



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL (MII)

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Diseño y análisis económico-sostenible de una EDAR para aguas urbanas en Andalucía.

Autor: Irene Moreno Méndez

Director: Carlos Morales Polo

Madrid

Julio de 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título **Diseño y análisis económico-sostenible de una EDAR para aguas urbanas en Andalucía**, en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico **2019/2020** es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Irene Moreno Méndez Fecha: 26/07/2020



Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Fecha: ...31.../ ...08.../ ...2020...



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL (MII)

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Diseño y análisis económico-sostenible de una EDAR para aguas urbanas en Andalucía.

Autor: Irene Moreno Méndez

Director: Carlos Morales Polo

Madrid

Julio de 2020

DISEÑO Y ANÁLISIS ECONÓMICO-SOSTENIBLE DE UNA EDAR PARA AGUAS URBANAS EN ANDALUCÍA.

Autor: Moreno Méndez, Irene

Directores: Morales Polo, Carlos.

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

I. Introducción

El agua es un recurso fundamental para el ser humano y los seres vivos que habitan el planeta. En los últimos años, el consumo del agua, tanto a nivel doméstico como industrial, se ha triplicado debido al crecimiento de la población mundial. Es por ello, que se estima que, en los próximos 10 años, casi el 50% de la población sufrirá estrés hídrico. Por lo tanto, es de suma importancia hacer un uso responsable y equilibrado del recurso del agua, al mismo tiempo que se preserve la calidad del agua de los ecosistemas.

En este contexto, el tratamiento de aguas residuales se ha convertido en una de las problemáticas más importantes hoy en día, puesto que cada vez son más los contaminantes presentes en el medioambiente y menor su capacidad para eliminarlos. Gracias a prácticas llevadas a cabo por el Gobierno, se está exigiendo que las aguas procedentes de actividades industriales y domésticas cumplan con la normativa 91/271/CEE una vez sean tratadas por la planta depuradora. De esta manera, se consigue regular los contaminantes vertidos al medioambiente y disminuir el impacto medioambiental que estos vertidos puedan generar.

En particular, España, es una de las zonas geográficas que mayor estrés hídrico sufre debido a que las pocas precipitaciones que hay están mal distribuidas en el espacio y el tiempo. Además, como resultado de las malas prácticas de depuración que hace, España se está viendo sancionada al incumplir con los estándares de la normativa europea. En concreto, regiones del sur de España son la que más infracciones están cometiendo y, por lo tanto, se justifica la necesidad de incluir estaciones depuradoras para hacer un buen uso del ciclo integral del agua.

Con todo lo comentado, a lo largo de este proyecto se va a diseñar una estación depuradora de aguas residuales (E.D.A.R) para aguas urbanas en Andalucía. Dicha región, se caracteriza por un clima seco cuyo medio ambiente necesita una depuración adecuada. El origen de las aguas será tanto de uso doméstico como industrial, por lo que el agua a tratar tendrá características muy diversas y requerirá de un diseño riguroso de los tratamientos necesarios.

Para llevar a cabo el proceso de depuración del agua residual, se realizarán distintos procesos físico-químico que permitan reducir los niveles de contaminantes del agua (i.e. DBO, DQO, sólidos en suspensión, fósforo y nitrógeno) y, cumplir con los estándares de calidad establecidos por la normativa.

II. Metodología

El desarrollo del proyecto se ha dividido en seis bloques:

1. Estudio detallado sobre la población actual y procedencia de aguas residuales del área de influencia.
2. Elección de las etapas y tratamientos del proceso de depuración dependiendo de las características del agua residual de entrada.
3. Dimensionamiento de los procesos de depuración de la EDAR.
4. Análisis del impacto medioambiental como consecuencia de la construcción y explotación de la EDAR.
5. Análisis de la viabilidad económica de la EDAR acorde a un presupuesto inicial, subvención dada y su integración en el ciclo del agua de consumo humano.
6. Anexos: pliego de condiciones y presupuesto parcial y general.

