



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA QUÍMICA

DISEÑO DE SISTEMA DE REGENERACIÓN DE 1000 M³/D DE AGUA RESIDUAL INCLUYENDO SEPARACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS

AUTORA: PATRICIA GÓMEZ FERNÁNDEZ

TUTORA: AMPARO BES PIÁ

COTUTORA: MARIA JOSE LUJAN FACUNDO

Curso Académico: 2018-19

RESUMEN

Hoy en día uno de los materiales más extendido y utilizado en el mundo es el plástico. Debido a sus buenas características (flexible, duro, ligero...) y sobre todo a su bajo precio, se ha utilizado este tipo de material para que nuestras vidas sean más fáciles y sencillas. Por estos motivos, la cantidad producida de materiales plásticos es muy elevada, alrededor de 500 millones de toneladas anuales.

Actualmente estos materiales no se están gestionando correctamente, lo que provoca la contaminación en el medio terrestre, pero también cada vez más en el medio marino. Diferentes estudios muestran que más del 80% de la basura que podemos encontrar en los océanos corresponden a materiales plásticos de diferentes tamaños.

El tamaño de plástico que más preocupa en estos momentos es el del microplástico (tamaño de partícula < 5mm), ya que este rango de tamaño es capaz de adsorber contaminantes y además, de ser ingerido por los animales marinos, acabando finalmente en el sistema digestivo de los seres humanos debido a su acumulación en la cadena trófica.

Debido a esta contaminación que está ocurriendo en nuestras aguas, este Trabajo Fin de Máster se centra en la identificación y separación de microplásticos procedentes de productos de uso domésticos como dentífricos, productos de limpieza... que se encuentran en las aguas residuales urbanas. Además, se realizan ensayos en el laboratorio para separar microplásticos sintéticos empleando un lecho de arena. Para realizar la identificación de las micropartículas se ha empleado la técnica del F-TIR, la medición del tamaño de partículas y el análisis de la turbidez, por otro lado, para la separación, las técnicas utilizadas son el tamizado y la filtración.

A partir de los resultados experimentales se ha podido observar que el filtro de arena es capaz de retener las micropartículas, pero para que esta retención sea la más óptima posible se deben controlar variables del proceso como son la altura del lecho, el caudal y la tipología del plástico.

Finalmente se realiza el diseño de un filtro de lecho de arena como tratamiento terciario para una EDAR (Estación Depuradora de Agua Residual) a partir de los resultados experimentales y se realiza el estudio económico de éste.

Palabras clave: aguas residuales urbanas; microplásticos; filtro de arena.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



RESUM

Actualment un dels materials més utilitzat en el món és el plàstic. A causa de les seues bones característiques (flexible, dur, lleuger...) i sobretot al seu baix preu, s'ha utilitzat aquest tipus de material perquè les nostres vides siguin més fàcils i senzilles. Per aquests motius, la quantitat produïda de materials plàstics és molt elevada, al voltant de 500 milions de tones anuals.

Actualment aquests materials no s'estan gestionant correctament, la qual cosa provoca la contaminació en el medi terrestre, però també cada vegada més en el medi marí. Diferents estudis mostren que més del 80% del fem que podem trobar en els oceans corresponen a materials plàstics de diferents grandàries.

La grandària de plàstic que més preocupa en aquests moments és el del microplàstic (tamany de partícula < 5mm), ja que aquest interval de tamanys és capaç d'adsorber contaminants i a més, de ser ingerit pels animals marins, acabant finalment en el sistema digestiu dels éssers humans a causa de la seua acumulació en la cadena tròfica.

A causa d'aquesta contaminació que està ocorrent en les nostres aigües, aquest Treball Fi de Màster es centra en la identificació i separació de microplàstics procedents de productes d'ús domèstics com dentífrics, productes de neteja... que es troben en les aigües residuals urbanes. A més, es realitzen assajos en el laboratori per a separar microplàstics sintètics utilitzant un llit d'arena. Per a realitzar la identificació de les micropartícules s'ha utilitzat la tècnica del F-TIR, el mesurament del tamany de partícules i l'anàlisi de la terbolesa, d'altra banda, per a la separació, les tècniques utilitzades són el tamisat i la filtració.

A partir dels resultats experimentals s'ha observat que el filtre és capaç de retindre les micropartícules, però perquè aquesta retenció siga la més òptima possible s'han de controlar variables del procés com són l'altura del llit, el cabal i la tipologia del plàstic.

Finalment es realitza el disseny d'un filtre de llit d'arena com a tractament terciari per a una EDAR (Estació Depuradora d'Aigua Residual) a partir dels resultats experimentals i es realitza l'estudi econòmic d'aquest.

Paraules clau: aigües residuals urbanes; microplàstics; filtre d'arena.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



SUMMARY

Today one of the most widespread and used materials in the world is plastic. Due to its good characteristics (flexible, hard, light...) and especially its low price, this type of material has been used to make our lives easier. For these reasons, the quantity of plastic materials produced is very high, around 500 million tonnes per year.

These materials are currently not being properly managed, leading to pollution in the terrestrial environment, but also increasingly in the marine environment. Different studies show that more than 80% of the garbage that we can find in the oceans corresponds to plastic materials of different sizes. The most worrying plastic size at the moment is that of microplastic (particle size < 5mm), since this size range is capable of adsorbing contaminants and in addition, being ingested by marine animals, finally ending up in the digestive system of human beings due to its accumulation in the trophic chain.

Due to this pollution that is occurring in our waters, this Master's Finish Work focuses on the identification and separation of microplastics from household products such as toothpastes, cleaning products... found in urban wastewater. In addition, laboratory tests are carried out to separate synthetic microplastics using a sand bed. For the identification of microparticles have been used the F-TIR technique, the measurement of particle size and the analysis of turbidity, on the other hand, have been used for separation the techniques of sieving and filtration.

From the experimental results it has been possible to observe that the sand bed is able to retain the microparticles, but for this retention to be the most optimal possible process variables such as the height of the bed, the flow and typology of the plastic must be controlled.

Finally, the design of a sand bed filter is carried out as a tertiary treatment for a WWTP (Wastewater Treatment Plant) based on the experimental results and the economic study is carried out.

Key words: urban wastewater; microplastics; sand filter.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



ÍNDICE

DOCUMENTOS INCLUIDOS:

- Documento 1. MEMORIA
- Documento 2. PRESUPUESTO
- Documento 3. PLANO

DOCUMENTO 1: MEMORIA

1. Objeto del proyecto	17
2. Justificación académica y técnica	19
2.1 Justificación académica	19
2.2 Justificación técnica	19
3. Antecedentes	21
4. Ciencia de los plásticos	23
4.1 Tipos de plásticos	23
4.1.1 Según su degradación	23
4.1.2 Según su comportamiento con el calor.....	25
4.1.3 Según el tamaño de partícula.....	26
4.2 Identificación de microplásticos	30
4.2.1 Identificación visual.....	30
4.2.2 Sistema de clasificación por color y tamaño estandarizado (SCS)	30
4.2.3 Microscopio electrónico de barrido (SEM)	31
4.2.4 Pirolisis-cromatografía de gases- espectrometría de masas (Pyr-GC-MS).....	33
4.2.5 Espectroscopia de resonancia magnética nuclear (RMN).....	33
4.2.6 Espectroscopia de transmisión de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR)....	33
4.2.7 Espectroscopía Raman	34
4.3 Separación de microplásticos	36
4.3.1 Detección visual y separación	36
4.3.2 Filtración.....	36
4.3.3 Tamizado	37
4.3.4 Separación por densidad.....	37
4.3.5 Elutriación	37
4.3.6 Flotación por espuma.....	38
5. Procesos de filtración convencional	39
5.1 Filtración a través de lechos filtrantes	39
5.2 Variables de los sistemas de filtración de lecho granular	41
5.3 Sistemas de filtración	42

5.4 Aplicaciones de los sistemas de filtración	43
6. Procesos de filtración con membranas.....	45
6.1 Clasificación de los procesos de membrana.....	45
6.2 Clasificación de las membranas	47
6.2.1 Estructura de las membranas.....	47
6.2.2 Morfología.....	47
6.2.3 Configuración	47
6.2.4 Naturaleza química	48
7. Metodología experimental	49
7.1 Muestras ensayadas.....	49
7.2 Equipos empleados para la caracterización de microplásticos.....	50
7.3 Equipos empleados para la identificación de microplásticos	54
7.4 Ensayos para la separación de microplásticos mediante tamices.....	55
7.5 Ensayos de filtración con un filtro de lecho de arena	56
7.5.1 Material empleado.....	56
7.5.2 Montaje experimental.....	56
7.5.3 Preparación corriente alimento	58
7.5.4 Procedimiento experimental	59
8. Resultados experimentales	61
8.1 Caracterización de microplásticos	61
8.2 Identificación de microplásticos	63
8.3 Resultados del lecho filtrante	66
8.3.1 Análisis resultados turbidez	68
8.3.2 Análisis resultados del tamaño de partícula	69
9. Diagrama de la instalación	71
10. Diseño de la instalación.....	73
10.1 Cálculos de la instalación	73
10.2 Descripción de la instalación diseñada.....	78
11. Estudio económico	79
12. Conclusiones	81
13. Bibliografía.....	83
14. Anexos.....	85
Anexo I. Características de los equipos	85

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

DOCUMENTO 2: PRESUPUESTO

PRESUPUESTO.....95
I.PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN.....95

DOCUMENTO 3: PLANO

PLANO 1. PLANO DE LA INSTALACIÓN DISEÑADA.....103

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Demanda de plástico por sectores en Europa.....	21
Figura 2. Demanda Europea de plásticos durante los años 2011,2012 y 2013.....	22
Figura 3. Tiempo de degradación para los diferentes tipos de plástico.....	23
Figura 4. Polímeros convencionales más utilizados.....	24
Figura 5. Etapas degradación de plásticos oxo-biodegradables.....	24
Figura 6. Clasificación de los plásticos según tamaño.....	26
Figura 7. Producción mundial de materiales plásticos	27
Figura 8. Fuentes y rutas de los microplásticos.....	29
Figura 9. Sistema de clasificación de microplásticos SCS.....	31
Figura 10. Microscopio SEM.....	32
Figura 11. Imagen SEM de la superficie de un microplástico de poliestireno.....	32
Figura 12. Espectro F-TIR polipropileno.....	34
Figura 13. Espectro F-TIR poliestireno.....	34
Figura 14. Espectro Raman del polipropileno.....	35
Figura 15. Espectro Raman poliestireno.....	35
Figura 16. Sistema de filtración al vacío.....	36
Figura 17. Sistema de tamizado múltiple.....	37
Figura 18. Filtración por gravedad.....	39
Figura 19. Filtración a presión.....	40
Figura 20. Distribución granulométrica de dos arenas.....	42
Figura 21. Esquema de un proceso de membranas.....	45
Figura 22. Nivel de separación según el proceso de membrana.....	46
Figura 23. Productos cosméticos analizados.....	49
Figura 24. Productos plásticos de uso domésticos para los ensayos de filtración.....	50
Figura 25. Equipo Zetasizer disponible en la UPV.....	51
Figura 26. Equipo Mastersizer 2000.....	52
Figura 27. Turbidímetro portátil.....	53
Figura 28. Equipo F-TIR disponible en la UPV.....	54
Figura 29. Tamices de acero inoxidable.....	55
Figura 30. Centrífuga disponible en la UPV.....	56
Figura 31. Esquema montaje experimental.....	57
Figura 32. Montaje experimental en el laboratorio de la UPV.....	57

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

Figura 33. Detalle del filtro de arena del montaje experimental.....	58
Figura 34. Microplásticos tamizados.....	58
Figura 35. Comparación de tamaño de partículas entre muestras antes y después de la filtración con un filtro de 0,45 micras.	62
Figura 36. Espectro F-TIR Disolución 1.....	63
Figura 37. Espectro F-TIR Disolución 2.....	63
Figura 38. Espectro F-TIR Disolución 3.....	64
Figura 39 Espectro F-TIR Disolución 4.....	64
Figura 40. Espectro F-TIR Disolución 5.....	65
Figura 41 Espectro F-TIR Disolución 6.....	65
Figura 42. Diagrama de bloques de la instalación diseñada.....	71
Figura 43. Diagrama de Moody para la obtención del coeficiente de fricción.....	75
Figura 44. Curva característica de la bomba DW.100.66.A3.....	76
Figura 45. Filtro FDSA-1625 Hidro-water.....	77
Figura 46. Características de la bomba DW.100.66.A3 de la casa Grundfos.....	85
Figura 47. Características de la válvula de compuerta AVK SUPA PLUS PN16.....	86
Figura 48. Características de la válvula de retención de bola AVK PN10].....	87
Figura 49. Características de la válvula de seguridad modelo con palanca rosca M-H de la casa Valsum.....	88
Figura 50. Características válvula de purga continua de la casa VYC	89
Figura 51. Características filtro de aren FDSA.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del proceso de membranas según la fuerza impulsora.....	45
Tabla 2. Especificaciones Zetasizer.....	51
Tabla 3. Especificaciones Mastersizer.....	53
Tabla 4. Ensayos para el estudio de la filtración de microplásticos.....	59
Tabla 5. Tamaño de partícula del Zetasizer.....	61
Tabla 6. Tamaños de partícula del Mastersizer.....	61
Tabla 7. Tamaño de partícula después del filtro de 0,45 micras.....	62
Tabla 8. Valores iniciales de turbidez y tamaño de partícula de las muestras preparadas.....	66
Tabla 9. Resultados de turbidez (NTU) obtenido en el filtrado de la muestra para cada tipo de plástico en diferentes momentos del ensayo.....	67
Tabla 10. Resultados del tamaño de partícula obtenido en el filtrado de la muestra para cada tipo de plástico en diferentes momentos del ensayo.....	68
Tabla 11. Coste energético.....	79
Tabla 12. Coste mano de obra.....	79
Tabla 13. Presupuesto de ejecución material (PEM).....	80
Tabla 14. Presupuesto mano de obra.....	95
Tabla 15. Presupuesto depósitos.....	95
Tabla 16. Presupuesto bombas y válvulas.....	96
Tabla 17. Presupuesto filtro de arena.....	96
Tabla 18. Presupuesto total de ejecución material (PEM).....	97

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

MEMORIA

DOCUMENTO 1

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



1. Objeto del proyecto

El objetivo principal del presente Trabajo Fin de Máster (TFM) es el diseño de una instalación para regenerar aguas residuales urbanas que contienen microplásticos incluyendo la separación e identificación de los mismos.

Para ello se han llevado a cabo los siguientes objetivos específicos:

- Estudio bibliográfico y del estado del arte.
- Identificación y caracterización de microplásticos contenidos en diferentes productos de higiene domésticos susceptibles de poderse encontrar en los efluentes secundarios de las estaciones depuradoras.
- Ensayos de filtración a escala de laboratorio a través de un filtro de arena para retener microplásticos, teniendo en cuenta diferentes variables del proceso como son el caudal de entrada al filtro, la altura del lecho de arena y diferentes tipos de microplásticos.
- Estudio de la capacidad de retención de microplásticos en el filtro de arena de laboratorio, a través de mediciones como turbidez y tamaño de partículas.
- Diseño teórico de la instalación del filtro de arena a partir de los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio.
- Estudio económico del diseño de la instalación planteado.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



2. Justificación académica y técnica

2.1 Justificación académica

El presente trabajo académico corresponde al Trabajo Final de Máster del Máster en Ingeniería Química de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universitat Politècnica de València. El objetivo de este TFM es evaluar los conocimientos específicos adquiridos durante dicha titulación universitaria, obteniéndose tras su realización los 12 créditos que restan para completar los 120 créditos ECTS de la titulación.

Los conocimientos obtenidos durante el estudio tienen su principal aplicación en la industria química, concretamente en la rama medioambiental de la misma, la cual engloba procesos como el tratamiento de las aguas residuales urbanas e industriales, como es el caso del tema del presente TFM. Para su realización, se han aplicado conocimientos adquiridos en la asignatura de tratamiento biológico de aguas residuales, valoración energética de residuos, operaciones de separación avanzadas y diseño avanzado de reactores.

2.2 Justificación técnica

A día de hoy, el plástico se encuentra presente en la mayoría de objetos y materiales debido a sus características y a su bajo precio.

Según las investigaciones realizadas por Greenpeace en el 2017, la producción de plástico se ha disparado en las últimas décadas, tan sólo en 2002-2013 aumentó un 50% y se estima que en el año 2020 se producirán más de 500 millones de toneladas anuales [1].

Si los residuos plásticos no se gestionan correctamente pueden llegar a contaminar el medio terrestre y el medio acuático a través de las vías fluviales debido a su alta persistencia. Como consecuencia final, pueden llegar a perjudicar la salud de los seres vivos por acumulación en la cadena trófica. Por este motivo, es necesario realizar una buena identificación y separación de los diferentes tipos y tamaños de plásticos para evitar que puedan llegar al medio ambiente.

Un ejemplo se puede encontrar en nuestro territorio. En España, en 2013, se consumieron 3,5 millones de toneladas de plástico y según un informe publicado por Ecoembes (organización medioambiental española constituida por un grupo de empresas para la gestión de residuos) tan sólo se recuperó en contenedores amarillos un 20% de éstos [2].

Hasta hace unos años, las investigaciones no se habían centrado en los microplásticos, ya que no se consideraban un problema para el medio ambiente debido a su pequeño tamaño. Sin embargo, hoy en día, ya existen estudios que demuestran el grave daño que están provocando tanto en el medio ambiente como en los seres vivos.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



3. Antecedentes

A día de hoy, uno de los materiales que más ha crecido en su popularidad es el plástico. Fue el primer material sintético creado por el hombre. Además, son considerados materiales muy valiosos y muy utilizados debido a sus múltiples aplicaciones, tanto en el sector de la construcción como en el transporte o en procesos industriales.

El incremento de su producción ha sido bastante visible. Por ejemplo, en la década de los 50 se producían 1,5 millones de toneladas y en estos últimos años se han llegado a producir más de 322 millones de toneladas de plásticos. Se estima que se llegará a alcanzar los 2000 millones de toneladas para 2050. La industria europea es el segundo productor mundial de plástico (18% de producción global), detrás de la industria china.

Este aumento en el uso de plásticos ha traído numerosos beneficios sociales, tanto médicos como tecnológicos. Además, el plástico es un material que necesita poca energía para ser producido, es resistente, ligero e higiénico.

A continuación, en la Figura 1, se muestra la demanda de plásticos en Europa según el sector en el año 2015:

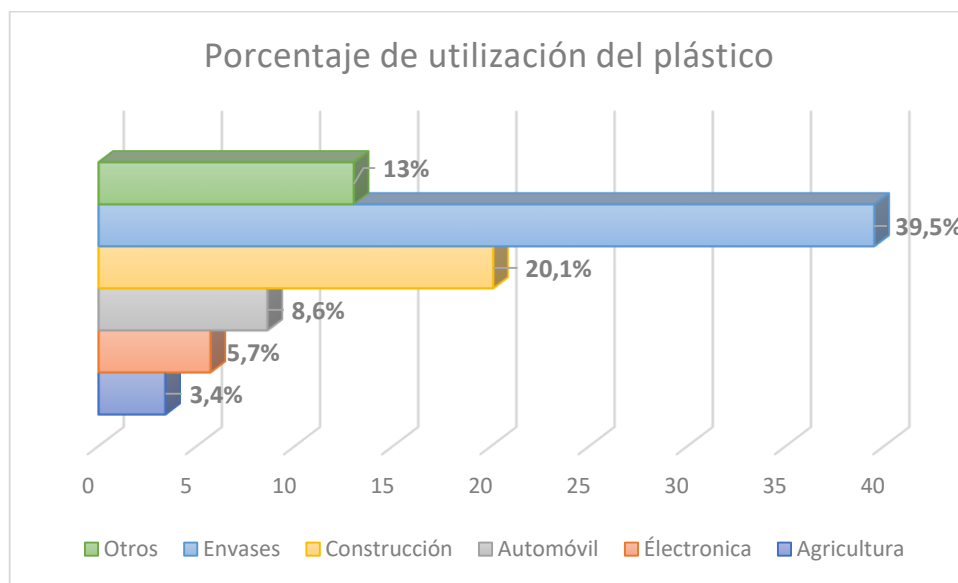


Figura 1. Demanda de plástico por sectores en Europa [3]

Como se puede observar en la Figura 1, en Europa casi el 40% de plástico es utilizado en la industria de los envases y embalaje y un 20% en el sector de la construcción.

En la Figura 2, se muestra qué tipo de plástico es el más demandado en Europa. En color rosa podemos ver el año 2013, en azul el año 2012 y en color gris el año 2011.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

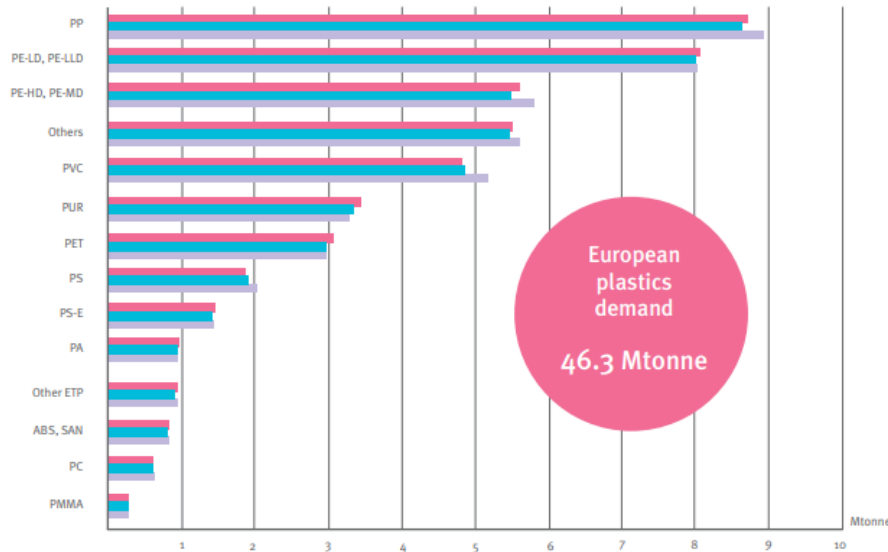


Figura 2 Demanda Europea de plástico durante los años 2011, 2012 y 2013 [4]

Como se puede ver, el plástico más demandado en Europa es el polipropileno, seguido del polietileno de baja densidad. Las características principales de cada tipología de plástico se encuentran explicadas en el apartado 4.1.

Por otra parte, este alto crecimiento de la fabricación de plásticos asociada a su durabilidad, a su uso insostenible y a la gestión inadecuada de los mismos propicia la acumulación de desechos plásticos en hábitats naturales. En concreto, en Europa se produjeron 59 millones de toneladas de plásticos, de los que solo se reciclaron el 13% [3].

Algunos países en desarrollo continúan fomentando la cultura de “usar y tirar”, mientras que otros empiezan a implementar regulaciones en la producción y en el reciclaje de estos materiales ya que, estas altas cantidades de desechos plásticos están siendo uno de los principales problemas medioambientales en la actualidad.

Se estima que se recicla menos del 15% de los plásticos residuales y a este hecho, se le une la poca capacidad de reutilización que tienen, sólo de un 1-2%, ya que el requerimiento de la calidad de los productos es muy elevado y no llegan a cumplirlo [5].

