACCESORIOS</b>	<b>1,00</b>
10.1	ud	CODOS DN63 Codos 90º para tubos de PE, con cuello largo para soldar con alta seguridad. Máxima presión de trabajo permitida 16 bar. Diámetro 63 milímetros. Marca MASA o similar.	1,00
10.2	ud	CODOS DN280 Codos 90º para tubos de PE, con cuello largo para soldar con alta seguridad. Máxima presión de trabajo permitida 16 bar. Diámetro 280 milímetros. Marca MASA o similar.	2,00
10.3	ud	CODOS DN400 Codos 90º para tubos de PE, con cuello largo para soldar con alta seguridad. Máxima presión de trabajo permitida 16 bar. Diámetro 400 milímetros. Marca MASA o similar.	2,00
10.4	ud	TES DN280 Te de tres lados iguales, de 90º. Cuello largo para soldar con accesorios de alta seguridad. Material polietileno y presión máxima de trabajo permitida 16 bar. Marca MASA o similar.	1,00
10.5	ud	TES DN280-63 Te de 90º con dos lados iguales de diámetro 280 mm y un lado de 63 mm. Cuello largo para soldar con accesorios de alta seguridad. Material polietileno y presión máxima de trabajo permitida 16 bar. Marca MASA o similar.	1,00
10.6	ud	VALVULAS DE SEGURIDAD Válvula de seguridad de apertura total instantánea (AIT). La válvula trabaja como regulador automático de presión. Diseño según la norma ISO 4126-1. Marca VYC o similar.	4,00

## 2. PRESUPUESTO PARCIAL

En el presupuesto parcial se multiplican las mediciones hechas en el apartado anterior por los precios unitarios. De esta forma se obtendrá el presupuesto por cada capítulo.

Nº	UM	Descripción	Medición	Precio	Importe
<b>1</b>		<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>			<b>35.141,04</b>
1.1	m <sup>2</sup>	DESBROCE Y LIMPIEZA			
		Desbroce y limpieza superficial del terreno con medios mecánicos, retirando una capa de 10 cm de espesor aproximadamente, incluyendo la carga por medios mecánicos y el transporte al vertedero, con p.p. de medios auxiliares.			
			912,46	1,37	<b>1.250,07</b>
1.2	m <sup>3</sup>	EXC. ZANJAS, TIERRAS C. MEDIA, M. MECÁNICOS Y TRANSPORTE			
		Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia media, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad máxima de 4 m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural. Incluye el transporte de tierras realizado en camión a una distancia máxima de 10 km.			
			3.430,26	9,88	<b>33.890,97</b>
<b>2</b>		<b>CANALIZACIONES</b>			<b>4.603,74</b>
2.1	m	SUMINISTRO E INSTALACIÓN TUBERIAS DN63			
		Suministro y montaje de tuberías de polietileno PE100 de color negro con bandas marrón fabricados según la Norma UNE-EN 12201 para indicar su uso en aguas industriales y saneamiento. Con un DN 63 y PN 10. Marca MASA o similar.			
			8,87	1,92	<b>17,03</b>
2.2	m	SUMINISTRO E INSTALACIÓN TUBERIAS DN280			
		Suministro y montaje de tuberías de polietileno PE100 de color negro con bandas marrón fabricados según la Norma UNE-EN 12201 para indicar su uso en aguas industriales y saneamiento. Con un DN 280 y PN 10. Marca MASA o similar.			
			75,28	34,94	<b>2.630,28</b>
2.3	m	SUMINISTRO E INSTALACIÓN TUBERIAS DN400			
		Suministro y montaje de tuberías de polietileno PE100 de color negro con bandas marrón fabricados según la Norma UNE-EN 12201 para indicar su uso en aguas industriales y saneamiento. Con un DN 400 y PN 10. Marca MASA o similar.			
			19,55	69,94	<b>1.367,33</b>
2.4	m <sup>3</sup>	RELLENO, EXTENDIDO Y COMPACTADO DE ARENA			
		Relleno, extendido y compactado de zanjas con arena por medios mecánicos incluyendo aporte de arena.			
			28,20	20,89	<b>589,10</b>