En primer lugar, se realizó un estudio de la población de la zona tratada para calcular el número total de personas que serán abastecidas mediante la EDAR de estudio. Además, se realizó una proyección de la población en España 2018-2033 para sobredimensionar la capacidad de la EDAR en vistas a un posible crecimiento de la población. Por otro lado, para desarrollar este proyecto, se extrapola los datos de una EDAR del área de estudio, siendo los siguientes los niveles de los contaminantes empleados.

Parámetros	Concentración
DBO	350 mg/L
DQO	565 mg/L
Fósforo	7,4 mg/L
Nitrógeno	64 mg/L
Sólidos en suspensión	350 mg/L

Tabla 1. Concentraciones de los vertidos del área urbana. Fuente: Elaboración propia

En segundo lugar, en función de las propiedades del agua residual de entrada de la EDAR, se eligió las etapas y tratamiento del proceso de depuración. En este sentido, la EDAR constará de un tratamiento primario, un tratamiento secundario y un tratamiento terciario o avanzado de manera que se cumplan con los límites establecidos por la Directiva 91/271/CEE. A continuación, se muestra un resumen de los valores establecidos por dicha norma.

Zona de Vertido	Tratamiento Necesario	Parámetro	[mg/l]	[% reducción]
Normal	Secundario	DBO	25	70-90
		DQO	125	75
		SS	35	90
SENSIBLE	Eliminación de nutrientes	P	1-2	80
		N	10-15	70-80

Tabla 2. Concentración de los contaminantes a la salida de la EDAR. Fuente: [CLED18]

Tras analizar, los niveles máximos permitidos por la normativa, se procedió al dimensionamiento de cada una de las etapas del proceso de depuración. En este contexto, se comenzó realizando los cálculos correspondientes a las líneas de aguas y seguidamente los referentes a las líneas de fangos. Como se comentó previamente, las líneas de aguas constarán de una tratamiento primario, secundario y terciario que permitirán reducir los niveles de los contaminantes del agua. Por otro lado, las líneas de fangos permitirán tratar los lodos generados en las líneas de aguas para su posterior reutilización y un mejor procesado. Las líneas de fangos estarán formadas por tres etapas: espesado, estabilización y deshidratación.

Además, para realizar este dimensionamiento se empleó la metodología de: “*Proyectos de plantas de tratamientos de aguas*” [ISLA 05]. Se establecieron los parámetros de entrada de cada uno de los procesos (i.e. caudal y contaminantes) obteniendo a través del Excel, los parámetros de salida del agua.

En cuarto lugar, se realizó un estudio medioambiental como consecuencia de la construcción y explotación de la EDAR. Se propondrá una serie de medidas preventivas y correctivas para reducir al mínimo el impacto ambiental debido a las acciones llevadas a cabo durante el proyecto.

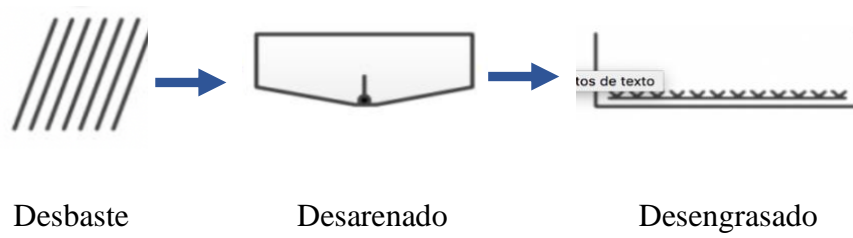
Seguidamente, se lleva a cabo un análisis de la viabilidad económica de la EDAR acorde a un presupuesto inicial, subvención dada y su integración en el ciclo del agua de consumo humano. Tras una serie de cálculos, se analizará cómo de viable es el proyecto y cuáles son aquellos contaminantes que mayor beneficio aportan tras ser eliminados.

Por último, se incluye un pliego de condiciones del proyecto junto con un presupuesto parcial y general tanto de los equipos necesarios para poner en marcha la como la ejecución de la mano de obra.