A pesar de que los plásticos llevan poco más de medio siglo en nuestras vidas, se han convertido en una de las mayores amenazas del medio ambiente marino, ya que se ha encontrado basura en todos los mares europeos, de la cual el 40% eran plásticos. Además, se estima que sólo en el mar Mediterráneo existen 1455 toneladas de plástico flotando y que el 80% de los fragmentos plásticos que se encuentran en el medio marino son procedentes de la vida en la tierra, el 20% restante provienen de las embarcaciones, de las plataformas petrolíferas en alta mar y de los grandes buques de carga. Estos plásticos causan graves efectos a las especies marinas, provocándoles estrangulamiento, asfixia y malnutrición. Además, las especies pueden ingerir estos plásticos, los cuales tienen una gran capacidad de adsorción y de concentración de sustancias químicas, por lo que estos tóxicos pueden ser liberados en el organismo del animal y posteriormente ser ingeridos por las personas [1].

4. Ciencia de los plásticos

Los plásticos se definen como polímeros procedentes del petróleo combinados con diferentes aditivos, que les aportan las propiedades necesarias para su textura, resistencia a la temperatura, estabilidad, brillo, etc...

4.1 Tipos de plásticos

El plástico puede ser clasificado de diferentes formas. En este apartado se van a clasificar según su degradación, según su comportamiento al calor y según el tamaño de partícula.

4.1.1 Según su degradación

En esta clasificación se encuentran los plásticos convencionales, oxo-degradables y bioplásticos.

Los plásticos convencionales son aquellos que no sufren procesos de oxidación debido a la humedad o al oxígeno que se encuentra en el medio ambiente. Los rayos ultravioleta procedentes del sol, son los únicos capaces de degradarlos, ya que van perdiendo resistencia y se van fragmentando cada vez en plásticos de menor tamaño.

En la Figura 3 se puede observar el tiempo necesario para que los materiales plásticos convencionales se degraden. Algunos plásticos pueden llegar a necesitar más de 500 años.










hilo de pesca		± 600 años
botella		± 500 años
cubiertos		± 400 años
mechero		100 años
vaso		65- 75 años
bolsa		55 años
suela de zapato		10- 20 años
colilla		1- 5 años
globo		6 meses

Figura 3. Tiempo de degradación para los diferentes tipos de plástico [1]

Los polímeros convencionales más utilizados y abundantes son los que se muestran en la Figura 4 y, estos constituyen el 90% de la producción mundial.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

Acrónimo	Nombre completo	Productos de plástico
PET (PETE)	Polietileno tereftalato	Botellas de agua
PES	Poliéster	Ropa de poliéster
LDPE o PEBD	Polietileno de baja densidad	Bolsas de plástico
HDPE o PEAD	Polietileno de alta densidad	Botellas de detergente
PVC	Policloruro de vinilo	Tuberías
PP	Polipropileno	Tapas de botellas
PA	Poliamida	Cepillos de dientes
PS	Poliestireno	Envases de comida para llevar

Figura 4. Polímeros convencionales más utilizados [3]

Por otro lado, los plásticos oxo-biodegradables, son plásticos convencionales que se les ha añadido un aditivo específico, el d₂W, un masterbatch a base de polímeros con un desarrollo especial que se agrega a la resina polimérica durante el proceso de fabricación. Con este aditivo se obtiene un plástico con las mismas características que el plástico convencional, pero además puede oxodegradarse, es decir, mediante la acción del oxígeno el plástico se degrada a agua, dióxido de carbono y biomasa de forma totalmente artificial.

En la Figura 5 se muestran las etapas de degradación que se llevan a cabo en los plásticos oxo-biodegradables.

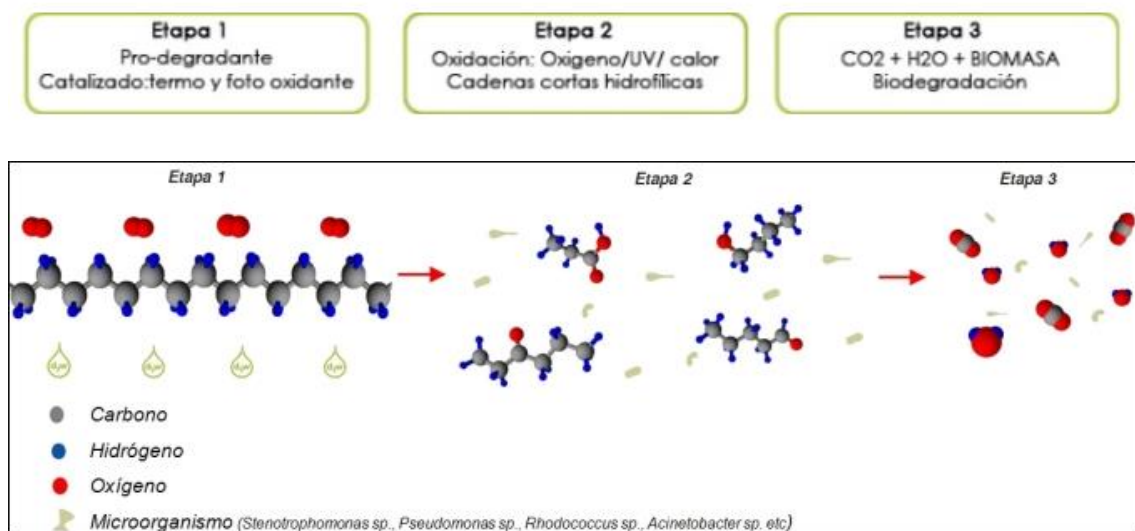


Figura 5. Etapas degradación de plásticos oxo-biodegradables [6]

Por último, nos encontramos a los bioplásticos o plásticos biodegradables, los cuales están realizados a partir de polímeros naturales, como son el almidón de maíz o trigo. Estos materiales son degradados por los microorganismos mediante una descomposición aerobia o anaerobia. Sin embargo, esta biodegradación está sujeta a unas condiciones que es posible que no se den en el medio marino, por esta razón, tanto unos como otros, son una fuente de entrada de plásticos al medio ambiente [2].

4.1.2 Según su comportamiento con el calor

Dependiendo del comportamiento al calor, se pueden clasificar en termoplásticos, termofijos y elastómeros [7].

Los termoplásticos son aquellos que se reblandecen o se funden cuándo se les aplica una fuente de calor, lo que les permite volver a moldearse para obtener productos nuevos. A continuación, se indican los principales termoplásticos:

- Polietileno (PE)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- Cloruro de polivinilo (PVC)
- ABS (Acilo nitrilo/Butadieno/Estireno)
- Estireno Acrilonitrilo (SAN)
- Acrílico
- Policarbonato (PC)
- Nylon
- PolietilenTereftalato (PET)
- Poliester (PolibutilenoTereftalato, PBT)
- Acetal (polioximetileno, POM)

Los termofijos una vez se les aplica calor se degradan y se carbonizan por lo que no tienen la posibilidad de ser reprocesados. Los principales termofijos son:

- Resina epoxi
- Poliesteres no saturados
- Poliuretanos
- Silicones
- Resinas fenólicas
- Resinas Urea Folmaldehído
- Resinas melanina

Por último, los elastómeros son compuestos químicos formado por miles de monómeros, que se unen formando enormes cadenas. Gracias a estas cadenas, disponen de una elevada elasticidad. Son capaces de deformarse cuando se someten a esfuerzos y después volver a su forma original, por eso son el material básico de otros materiales como la goma y para algunos productos adhesivos. Los principales elastómeros son los siguientes:

- Elastómeros de butadieno-estireno
- Neopreno
- Elastómero de polisulfuro y siliconas
- Hiralón
- Elastómeros de poliuretano
- Poliisopreno
- Polibutadieno

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

4.1.3 Según el tamaño de partícula

Finalmente, estos materiales pueden ser clasificados, como se puede observar en la Figura 6, según el diámetro de sus partículas. Se pueden encontrar los macroplásticos (con un tamaño > 25mm), los mesoplásticos (con un tamaño entre 5-25mm), los microplásticos (con un tamaño < 5mm) y los nanoplásticos (con un tamaño <1000nm).



Figura 6. Clasificación de los plásticos según su tamaño [1]

MICROPLÁSTICOS (MPs)

Los microplásticos son aquellos materiales con un tamaño de partícula microscópico (con un tamaño <5mm). Pueden ser fragmentos de materiales de mayor tamaño como botellas o envases (MPs secundarios), o partículas fabricadas con ese tamaño, presentes por ejemplo en productos de higiene doméstica como en cremas cosméticas o dentífricos (MPs primarios). Los aspectos que se deben de tener en cuenta a la hora de su definición son su composición química, el tamaño de la partícula, su estado sólido, su solubilidad en el agua y su persistencia en el medio ambiente.

A continuación, se muestra una gráfica (Figura 7) donde podemos ver el porcentaje de plástico que se produce en cada región del mundo:

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

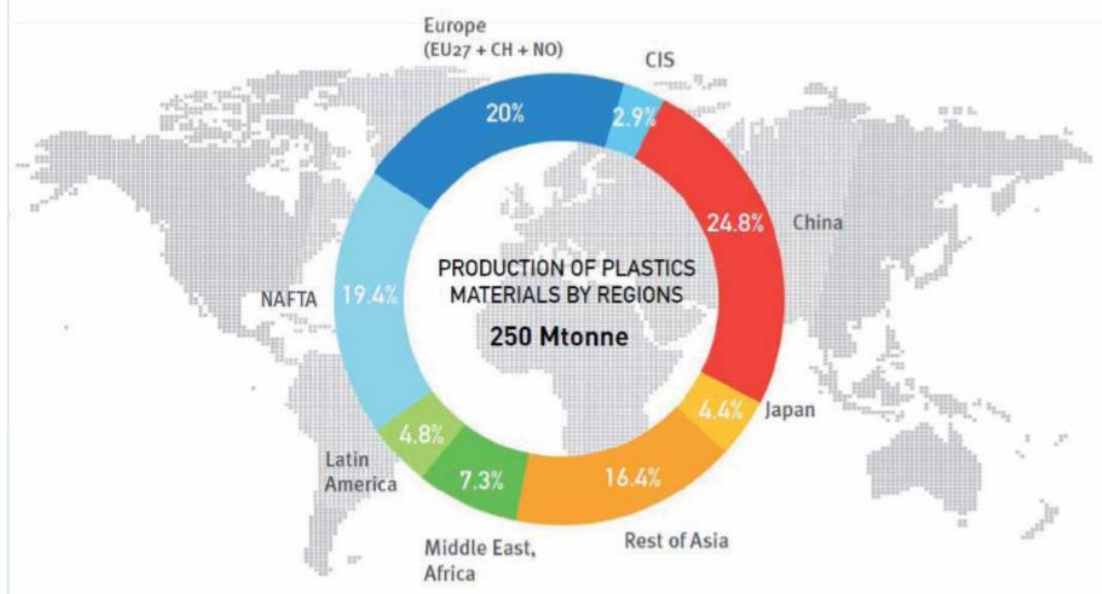


Figura 7. Producción mundial de materiales plásticos [4]

Se ha podido demostrar que los microplásticos tienen un efecto más negativo que los macroplásticos, ya que como se ha comentado anteriormente, los microplásticos son capaces de adsorber y liberar contaminantes tóxicos, o retener sustancias químicas añadidas durante el proceso de fabricación y por su tamaño pueden ser ingeridos por las especies marinas. Además, por su tamaño diminuto son mucho más difíciles de eliminar de las aguas residuales.

Estos materiales pueden ser clasificados como microplásticos primarios, aquellos que son fabricados por las industrias con este fin y son usados como gránulos de resina para producir artículos de mayor tamaño o son utilizados en productos cosméticos como exfoliantes faciales o pastas dentales. Estas micropartículas provocan graves problemas ambientales al incorporarse tras su uso a las redes de alcantarillado, no eliminándose en los sistemas de saneamiento del agua residual y desembocando en los mares y océanos.

Por otro lado, se encuentran los microplásticos secundarios que se forman a partir de la desintegración de residuos plásticos más grandes, debido a la exposición de condiciones extremas como la radiación solar.

Los microplásticos pueden ser liberados al medio ambiente por diferentes vías [8]:

- Los que están en las aguas de salida de una EDAR, debido a la utilización de los MPs en productos de higiene personal o por la liberación de fibras durante el lavado de la ropa. Dichas aguas, tras ser depuradas y si cumplen la correspondiente legislación son liberadas a las aguas superficiales. Algunas instalaciones son capaces de eliminar el 99% de estos materiales, pero aun así la cantidad de MPs liberados al medio ambiente sigue siendo significativa debido a los grandes volúmenes de agua residual que se generan y que se están tratando en las EDAR's.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

- La aplicación de plásticos en tierras agrícolas. Estas películas plásticas incluyen ventajas como la conservación de la humedad, la reducción del crecimiento de la maleza y el aumento de la temperatura del suelo, pero su uso se considera una de las principales fuentes de contaminación, ya que, la intemperie fragiliza el material y produce su desintegración y al combinarse con las precipitaciones de lluvia, se acumulan en el suelo.
- Por el arrastre producido por el agua de la lluvia.
- Debido a una liberación accidental, por ejemplo, por el desgaste de los neumáticos.
- Por un vertido de productos o procesos industriales.

Como se ha comentado anteriormente la liberación de los MP al medio ambiente puede ser producida por varias fuentes, por lo que los entornos ambientales están expuestos potencialmente a la recepción de estos materiales plásticos. Gracias a varios estudios, se ha podido demostrar que los organismos acuáticos son susceptibles de ingerir estos MP, y también se ha podido ver que los MP son capaces de adsorber contaminantes orgánicos persistentes (COP). Pero a día de hoy, no es posible conocer los efectos a largo plazo de las exposiciones continuas.

Tanto los desarrollos tecnológicos como los cambios demográficos influyen en el tipo de MP que se pueden encontrar y sus concentraciones en el futuro, por lo que es importante centrarse en mitigar la entrada de estos materiales a los ecosistemas de agua dulce, ya que en un futuro no muy lejano podrá afectar a la salud de las personas [8].

A continuación, se muestra en la Figura 8, las fuentes y rutas que siguen los MP hasta llegar al medio ambiente:

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

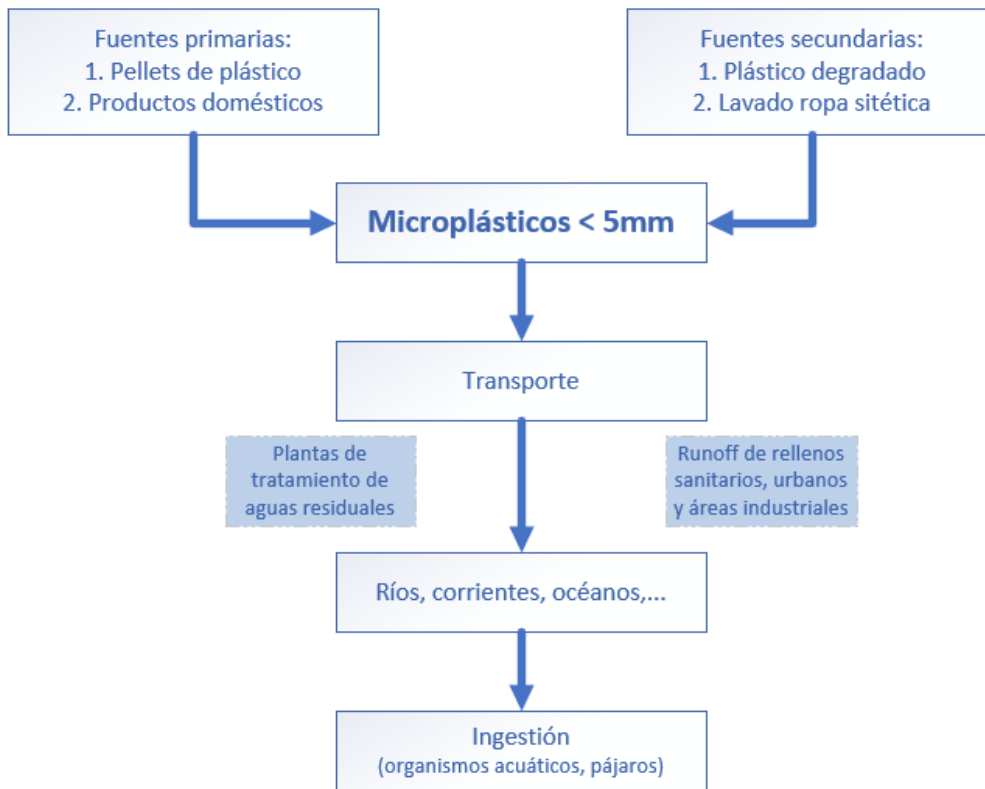


Figura 8. Fuentes y rutas de los microplásticos [9]

Los estudios de los MPs anteriormente mencionados se han centrado más en los ambientes marinos. Sin embargo, estos últimos años se han ido investigando el efecto de los MPs en aguas dulces ya que su presencia es tan extensa como en los sistemas marinos.

Los análisis obtenidos sugieren que los sistemas de agua dulce pueden tener similitudes con los sistemas marinos, como [10]:

- En las fuerzas que transportan los MPs, es decir, las corrientes superficiales.
- La prevalencia de microplásticos.
- Los enfoques utilizados para la identificación y cuantificación.
- Por los impactos potenciales, como el daño físico a organismos que lo ingieren o como la transferencia de sustancias tóxicas.

Debido a que estos estudios se han realizado recientemente, aún existen varias cuestiones por resolver, como [10]:

- Su presencia y distribución en el medio ambiente.
- Sus rutas de transporte exactas y los factores que afectan a la distribución.
- Métodos para su detección y cuantificación precisas.
- La extensión y la relevancia de sus impactos en la vida.

NANOPLÁSTICOS (NPs)

La producción de los nanoplásticos (con un tamaño <1000nm) ha ido aumentando a lo largo de los últimos años, pero no tan rápidamente el conocimiento sobre su presencia, comportamiento, destino y su toxicidad en el medio marino. Según varios estudios, se ha demostrado que esta fracción de los plásticos es una de las más peligrosas, ya que, debido a su tamaño (<1 µm), pueden ser ingeridos por organismos que se encuentran en la base de la cadena trófica.

Los NPs presentan dos grandes problemas [3]:

- Su reducido tamaño, que les permite atravesar membranas celulares, alterando sus funciones fisiológicas.
- Su elevada relación de superficie respecto al área les concede unas características fisicoquímicas que permiten afinidades para la adsorción de contaminantes.

4.2 Identificación de microplásticos

Normalmente, la primera fase de identificación de los MP es una selección visual antes del análisis y posteriormente se utilizan métodos más exhaustivos, como es el caso de la clasificación SCS, el microscopio electrónico de barrido (SEM), Pirólisis-cromatografía de gases- espectrometría de masas (Pyr-GC-MS), Espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN), FTIR y Espectroscopía Raman.

4.2.1 Identificación visual

Es el método más simple en la identificación de microplásticos y la técnica que lleva más tiempo, pero en los casos de grandes volúmenes de materiales es la más adecuada.

Entre los criterios de selección para identificar los microplásticos se encuentran que las partículas no dispongan de estructuras orgánicas observables y deben ser claras y de colores invariables [11].

4.2.2 Sistema de clasificación por color y tamaño estandarizado (SCS)

El sistema SCS, es un sistema estandarizado de clasificación por tamaño y color para la categorización de microplásticos, como se puede ver en la Figura 9:

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

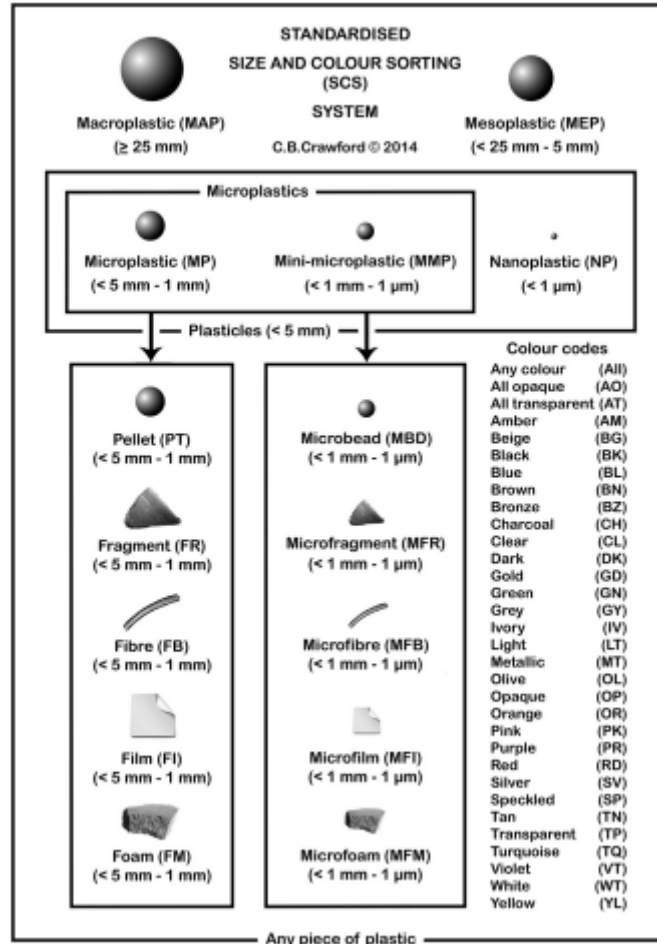


Figura 9. Sistema de clasificación de microplásticos SCS [11]

El procedimiento que se realiza para la clasificación es el siguiente:

1. Categoría. Los plásticos primero deben clasificarse según su tamaño.
2. Escriba. Se realiza una clasificación en función de su morfología.
3. Color. Categorización basada en el color.
4. Polímero. Las partículas se analizan mediante un examen espectroscópico y se determina a qué tipo de polímero pertenece.
5. Cantidad. En este último paso se indica la cantidad de cada pieza clasificada.

Una vez realizados los 5 pasos se obtiene un código SCS para cada tipo de plástico [11].

4.2.3 Microscopio electrónico de barrido (SEM)

El microscopio SEM utiliza electrones para crear una imagen. Se realiza a través de un dispositivo (filamento) que genera un haz de electrones que ilumina la muestra y a través de distintos detectores se recogen los electrones generados de la interacción con la superficie, para crear una imagen que refleja las principales características superficiales de la muestra, proporcionando información como la forma, la composición química y la textura [11].