Nº	UM	Descripción	Medición	Precio	Importe
<b>3</b>		<b>PRETRATAMIENTO</b>			<b>29.260,34</b>
3.1	m <sup>3</sup>	CANAL DE DESBASTE Construcción de canal con hormigón para armar HA-30/B/20/IIa.	1,00	80,00	<b>80,00</b>
3.2	ud	EQUIPO DE REJAS Equipo de rejas de acero inoxidable. Provisto de un brazo de limpieza como cepillo, peine metálico o sistema mixto accionado por un motor-reductor eléctrico. Incluye transporte e instalación. Marca Filtec o similar.	2,00	7.000,00	<b>14.000,00</b>
3.3	ud	TAMIZ ROTATORIO Tamiz dinámico rotatorio de marca Defender o similar. Tambor construido en acero inoxidable. Presenta sistema de autolimpieza con una rasqueta y provisto de una tobera para proyectar agua y limpiar la cara interior del cilindro. Provisto de un motorreductor en el eje del tambor. Incluido transporte y puesta en marcha.	1,00	5.000,00	<b>5.000,00</b>
3.4	ud	BOMBA DESBASTE Bomba centrífuga, no autocebante y de una etapa, diseñada de acuerdo con la norma ISO 5199, con dimensiones y rendimiento nominal de acuerdo con la norma EN 733. Marca Grundfos o similar.	2,00	4.183,00	<b>8.366,00</b>
3.5	ud	VÁLVULA COMPUERTA DN250 Válvula de compuerta de cierre elástico con bridas. Diámetro 250 mm y PN10. Color rojo para saneamiento y aguas residuales. Recubrimiento epoxi y eje de acero inoxidable. Homologada por AENOR. Marca MASA o similar.	1,00	786,44	<b>786,44</b>
3.6	ud	CAUDALÍMETRO Caudalímetro electromagnético. Sensor especializado para todas las aplicaciones de la industria de tratamiento de aguas y aguas residuales. Marca EndressHauser o similar.	1,00	1.000,00	<b>1.000,00</b>
3.7	ud	CONTROL DE NIVEL Sensor de nivel de agua tanto a nivel máximo (superior) como al fondo del depósito (inferior). Marca Eicos o similar.	1,00	12,00	<b>12,00</b>
3.8	ud	MANÓMETRO Manómetro analógico de precisión. Diámetro de esfera de 100 mm. Escala 40 kg/cm <sup>2</sup> . Conexión rosca ½" G. Marca Mercagas o similar.	1,00	15,90	<b>15,90</b>