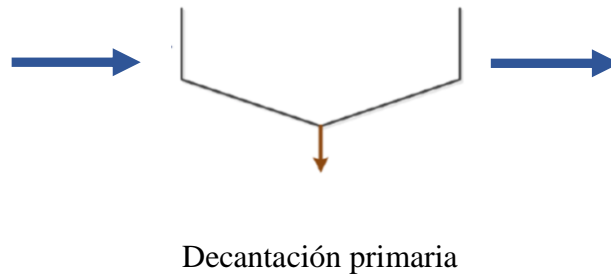
III. Solución adoptada

- LINEAS DE AGUAS

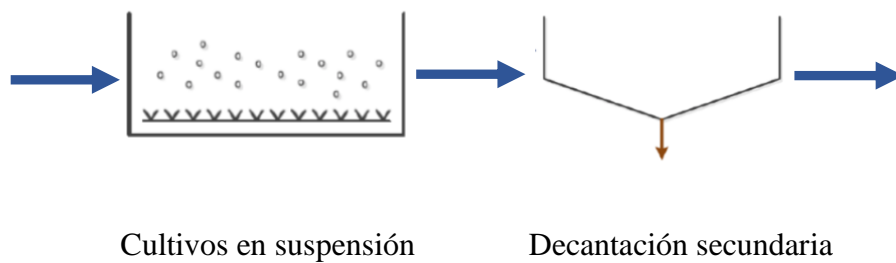
Pretratamiento



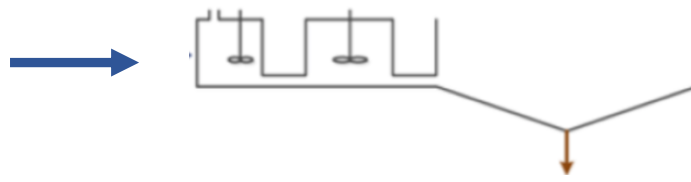
Tratamiento primario



Tratamiento secundario

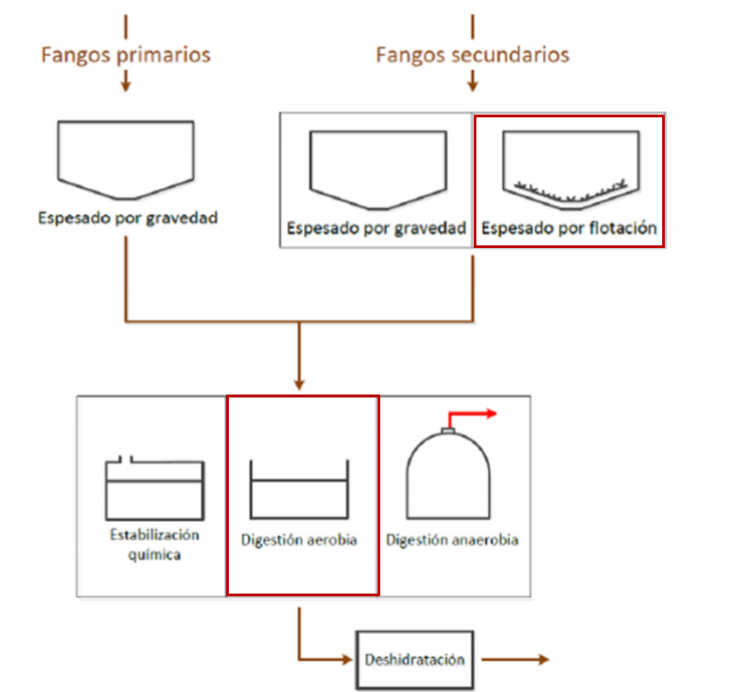


Tratamiento terciario o avanzado



Cloruro férrico (FeCl_3)

- LINEAS DE FANGOS



IV. Bibliografía

- [CLED18] María del Mar Cledera Castro. Apuntes de Ingeniería y desarrollo sostenible, Tecnología Medioambiental, Contaminación agua. Universidad Pontificia de Comillas. I.C.A.I. Madrid 2018.
- [ISLA 05] Ricardo Isla de Juana. “Proyectos de plantas de tratamiento de aguas”. 2005.
- [DELA19] Álvaro de la Torre, “Diseño de una EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) para la industria textil”. Proyecto de fin de grado, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Junio 2019.

V. Resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos tanto para la EDAR inicial como para la EDAR modificada. En ellos se puede observar claramente como el nivel de contaminantes para el primer caso incumplía con la normativa, mientras que en el segundo caso de estudio sí se encuentran dentro de los límites establecidos.

Eliminación Contaminantes-EDAR Inicial											
Contaminantes		Pretratamiento								Tratamiento Primario	
		Desbaste de gruesos		Desbaste de finos		Desarenado		Desengrasado		Decantación primaria	
	Entrada	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
DBO	350	2,5	341,25	5	324,19	5	307,98	5	292,58	30	204,81
DQO	565	2,5	550,875	5	523,33125	5	497,16	5	472,31	30	330,61
SS	350	5	332,5	10	299,25	5	284,2875	0	284,2875	50	142
N	64	0	64	0	64	0	64	0	64	10	57,6
P	7,4	0	7,4	0	7,4	0	7,4	0	7,4	10	6,66

Tabla 3. Resumen de la eliminación de los contaminantes en las etapas de la EDAR inicial.

Eliminación Contaminantes-EDAR Inicial							
Tratamiento Secundario						Tratamiento Avanzado	
Tratamiento Biológico Aerobio		Nitrificación - Desnitrificación		Decantación secundaria		Cloruro Férrico	
Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
93	14,34	0	14,34	50	7,17	0	7,17
90	33,06	0	33,06	30	23,14	0	23,14
90	14,21	0	14,21	60	5,69	0	5,69
0	57,6	0	57,6	0	57,6	0	57,60
0	6,66	0	6,66	0	6,66	0	6,66

Eliminación Contaminantes-EDAR Modificada											
Contaminantes	Entrada	Pretratamiento								Tratamiento Primario	
		Desbaste de gruesos		Desbaste de finos		Desarenado		Desengrasado		Decantación primaria	
		Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
DBO	350	2,5	341,25	5	324,19	5	307,98	5	292,58	30	204,81
DQO	565	2,5	550,875	5	523,33125	5	497,16	5	472,31	30	330,61
SS	350	5	332,5	10	299,25	5	284,2875	0	284,2875	50	142
N	64	0	64	0	64	0	64	0	64	10	57,6
P	7,4	0	7,4	0	7,4	0	7,4	0	7,4	10	6,66

Tabla 4. Resumen de la eliminación de los contaminantes en las etapas de la EDAR modificada.

Eliminación Contaminantes-EDAR Modificada							
Tratamiento Secundario						Tratamiento Avanzado	
Tratamiento Biológico Aerobio		Nitrificación - Desnitrificación		Decantación secundaria		Cloruro Férrico	
Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
93	14,34	0	14,34	50	7,17	0	7,17
90	33,06	0	33,06	30	23,14	0	23,14
90	14,21	0	14,21	60	5,69	0	5,69
0	57,6	95	2,88	0	2,88	0	2,88
0	6,66	0	6,66	0	6,66	87	0,87

VI. Conclusiones

Tras lo anteriormente analizado, se llega a la conclusión de que gracias a que la EDAR cumple su función de depuración de aguas residuales al respetar los límites establecidos por la normativa europea y, al contribuir con el buen uso del ciclo integral del agua en Andalucía, se considera un proyecto altamente viable.

DESIGN AND ECONOMIC-SUSTAINABLE ANALYSIS OF AN URBAN WATER TREATMENT PLANT IN ANDALUSIA

Author: Moreno Méndez, Irene

Directors: Morales Polo, Carlos.

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

PROJECT OVERVIEW

I. Introduction

Water is a fundamental resource for human beings and the living beings that inhabit the planet. In recent years, water consumption, both domestic and industrial, has tripled due to world population growth. Therefore, it is estimated that, in the next 10 years, almost 50% of the population will suffer from water stress. It is therefore of utmost importance to make responsible and balanced use of the water resource, while preserving the water quality of the ecosystems.

In this context, wastewater treatment has become one of the most important issues today, as there are more and more pollutants present in the environment and less capacity to remove them. Thanks to practices carried out by the Government, water from industrial and domestic activities is being required to comply with the 91/271/CEE regulations once it has been treated by the treatment plant. In this way, it is possible to regulate the pollutants discharged into the environment and to reduce the environmental impact that these discharges may generate.