En la Figura 10 se muestra los elementos principales del microscopio SEM:

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

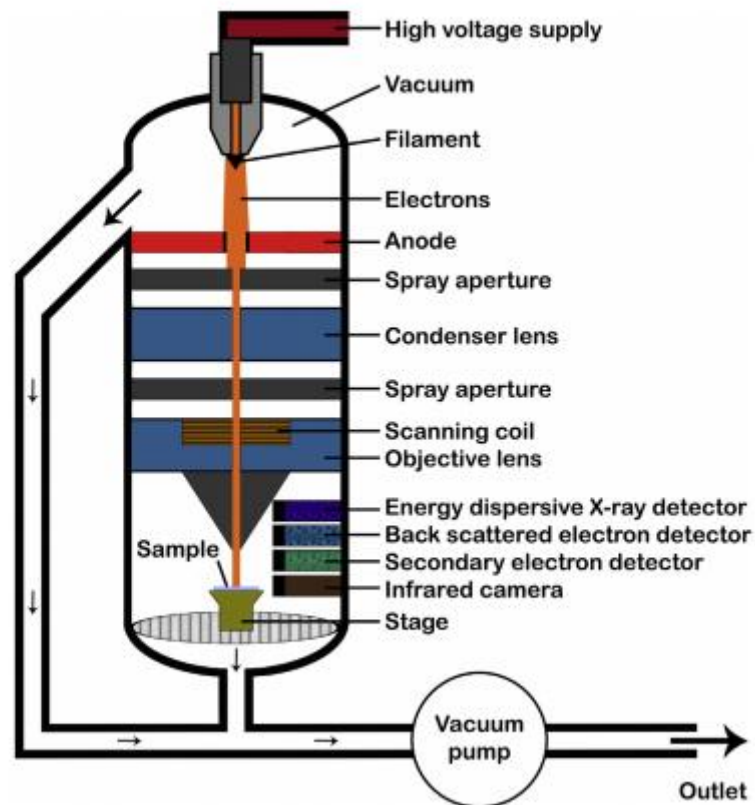


Figura 10. Microscopio SEM [11]

El microscopio electrónico tiene una gran profundidad de campo, ya que se pueden visualizar muestras en blanco y negro con una gran cantidad de detalles en tres dimensiones. Por lo que es una buena opción a la hora de identificar microplásticos recuperados de muestras ambientales para determinar sus características físicas y su tamaño. En la Figura 11 se muestra una imagen realizada por el microscopio SEM de la superficie de un microplástico de poliestireno.

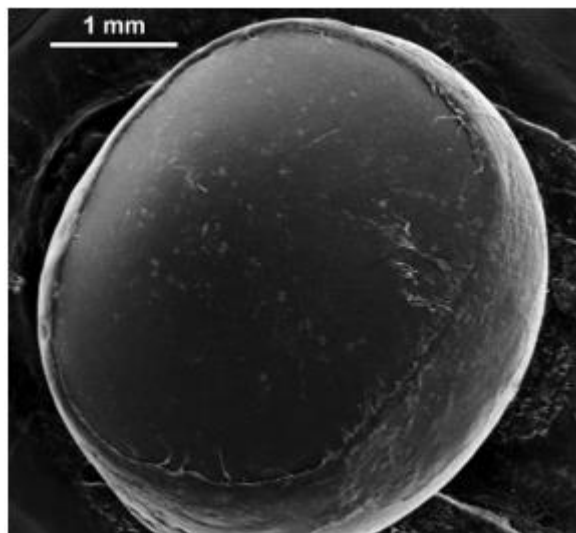


Figura 11. Imagen SEM de la superficie de un microplástico de poliestireno [11]

4.2.4 Pirolisis-cromatografía de gases- espectrometría de masas (Pyr-GC-MS)

Técnica que descompone térmicamente las moléculas de alto peso molecular de una muestra en moléculas de bajo peso molecular. Posteriormente esta muestra se analiza utilizando la espectrometría de masas (MS) y se obtiene información sobre su composición estructural. Cabe destacar que es una técnica destructiva por lo que el análisis posterior del microplástico no es posible.

Primeramente, la muestra se coloca en la cámara y se calienta (entre 200-600 °C) en un ambiente libre de oxígeno. Seguidamente se produce un cromatograma, el cual es comparado con una base de datos de referencia para identificar el tipo de microplásticos presentes en la muestra [11].

4.2.5 Espectroscopia de resonancia magnética nuclear (RMN)

EL RMN obtiene información del entorno químico que rodea a los núcleos de un átomo cuando éste es expuesto simultáneamente a un campo magnético y radiación electromagnética.

Esta técnica se basa en la forma intrínseca de momento angular, denominada giro, de partículas subatómicas, como protones y neutrones [11].

4.2.6 Espectroscopia de transmisión de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR)

El FTIR es una herramienta muy utilizada en los laboratorios. Su principal ventaja es que el instrumento es la base de toda la prueba, es decir, la muestra no requiere de una preparación previa. Además, es capaz de detectar diferentes compuestos a la vez y de una forma rápida. Esta herramienta se basa en los principios de espectroscopia molecular, donde las moléculas absorben energía de luz en longitudes de onda específicas. Para poder realizar el análisis solo es necesario colocar una pequeña muestra en la celda infrarroja, donde le incide una fuente de luz infrarroja que realiza un barrido de longitud de onda desde 4000 cm⁻¹ hasta 600 cm⁻¹.

Como se ha comentado anteriormente, la muestra no necesita una preparación, pero para mejorar el resultado, se puede añadir una etapa previa con peróxido de hidrógeno al 30% (H₂O₂) para eliminar el material biogénico. Además, para reducir el tiempo de análisis se puede realizar el estudio a partir de micro FTIR de reflectancia de plano focal (FPA) ya que permite obtener imágenes e identificar los diferentes MPs de forma más eficaz [12].

A continuación, se muestran algunos espectros FTIR de materiales plásticos más comunes (Figura 12 y 13):

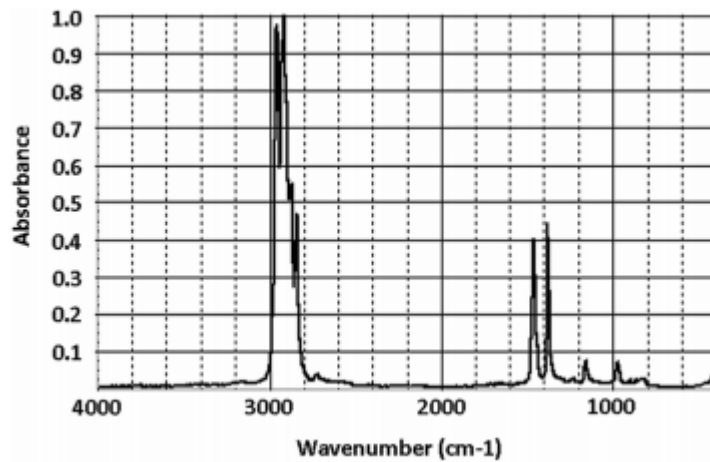


Figura 12. Espectro FTIR polipropileno [11]

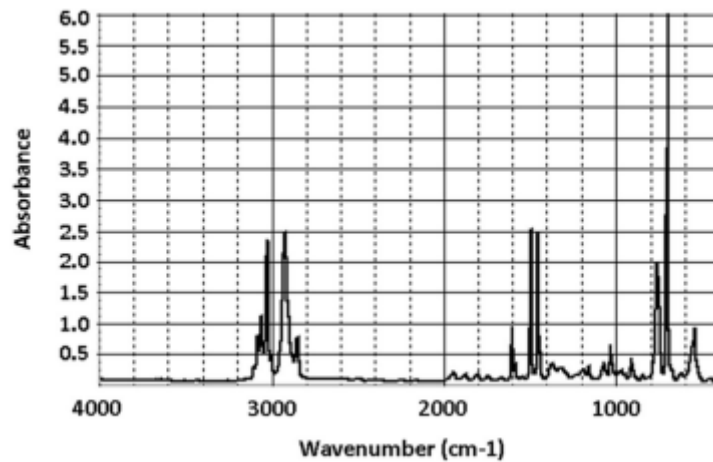


Figura 13. Espectro FTIR poliestireno [11]

4.2.7 Espectroscopía Raman

La espectroscopia Raman es una técnica fotónica de elevada resolución que en pocos segundos es capaz de proporcionar información química y estructural de casi cualquier compuesto orgánico y/o inorgánico, consiguiendo así su identificación.

Se trata de una técnica de análisis que se realiza directamente sobre el material/compuesto sin necesidad de realizar ninguna preparación inicial y además, no conlleva ninguna alteración de la superficie del material, es decir, es un ensayo no-destructivo.

La espectroscopia Raman se basa en el examen de luz dispersada por un material al incidir sobre él un haz de luz monocromático [13]. Existen dos formas de luz dispersa, la dispersión de Rayleigh (elástica) y Raman más débil (dispersión inelástica).

El análisis de materiales plásticos es adecuado para la espectroscopia Raman ya que tiene especial sensibilidad a las especies moleculares no polares, por lo que los enlaces de carbono y dobles enlaces que normalmente comprenden los compuestos plásticos, se detectan fácilmente mediante esta técnica. De hecho, esta técnica se considera

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

complementaria al FTIR, debido a que éste proporciona una mejor identificación de los grupos polares.

Por otra parte, Raman tiene un inconveniente con la fluorescencia de las muestras. La mayoría de las muestras no son polímeros puros, si no, composiciones de una variedad de aditivos y pigmentos colorantes, y estas impurezas absorben la luz del láser generando calor en el proceso. Este hecho, puede eliminar la señal Raman e inducir a la degradación térmica de la muestra [11].

A continuación, se muestran en las Figuras 14 y 15, ejemplos de espectroscopia Raman:

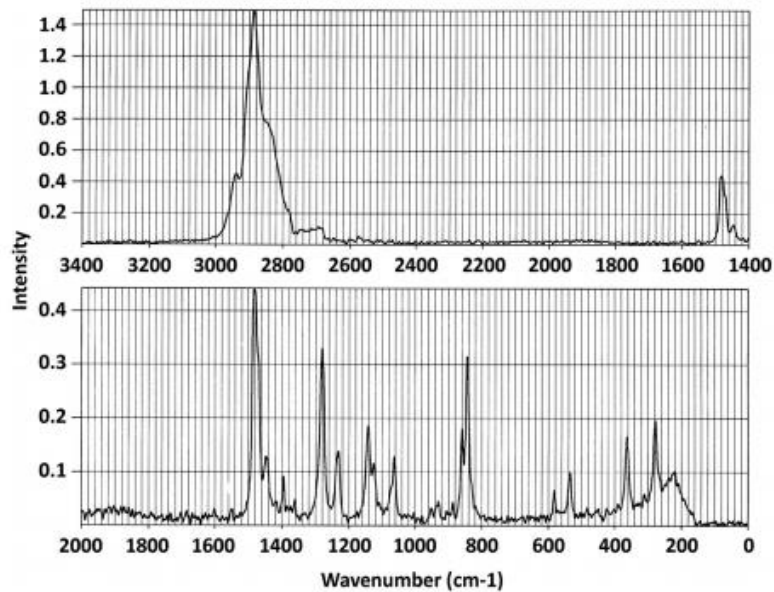


Figura 14. Espectro Raman del polipropileno [11]

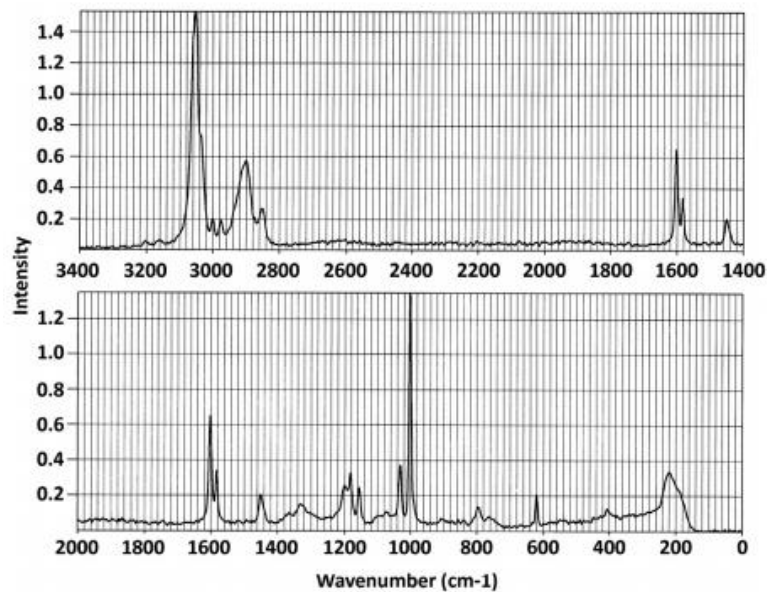


Figura 15. Espectro Raman poliestireno [11]

4.3 Separación de microplásticos

Tras la recogida de las muestras del medio ambiente, el microplástico contenido en ella, debe separarse de todos los demás materiales orgánicos o inorgánicos presentes.

Actualmente existen diferentes métodos para la separación de los microplásticos. Entre ellos encontramos la separación visual, la filtración, el tamizado, separación por densidad, la elutriación, y flotación [14].

4.3.1 Detección visual y separación

La detección visual y su posterior separación es un paso obligatorio en el análisis de microplásticos, ya que es necesaria la eliminación de escombros, como algas, maderas... y contaminantes antropogénicos como metales, pinturas...

Esta técnica se puede realizar mediante un examen a simple vista o mediante el uso de un microscopio binocular [14].

4.3.2 Filtración

La filtración es un método físico utilizado para la separar sólidos de fluidos mediante la utilización de un medio a través del cual solo el fluido puede pasar.

Normalmente el proceso de separación se realiza físicamente utilizando un embudo, un medio filtrante y un sistema de vacío, donde los microplásticos quedan retenidos en el papel de filtro. Dependiendo del tamaño de poro del medio filtrante, se retendrán unos diámetros de partículas u otros.

Esta técnica, a pesar de ser simple, suele tener complicaciones debido a que la muestra de agua está contaminada con partículas o desechos lo que obstruye rápidamente el papel de filtro reduciendo la efectividad del proceso. Para evitar esta circunstancia se debe reducir el volumen del líquido a filtrar o realizar un paso previo de limpieza de la muestra.

Seguidamente se muestra en la Figura 16 un esquema de filtración al vacío:

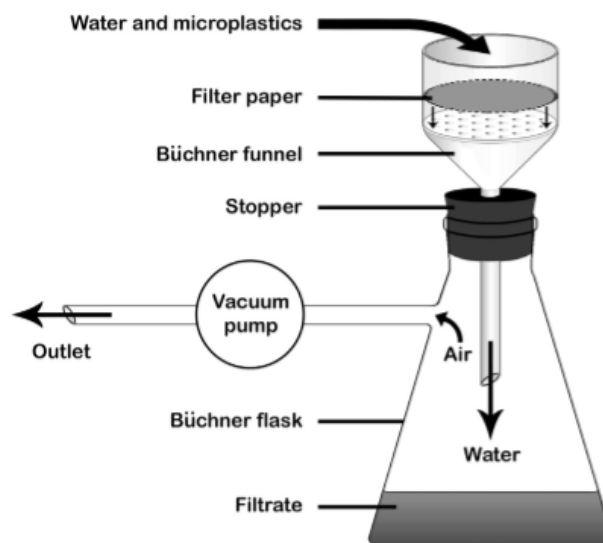


Figura 16. Sistema de filtración al vacío [14]

4.3.3 Tamizado

En el proceso de tamizado, el tamiz retiene físicamente los microplásticos y permite el paso del resto de la muestra. El tamaño de partícula retenido depende del tamaño de la malla utilizada en el tamiz.

El método más utilizado para tamizar es el tamizado de múltiples niveles, lo que implica separar la muestra en diferentes tamaños al pasar ésta a través de una serie de tamices con un tamaño de malla decreciente, como se puede observar en la Figura 17.

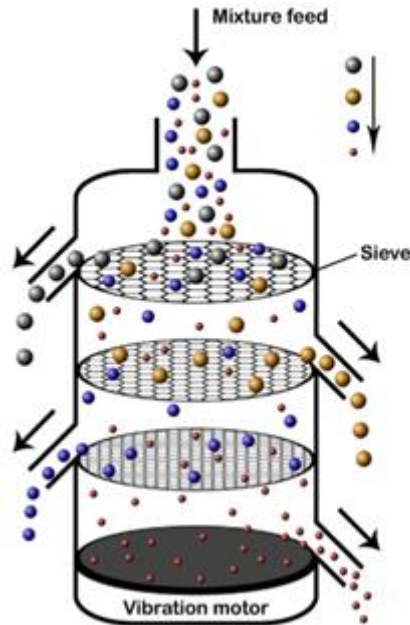


Figura 17. Sistema de tamizado múltiple [14]

4.3.4 Separación por densidad

La separación por densidad se utiliza para separar los sedimentos de los microplásticos. Esta técnica consiste en la utilización de un líquido con densidad intermedia (normalmente un cloruro de sodio u otra solución salina), por lo que el material con densidad inferior flotará y el material con mayor densidad se hundirá. Los microplásticos que se quedan en suspensión se pueden recoger decantando el líquido que se encuentra por encima del sedimento.

Destacar que la gran mayoría de veces los plásticos no son polímeros puros, si no que se mezclan con otros materiales además de plastificarse y modificarse por impacto. Estos aditivos pueden llegar a alterar la densidad de los plásticos [14].

4.3.5 Elutriación

La elutriación es un proceso en el cual las partículas se separan en función de su tamaño, forma y densidad mediante el uso de una corriente de gas o líquido que fluye en dirección opuesta a la dirección de sedimentación.

4.3.6 Flotación por espuma

La flotación por espuma es un proceso en el cual se separa los materiales en función de si son hidrofóbicos o tienen afinidad por el agua.

Es una buena técnica a la hora de la separación de plásticos, debido a que éstos son hidrofóbicos. Sin embargo, se deben de tener varios factores en cuenta, como la energía libre de superficie de los microplásticos, la superficie de tensión del líquido, así como la tensión superficial crítica.

5. Procesos de filtración convencional

La filtración es un proceso de separación física donde se pretende separar sólidos de fluidos (tanto líquidos como gases) mediante la utilización de medios permeables que son capaces de retener determinadas partículas sólidas.

Este sistema es utilizado sobretodo como una operación complementaria para eliminar materia en suspensión y microorganismos presentes en el agua [15].

Dependiendo del tamaño de los sólidos con relación al de los poros, la filtración se producirá en la superficie del medio filtrante, en la profundidad de éste o en ambas zonas.

Estos procesos suelen ir precedidos por tratamientos de coagulación, floculación y una etapa de sedimentación para facilitar la separación de determinados componentes. Sin embargo, puede ser que el agua se introduzca directamente en la filtración después de la coagulación y floculación, y que los flocúlos se eliminen directamente por los filtros.

5.1 Filtración a través de lechos filtrantes

Este tipo de filtración se realiza a partir de medios filtrantes granulares (gravas, arenas de sílice...). Las partículas suspendidas en la mezcla son atrapadas por el lecho y se obtiene un líquido con menos sólidos en suspensión. Esta operación puede realizarse por gravedad, a presión o al vacío.

Filtración por gravedad

La filtración por gravedad es la utilizada habitualmente en las plantas de gran tamaño y los filtros tienen una forma, normalmente, rectangular y abierta al exterior. En este tipo de filtración, el agua se filtra a través de la acción de la gravedad y no aplicando una presión al sistema. En la Figura 18 se puede ver un sistema de filtración por gravedad.



Figura 18. Filtración por gravedad [16]

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

Un parámetro importante en el funcionamiento de un filtro industrial abierto es su correcta regulación con el objetivo de tener una lámina de agua sobre el lecho filtrante que garantice su operatividad, así como el material, granulometría y altura del lecho filtrante [16].

Filtración a presión

La filtración por presión es utilizada en plantas pequeñas donde el caudal a tratar es 15 m³/m²·día. La diferencia con el proceso anterior es que, en este caso, la filtración es realizada en recipientes cerrados sometidos a una presión de hasta 10 atm, conseguida a partir de un sistema de bombeo, como se puede observar en la Figura 19.



Figura 19. Filtración a presión [16]

Los filtros a presión suelen ser metálicos y relleno de material filtrante, puede ser monocapa o bien en multicapas (varios materiales de relleno).

A su vez la filtración sobre lecho puede tener dos variedades, la de filtración rápida y otra la de filtración lenta, según la velocidad de trabajo aplicada.

La filtración rápida habitualmente es utilizada como tratamiento terciario en las EDAR para facilitar el uso posterior del agua depurada. Este tipo de filtración trabaja a velocidades de 4 a 50 m³/h·m², por lo que los procesos biológicos van a ser escasos debido a la velocidad.

La filtración lenta suele reservarse para la depuración biológica de aguas residuales. Suele aplicarse para aguas sin tratamiento de coagulación previo y operan con caudales entre 5 y 30 m³/día por m² de superficie [16]. En estos filtros el agua fluye de forma lenta por un lecho de arena fina, quedando retenidas las partículas de mayor tamaño en la superficie del filtro, formando una capa biológica porosa delgada, pero con gran superficie de contacto en sus poros favoreciendo la adsorción de impurezas.

A continuación, se indican las características de un filtro lento:

- Material filtrante fino, con una talla efectiva entre 0,15 y 0,35 mm.
- El coeficiente de uniformidad (C_u) <3, no se desean grandes distribuciones de tamaños de partículas.
- Velocidad de filtración entre 0,1-0,4 m/h
- El agua a filtrar debe ser de baja turbidez y con unos valores de sólidos en suspensión menores de 15mg/L. Si el agua a tratar supera estos niveles, será necesario una etapa previa de decantación.

Entre las ventajas de este sistema de filtración se pueden destacar que se obtiene un agua de elevada calidad, tiene una importante reducción de la turbidez inicial, su construcción y mantenimiento son sencillos y no existen problemas con compuestos químicos ya que no son necesarios. Por otra parte, este sistema necesita grandes extensiones de terreno y el aire, la luz y los elevados tiempos de retención hidráulica permiten el desarrollo de algas que pueden taponar el filtro [17].

5.2 Variables de los sistemas de filtración de lecho granular

Las variables que debemos de tener en cuenta al estudiar el sistema de filtración de lecho granular, son las siguientes [15]:

- **Características del agua a tratar:** es de gran importancia conocer factores como la concentración, el tamaño y la distribución de las partículas en suspensión.
- **Velocidad de filtración:** esta variable depende de la consistencia de los flóculos, en el caso de haber un tratamiento físico-químico, y del tamaño del medio filtrante. Cuanto menor sea la velocidad requerida, mayor será el tamaño del lecho filtrante.
- **Características del medio filtrante:** Cada medio filtrante posee un determinado tamaño de grano, el cual, afecta a la pérdida de carga. Existen diferentes medios filtrantes como:
 - *Grava:* es producida al triturar la piedra silícea y es cribada según el tamaño deseado. Es un material económico y que es inerte para el agua a tratar.
 - *Arena de sílice:* es un sistema muy económico y, por tanto, es el más utilizado en la filtración. Es obtenido por la trituración y cribado de la piedra o arena silícea.
 - *Antracita:* carbón mineral, de menor densidad que la arena, que contiene hasta un 95% de carbono.
 - *Granate:* medio granular que se caracteriza por su alta dureza y su alta densidad. Es utilizado cuando se necesita una filtración más fina.
 - *Zeolita:* mineral con gran estabilidad y microporosidad que la hacen ideal para cualquier aplicación en tratamientos de agua.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

- *Calcita*: medio a base de carbonato cálcico.
- **Granulometría del material filtrante**: se define a partir del tamaño de partícula y la uniformidad de tamaños. El tamaño determina la luz de los intersticios. En el caso de la arena el tamaño efectivo varía de 0,5 a 2,5 mm, mientras que la antracita tiene un tamaño eficaz de 0,7mm.

En la Figura 20 se puede observar un gráfico donde se muestra la distribución de las granulometrías de una arena gruesa y de una arena fina.