Nº	UM	Descripción	Medición	Precio	Importe
<b>4</b>		<b>TRATAMIENTO PRIMARIO</b>			<b>10.786,44</b>
4.1	ud	TANQUE DE FLOTACIÓN			
		Tanque de flotación de aire disuelto. Fabricado con hormigón para armar HA-30/B/20/IIa. Estructura circular. Incluye construcción, montaje y sistema de recogida del material flotado mediante raspadores de superficie.			
			1,00	10.000,00	<b>10.000,00</b>
4.2	ud	VÁLVULA COMPUERTA DN250			
		Válvula de compuerta de cierre elástico con bridas. Diámetro de 250 mm y PN10. Color rojo para saneamiento y aguas residuales. Recubrimiento epoxi y eje de acero inoxidable. Homologada por AENOR. Marca MASA o similar.			
			1,00	786,44	<b>786,44</b>
<b>5</b>		<b>SISTEMA DE RECIRCULACIÓN FLOTADOR</b>			<b>10.333,55</b>
5.1	ud	VÁLVULA COMPUERTA DN65			
		Válvula de compuerta de cierre elástico con bridas. Diámetro 65 mm y PN10. Color rojo para saneamiento y aguas residuales. Recubrimiento epoxi y eje de acero inoxidable. Homologada por AENOR. Marca MASA o similar			
			1,00	132,22	<b>132,22</b>
5.2	ud	VÁLVULA REGULADORA			
		Válvula reductora de presión. Cuerpo y diafragma de latón. Juntas MBR. Presión máxima 25 bar y temperatura máxima 80°C. Mediad diámetro DN63. Marca Brass o similar.			
			1,00	289,15	<b>289,15</b>
5.3	ud	VÁLVULA ANTIRETORNO DN15			
		Válvula antirretorno de disco para gas Wafer-Ayvaz. Diámetro de 15 mm. Material de acero inoxidable. Marca Mercagas o similar.			
			1,00	48,48	<b>48,48</b>
5.4	ud	TANQUE PRESURIZACIÓN			
		Tanque presurización de acero inoxidable. Capacidad de 400 litros. De ancho 700 mm y 1500 mm de alto. Marca RotorPump o similar.			
			1,00	7.000,00	<b>7.000,00</b>
5.5	ud	COMPRESOR			
		Compresor sin aceite con potencia 0,4 CV fabricado en acero. Incluye depósito de 20 L para acumular el aire comprimido y permitir descansos del compresor. Marca WUTO o similar.			
			1,00	145,00	<b>145,00</b>

Nº	UM	Descripción	Medición	Precio	Importe
5.6	ud	<b>MANÓMETRO</b> Manómetro analógico de precisión. Diámetro de esfera de 100 mm. Escala 40 kg/cm <sup>2</sup> . Conexión rosca ½" G. Marca Mercagas o similar.	3,00	15,90	<b>47,70</b>
5.7	ud	<b>BOMBA RECIRCULACIÓN DEL FLOTADOR</b> Bomba centrífuga de una etapa, no autocebante, diseñada para la gestión de aguas residuales, aguas de proceso y aguas fecales sin filtrar. La bomba está diseñada para el funcionamiento intermitente y continuo, como parte de instalaciones sumergidas. Marca Grundfos o similar.	1,00	1.659,00	<b>1.659,00</b>
5.8	ud	<b>CAUDALÍMETRO</b> Caudalímetro electromagnético. Sensor especializado para todas las aplicaciones de la industria de tratamiento de aguas y aguas residuales. Marca EndressHauser o similar.	1,00	1.000,00	<b>1.000,00</b>
5.9	ud	<b>CONTROL DE NIVEL</b> Sensor de nivel de agua tanto a nivel máximo (superior) como al fondo del depósito (inferior). Marca Eicos o similar.	1,00	12,00	<b>12,00</b>
<b>6</b>		<b>SISTEMA DE PURGA DEL FLOTADOR</b>			<b>549,68</b>
6.1	ud	<b>VÁLVULA DE MARIPOSA DN32</b> Válvula automática de mariposa de acero inoxidable y hierro, con actuador eléctrico. Diámetro 32 mm. Marca Sei o similar.	1,00	49,68	<b>49,68</b>
6.2	ud	<b>BOMBA FANGOS</b> Bomba autoaspirante de acoplamiento cerrado. Alta eficiencia y fácil mantenimiento. Apto para aguas residuales, drenaje de lodos.	1,00	500,00	<b>500,00</b>
<b>7</b>		<b>TRATAMIENTO BIOLÓGICO</b>			<b>55.679,10</b>
7.1	m <sup>3</sup>	<b>REACTOR</b> Tanque rectangular de hormigón armado tipo HA-30/B/20/IIa. Provisto de sistema de entrada y salida, incluyendo tuberías, válvulas y bombas.	343,99	80,00	<b>27.519,20</b>