In particular, Spain is one of the geographical areas that suffers the greatest water stress due to the low rainfall that is distributed in space and time. Furthermore, as a result of the bad water treatment practices it carries out, Spain is being sanctioned for not complying with the standards of European regulations. Specifically, regions in the south of Spain are committing the most infractions and, therefore, the need to include treatment plants to make good use of the integral water cycle is justified.

With all that has been mentioned, throughout this project a wastewater treatment plant (WWTP) will be designed for urban water in Andalusia. This region is characterized by a dry climate whose environment needs adequate treatment. The origin of the water will be both domestic and industrial, so the water to be treated will have very different characteristics and will require a rigorous design of the necessary treatments.

In order to carry out the process of purification of the waste water, different physical-chemical processes will be carried out to reduce the levels of water pollutants (i.e. BOD, COD, suspended solids, phosphorus and nitrogen) and to comply with the quality

standards established by the regulations.

II. Methodology

The development of the project has been divided into six blocks:

1. Detailed study on the current population and origin of wastewater in the area of influence.
2. Choice of the stages and treatments of the purification process depending on the characteristics of the incoming wastewater.
3. Dimensioning of the treatment processes of the WWTP.
4. Analysis of the environmental impact of the construction and operation of the WWTP.
5. Analysis of the economic viability of the WWTP according to an initial budget, given subsidies and its integration into the water cycle for human consumption.
6. Annexes: specifications and partial and general budget.

Firstly, a study of the population of the treated area was carried out to calculate the total number of people to be supplied by the study WWTP. In addition, a projection of the population in Spain 2018-2033 was made to over-dimension the capacity of the WWTP in view of a possible population growth. On the other hand, to develop this project, data from a WWTP in the area of study was extrapolated, being the following the levels of the pollutants used.

Parameters	Concentration
BOD	350 mg/L
COD	565 mg/L
Phosphorus	7,4 mg/L
Nitrogen	64 mg/L
Suspended solids	350 mg/L

Table 5. Concentrations of discharges from the urban area. Source: Own elaboration

Secondly, depending on the properties of the waste water entering the WWTP, the stages and treatment of the purification process were chosen. In this respect, the WWTP will consist of primary treatment, secondary treatment and tertiary or advanced treatment so as to comply with the limits laid down by Directive 91/271/EEC. Below is a summary of the values established by that standard.

Zona de Vertido	Tratamiento Necesario	Parámetro	[mg/l]	[% reducción]
Normal	Secundario	DBO	25	70-90
		DQO	125	75
		SS	35	90
SENSIBLE	Eliminación de nutrientes	P	1-2	80
		N	10-15	70-80

Table 6. Concentration of pollutants at the outlet of the WWTP. Source: [CLED18]

After analysing the maximum levels permitted by the regulations, the sizing of each of the stages of the purification process was carried out. In this context, the calculations corresponding to the water lines were first made, followed by those referring to the sludge lines. As previously mentioned, the water lines will consist of primary, secondary and tertiary treatment that will reduce the levels of water contaminants. On the other hand, the sludge lines will enable the sludge generated in the water lines to be treated for subsequent reuse and improved processing. The sludge lines will consist of three stages: thickening, stabilization and dewatering.

In addition, the methodology used to carry out this sizing was from the book: "Water Treatment Plant Projects" [ISLA 05]. The input parameters of each one of the processes were established (i.e. flow and contaminants) obtaining through Excel, the output parameters of the water.

Fourthly, an environmental study was carried out as a result of the construction and operation of the WWTP. A series of preventive and corrective measures will be proposed to minimize the environmental impact due to the actions carried out during the project.

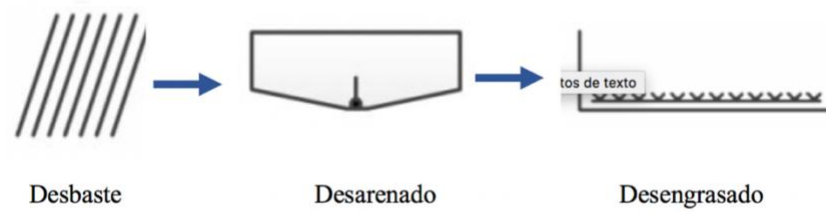
Next, an analysis of the economic viability of the WWTP is carried out according to an initial budget, a given subsidy and its integration into the water cycle for human consumption. After a series of calculations, an analysis will be made of how viable the project is and which are the pollutants that provide the greatest benefit after being eliminated.