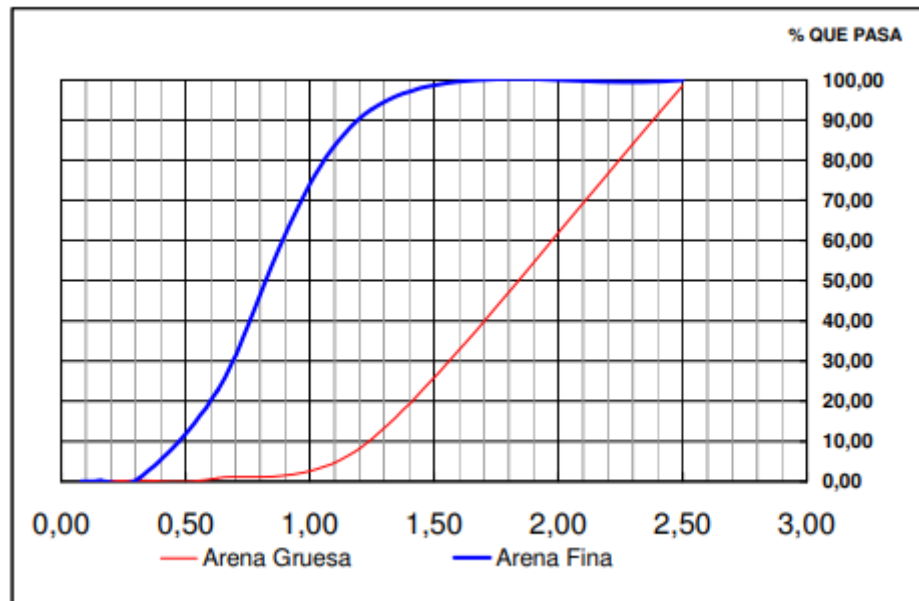


Figura 20. Distribución granulométrica de dos arenas [18]

- **Atacabilidad**: El material puede degradarse por acción de agente agresivos.
- **Friabilidad**: la formación de finos por desgaste debe ser la mínima posible por lo que se necesita que la arena sea dura y resistente [18].

5.3 Sistemas de filtración

Existen diferentes sistemas de filtración [19]:

- **Filtros de arena**: sistema de filtración formado por un lecho de arena fina sobre un lecho de grava de unos 30 cm de altura y un sistema de drenado. Cuando se realiza un filtro lento de arena, son importantes los procesos biológicos que aparecen, ya que forman una película de microorganismos que ayuda a atrapar y destruir bacterias y materia orgánica. Las principales ventajas de estos filtros son su bajo coste y la sencillez del proceso, sin embargo, se necesitan grandes superficies debido a que operan a bajas velocidades.
- **Filtros empacados**: proceso que contiene en una única unidad, la adición de reactivos, la floculación, la sedimentación y la filtración. Tiene una alta efectividad

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

con un coste bajo, pero como en el filtro de arena, se necesitan grandes áreas para la filtración.

- **Filtros de carbón activado:** el principal componente de estos filtros, es el carbón activado (adsorbente), el cual dispone de una gran área superficial de adsorción de compuestos. Este proceso es económico y con un sistema de operación sencillo, por otro lado, necesitan un mantenimiento para evitar su obstrucción.
- **Filtros de tierras diatomáceas:** los filtros de diatomitas forman una capa de medio centímetro de altura en un filtro al vacío. Se suele utilizar cuando el agua presenta poca turbidez [19].

5.4 Aplicaciones de los sistemas de filtración

Los sistemas de filtración pueden utilizarse en diferentes ámbitos:

- Tratamiento de aguas.
- Microelectrónica.
- Alimentación y bebidas.
- Bio-Farmacéutica: En este sector se utilizan tanto en las etapas de desarrollos de nuevos fármacos, así como en los diagnósticos y tratamientos de enfermedades.
- Química y combustibles: se utilizan para los procesamientos de combustibles químicos, para llegar a conseguir la pureza final deseada, conseguir mejores rendimientos y para proteger los equipos.
- Tinta, revestimiento y pinturas: el sistema de filtración se utiliza como pretratamiento para reducir el nivel de contaminantes y además permite conseguir los colores y especificaciones idóneas.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



6. Procesos de filtración con membranas

Los procesos de separación por membranas son la alternativa a los procesos de filtración convencionales.

Las membranas están formadas por materiales semipermeables que permiten el paso o no de determinadas sustancias, debido a la existencia de una fuerza impulsora. A continuación, en la Figura 21 se muestra un esquema general del proceso de filtración de membranas. Se puede observar que este tipo de proceso cuenta con tres corrientes: la de alimento y dos de salida, denominadas rechazo y permeado. Los flujos de alimentación pueden ser líquidos o gases, o una combinación de ellos. El rechazo está formado por una corriente de fluido que acumula aquellas partículas retenidas por la membrana mientras que el permeado está formado por la corriente que atraviesa la membrana. Por otro lado, cabe indicar que, a diferencia de la filtración convencional, la dirección del flujo no es perpendicular al medio filtrante sino tangencial a éste y con el objetivo de reducir el ensuciamiento de la membrana.

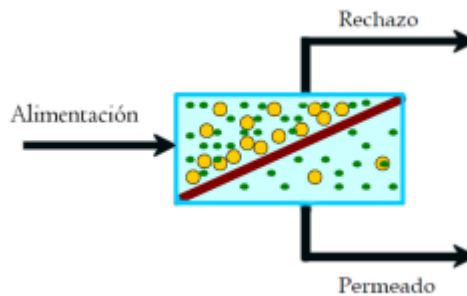


Figura 21. Esquema de un proceso de membranas [20]

6.1 Clasificación de los procesos de membrana

Los procesos de membranas pueden clasificarse según la fuerza impulsora o por el tipo de sustancias separadas.

- a) Según su fuerza impulsora

Los procesos de membranas se pueden clasificar, como se muestra en la Tabla 1, según la fuerza impulsora utilizada [20]:

Tabla 1. Clasificación del proceso de membranas según la fuerza impulsora

Proceso	Fuerza impulsora
Microfiltración Ultrafiltración Nanofiltración Ósmosis inversa	Diferencia de presión
Diálisis	Diferencia de concentración
Electrodiálisis	Diferencia de potencial eléctrico
Permeado de gases	Diferencia de presión
Pervaporación	Diferencia de presión parcial

b) Clasificación según tamaño de poro de las membranas

Los procesos de separación por membranas más estudiados son los siguientes [19]:

- **Microfiltración:** separación micrométrica que contiene poros de 0,03 a 10 μm y usa presiones relativamente bajas, de 100 a 400kPa. Son filtros de pequeño tamaño, y existen con diferentes tipos de membranas, como la espiral, tubular y de fibra capilar hueca. Para aumentar la vida media de estas membranas es recomendable la utilización de prefiltros, carbón activo o coagulantes.
- **Ultrafiltración:** dispone de un tamaño de poro entre 0,002 y 0,1 μm y opera a presiones entre 200 y 700 kPa. Es un proceso que puede ser automatizado y se obtiene un agua de alta calidad con un sistema de operación sencillo, aunque se necesita un coste de inversión alto. Las membranas de ultrafiltración pueden ser de forma tubular o de hojas planas.
- **Nanofiltración:** membranas con un tamaño de poro de aproximadamente 0,001 μm en las que se utilizan presiones entre 600 y 1000 kPa. A pesar de su elevado coste de inversión y energía es una técnica muy empleada debido a su alta eficacia.
- **Ósmosis inversa:** proceso en el que se utiliza una membrana semipermeable que permite solo el paso del agua y no de iones disueltos. Dicha membrana tiene poros menores a 1nm y utiliza altas presiones.

Estos procesos de membranas pueden clasificarse también según el tipo de sustancias que rechazan las membranas, como se muestra en la Figura 22.

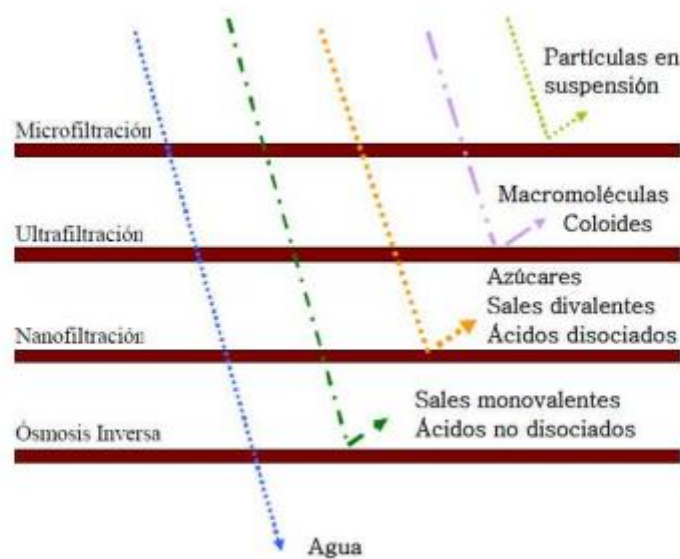


Figura 22. Nivel de separación según el proceso de membrana [20]

Estos procesos de membrana frente a otros sistemas de separación permiten trabajar en condiciones más suaves, es decir, sin tener la necesidad de trabajar a altas temperaturas por lo que tienen un bajo consumo energético, permiten realizar el proceso de separación de forma continua y no es necesario la utilización de ningún producto químico adicional. Por otra parte, pueden tener problemas de ensuciamiento y las membranas pueden degradarse afectando a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

6.2 Clasificación de las membranas

Las membranas pueden clasificarse de diferentes formas, como puede ser por su estructura, su morfología, su geometría y su naturaleza química.

6.2.1 Estructura de las membranas

Las membranas se pueden clasificar según su estructura en porosas y no porosas.

- **Membranas porosas:** son aquellas que disponen de diferentes tamaños de poros finos, como pueden ser, macroporos (> 50nm), mesoporos (de 2 a 50 nm) y microporos (<2nm). Estas membranas son utilizadas en microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y diálisis.
- **Membranas no porosas:** tienen una estructura densa. Son utilizadas por la ósmosis inversa, la separación de gases y por la pervaporación.
- **Membranas de intercambio iónico:** grupo particular de membranas no porosas.

6.2.2 Morfología

Según la morfología se pueden encontrar dos tipos de membranas. Las membranas asimétricas, aquella que están fabricadas de un mismo material, y las membranas compuestas, que están hechas de materiales diferentes [21].

6.2.3 Configuración

Las membranas se integran dentro de módulos, los cuales se pueden caracterizar por su geometría. Pueden ser planas, de arrollamiento en espiral o cilíndricas (o tubulares) [21].

- **Membranas planas:** suelen ser utilizadas a escala de laboratorio.
- **Membranas de arrollamiento en espiral** están compuestas por láminas rectangulares de membranas semipermeables, alternadas con otras capas que se encargan de la conducción del fluido a través de la membrana.
- **Membranas cilíndricas** se diferencian por el dimensionamiento de sus canales:
 - Membranas tubulares con diámetro interno mayor de 10 mm.
 - Membranas tubulares capilares o multicanal con diámetro interno entre 0,5 y 10 mm.
 - Membranas de fibra hueca con diámetro interno inferior a 0,5 mm.

6.2.4 Naturaleza química

Las membranas pueden ser fabricadas a partir de materiales orgánicos, como los polímeros, o a partir de materiales inorgánicos, como las cerámicas.

- **Membranas orgánicas:**

Estas membranas son las más utilizadas a nivel industrial. Ofrecen menor resistencia química y térmica que otras membranas, pero son más económicas.

Normalmente la fabricación de las membranas orgánicas se realiza mediante el método de inversión de fase. Este método consiste en hacer precipitar el polímero disuelto introduciendo un “no disolvente” a la disolución, de forma que el disolvente migra al “no disolvente” y el polímero se va concentrando.

A continuación, se comentan los polímeros más utilizados en la fabricación de membranas orgánicas [21]:

- *Acetato de celulosa*. Buena resistencia mecánica pero baja resistencia térmica.
- *Polivinilideno de fluoruro*. Buena estabilidad térmica y buena resistencia química y mecánica.
- *Polisulfona y poliétersulfona*. Son las membranas más utilizadas ya que poseen una elevada estabilidad química y térmica.
- *Polietercetonas y poliimidias*. Polímeros muy fuertes y muy resistentes química y térmicamente. No suelen realizar membranas con este material ya que es muy difícil de procesar.
- *Poliacrilonitrilo*. Polímero vinílico que posee una reducida hidrofiliidad. Se emplean normalmente para realizar membranas.
- *Poliamida*. Material estable térmica, química e hidrofílicamente.

- **Membranas inorgánicas**

La utilización de este tipo de membranas es muy reciente. Su principal ventaja es su alta estabilidad química, mecánica y térmica, además de disponer de una alta robustez. Presentan una estructura asimétrica y compuesta debido a la superposición de varias capas porosas sobre un soporte macroporoso.

Estas membranas son utilizadas en las industrias químicas para el tratamiento de fluidos agresivos por lo que tienen que funcionar bajo condiciones muy exigentes.

Los materiales utilizados para su fabricación suele ser alúmina, zirconio o óxido de titanio [21].

7. Metodología experimental

En este apartado se explica la metodología experimental llevada a cabo en el laboratorio. Principalmente, cabe destacar dos grupos de ensayos:

A) Identificación de microplásticos.

B) Ensayos de filtración con un lecho filtrante de arena para el estudio de la eliminación de microplásticos presentes en un agua sintética.

7.1 Muestras ensayadas

En este apartado se indican las muestras seleccionadas para realizar la parte de identificación de MPs así como el tipo de muestras empleadas para los ensayos de filtración.

A) Estudio de identificación de microplásticos.

Para el estudio de identificación de microplásticos en productos de uso doméstico, se han seleccionado diferentes productos y se han mezclado con agua pequeñas cantidades de éstos.

Como se puede observar en la Figura 23, los productos de uso doméstico seleccionados son cremas hidratantes, pasta de dientes, geles de baño, exfoliantes, productos antical y detergentes para lavavajillas. Todos ellos, son productos que contienen microplásticos, que acaban en las aguas residuales y, por tanto, en las EDAR's.



Cremas hidratantes



Pasta de dientes



Gel de baño



Producto antical



Detergente para lavavajillas



Exfoliante

Figura 23. Productos cosméticos analizados

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

Cabe indicar que, para facilitar el análisis de las muestras de estos productos, se realizaron disoluciones previas de las muestras, tal y como se indica a continuación:

- Disolución 1: 100 ml de agua destilada + 3 ml de crema hidratante.
- Disolución 2: 100 ml de agua destilada + 3 ml de gel de baño.
- Disolución 3: 100 ml de agua destilada + 3 gramos de pasta de dientes.
- Disolución 4: 100 ml de agua destilada + 3 gramos de exfoliante.
- Disolución 5: 100 ml de agua destilada + 3 gramos de producto antical.
- Disolución 6: 100 ml de agua destilada + 3 gramos de detergente para lavavajillas.

B) Ensayos de filtración

Por otra parte, para poder realizar el diseño experimental del filtro de arena, se han seleccionado dos tipos de plástico debido a que eran los más sencillos de manipular para poder obtener micropartículas. En la Figura 24 se muestran los dos tipos de plástico con los que se ha trabajado: pajitas de polipropileno y platos desechables de poliestireno.

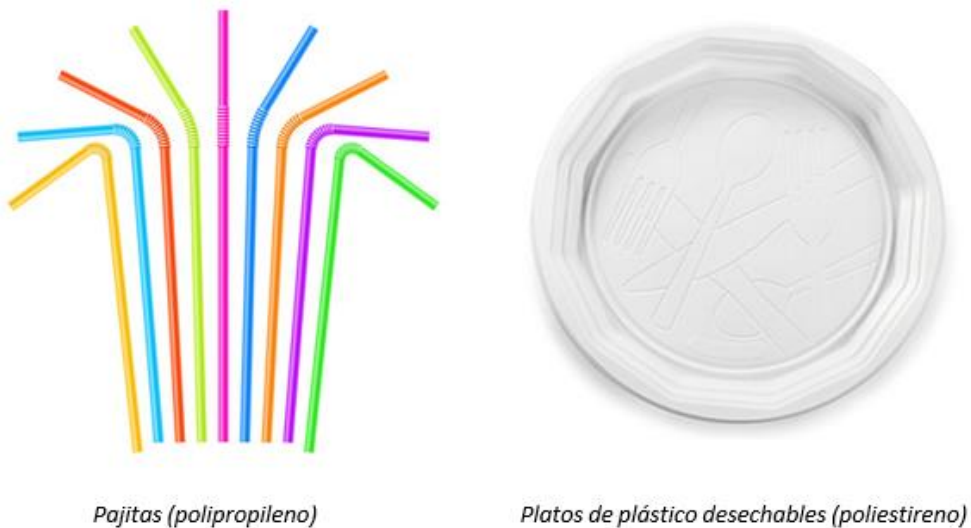


Figura 24. Productos plásticos de uso doméstico para los ensayos de filtración

Para los ensayos con el filtro de arena se prepararon estas muestras como se indica a continuación:

- Muestra 1: 0,5 gramos de polipropileno (PP) + 0,5 L de agua destilada.
- Muestra 2: 0,5 gramos de poliestireno (PS) + 0,5 L de agua destilada.

7.2 Equipos empleados para la caracterización de microplásticos

La caracterización de las disoluciones de las muestras con microplásticos se ha realizado mediante la medición del tamaño de partículas y de la turbidez.

Determinación del tamaño de partícula

Para la medición del tamaño de partículas se han utilizado dos equipos diferentes. Estos equipos son el Zetasizer y el Mastersizer.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

- **Equipo Zetasizer**

La primera medición del diámetro de las partículas se realiza con el equipo Zetasizer Nano ZS90 (Figura 25). Este instrumento se encuentra en el departamento de Ingeniería química y nuclear de la UPV.

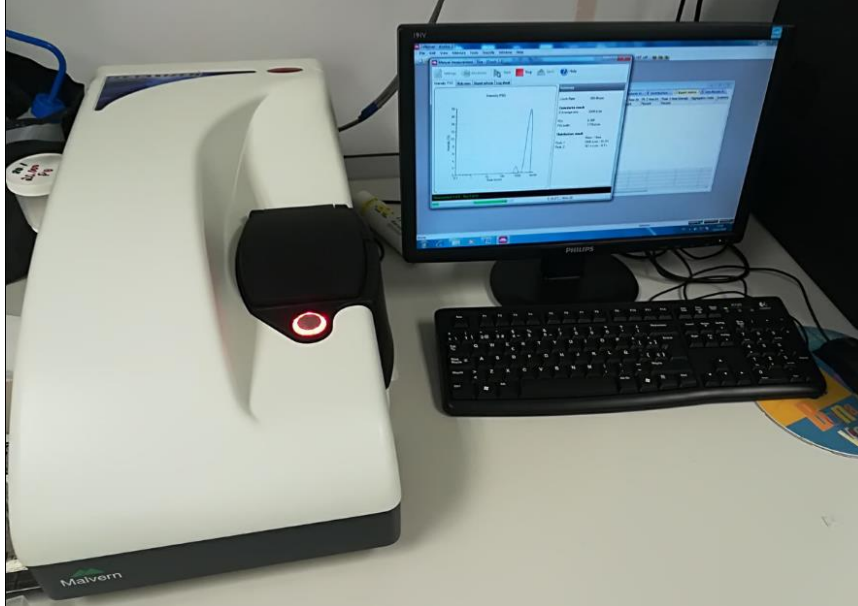


Figura 25. Equipo Zetasizer disponible en la UPV

Se va a utilizar el equipo para medir el tamaño de partícula de las muestras con contenido de microplásticos. Para ello se va a usar la dispersión de luz dinámica. Esta técnica mide la difusión de partículas en movimiento Browniano convirtiendo este valor a tamaño y a una distribución de tamaño utilizando la relación Stokes-Einstein.

Las especificaciones del equipo se recogen en la Tabla 2 [22]:

Tabla 2. Especificaciones Zetasizer

Tipo de especificación	Especificación
Rango de medición	0,3 nm – 10 micras (diámetro)
Principio de medición	Dispersión de luz dinámica
Volumen mínimo de muestra	12µL
Precisión	Mejor que +/-2% en estándares de látex rastreado NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología)
Precisión/ Repetitividad	Mejor que +/-2% en estándares de látex rastreado NIST
Sensibilidad	0,1 mg/ml (lisozima)

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

Para realizar el análisis hay que seguir el siguiente procedimiento:

1. Se enciende el Zetasizer 1 hora antes de empezar a introducir las muestras.
2. Se introduce la muestra en la cubeta y ésta dentro del Zetasizer en la ranura correspondiente.
3. Se crea una nueva plantilla de muestra en el correspondiente programa informático donde se indica lo que se quiere medir, el número de repeticiones que se desea realizar, etc.
4. Una vez realizado el análisis, el programa te muestra un resumen con todos los valores obtenidos.

- **Equipo Mastersizer 2000**



Figura 26. Equipo Mastersizer 2000 [23]

El equipo Mastersizer (Figura 26) utilizado para la realización del análisis se encuentra en el Instituto Universitario de Ingeniería de alimentos para el Desarrollo, en la CPI de la UPV.

Este equipo es un analizador de partícula modular que utiliza una tecnología de difracción láser diseñada para medir muestras en dispersión líquida o seca. La difracción láser es capaz de medir los diferentes tamaños de partícula gracias a la variación angular de la intensidad de la luz dispersada cuando dicho rayo atraviesa la muestra de las partículas dispersas.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

En la Tabla 3 se muestran las especificaciones del equipo [23]:

Tabla 3. Especificaciones Mastersizer

Tipo de especificación	Especificación
Rango de medición	0,02 – 2000 micras, dependiendo de las propiedades del material
Principio de medición	Dispersión de luz dinámica
Volumen mínimo de muestra	12µL
Precisión	± 1% sobre el Dv50 (mediana) con las muestras estándares "QualityAudit Standard"
Precisión/ Repetibilidad	± 1% sobre el Dv50 (mediana) con las muestras estándares "QualityAudit Standard"

Para realizar el análisis con el equipo Mastersizer, se ha utilizado la unidad de dispersión para vía líquida donde se han colocado las disoluciones. Seguidamente, gracias al software específico que dispone el equipo se han obtenido los resultados.

Determinación de la turbidez

Para la medición de la turbidez de las disoluciones se ha utilizado un turbidímetro, de la marca Dinko modelo Turbidimeter D 112 (Figura 27). Este equipo se encuentra en el departamento de Ingeniería Química y Nuclear de la UPV.



Figura 27. Turbidímetro portátil

El turbidímetro es un instrumento capaz de medir la turbidez causada por partículas suspendidas en un líquido, haciendo pasar un haz de luz sobre la muestra. A mayor turbidez, mayor cantidad de partículas en suspensión.

Procedimiento de análisis:

1. Encender el equipo y proceder a su calibración.
2. Introducir la muestra en la cubeta correspondiente.
3. Leer el valor de turbidez.

7.3 Equipos empleados para la identificación de microplásticos

La identificación de los microplásticos se ha realizado con el equipo F-TIR (Figura 28), que se encontraba en el departamento de Química de la UPV.

Este equipo proporciona un espectro de reflexión de las bandas de los grupos funcionales tanto de las sustancias orgánicas como de las inorgánicas, por lo que se puede realizar una identificación de los materiales. El equipo está diseñado para combinar un alto rendimiento de luz y un gran compartimento de muestra [24].