Nº	UM	Descripción	Medición	Precio	Importe
7.2	ud	<b>DIFUSORES</b> Difusores de aire. Tipo difusor de disco de burbuja fina. Caudal máximo de $8 \text{ m}^3/\text{h}$ , de diámetro 310 mm y eficacia del 8%. Se incluye la instalación y transporte. Marca Repicky o similar.	88,00	40,00	<b>3.520,00</b>
7.3	ud	<b>VÁLVULA ANTIRETORNO DN125</b> Válvula antirretorno de disco para gas Wafer-Ayvaz. Diámetro de 125mm. Material de acero inoxidable.	2,00	1.470,45	<b>2.940,90</b>
7.4	ud	<b>SOPLANTE</b> Soplante de doble etapa trifásico. Para caudal máximo de $230 \text{ m}^3/\text{h}$ con una potencia de 4 kW. Marca Provectus o similar.	2,00	899,50	<b>1.799,00</b>
7.5	ud	<b>VÁLVULA COMPUERTA DN400</b> Válvula de compuerta de cierre elástico con bridas. Diámetro 400 mm y PN10. Color rojo para saneamiento y aguas residuales. Recubrimiento epoxi y eje de acero inoxidable. Homologada por AENOR. Marca MASA o similar.	1,00	3.531,40	<b>3.531,40</b>
7.6	ud	<b>DECANTADOR SECUNDARIO</b> Tanque de hormigón armado HA-30/B/20/IIa. Estructura circular. Incluye un sistema electromecánico para la recogida del material.	1,00	15.000,00	<b>15.000,00</b>
7.7	ud	<b>CONTROL DE NIVEL</b> Sensor de nivel de agua tanto a nivel máximo (superior) como al fondo del depósito (inferior). Marca Eicos o similar.	2,00	12,00	<b>24,00</b>
7.8	ud	<b>TERMÓMETRO</b> Sonda de inmersión. Mediación de forma rápida y precisa en medios líquidos y semisólidos. Sensor de temperatura NTC.	1,00	75,60	<b>75,60</b>
7.9	ud	<b>CONTROL DE pH</b> Medidor de pH con sonda, incluye sujeción para pared. Marca Testo o similar.	1,00	269,00	<b>269,00</b>
7.10	ud	<b>CAUDALÍMETRO</b> Caudalímetro electromagnético. Sensor especializado para todas las aplicaciones de la industria de tratamiento de aguas y aguas residuales. Marca EndressHauser o similar.	1,00	1.000,00	<b>1.000,00</b>

Nº	UM	Descripción	Medición	Precio	Importe
<b>8</b>		<b>SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DECANTADOR</b>			<b>13.796,34</b>
8.1	ud	VÁLVULA COMPUERTA DN250 Válvula de compuerta de cierre elástico con bridas. Diámetro de 250 mm y PN10. Color rojo para saneamiento y aguas residuales. Recubrimiento epoxi y eje de acero inoxidable. Homologada por AENOR. Marca MASA o similar.	1,00	786,44	<b>786,44</b>
8.2	ud	BOMBA RECIRCULACIÓN DECANTADOR Bomba centrífuga de una etapa, diseñada para la gestión de aguas residuales, aguas de proceso y aguas fecales sin filtrar. Está diseñada para funcionamiento tanto intermitente como continuo. Marca Grundfos o similar.	1,00	11.994,00	<b>11.994,00</b>
8.3	ud	CAUDALÍMETRO Caudalímetro electromagnético. Sensor especializado para todas las aplicaciones de la industria de tratamiento de aguas y aguas residuales. Marca EndressHauser o similar.	1,00	1.000,00	<b>1.000,00</b>
8.4	ud	MANÓMETRO Manómetro analógico de precisión. Diámetro de esfera de 100 mm. Escala 40 kg/cm <sup>2</sup> . Conexión rosca ½" G. Marca Mercagas o similar.	1,00	15,90	<b>15,90</b>
<b>9</b>		<b>SISTEMA DE PURGA DEL DECANTADOR</b>			<b>549,68</b>
9.1		VÁLVULA DE MARIPOSA DN32 Válvula automática de mariposa de acero inoxidable y hierro, con actuador eléctrico. Diámetro 32 mm. Marca Sei o similar.	1,00	49,68	<b>49,68</b>
9.2		BOMBA FANGOS Bomba autoaspirante de acoplamiento cerrado. Alta eficiencia y fácil mantenimiento. Apto para aguas residuales, drenaje de lodos.	1,00	500,00	<b>500,00</b>
<b>10</b>		<b>ACCESORIOS</b>			<b>4.202,73</b>
10.1	ud	CODOS DN63 Codos 90º para tubos de PE, con cuello largo para soldar con alta seguridad. Máxima presión de trabajo permitida 16 bar. Diámetro 63 milímetros. Marca MASA o similar.	1,00	13,38	<b>13,38</b>