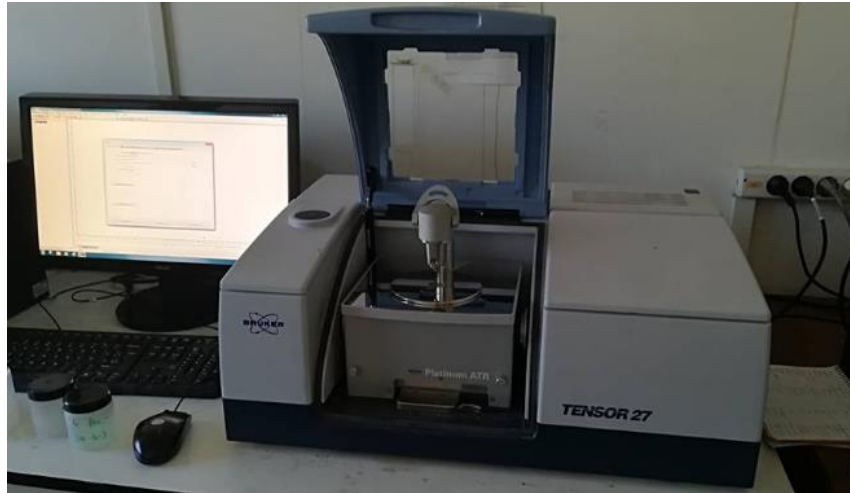


Figura 28. Equipo F-TIR disponible en la UPV

Especificaciones:

- Medición de la muestra de 1 minuto.
- Resolución 4 cm⁻¹.
- Apodización de Blackman-Harris.
- Divisor de haz de KBr, detector de temperatura ambiente (DTGS).
- Ruido pico a pico de 2.200 – 2.100 cm⁻¹.

Procedimiento de análisis:

1. Se inicia el programa informático y se crea una nueva plantilla.
2. Se limpia con agua destilada y acetona la zona de trabajo donde se va a ubicar la muestra.
3. Una pequeña cantidad de muestra es colocada en la ranura correspondiente y se procede al análisis.
4. El programa analiza la muestra y aparece en la pantalla los espectros donde cada pico que aparece corresponde a una sustancia.

7.4 Ensayos para la separación de microplásticos mediante tamices

Tamices

Antes de identificar las partículas que podían contener plástico en las disoluciones de las muestras fue necesario su separación. Para ello, primero se trituró los plásticos y después, se llevó a cabo un proceso de tamizado de las muestras utilizando tamices con diferente luz de malla. Para esta parte se han utilizado tamices de acero inoxidable, como el que se muestra a continuación (Figura 29), con luz de malla variable entre 800µm y 100 µm. El tamiz se encontraba en el departamento de Ingeniería Química y Nuclear de la UPV.



Figura 29. Tamices de acero inoxidable

Procedimiento del ensayo:

1. Montaje de los tamices en orden creciente de luz de malla respecto de la base soporte.
2. Tomar un volumen de muestra de 30 gramos.
3. Colocar la muestra en la luz de malla de mayor tamaño.
4. Proceder al tamizado de la muestra.

Las partículas utilizadas en la realización de los ensayos son aquellas menores de 250 µm.

Centrífuga

Para realizar la separación de los diferentes microplásticos que se encontraban en las disoluciones de productos de uso doméstico también se ha utilizado una centrífuga, para posteriormente poder realizar la identificación de éstos con el F-TIR. El equipo utilizado es el modelo de centrífuga 3-18 K de la marca Fisher (Figura 30), que se encontraba en el departamento de Ingeniería Química y Nuclear de la UPV.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



Figura 30. Centrífuga disponible en la UPV

Para la realización del ensayo se han introducido las disoluciones en tubos de plástico de laboratorio y se han colocado en la centrífuga, la cual ha trabajado durante 10 minutos a 10.000 rpm para cada muestra.

7.5 Ensayos de filtración con un filtro de lecho de arena

Los ensayos de filtración a través de un filtro de arena tenían como objetivo conocer si este tipo de filtro es capaz de retener los microplásticos que se le introducen variando el caudal de entrada y la altura del lecho.

7.5.1 Material empleado

El material empleado para realizar el ensayo es el siguiente:

- Etapa de trituración:
Se ha empleado una trituradora doméstica convencional por vía seca.
- Etapa de tamizado:
Para esta parte se han utilizado tamices de acero inoxidable con luz de malla variable entre 800 μm y 100 μm .
- Etapa de filtración:
 - 2 bombas
 - Un agitador
 - Una bureta
 - 3 vasos de precipitado
 - Arena de sílex
 - Rejilla de acero inoxidable de 1mm de grosor

7.5.2 Montaje experimental

A continuación, se muestra un esquema del montaje experimental (Figura 31), así como una foto de éste (Figura 32) y del filtro de lecho de arena (Figura 33).

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

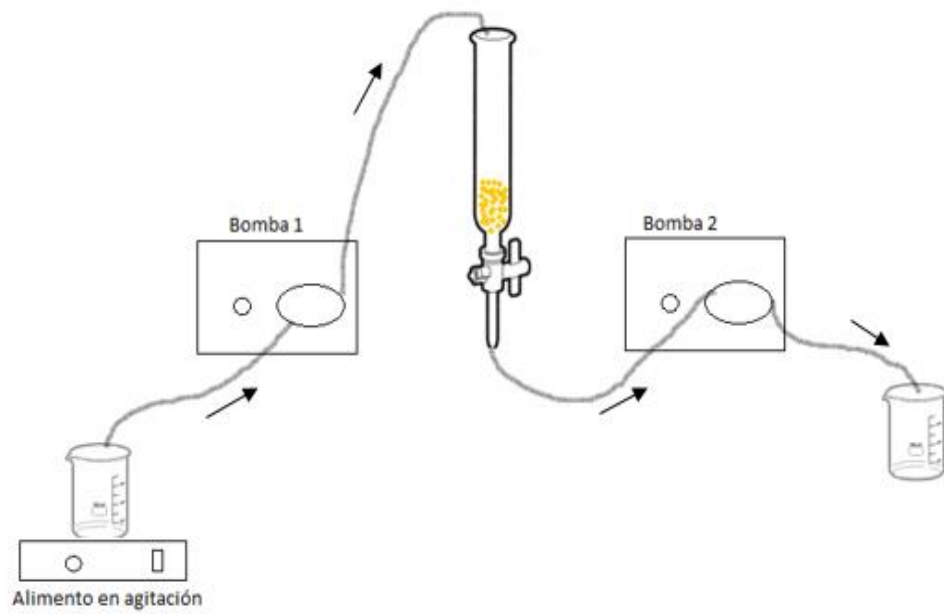


Figura 31. Esquema montaje experimental

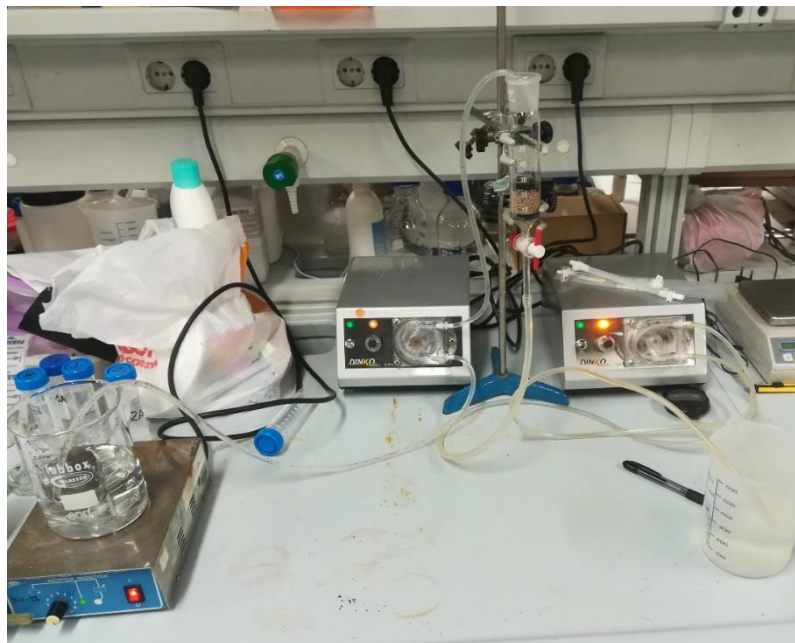


Figura 32. Montaje experimental en el laboratorio de la UPV

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



Figura 33. Detalle del filtro de arena del montaje experimental

La arena utilizada en los experimentos es arena de sílex del proveedor Hydro source llc.

Este material es el resultado de la combinación de sílice con oxígeno. Es una molécula insoluble en agua y tiene una gran utilidad en el sector industrial debido a sus buenas propiedades físicas y químicas, como son su alta dureza, su resistencia química y su alto punto de fusión.

7.5.3 Preparación corriente alimento

Para preparar la corriente alimento, es necesario realizar los siguientes pasos:

1. Se ha de triturar los plásticos para llegar a conseguir fracciones micrométricas. Como se ha comentado anteriormente, los plásticos seleccionados han sido el polipropileno y el poliestireno.
2. Una vez triturada una cantidad de 30 gramos de cada uno de los plásticos, éstos son tamizados para poder llegar a conseguir aquellas fracciones menores de 250 μm (Figura 34).



Figura 34. Microplásticos tamizados

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

3. Seguidamente se preparan muestras con 0,5 gramos de plástico y 0,5 litros de agua destilada.
4. Debido a que los microplásticos por el peso se dirigen al fondo del vaso de precipitados, es necesario que el alimento se encuentre en agitación continua para lograr una mejor dispersión.

7.5.4 Procedimiento experimental

Como se ha comentado en el apartado 7.5.3, los plásticos utilizados en este ensayo han sido triturados y tamizados. El tamaño de partícula es menor de 250µm. Seguidamente se han efectuado las disoluciones, las cuales están realizadas a partir de 0,5 gramos de microplásticos disueltos en 500 mL de agua.

Para la realización de los ensayos se tuvieron en cuenta diferentes variables de proceso, como la altura del lecho filtrante (2,5 y 5,0 cm), los caudales (25 mL/min y 45 mL/min) y la tipología de plásticos (polipropileno y poliestireno).

Durante el proceso de filtración se toman 3 medidas, una inicial (A) al filtrarse 50 mL de muestra, otra a mitad del ensayo (B) cuando se han filtrado 200 mL y la última medida (C) se toma cuando se han filtrado 475 mL.

Así pues, los ensayos realizados se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4. Ensayos para el estudio de la filtración de microplásticos.

Ensayo	Tipo de plástico	Caudal (mL/min)	Altura del lecho (cm)
1	Polipropileno	25	2,5
2	Polipropileno	45	2,5
3	Polipropileno	45	5,0
4	Polipropileno	25	5,0
5	Poliestireno	25	2,5
6	Poliestireno	45	2,5
7	Poliestireno	45	5,0
8	Poliestireno	25	5,0

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



8. Resultados experimentales

En este apartado se recogen los resultados y la discusión de éstos correspondientes a la parte experimental llevada a cabo en el presente TFM. Este apartado se ha dividido en 4 subapartados, caracterización de microplásticos, identificación de microplásticos, resultados del lecho filtrante, y selección de método de separación e identificación de microplásticos.

8.1 Caracterización de microplásticos

El primer método empleado para la caracterización de microplásticos es el Zetasizer. Se realizó con un índice de refracción de 1590 y una absorbancia de 0,01.

Los tamaños de partícula obtenidos se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5. Tamaño de partícula del Zetasizer

Disolución	Zetasizer (Φ , nm)
1	3423
2	3149
3	1165
4	614,4
5	2560
6	990,6

También se midió el tamaño de partículas de las dispersiones con el equipo Mastersizer y los resultados obtenidos se pueden ver en la Tabla 6:

Tabla 6. Tamaños de partícula del Mastersizer

Disolución	Mastersizer (Φ , nm)
1	36550
2	48789
3	10704
4	200137
5	22321
6	78181

Como se puede observar los valores obtenidos entre los diferentes equipos difieren entre sí. Este hecho puede ser debido a que se está trabajando con unidades de medida muy pequeñas. Lo que sí se puede comprobar con estos resultados es que sí hay presencia de partículas plásticas en los productos de uso doméstico y éstas son de tamaño micro.

Debido a las diferencias encontradas entre los equipos, se ha decidido continuar el estudio con los resultados obtenidos en el Zetasizer dado que el orden de magnitud obtenido es el que se referencia mayoritariamente en la bibliografía [25].

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

Seguidamente se filtraron estas muestras a través de un filtro con un poro de 0,45µm y se volvió a realizar el estudio del tamaño de partícula con el Zetasizer. En la Tabla 7 se puede ver el tamaño de partícula obtenido en el filtrado.

Tabla 7. Tamaño de partícula después del filtro

Disolución	Zetasizer (Φ nm) (FILTRO 0,45 µm)
1	208
2	256
3	1668
4	602,1
5	1444
6	1093

Si comparamos ambos resultados, se puede observar en la Figura 35, que el tamaño de partícula que se detecta es menor que sin la filtración excepto para las muestras 3 y 6, tal y como era previsible. El hecho de que para estas dos muestras los resultados de tamaño de partícula hayan sido mayores después de filtrar que antes puede ser debido a la dispersión de tamaños que puede haber en la muestra. Si en una misma muestra hay partículas de tamaños muy dispares, el tamaño medio que calcula el software del programa puede no ajustarse mucho a la realidad ya que no discrimina los valores que se alejan de la media.

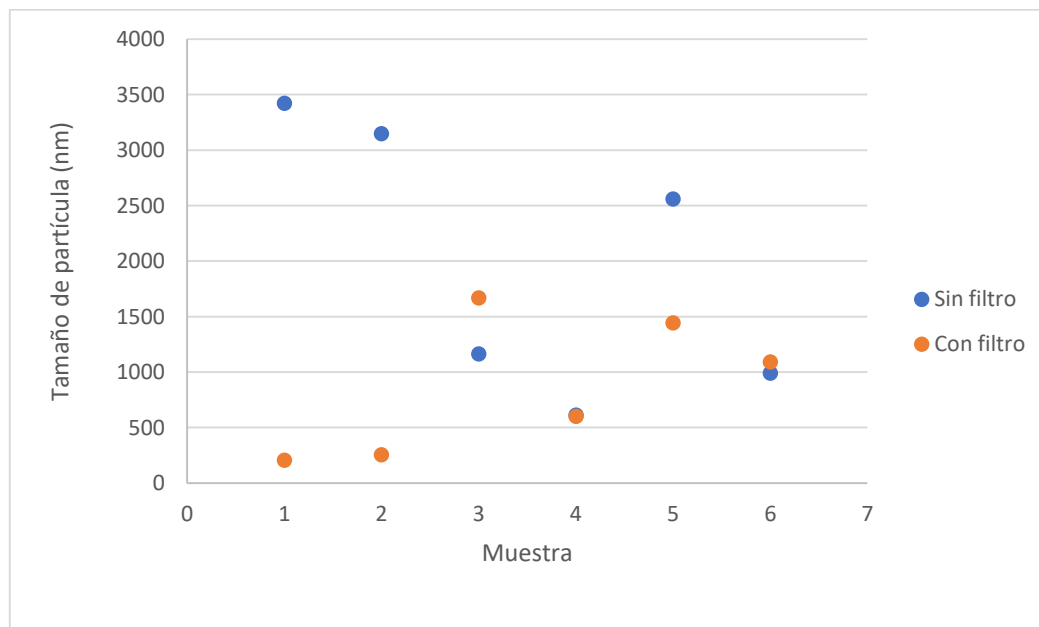


Figura 35. Comparación de tamaño de partículas entre muestras antes y después de la filtración con un filtro de 0,45 micras.

8.2 Identificación de microplásticos

Para realizar la identificación de los microplásticos se ha utilizado la técnica del F-TIR.

Para poder obtener mayor información de las disoluciones, primero son filtradas con el objetivo de eliminar la mayor cantidad de agua posible.

Posteriormente, se analizan las muestras filtradas con el F-TIR y se obtienen las siguientes Figuras 36-41:

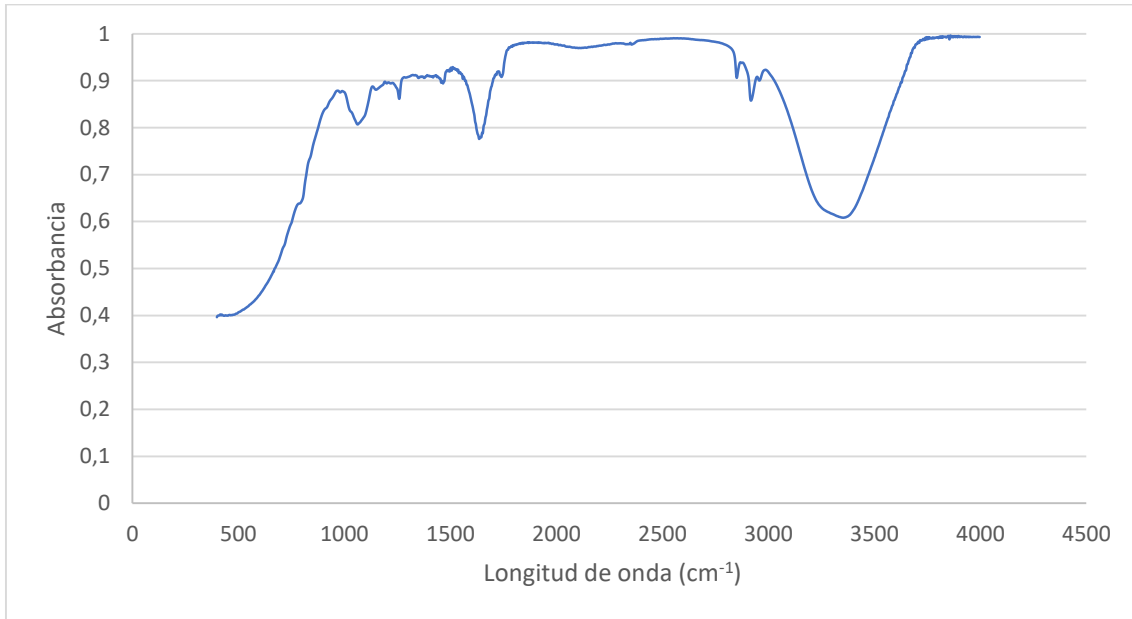


Figura 36. Espectro F-TIR Disolución 1.

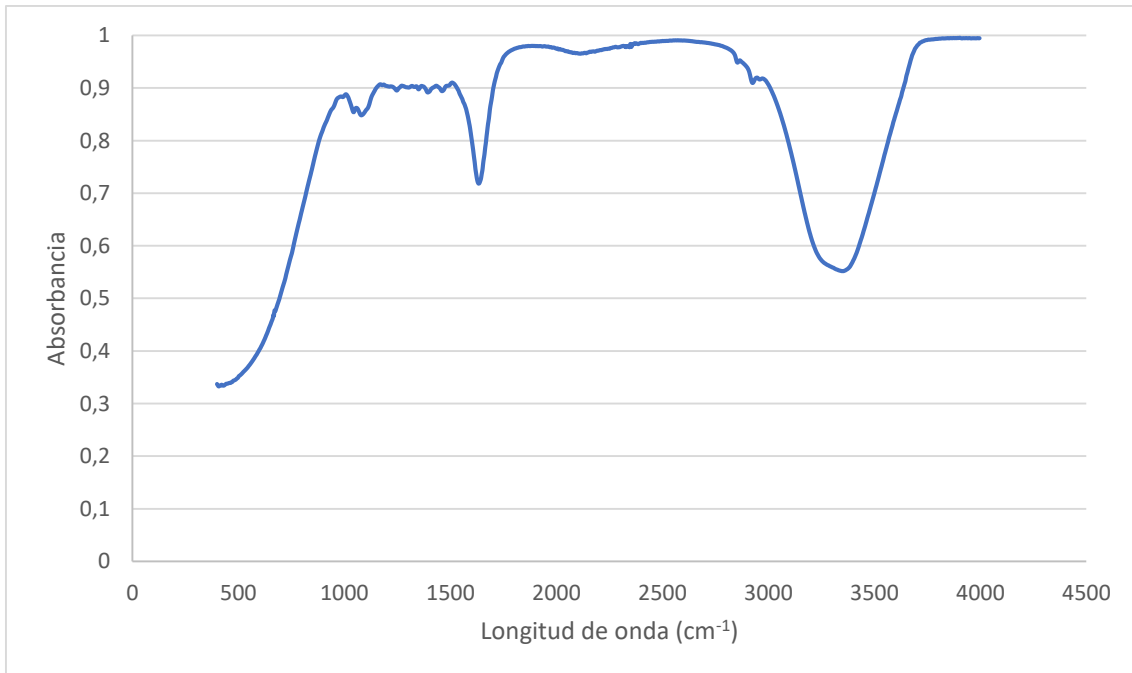


Figura 37. Espectro F-TIR Disolución 2.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

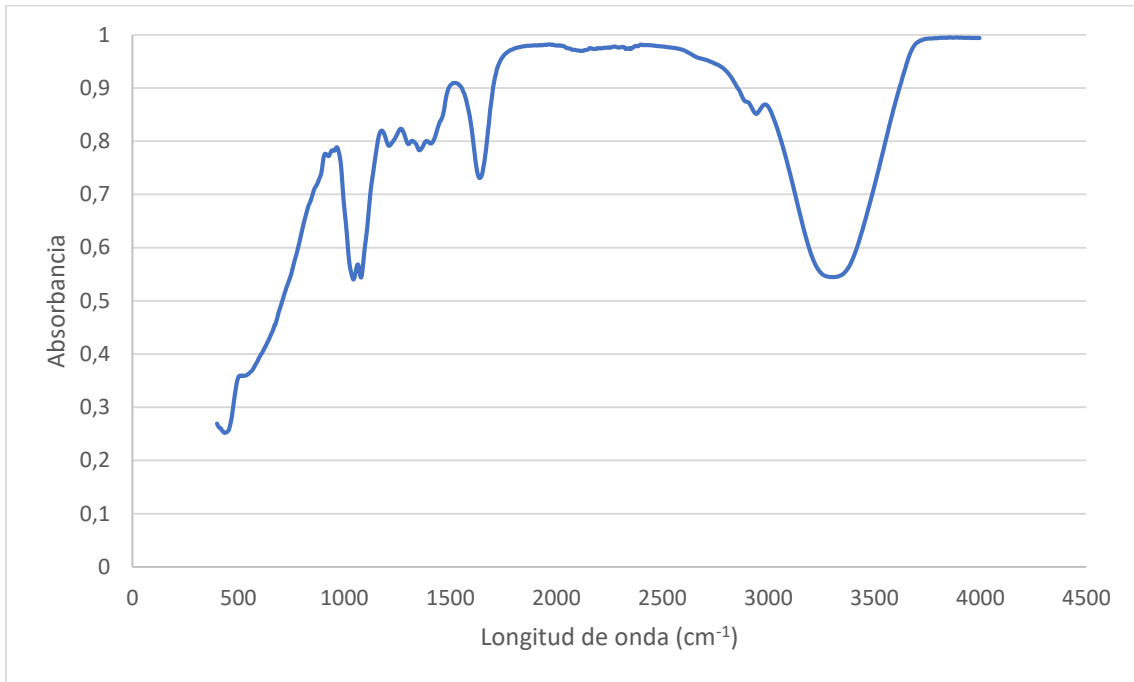


Figura 38. Espectro F-TIR Disolución 3.