<b>Nº</b>	<b>UM</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio</b>	<b>Importe</b>
10.2	ud	<b>CODOS DN280</b> Codos 90º para tubos de PE, con cuello largo para soldar con alta seguridad. Máxima presión de trabajo permitida 16 bar. Diámetro 280 milímetros. Marca MASA o similar.	2,00	358,16	<b>716,32</b>
10.3	ud	<b>CODOS DN400</b> Codos 90º para tubos de PE, con cuello largo para soldar con alta seguridad. Máxima presión de trabajo permitida 16 bar. Diámetro 400 milímetros. Marca MASA o similar.	2,00	1.255,21	<b>2.510,42</b>
10.4	ud	<b>TES DN280</b> Te de tres lados iguales, de 90º. Cuello largo para soldar con accesorios de alta seguridad. Material polietileno y presión máxima de trabajo permitida 16 bar. Marca MASA o similar.	1,00	12,76	<b>12,76</b>
10.5	ud	<b>TES DN280-63</b> Te de 90º con dos lados iguales de diámetro 280 mm y un lado de 63 mm. Cuello largo para soldar con accesorios de alta seguridad. Material polietileno y presión máxima de trabajo permitida 16 bar. Marca MASA o similar.	1,00	349,85	<b>349,85</b>
10.6	ud	<b>VÁLVULA DE SEGURIDAD</b> Válvula de seguridad de apertura total instantánea (AIT). La válvula trabaja como regulador automático de presión. Diseño según la norma ISO 4126-1. Marca VYC o similar.	4,00	150,00	<b>600,00</b>

### 3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

En el presupuesto de ejecución material (PEM) se suman los presupuestos de los capítulos de tal forma que se refleje los costes directos de realizar la instalación.

Capítulo	Descripción	Importe
1	Movimiento de tierras	35.141,04
2	Canalizaciones	4.603,74
3	Pretratamiento	29.260,34
4	Tratamiento primario	10.786,44
5	Sistema de recirculación flotador	10.333,55
6	Sistema de purga del flotador	549,68
7	Tratamiento biológico	55.679,10
8	Sistema de recirculación decantador	13.796,34
9	Sistema de purga del decantador	549,68
10	Accesorios	4.202,73
		<b>164.902,64</b>

### 4. PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

En el presupuesto de inversión se define el presupuesto de ejecución por contrata una vez añadidos los impuestos (IVA).

El presupuesto de ejecución por contrata hace referencia al total del presupuesto de ejecución y los gastos generales y beneficio industrial.

	Importe
Total presupuesto ejecución	164.902,64
13% Gastos Generales	21.437,34
6% Beneficio Industrial	9.894,16
<b>Presupuesto de ejecución por contrata</b>	<b>196.234,14</b>
21% IVA	41.209,17
<b>PRESUPUESTO DE INVERSIÓN</b>	<b>237.443,31</b>

El presupuesto de inversión de la instalación tiene un valor de DOSCIENTOS TREINTA Y SIETE MIL CUATROCIENTOS CUARENTA Y TRES EUROS CON TREINTA Y UN CÉNTIMOS.