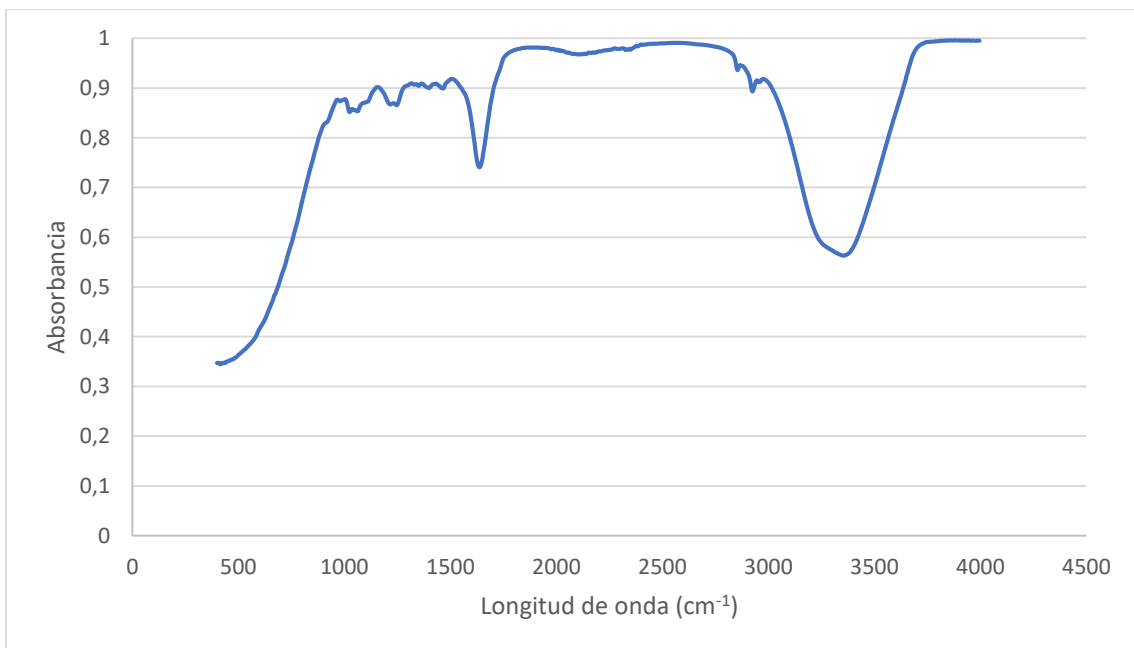


Figura 39. Espectro F-TIR Disolución 4.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

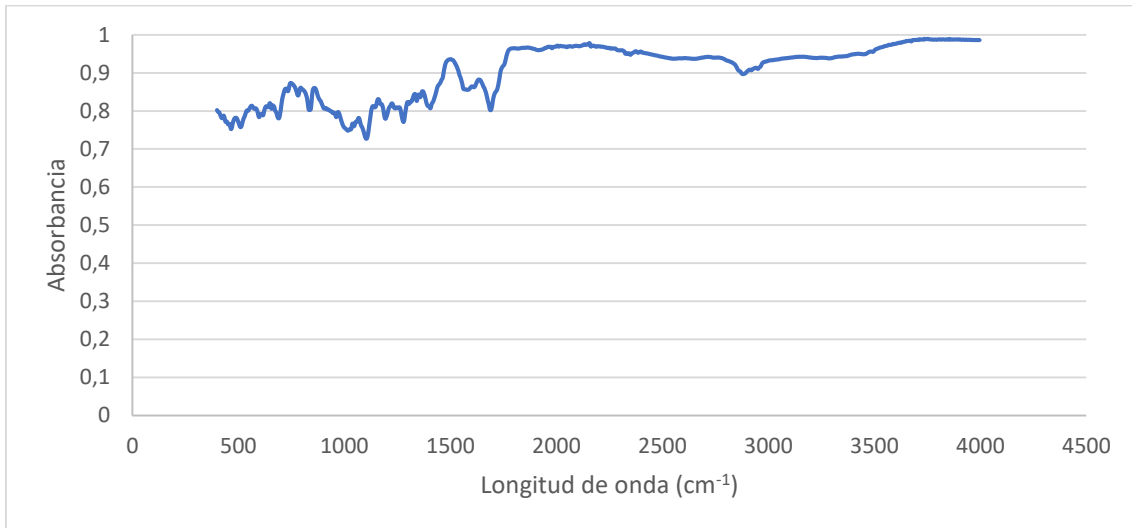


Figura 40. Espectro F-TIR Disolución 5.

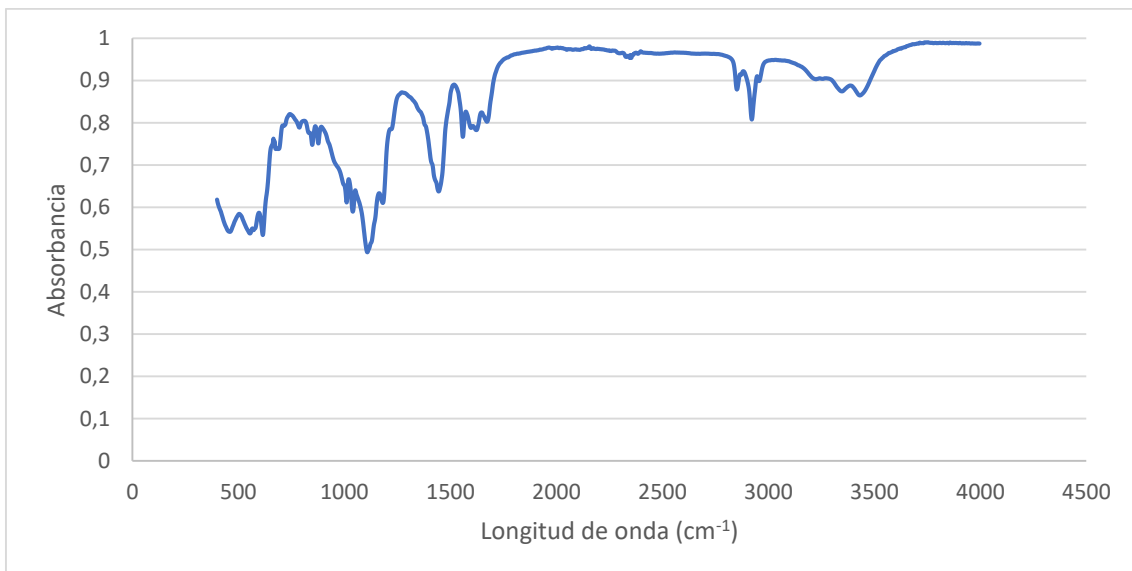


Figura 41. Espectro F-TIR Disolución 6.

Con el fin de identificar los componentes que hay en cada muestra analizada, estos datos son procesados a través del software KnowItAll, el cual nos proporciona los siguientes resultados:

- Disolución 1 → 94% celulosa
- Disolución 2 → 90% etanol derivado
- Disolución 3 → 99% sílica gel
- Disolución 4 → 99% nitrosiltetrafluorado
- Disolución 5 → 97% polietileno (PE)
- Disolución 6 → 91% poliestireno (PS)

Con los resultados obtenidos a través del F-TIR se puede observar que más del 90% de las micropartículas que se encuentran en las disoluciones de antical y de detergente para lavavajillas son plásticas.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

Por otro lado, se aplicó un proceso de centrifugación a estas muestras, seguidamente se filtraron a través de un filtro de 12-15µm y posteriormente se tamizaron a <250µm. Finalmente, se pasaron por el F-TIR pero en todas las muestras se obtuvo un 99% de celulosa, por lo que se descartaron estos resultados.

8.3 Resultados del lecho filtrante

Seguidamente se muestran los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados con el filtro de arena. En las muestras obtenidas se ha analizado su turbidez y el tamaño de partícula.

Las muestras se han recogido en diferentes instantes del ensayo (A, al principio del ensayo, B, a la mitad del ensayo y C, al final del ensayo). Además, teniendo en cuenta las condiciones iniciales de cada uno de los parámetros a analizar que se muestran en la Tabla 8, se calcula la eficiencia de eliminación.

Tabla 8. Valores iniciales de turbidez y tamaño de partícula de las muestras preparadas

Tipología de plástico	Turbidez (NTU)	Tamaño de partícula (nm)
Polipropileno (PP)	1,40	2046
Poliestireno (PS)	28	3072

En la Tabla 9 y la Tabla 10 se muestran respectivamente los resultados de la turbidez y tamaño de partícula en el agua filtrada a lo largo del tiempo.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

Tabla 9. Resultados de turbidez (NTU) obtenida en el filtrado de la muestra para cada tipo de plástico en diferentes momentos del ensayo

Disolución	Tipo de plástico	Caudal (mL/min)	Altura del lecho (cm)	Instante de toma de muestra	Turbidez (NTU)	Eficiencia de la eliminación (%)
1	PP	25	2,50	A	$0,04 \pm 2 \cdot 10^{-3}$	99,74
				B	$0,01 \pm 5 \cdot 10^{-4}$	99,29
				C	$0,01 \pm 4 \cdot 10^{-4}$	99,29
2	PP	45	2,50	A	$0,03 \pm 3 \cdot 10^{-3}$	97,86
				B	$0,02 \pm 1 \cdot 10^{-4}$	98,57
				C	$0,30 \pm 1,6 \cdot 10^{-2}$	78,57
3	PP	25	5	A	$0,17 \pm 1 \cdot 10^{-3}$	87,86
				B	$0,03 \pm 4 \cdot 10^{-3}$	97,86
				C	$0,02 \pm 3 \cdot 10^{-3}$	98,57
4	PP	45	5	A	$25,64 \pm 3,20$	0
				B	$2,70 \pm 0,50$	0
				C	$2,00 \pm 0,70$	0
5	PS	25	2,50	A	$6,30 \pm 0,32$	77,50
				B	$0,02 \pm 3 \cdot 10^{-4}$	99,93
				C	$0,02 \pm 2 \cdot 10^{-4}$	99,93
6	PS	45	2,50	A	$94 \pm 21,05$	0
				B	$24 \pm 0,10$	14,29
				C	$18 \pm 0,50$	35,71
7	PS	25	5	A	$7,50 \pm 0,31$	73,21
				B	$0,04 \pm 3 \cdot 10^{-3}$	99,86
				C	$0,03 \pm 5 \cdot 10^{-3}$	99,89
8	PS	45	5	A	$73 \pm 3,25$	0
				B	$25,64 \pm 1,11$	8,43
				C	$7,97 \pm 0,32$	71,54

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

Para finalizar se mide el tamaño de partículas (d.nm) utilizando el Zetasizer:

Tabla 10. Resultados del tamaño de partícula obtenida en el filtrado de la muestra para cada tipo de plástico en diferentes momentos del ensayo

Disolución	Tipo de plástico	Caudal (mL/min)	Altura del lecho (cm)	Instante de toma de muestra	Diámetro partícula (nm)	Reducción de tamaño de partícula (%)
1	PP	25	2,50	A	1473±74,87	28,01
				B	827±40,26	59,58
				C	820±42,13	59,92
2	PP	45	2,50	A	1684±87,60	17,69
				B	1590±77,95	22,29
				C	2947±149,35	0
3	PP	25	5	A	1104±56,10	46,04
				B	985±48,27	51,86
				C	861±41,05	57,92
4	PP	45	5	A	2740±138	0
				B	1634±85,41	20,14
				C	1102±53,65	46,14
5	PS	25	2,50	A	1814±100,58	40,95
				B	2243±111,30	26,99
				C	1534±76,65	50,07
6	PS	45	2,50	A	2420±119,61	21,22
				B	3116±158,91	0
				C	2737±139,37	10,90
7	PS	25	5	A	1895±94,75	38,31
				B	1405±82,25	54,26
				C	963±50,74	68,65
8	PS	45	5	A	2890±140,97	5,92
				B	2581±122,40	15,98
				C	2354±125,22	23,37

A continuación, se van a comentar los resultados mostrados en las Tablas 9 y 10, teniendo en cuenta las diferentes variables de proceso.

8.3.1 Análisis resultados turbidez

En primer lugar, cabe indicar que, tanto para el PP como para el PS, los porcentajes de eliminación obtenidos en términos generales fueron superiores al 70%, lográndose en algunos casos valores superiores al 99%, como en la disolución 1.

Respecto a la influencia de los diferentes caudales (Tabla 9) se puede observar en general que, para el PS y el PP, el valor de la turbidez obtenido en el filtrado a un caudal de 25 mL/min es menor que a 45 mL/min. Por lo que, al aumentar el caudal, disminuye el porcentaje de

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

retención de microplásticos en el filtro de lecho de arena. Esto puede ser debido a que un mayor caudal favorezca el paso de las partículas retenidas en el lecho. Por ejemplo, esto puede observarse al comparar las disoluciones 5 y 6, las cuales con la misma altura de lecho, pero diferente caudal (25 mL/min y 45 mL/min, respectivamente), obtienen un rendimiento de eliminación en la disolución 5 superior al 70% mientras que en la disolución 6 no supera el 40%.

Además, cabe destacar las diferencias encontradas, para un mismo caudal, entre las suspensiones de PS y PP, siendo los rendimientos de eliminación de partículas de PP superiores a las de PS. Se apunta como posible causa a que el PS tenía mayor facilidad de trituración por lo que las partículas eran de menor tamaño y éstas, al aumentar el caudal de filtrado, han podido pasar a través del filtro en mayor número, lo que conlleva a un aumento de la turbidez en el filtrado.

Seguidamente, si se analizan los resultados teniendo en cuenta las diferentes alturas de lecho utilizadas (Tabla 9), se puede observar que los resultados obtenidos para PS y PP son contradictorios. Mientras que con el PS se ha obtenido la tendencia esperada, a mayor altura de lecho menor turbidez en el filtrado y, por tanto, mayor rendimiento. Por ejemplo, tal y como se puede observar en la Tabla 9, en la disolución 6, con una altura de 2,50 cm, se consigue como máximo un 36% de eliminación, mientras que en la disolución 8, con una altura de lecho de 5 cm, se llega a obtener un máximo de 72%. En el caso del PP se ve como a mayor altura del lecho mayor turbidez en el filtrado. Como posible causa se apunta a un insuficiente lavado de la arena de sílex que conforma el lecho.

Por último, cabe indicar que, de los resultados mostrados en la Tabla 9, se descarta el correspondiente a la disolución 4 dado que la eficiencia alcanzada fue nula, lo que se contradice con el resto de ensayos.

8.3.2 Análisis resultados del tamaño de partícula

En primer lugar, cabe indicar que los porcentajes de reducción de tamaño obtenidos variaron entre 5,92-68,65%, siendo en términos generales superiores para el PP. Esto puede ser debido a que la disolución de PP tenía un tamaño de partícula inicial superior (Tabla 8).

Respecto a la influencia de los diferentes caudales (Tabla 10) se puede observar en general que, para el PS y el PP, el valor del tamaño de partícula obtenido en el filtrado a un caudal de 25 mL/min es menor que a 45 mL/min. Por lo que, al aumentar el caudal, disminuye el porcentaje de reducción de tamaño de partículas. Por ejemplo, en la disolución 7, con un caudal de 25 mL/min, se llega a conseguir una reducción del 69% mientras en la disolución 8, con un caudal de 45 mL/min, no llega al 25%. Esto puede ser debido a que un mayor caudal favorezca el paso de un mayor número de partículas. Además, para un mismo caudal, la reducción del tamaño de partícula es mayor para el PP.

Respecto a la altura del lecho, se puede observar que, a diferencia de los resultados obtenidos respecto a la turbidez, la altura del lecho sí que influye en los resultados obtenidos. En la mayoría de los casos, a mayor altura del lecho, mayor porcentaje de reducción del tamaño de partícula. Esta tendencia fue observada en ambos tipos de plástico. Este hecho, por ejemplo, puede observarse al comparar los resultados obtenidos entre la disolución 5 y 7. En estos dos casos, para un mismo caudal y con una altura de lecho de 2,50 y 5 cm, respectivamente, se ha

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

obtenido para la disolución 5 una reducción del tamaño de partícula del 50% mientras que para la disolución 7 se ha obtenido una reducción del 70%.

Estos resultados indican que el filtro de arena es muy efectivo para eliminar turbidez en las muestras ensayadas. Sin embargo, sólo disminuye parcialmente el tamaño de partícula de las muestras tras pasar por el filtro de arena.

9. Diagrama de la instalación

A continuación, se va a realizar un breve resumen de la instalación.

El efluente de aguas residuales de la EDAR, primero deberá pasar por un pretratamiento donde se separarán los sólidos de mayor tamaño. Seguidamente, se iniciará el tratamiento primario y se continuará con el tratamiento secundario.

El efluente saliente del tratamiento secundario es el que entrará en el tratamiento terciario, el cual, consistirá en un depósito de entrada donde se almacenará el agua residual, seguido de instrumentos auxiliares como bombas y válvulas para llegar al filtro de lecho de arena de sílex, donde se procederá a la retención de los microplásticos. Finalmente, el efluente se almacenará en un tanque antes de su salida del tratamiento terciario.

Para facilitar el seguimiento del diseño de la instalación se muestra un diagrama de bloques con los elementos principales numerados (Figura 42).



Figura 42. Diagrama de bloques de la instalación diseñada

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



10. Diseño de la instalación

A partir de los resultados experimentales obtenidos en la planta piloto, se procede a la realización del diseño de la instalación industrial. El diseño del tratamiento terciario dentro de una EDAR se ha realizado para un caudal de 1000 m³/d.

10.1 Cálculos de la instalación

A continuación, se van a realizar los cálculos para diseñar la instalación industrial.

Habitantes equivalentes y caudal punta

El caudal medio que se propone para la instalación del tratamiento terciario es del 1000 m³/d.

Primero se calcula para cuantos habitantes equivalentes de una población correspondería este caudal medio. Este cálculo se va a tener en cuenta una dotación de caudal de 150 L/habitante equivalente/día según "Normas para la redacción de proyectos de abastecimiento de agua y saneamiento de poblaciones" (MOP 1976).

Por lo que los habitantes equivalentes se calculan según la Ec.1:

$$n_{he} = \frac{Q_m}{Q_{dotación}} = \frac{1000}{0,15} = 6.670 \text{ habitantes equivalentes} \quad (\text{Ec.1})$$

A un caudal medio de 1000 m³/día le corresponden 6.670 habitantes equivalentes.

Para el diseño de una planta es necesario saber el caudal punta, para que ésta sea capaz de dar servicio cuando se produzca un aumento del caudal medio. El caudal punta y el caudal medio se relacionan entre sí a través del coeficiente punta.

En nuestro caso, es difícil que hayan caudales punta ya que la instalación diseñada se encuentra a la salida de una EDAR. De todas formas se ha decidido sobredimensionar la instalación un 15% por si ocurre algún imprevisto en la EDAR.

Por consiguiente, el caudal punta se calculará según la Ec.2.

$$Q_p = Q_m * C_p = 1000 * 1,15 = 1.150 \frac{m^3}{día} \quad (\text{Ec.2})$$

El caudal punta de esta instalación será de 1.150 m³/día.

Dimensionamiento de tuberías

A la hora del dimensionamiento de las tuberías se debe hacer utilizando el caudal más desfavorable, que en este caso será el caudal punta. Para el cálculo de la sección de la tubería se va a considerar que el efluente tendrá una velocidad media de 1,5 m/s.

Primero se calcula la sección de la tubería con la Ec.3 y seguidamente se calcula el diámetro de ésta utilizando la Ec.4.

$$S_T = \frac{Q_p (m^3/s)}{v_{AR}} = \frac{0,0133}{1,5} = 0,0089 m^2 \quad (\text{Ec.3})$$

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

$$\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot S_T}{\pi}} = 0,0337 \text{ m} = 33,7 \text{ mm} \quad (\text{Ec.4})$$

El diámetro de las tuberías debe ser de 33,7mm.

Fijando medidas normalizadas la instalación requiere tuberías de PVC de DN 40, la cual posee un diámetro exterior de 40mm, un espesor de 1,4mm y un diámetro interno de 37,2mm [26].

Seguidamente se van a calcular las pérdidas de carga de la instalación. Para realizarlo se aplica la ecuación de Darcy-Weisbach (Ec.5).

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

f: coeficiente de fricción, el cual se determina posteriormente.

L: longitud total de la tubería de la instalación (aproximadamente serán 30 metros).

Q: caudal volumétrico que recorre la tubería (caudal punta, 1.150 m³/día).

g: intensidad del campo gravitatorio de la Tierra (9,8 m/s²).

D: diámetro de la tubería (40 mm).

Como se ha comentado anteriormente, es necesario realizar el cálculo del coeficiente de fricción, para ello se va a utilizar el Diagrama de Moody por lo que se necesita calcular el número de Reynolds (Ec.6).

$$Re = \frac{4 \cdot Q \cdot \rho}{\mu \cdot \pi \cdot D} \quad (\text{Ec.6})$$

ρ: densidad del líquido, se considera una densidad del agua de 997 kg/m³.

μ: viscosidad dinámica, se considera una viscosidad dinámica del agua de 9,864·10⁻⁴ kg/m·s.

Finalmente, Re = 4,28·10⁵ y teniendo en cuenta que la rugosidad de la tubería de PVC es de 0,015mm, ya podemos calcular la rugosidad relativa (Ec.7).

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,015 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 3,75 \cdot 10^4 \quad (\text{Ec.7})$$

Con estos dos parámetros ya podemos obtener el valor del coeficiente de fricción a través del Diagrama de Moody (Figura 43).

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

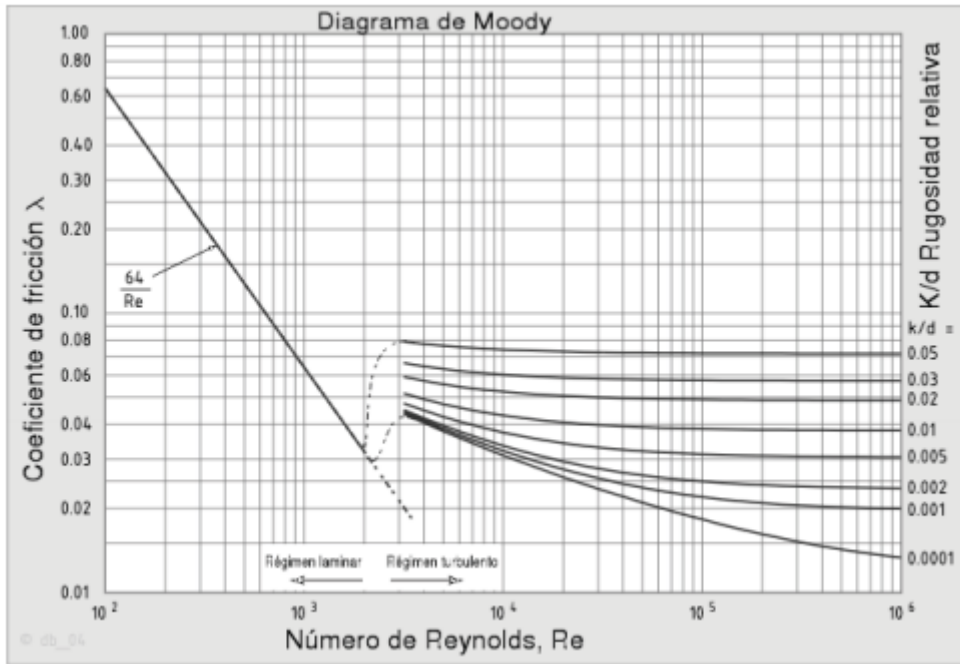


Figura 43. Diagrama de Moody para la obtención del coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción es de 0,015. Seguidamente se calcula la pérdida de carga, que será de 65,45 m.

Depósitos almacenamiento agua residual

A la entrada del tratamiento terciario se va a diseñar un tanque de homogeneización/estabilización (Elemento 1 de la Figura 42), donde entrará el agua residual proveniente del tratamiento secundario, por lo que este depósito se coloca para proteger a los equipos de las siguientes etapas de posibles fluctuaciones del caudal o de cambios en las características del agua residual.

El tanque se va a diseñar para que pueda almacenar el caudal punta al menos 1 día, por lo que el volumen del tanque se calcula a partir de la Ec.8.

$$V_{\text{depósitos}} = Q_p * \text{días} = 1150 * 1 = 1150 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec.8})$$

Por lo que, se instalará un depósito de 1500 m³ a la entrada del tratamiento terciario y otro depósito a la salida de éste (Elemento 2 de la Figura 42). Estos depósitos serán de fibra de vidrio adecuado para el tratamiento de aguas, y además cada depósito contará con una válvula para la realización de las purgas.

Bombas

Como en los casos anteriores, para el dimensionamiento de las bombas se va a tener en cuenta el caudal punta. Las bombas (Elementos 3 y 4 de la Figura 42) van a tener que tratar un caudal de 48 m³/h.

Con estas características se seleccionan dos bombas de la casa Grundfos, el modelo DW.100.66.A3 cuyas características se pueden ver en el Anexo I. La curva característica de la bomba se muestra en la siguiente Figura 44.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

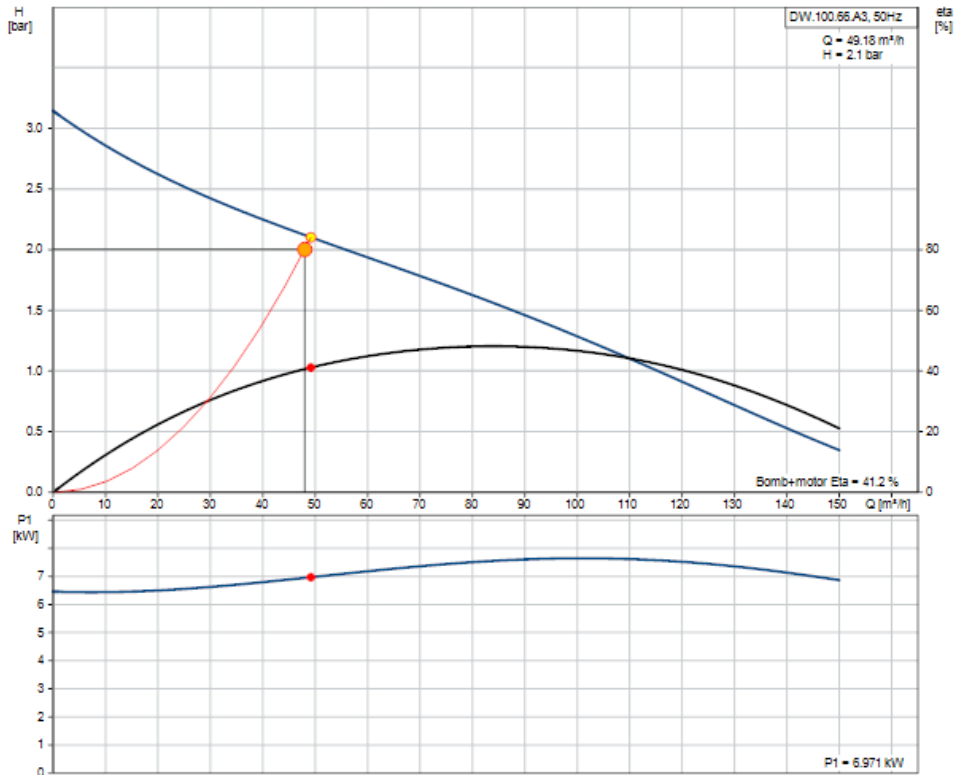


Figura 44. Curva característica de la bomba DW.100.66.A3

Válvulas

Para la elección de las válvulas se debe tener en cuenta que el DN de las tuberías seleccionado es de 40 y que la velocidad del efluente aproximadamente será de 1,5 m/s.

Con estas características se recurre a la empresa AVK.

- Para las válvulas de paso se va a instalar la válvula de compuerta modelo 01-70-035 [27], cuyas características se muestran en el Anexo I.
- Para las válvulas de antirretorno se van a utilizar válvulas de retención de bola de modelo AVK PN-10 [28], cuyas características se muestran en el Anexo I.

Para el caso de las válvulas de seguridad se busca en la casa Valsum, el modelo válvula de seguridad con palanca rosca M-H. Sus características se muestran en el Anexo I.

Finalmente se necesita una válvula de purga para el filtro del lecho de arena, la cual se va a utilizar de la casa VYC el modelo Válvula de purga continua, sus características se muestran en el Anexo I.

Filtro de arena

Por último, se va a realizar el dimensionamiento del filtro de lecho de arena (Elemento 5 de la Figura 42). Para seleccionar el equipo de filtración adecuado debemos de partir de los datos obtenidos en los ensayos experimentales.

Como se ha podido ver en los resultados, Apartado 8.3, a menor caudal de diseño la turbidez y el tamaño de partícula son menores, por lo que el caudal de filtración seleccionado es de 25 mL/min. Una vez seleccionado el caudal y conociendo el diámetro de la columna de relleno

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

(0,03m) ya se puede calcular el área de filtración (Ec.9) para después obtener la velocidad del fluido (Ec.10):

$$A_{filtración} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,03^2}{4} = 7,07 \cdot 10^{-4} m^2 \quad (Ec.9)$$

$$v_{filtración} = \frac{Q_{lecho}}{A_{filtración}} = \frac{0,0015 \frac{m^3}{h}}{7,07 \cdot 10^{-4} m^2} = 2,12 \frac{m}{h} \quad (Ec.10)$$

Una vez obtenida la velocidad de filtración y conocido el caudal de trabajo, se puede calcular el área de filtración que debe de tener el equipo seleccionado (Ec.11).

Este filtro se va a diseñar para que trabaje durante 24 horas al día por lo que el caudal punta será de 48 m³/h.

$$A_{filtración} = \frac{Q_{lecho}}{v_{filtración}} = \frac{48 \frac{m^3}{h}}{2 \frac{m}{h}} = 24 m^2 \quad (Ec.11)$$

$$D = \sqrt{\frac{A_{filtración} \cdot 4}{\pi}} = 5,5 m \quad (Ec.12)$$

El equipo seleccionado es el filtro automático DuplexSilex-Antracita(FDSA-1625) de la casa comercial Hidro-Water [29]. Este filtro con dos compartimentos permite un caudal máximo de 82,75 m³/hr.

En un principio solo se pensaba utilizar como lecho la arena de sílex, pero esta casa comercial nos aconseja combinarla con antracita ya que mejora la capacidad de filtrado en filtro cerrados, permitiendo así reducir los costes. Para llenar el total de los dos filtros se necesitan 1100 Kg de sílex y 1050 Kg de antracita. A la hora de la realización del lavado de los filtros, cada compartimento necesita 66,20 m³/h, este dato es fundamental para el dimensionamiento del depósito de agua osmotizada [29].

Las dimensiones de estos compartimentos se muestran en el Anexo I.

A continuación, se muestra en la Figura 45 un diseño del equipo [29]:

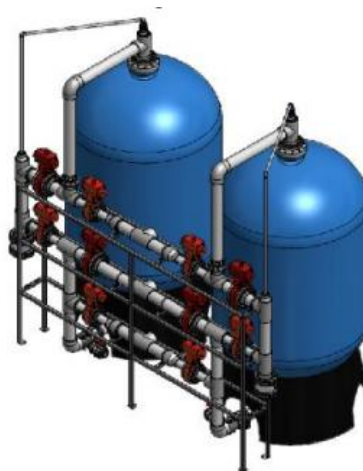


Figura 45. Filtro FDSA-1625 Hidro-Water [29]

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

El depósito de agua osmotizada (Elemento 6 de la Figura 42) se va a diseñar para que pueda almacenar el caudal al menos 1 día, por lo que el volumen del tanque se calcula a partir de la Ec.13.

$$V_{\text{depósitos}} = Q_{\text{lavado}} * \text{horas} = 66,20 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} * 24\text{hr} = 1589 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec.13})$$

El depósito será de un volumen de 1500 m³ y será de fibra de vidrio adecuado para el tratamiento de aguas. Además, contará con una válvula para la realización de las purgas. Será necesaria la colocación de dos depósitos, uno para cada filtro.

10.2 Descripción de la instalación diseñada

En este apartado se va a realizar la descripción de la instalación diseñada.

Primeramente, el agua procedente del decantador secundario de la EDAR, entra con un caudal medio de 1000 m³/d (caudal de punta 1150 m³/d) a un tanque de homogenización de fibra de vidrio (Elemento 1 de la Figura 42) con un volumen de 1500 m³, en el cual puede almacenar el caudal punta durante un día. El depósito dispone de una altura de 9 metros con un diámetro de 14 metros, además consta de 3 sondas de nivel, nivel superior de seguridad, nivel superior y nivel inferior.

A continuación el agua pasa a través de una válvula de seguridad y es bombeada hasta el filtro gracias a la bomba (Elemento 2 de la Figura 42) de modelo DW.100.66.A3 de la casa Grundfos, la cual es capaz de bombear un caudal de 48 m³/h a una altura de 2 bares con un rendimiento del 41%.

Después del bombeo, se instala un filtro de lecho (Elemento 5 de la Figura 42) de arena sílex y antracita. El filtro utilizado va a ser el modelo DuplexSilex-Antracita(FDSA-1625) de la casa comercial Hidro-Water. El filtro consta de dos compartimentos cada uno de 1,6 metros de diámetro, los cuales necesitan 1.100 kg de arena sílex y 1.050 de antracita. Se ha seleccionado un filtro con dos compartimentos ya que, al realizar la limpieza de uno de ellos, el otro pueda seguir en total funcionamiento. Para realizar la limpieza se van a instalar dos depósitos (Elemento 6 de la Figura 42), uno para cada compartimento del filtro, con las mismas dimensiones y características que el tanque de homogenización (Elemento 1 de la Figura 42), pero esta vez en su interior se almacenará agua osmotizada. Una vez el agua ha sido filtrada es bombeada con una bomba (Elemento 4 de la Figura 42) del mismo modelo y características que la bomba nombrada anteriormente (Elemento 3 de la Figura 42) a un depósito final de almacenamiento (Elemento 2 de la Figura 42), exactamente igual que el depósito de homogenización (Elemento 1 de la Figura 42).

El diagrama del flujo completo del proceso se muestra en el Plano 1 del Documento 3.

11. Estudio económico

En el presente estudio económico se determinará el coste del funcionamiento de la instalación durante el periodo de un año (€/m³ de agua tratada). Este estudio abarca la energía empleada, el coste de la mano de obra y los equipos usados.

Coste energético

La energía necesaria será aquella que necesiten los equipos de la instalación diseñada para un perfecto funcionamiento. Se supone que la planta va a funcionar durante las 24 horas al día, 30 días al mes y durante los 365 días del año. Se consulta el precio de la energía en el Plan Estable de Iberdrola de 2019 donde el coste para una potencia mayor de 10 kW y menor o igual a 15 kW es de 0,16€/kWh.

A la hora de calcular este coste (Tabla 11) no se va a tener en cuenta el gasto de las válvulas automatizadas ya que se puede considerar despreciable debido al poco tiempo de uso frente a otros dispositivos.

Tabla 11. Coste energético

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Potencia (kW/ud)	Tiempo funcionamiento (h/año)	Consumo (kWh/año)	Importe total (€/año)
3.01	Ud	Bomba	2	7,80	8.640	134.784	21.891,62
4.01	Ud	Filtro arena	1	0,80	8.640	6.912	1.122,65
TOTAL							23.014,26

El coste del consumo energético asciende a **VEINTITRÉS MIL CATORCE CON VENTISÉIS CÉNTIMOS (23.014,26€)**.

Mano de obra

En este apartado se va a tener en cuenta el personal necesario para el pleno funcionamiento de la planta, por lo que será necesario un Ingeniero Químico y peón especializado las 8 horas del día, para que se puedan realizar las modificaciones o ajustes necesarios. El coste calculado se puede ver en la Tabla 12.

Tabla 12. Coste Mano de obra

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario (€/h)	Importe total (€)
1.01	h	Peón especializado	2.920	13,10	38.252
1.02	h	Ingeniero Químico	2.920	20	58.400
TOTAL					96.652

EL coste de la mano de obra durante un año asciende a **NOVENTA Y SEIS MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y DOS EUROS (96.652€)**.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

Presupuesto de Ejecución Material

Sumando el coste parcial de cada unidad individual, obtenemos el Presupuesto de ejecución material, Tabla 13:

Tabla 13. Presupuesto de Ejecución Material

Código	Unidad de obra	Importe (€)
1	Mano de obra	96.652
3	Bombas	21.891,62
4	Filtro de arena	1.122,65
Total		119.666,26

EL presupuesto de ejecución material asciende a **CIENTO DIECINUEVE MIL SEISCIENTOS SESENTA Y SEIS CON VENTISÉIS CÉNTIMOS (119.666,26€)**.

En la instalación diseñada se van a tratar 365.000 m³ al año, por lo que suponiendo que no se realicen paradas por limpiezas o reformas, **el coste del tratamiento del agua con el sistema propuesto sería de 0,33 €/m³**.

12. Conclusiones

- En los ensayos de identificación realizados con el F-TIR se han encontrado micropartículas en todas las muestras comerciales seleccionadas y analizadas. En dos productos comerciales, esas micropartículas se correspondían a microplásticos de polietileno y poliestireno.
- Los ensayos realizados con el Zetasizer indican que los plásticos tienen tamaños comprendido entre 2,5 y 1 micras.
- Los ensayos de filtración realizados con disoluciones preparadas con muestras de polipropileno trituradas y tamizadas y de poliestireno con un tamaño menor de 250 µm, tanto en los resultados obtenidos respecto a turbidez y al tamaño de partícula, indican que:
 - o A medida que transcurre el tiempo de filtrado, la turbidez y el tamaño de partícula obtenidos en el filtrado son menores.
 - o A menor caudal de filtración, mejores resultados de turbidez y menores tamaños de partícula obtenidos.
 - o Las alturas de los lechos ensayados a nivel de laboratorio no han influido en los resultados de turbidez obtenidos en el filtrado, pero sí en la reducción del tamaño de partícula, ya que a mayor altura del lecho mayores porcentajes de reducción.
- Para el diseño de la instalación se van a necesitar 4 depósitos, uno de entrada del agua del secundario, 2 depósitos para el almacén del agua osmotizada y otro depósito para el agua filtrada, así como dos bombas y diferentes tipos de válvulas para conseguir un funcionamiento bueno y seguro.

Se va a utilizar un filtro del modelo FDSA de la casa comercial HydroWater. El filtro posee dos comportamientos, así se podrá realizar el lavado de un compartimento y el otro podrá seguir en funcionamiento. Por otro lado, el lecho que se va a utilizar es arena de sílex combinada con antracita, ya que ésta mejora la capacidad de filtración y se pueden disminuir los costes de funcionamiento.
- El coste de operación de la instalación es de 0,33 €/m³.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



13. Bibliografía

- [1] Greenpeace, “La problemática de los plásticos en Europa” p. 8, 2017.
Disponible en: <https://secured-static.greenpeace.org> [Último acceso: 8 Octubre 2019].
- [2] “Desengancharse del plástico,” Ecol. en acción, 2015.
Disponible en: <https://spip.ecologistasenaccion.org> [Último acceso: 13 Octubre 2019].
- [3] E. Rojo Nieto and T. Montoto, Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. 2017.
- [4] PlasticsEurope, “Plastics - the facts 2014/2015: An analysis of European plastics production, demand and waste data”, PlasticsEurope, pp. 1–34, 2015.
Disponible en: <https://www.plasticseurope.org> [Último acceso: 1 Octubre 2019].
- [5] U. Oliveira and M. Vieira, “Occurrence and Impacts of Microplastics in Freshwater Fish”, *J. Aquac. Mar. Biol.*, vol. 5, no. 6, 2017.
- [6] M. Stephens, “Certification of d₂w” *Symphony environmental*, vol. 44, 2009.
- [7] J. F. M. Guzmán “Manual de plásticos para diseñadores.”
- [8] Dris R, Gasperi J, Tassin B "Freshwater Microplastics - Emerging Environmental contaminants", 69-83, 2018.
- [9] R. Andrés Sarria-Villa, J. Antonio Gallo-Corredor, and R. Andrés Gallo-Corredor, “La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos The big environmental problem of the plastic waste: Microplastics” *J. Cienc. e Ing.*, vol. 8, no. 1, pp. 21–27, 2016.
- [10] D. Eerkes-Medrano, R. C. Thompson, and D. C. Aldridge, “Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs” *Water Res.*, vol. 75, no. October, pp. 63–82, 2015.
- [11] C. B. Crawford and B. Quinn, *Microplastic identification techniques*. 2017.
- [12] A. S. Tagg, M. Sapp, J. P. Harrison, and J. J. Ojeda, “Identification and Quantification of Microplastics in Wastewater Using Focal Plane Array-Based Reflectance Micro-FT-IR Imaging” *Anal. Chem.*, vol. 87, no. 12, pp. 6032–6040, 2015.
- [13] R. Pérez, “Procesado y optimización de espectros raman mediante técnicas de lógica difusa” pp. 10–34, 2005.
- [14] C. B. Crawford and B. Quinn, “Microplastic separation techniques”, *Microplastic Pollutants*, 203–218, 2017.
- [15] N. Quirante Arenas, Trabajo Final de Máster, “Eficacia de una sistema de filtración avanzado en una planta de tratamiento de aguas residuales industriales.”, Universidad de Alicante, 2012.

- [16] Grupo Bioindicación Sevilla (GBS), "CURSO DE TRATAMIENTOS FISICOQUÍMICOS EN EDARs URBANAS E INDUSTRIALES 3.5." pp. 18–25.
- [17] P. de la Cruz y Francisco Javier, "Abastecimiento de agua", 2015.
Disponible en: <http://ocw.bib.upct.es/course/view.php?id=148&topic=all> [Último acceso: 9 Octubre 2019].
- [18] R. Villodas, "Infiltracion," Hidrol. I, p. 178, 2008.
- [19] M. T. Leal, "Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones" Sol. Safe Water, pp. 63–72, 2005.
- [20] J. Francisco Romero-González, Trabajo Final de Máster, "Control Avanzado en Procesos Industriales de Ultrafiltración tangencial", Universidad Politécnica de València, 2010.
- [21] M. J. Luján-Facundo, Tesis Doctoral, "Influencia de la Aplicación de Ultrasonidos en la Limpieza de Membranas de Ultrafiltración Empleadas", Universidad Politécnica de València, 2016.
- [22] MALVERN, "Zetasizer Nano Series", Malvern Instruments Ltd, p. 20, 2014.
- [23] Malvern Instruments Limited, "Mastersizer 3000" p. 20, 2013.
- [24] Bruker Optik "Tensor ii," pp. 1–12, 2016.
Disponible en: <https://www.bruker.com> [Último acceso: 9 Octubre 2019].
- [25] S. Carr, J. Liu, and A. Tesoro, "Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants", *Water Res.*, vol. 91, pp. 174–182, 2016.
- [26] "Policloruro De Vinilo - Pvc - Electrocome," pp. 9–10.
Disponible en: <http://www.euita.upv.es/dira/imagenes/files/Hidra/PVC.pdf> [Último acceso: 9 Octubre 2019].
- [27] AVK and S. Plus, "VÁLVULA DE COMPUERTA AVK , SUPA PLUS™ , PN16 Referencias y dimensiones" pp. 1–2, 2019.
Disponible en: <http://www.avkvalvulas.com> [Último acceso: 9 Octubre 2019].
- [28] AVK, "V. Retención, Referencias y dimensiones " pp. 2–3, 2019.
Disponible en: <http://www.avkvalvulas.com> [Último acceso: 9 Octubre 2019].
- [29] Filtro automatico silex - FDSA, Hidro-water, 2013.
Disponible en: <http://hidro-water.com/> [Último acceso: 11 Septiembre 2019].

14. Anexos

Anexo I. Características de los equipos

- Características de la Bomba DW.100.66.A3

GRUNDFOS 	
Contar	Descripción
1	DW.100.66.A3 
Empresa: Creado Por: Teléfono: Datos: 12/09/2019	
Contar	Descripción
	Caudal real calculado: 46.58 m ³ /h Altura resultante de la bomba: 2.141 bar Tolerancia de curva: ISO9906:2012 3B Materiales: Carcasa de la bomba: Aluminio Impulsor: Hierro fundido resistente a la abrasión cromado de alta calidad HV600 Instalación: Salida de bomba: R 4 Profundidad máxima de instalación: 17 m Datos eléctricos: Potencia de entrada - P1: 7.8 kW Frecuencia de red: 50 Hz Tensión nominal: 3 x 400 V Intensidad nominal: 12.5 A Velocidad nominal: 2800 rpm Tipo de arranque: directo Grado de protección (IEC 34-5): IP68 Clase de aislamiento (IEC 85): F Longitud de cable: 20 m Tipo de clavija de cable: NONE Otros: Peso neto: 51 kg VVS danés n.º: 391356336 País de origen.: HU Tarifa personalizada n.º: 84137021

Figura 46. Características de la bomba DW.100.66.A3 de la casa Grundfos

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

- Características de la válvula de compuerta



VÁLVULA DE COMPUERTA AVK, SUPA PLUS™, PN16 01/70-035 Enchufes autoblocantes para tubos de PE y PVC-U, DN40-300

Las válvulas de compuerta AVK se diseñan con calidad en cada detalle. La compuerta está completamente vulcanizada con EPDM certificado para agua potable. Cuenta con una excelente durabilidad por la capacidad del caucho de recuperar su forma original, por el proceso de vulcanización de doble unión y por el robusto diseño de la compuerta. El sistema de empaquetadura de triple seguridad, un eje de alta resistencia y la protección completa contra la corrosión, aseguran una fiabilidad inigualable.

Descripción del producto:

Válvula de compuerta unión por enchufes autoblocantes Supa Plus™ para tubos de PE y PVC-U. Para agua potable y líquidos neutros hasta una temperatura máxima de 70° C.

Normas:

- Diseñada según la norma EN 1074 parte 1 y 2, Diseñada según EN 1171

Ensayos/certificados:

- Asiento: 1.1 x PN (en bar), Cuerpo: 1.5 x PN (en bar). Ensayo del par de cierre.

Características:

- Tuerca fija, integrada en la compuerta, evita vibraciones y asegura durabilidad
- Compuerta completamente vulcanizada con EPDM certificado agua potable y con zapatas integradas que facilitan una suave operación
- Gran orificio cónico en el hueco del eje en la compuerta que previene el estancamiento del agua
- Compuerta y cuerpo con guías que garantizan un funcionamiento estable
- Eje de acero inoxidable con anillo de paro de la compuerta y rosca laminada para una alta resistencia
- Collarín de empuje que proporciona la fijación del eje y bajos pares de funcionamiento
- Empaquetadura de triple seguridad con un sellado superior de NBR, un cojinete de poliamida con cuatro juntas tóricas de NBR y un manguito inferior de EPDM
- Junta de EPDM alojada entre cuerpo y tapa
- Tornillos de acero inoxidable sellados con silicona y protegidos por la junta de la tapa
- Paso total
- Bajo para de maniobra
- Revestimiento de epoxi según DIN 30677-2, certificado GSK
- La unión por enchufes autoblocantes se compone de una junta de EPDM y un anillo anti-tracción de bronce RG5 para tuberías de PE y PVC-U. Permite una desviación angular de ±3.5. El tipo de compresión de la junta hace más fácil la inserción del extremo de tubería, incluso en grandes dimensiones. Tornillos exteriores que protegen de la corrosión al no haber roscas en el cuerpo.

Desplece:

1. Compuerta	Fund. dúctil, encapsulada en EPDM	11. Sellado del tornillo	Silicona
2. Cuerpo	Fundición dúctil GJS-500-7	12. Tapa	Fundición dúctil GJS-500-7
3. Tuerca integrada	Latón CW626N, RDZ	13. Manguito inferior	Caucho EPDM
4. Anillo de tracción	Bronce RG5 / EPDM	14. Collarín de empuje	Latón CW602N, RDZ
5. Soporte	Fundición dúctil GJS-500-7	15. Junta tórica	Caucho NBR
6. Tuerca	Acero inoxidable A4 anti-fricción	16. Cojinete	Poliamida
7. Tornillo	Acero inoxidable A2 anti-fricción	17. Sellado superior	Caucho NBR
8. Tapón	Plástico	18. Eje	Acero inoxidable 1.4104 (430F)
9. Tornillo de la tapa	Acero inoxidable A2	19. Guía de la compuerta	Poliamida
10. Junta de la tapa	Caucho EPDM		

Los componentes pueden ser sustituidos por materiales de clase equivalente o superior sin previo aviso.

Referencias y dimensiones:

Referencia AVK	DN	Dd	H	H2	H3	L	L1	L2	F	F1	F2	Peso teórico
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg
01-050-70-016	40	50	236	44	280	312	182	64	14	17	29	11
01-063-70-016	50	63	241	52	293	312	182	68	14	17	29	12
01-075-70-016	65	75	271	58	329	312	182	70	17	20	34	13
01-090-70-0146499	80	90	282	66	348	330	190	66	17	20	34	15
01-110-70-0146499	100	110	305	90	395	330	191	72	19	22	34	19
01-125-70-0146499	125	125	352	100	452	337	200	80	19	22	34	24
01-140-70-0146499	125	140	352	106	458	356	216	80	19	22	34	26
01-160-70-0146499	150	160	400	117	517	371	232	99	19	22	34	33
01-180-70-0146499	150	180	400	125	525	399	238	99	19	22	34	36
01-200-70-0146499	200	200	495	158	653	426	286	120	24	27	34	53
01-225-70-0146499	200	225	495	165	660	483	284	110	24	27	34	61
01-250-70-016	250	250	664	174	838	529	339	143	27	31	47	103
01-280-70-016	250	280	664	184	848	529	339	155	27	31	47	106
01-315-70-016	300	315	740	208	948	570	380	184	27	31	47	143

Figura 47. Características de la válvula de compuerta AVK SUPA PLUS PN16 [27]

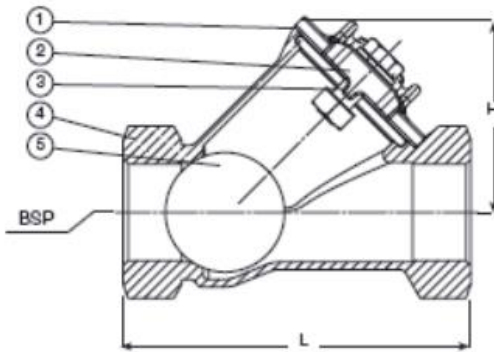
Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

- Características válvulas de retención de bola



VÁLVULA RETENCIÓN DE BOLA AVK, PN 10

53/30

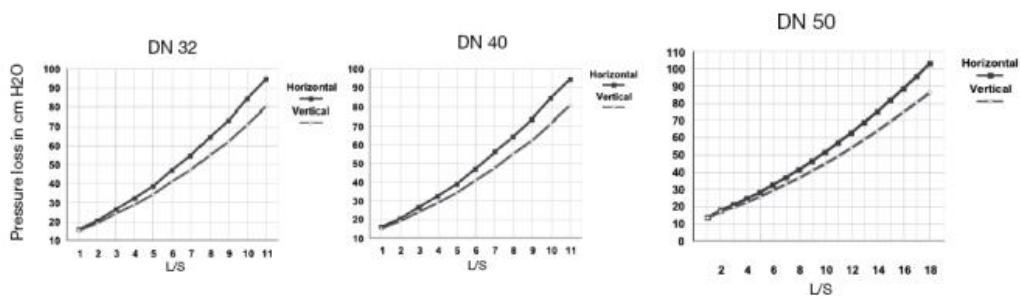


Diseño de la válvula

El diseño de la válvula permite una circulación libre 100% del fluido debido a que la bola no obstruye el paso cuando está en posición abierta. El paso total evita la disposición de sólidos en la válvula. En consecuencia, las válvulas de retención de bola AVK, aseguran una muy baja pérdida de carga, aportando el beneficio del uso óptimo de la capacidad de la bomba.

Las válvulas se pueden instalar tanto en vertical como en horizontal, ya que el cuerpo de la válvula apoya la bola contra el asiento en cualquier posición de la válvula. La bola efectúa un movimiento rotatorio durante el funcionamiento, permitiendo una función de autolimpieza y un mínimo desgaste de la goma. La dureza de la goma está definida para evitar que esta quede pegada en el asiento.

Las válvulas de retención pueden suministrarse con diferentes pesos de bola o con bola de PUR sólido.



Referencia y dimensiones

Código AVK	DN mm	PN bar	L mm	H mm	Peso teórico Kg
53-032-309007	32	10	140	83	2,0
53-040-309007	40	10	140	83	2,0
53-050-309007	50	10	180	101	3,0

Figura 48. Características de la válvula de retención de bola AVK PN10 [28]

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

- Características válvula de seguridad

Válvula de seguridad roscada, escape conducido, de alivio por sobrepresión en tuberías o recipientes a presión.

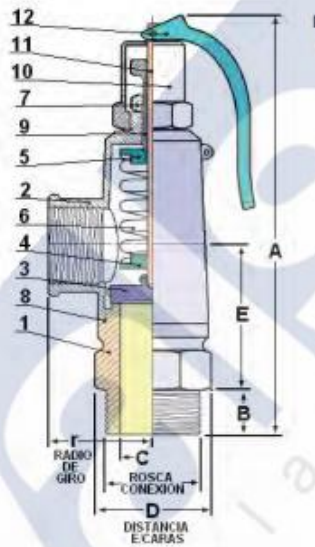
Indicada para cualquier tipo de fluido, ya sea líquido o gas*.

Incluye elemento de precinto, así como tornillo de regulación y capuchón para asegurar su total hermeticidad.

Provista de palanca para actuación manual en caso de prueba o limpieza.



Fig. 70



Presión máxima de trabajo:	30 BARS	PN30
Temperatura máxima de trabajo:	-10 + 220°C	
Rosca de conexión de entrada:	Gas BSP Cilíndrica	

Nº	Descripción	Material
1	Pié Válvula (Base)	Bronce Rg5
2	Campana	Latón
3	Obturador	AISI 316L
4	Portamuelle inferior macho	Latón
5	Portamuelle superior hembra	Latón
6	Muelle	Acero
7	Tuerca fijación	Latón
8	Junta estanqueidad	Goma
9	Tornillo regulación	Latón
10	Capuchón	Latón
11	Eje elevación	Latón
12	Palanca	Latón

Figura 49. Características de la válvula de seguridad modelo con palanca rosca M-H de la casa Valsum

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

- Características válvula de purga



- 1** Grifo para la toma de muestras: Facilita el proceso de análisis de la concentración salina del agua de caldera. Posibilidad de conexión guiada para tuberías Ø 6/8 mm.
- 2** Placa de lectura: Permite una visión clara y concisa, incluso a cierta distancia, de las posiciones de purga.
- 3** Palanca de regulación: Para el ajuste preciso y progresivo de las cantidades a purgar.
- 4** Tapón para drenaje de la tobera dosificadora.
- 5** Tobera dosificadora: Actúa como órgano de salida, dosificación y regulación. En ella se expansiona silenciosa y escalonadamente el agua sometida a presión. Así se elimina la suciedad, incrustaciones y decantaciones de sal. A causa de esta expansión escalonada, no se producen desgastes por erosión.

Referencia y dimensiones

Código AVK	DN mm	PN bar	L mm	H mm	Peso teórico Kg
53-032-309007	32	10	140	83	2,0
53-040-309007	40	10	140	83	2,0
53-050-309007	50	10	180	101	3,0

CORTE POR A-A		Nº. PIEZA	PIEZA	MATERIAL		
	1	Cuerpo	Acero al carbono (EN-1.0619)			
	2	Cuerpo prensaestopas	Fundición nodular (EN-5.3106)			
	3	Palanca de regulación	Fundición gris perlit. (EN-5.1300)			
	4	Volante	Aluminio (EN-AC-44200)			
	5	Cuerpo grifo toma muestras	Acero inoxidable (EN-1.4008)			
	6	Placa de lectura	Aluminio			
	7	Tope de palanca	Acero al carbono (EN-1.1141)			
	8	Asiento tobera dosificadora	Acero inoxidable (EN-1.4028)			
	9,10	Casquillo tobera dosificadora	Acero inoxidable (EN-1.4028)			
	11	Tuerca sin fin tobera dosificadora	Acero inoxidable (EN-1.4028)			
	12,17	Prensaestopas	Acero al carbono (EN-1.1191)			
	13	Eje grifo tobera dosificadora	Acero inoxidable (EN-1.4028)			
	14	Cuerpo prensaestopas grifo toma muestra	Acero al carbono (EN-1.1191)			
	15	Arandela prensaestopas grifo toma muestra	Acero inoxidable (EN-1.4401)			
	16	Tuerca prensaestopas	Acero al carbono (EN-1.1191)			
	18	Eje grifo toma muestras	Acero inoxidable (EN-1.4401)			
	19	Cierre	Acero inoxidable (EN-1.4401)			
	20	Tuerca enlace grifo toma muestras	Acero al carbono (EN-1.1191)			
	21	Enlace grifo toma muestras	Acero al carbono (EN-1.1191)			
	22	Racor	Acero al carbono (EN-1.0308)			
	23	Tuerca racor	Acero al carbono (EN-1.0308)			
	24	Anillo cortante	Acero al carbono (EN-1.0308)			
	25	Tapón drenaje	Acero al carbono (EN-1.1191)			
	26,28	Tornillo	Acero al carbono (EN-1.1191)			
	27	Espáago	Acero al carbono (EN-1.1181)			
	29	Tornillo	Acero inoxidable (EN-1.4401)			
	30	Tuerca	Acero al carbono (EN-1.1141)			
	31	Arandela	Acero inoxidable (EN-1.4401)			
	32	Tuerca	Acero inoxidable (EN-1.4401)			
	33	Arandela	Acero al carbono (EN-1.1141)			
	34	Muelle de platillo	A. al cromo-vanadio (EN-1.8159)			
	35, 36, 37	Junta	Cobre			
	38, 39	Estopada	Grafito			
	40	Brida	Acero al carbono (EN-1.0460)			
			DN	15 a 25 (EN, ANSI)		
			PN	40		
	CONDICIONES DE SERVICIO	PRESION EN bar	40	35	32	28
		TEMP. MAXIMA EN °C	120	200	250	300

Figura 50. Características válvula de purga continua de la casa VYC

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

- Características filtro de arena

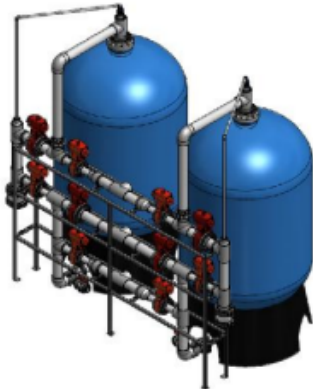
FILTRO AUTOMATICO DUPLEX SILEX-ANTRACITA - FDSA

FILTRACIÓN

Filtro industrial DUPLEX a presión multicapa, **SILEX de diferentes granulometrías y Antracita PQ-0602-03**

La antracita mejora la capacidad de filtración en filtros cerrados, ahorrando también en costes de operación al reducir la pérdida de presión y las frecuencias de contralavado, permitiendo además un tiempo de vida más largo y velocidades de trabajo mayores.

La **PQ-0602-03** es una antracita natural producida en Europa, que tras someterse a un proceso de lavado, secado y tamizado, posee todas las propiedades requeridas para su uso como medio filtrante en aplicaciones de tratamiento de aguas.



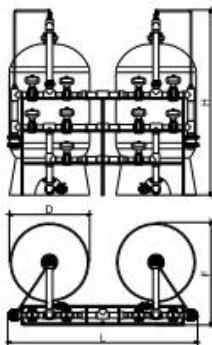
CARÁCTERÍSTICAS

- Tanques del filtro en PRFV con liner interno en PE de alta densidad
- Batería en PVC PN10
- Válvulas en fundición dúctil con eje y mariposa en acero inoxidable AISI316 y elastómero en EPDM
- Neumáticas de Doble Efecto con electroválvulas Namur 5/2 vías.
- Manómetro de entrada/salida con toma de muestras
- Transmisor de presión entrada/salida
- Incluye ventosa superior y válvula manual de purga.
- Presión máxima admisible: 10 bar
- Temperatura máxima de operación: 40°C
- Estructura soporte de la batería en acero inoxidable.
- Cuadro eléctrico con PLC para manejo automático. Lavado por tiempo y diferencia de presión.
- Compresor Atlas Copco de 2CV incluido.

Estándar: Lavado externo. El lavado del equipo se realiza con agua limpia externa. Mientras se lava un filtro, no se interrumpe el filtrado del segundo.

MODELO	CAUDAL (m3/h)			Tanque Ø x H	Conexión PN 10	Valulas			Carga (Kg.)			Peso (Kg)	
	Nominal	Máximo	Lavado			Servicio	BW	Silex 0,7	Silex 1,5	Antracita	Vacio S/C	Operación	
FDSA-485	4,96	6,62	5,29	18x65	D.50	DN40	DN32	50	200	100	186	1036	
FDSA-549	6,92	9,23	7,38	21x60	D.50	DN40	DN32	100	250	100	190	1258	
FDSA-624	8,48	11,31	9,05	24x69	D.50	DN40	DN32	150	350	150	206	1728	
FDSA-779	13,61	18,15	14,52	30x72	D.63	DN40	DN40	250	500	250	288	2712	
FDSA-931	19,81	26,42	21,13	36x72	D.75	DN50	DN40	400	750	350	340	3984	
FDSA-1089	26,67	35,57	28,45	42x78	D.90	DN50	DN50	450	950	450	476	5046	
FDSA-1233	34,84	46,45	37,16	48x82	D.90	DN65	DN50	600	1250	600	493	6623	
FDSA-1625	62,07	82,75	66,20	63x86	D.125	DN80	DN65	1100	2200	1050	929	11891	

DIMENSIONES



Dimensiones (mm)			
D	L	F	H
469	1438	770	2276
552	1604	860	2134
610	1720	920	2360
770	2040	1090	2434
927	2354	1250	2479
1074	2648	1430	2607
1226	2952	1590	2655
1633	3766	2000	2948

FOTOS



Figura 51. Características filtro de arena FDSA [29]



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

PRESUPUESTO

DOCUMENTO 2

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



ÍNDICE

PRESUPUESTO.....	95
I.PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN.....	95

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



PRESUPUESTO

Se procede a realizar el presupuesto del presente TFM. En él se incluirá el coste de la instalación diseñada en este documento, que conformará el Presupuesto de Ejecución Material (PEM). A partir de este presupuesto, se tendrá en cuenta un 13% de gastos generales y un 6% de beneficio industrial para obtener el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC). Finalmente incluyendo el 21% de IVA al PEC, se determina el Presupuesto de Ejecución por Contrata con IVA.

I. Presupuesto de la instalación

En este apartado se va a realizar el presupuesto de la instalación industrial diseñada, mostrando los presupuestos parciales de mano de obra, instrumentación, equipo y gastos generales. Este presupuesto no incluye maquinaria oficial ni medidas de protección colectiva a pie de obra.

Presupuesto de la mano de obra

En la Tabla 14 se muestran los costes referentes a la mano de obra para la ejecución del proyecto que se estima en 4 semanas, trabajando 40 horas por semana.

Tabla 14. Presupuesto mano de obra

Código	Unidad	Descripción	Cantidad (h)	Precio unitario (€/h)	Importe total (€)
1.01	h	Peón	160	12,30	1.968
1.02	h	Oficial de primera	160	13,50	2.160
1.03	h	Ingeniero Químico	160	20	3.200
TOTAL					7.328

El presupuesto de la mano de obra asciende a **SIETE MIL TRESCIENTOS VEINTIOCHO EUROS (7.328€)**.

Presupuesto de los depósitos

A continuación, se muestra en la Tabla 15 el presupuesto de la instalación de los depósitos.

Tabla 15. Presupuesto depósitos

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario (€/ud)	Importe total (€)
2.01	Ud	Depósito 1500 m ³	4	33.824,34	135.297,36
TOTAL					135.297,36

EL presupuesto de los depósitos asciende a **CIENTO TREINTA Y CINCO MIL DOSCIENTOS NOVENTA Y SIETE CON TREINTA Y SEIS CÉNTIMOS (135.297,36€)**.

Presupuesto bombas y válvulas

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

En la Tabla 16 se va a mostrar el presupuesto para las bombas y las válvulas que se necesitan en la instalación.

Tabla 16. Presupuesto bombas y válvulas

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario (€/ud)	Importe total (€)
3.01	Ud	Bomba	2	7.657	15.314
3.02	Ud	Válvula de compuerta	3	1.300	3.900
3.03	Ud	Válvula de seguridad	1	12.311	12.311
3.04	Ud	Válvula antirretorno	2	1.034	2.068
3.05	Ud	Válvula de purga	2	1.426	2.852
TOTAL					36.445

El presupuesto de las bombas y de las válvulas asciende a **TREINTA Y SEIS MIL CUATROCIENTOS CUARENTA Y CINCO EUROS (36.445€)**.

Presupuesto filtro de arena

En la Tabla 17 se muestran los costes presupuestados para la unidad del filtro de arena.

Tabla 17. Presupuesto filtro de arena

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Importe total (€)
4.01	Ud	Filtro de arena	1	4.116	4.116
4.02	Kg	Arena de sílex	1100	0,60	660
4.03	Kg	Antracita	1050	0,19	199,50
TOTAL					4.975,50

EL presupuesto de la unidad del filtro de arena asciende a **CUATRO MIL NOVECIENTOS SETENTA Y CINCO CON CINCUENTA CÉNTIMOS (4.975,50€)**.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

Presupuesto total de ejecución material

En la Tabla 18 se muestra la suma de los presupuestos parciales para obtener el presupuesto de ejecución material.

Tabla 18. Presupuesto total de ejecución material

Código	Unidad de obra	Importe (€)
1	Mano de obra	7.328
2	Depósitos	135.297,36
3	Bombas y válvulas	36.445
4	Unidad filtro de arena	4.975,50
TOTAL		184.045,86

Asciende el presupuesto de ejecución material a **CIENTO OCHENTA Y CUATRO MIL CUARENTA Y CINCO CON OCHENTA Y SEIS CÉNTIMOS (184.045,86€)**.

Presupuesto ejecución por contrata

Considerando los gastos generales, el beneficio industrial y el IVA del proyecto, se obtiene el presupuesto de ejecución por contrata con IVA.

Presupuesto de ejecución material (PEM) 184.045,86€

Gastos generales (GG): 13% 23.925,96€

Beneficio industrial (BI): 6% 11.042,75€

Presupuesto de ejecución por contrata (PEC = PEM+GG+BI) 219.014,57€

El presupuesto de ejecución por contrata asciende a **DOSCIENTOS DIECINUEVE MIL CATORCE CON CINCUENTA Y SIETE CÉNTIMOS (219.014,57€)**.

IVA: 21% 45.993,06€

Presupuesto de ejecución por contrata con IVA (PEC = PEM+GG+BI+ IVA) 265.007,63€

Finalmente, el presupuesto de ejecución por contrata con IVA asciende a la cantidad de **DOSCIENTOS SESENTA Y CINCO MIL SIETE CON SESENTA Y TRES CÉNTIMOS (265.007,63€)**.

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

PLANO

DOCUMENTO 3

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos

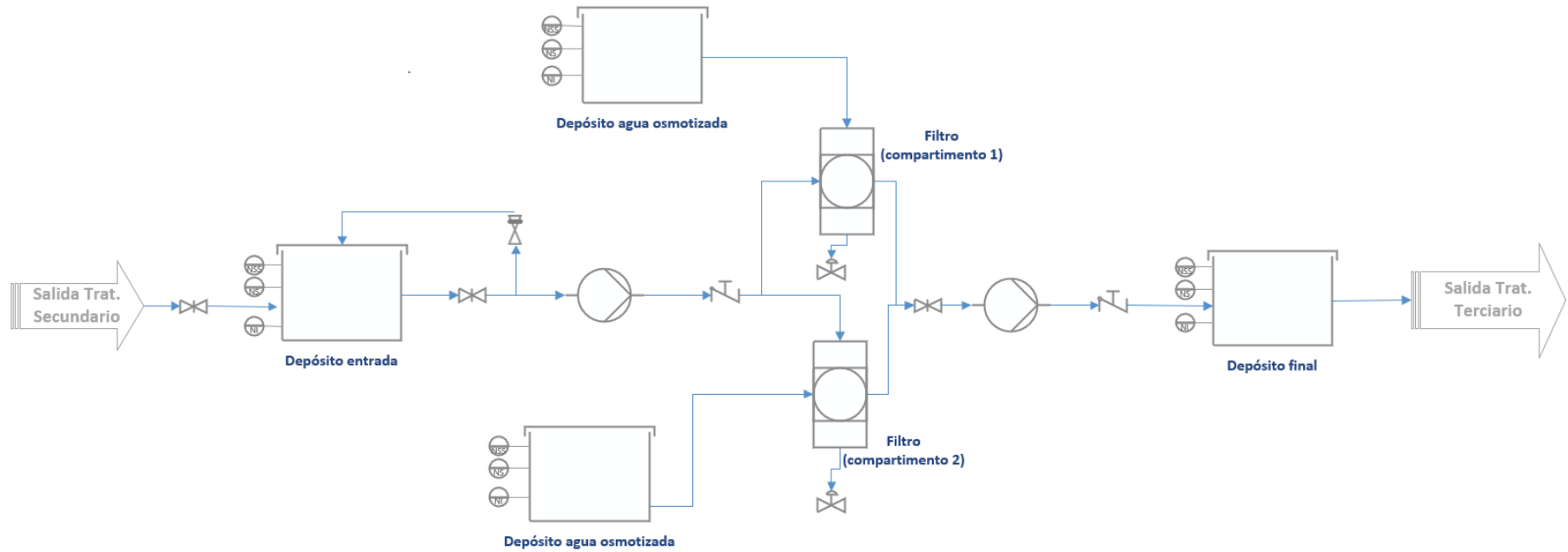
ÍNDICE

PLANO 1. PLANO DE LA INSTALACIÓN DISEÑADA.....103

Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



Diseño de sistema de regeneración de 1000 m³/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos



Símbolo	Equipo	Símbolo	Equipo
	Válvula de compuerta		Bomba
	Válvula de seguridad		Nivel superior de seguridad
	Válvula antirretorno		Nivel superior
	Válvula de purga		Nivel inferior