Finally, a specification of the project is included along with a partial and general budget of both the equipment needed to start the project and the execution of the labor.

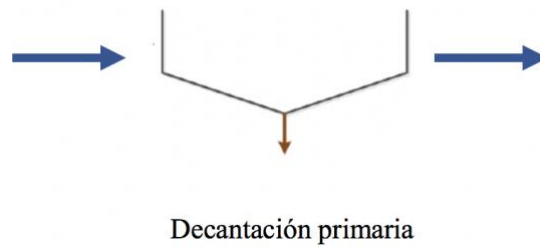
III. Adopted solution

- WATER LINES

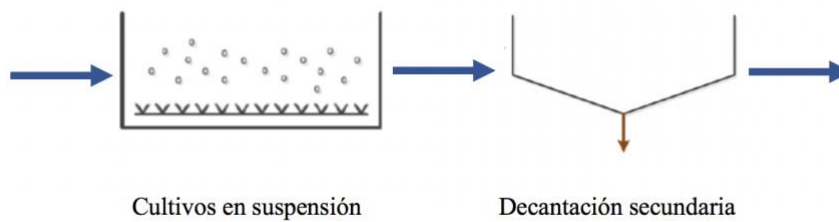
Pretreatment



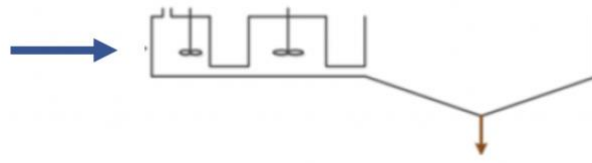
Primary treatment



Secondary treatment

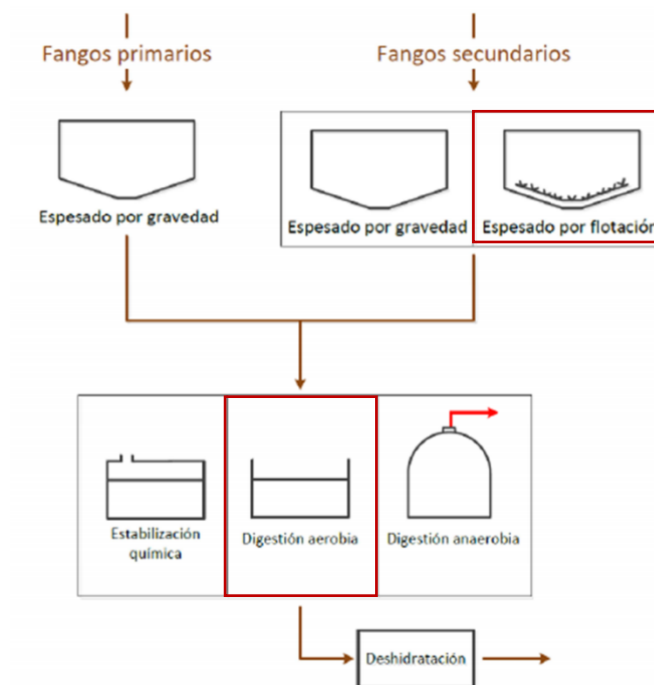


Tertiary treatment



Cloruro férrico (FeCl_3)

- SLUDGE LINE



IV. Bibliography

- [CLED18] María del Mar Cledera Castro. Apuntes de Ingeniería y desarrollo sostenible, Tecnología Medioambiental, Contaminación agua. Universidad Pontificia de Comillas. I.C.A.I. Madrid 2018.
- [ISLA 05] Ricardo Isla de Juana. “Proyectos de plantas de tratamiento de aguas”. 2005.
- [DELA19] Álvaro de la Torre, “Diseño de una EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) para la industria textil”. Proyecto de fin de grado, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Junio 2019.

V. Results

The results obtained for both the initial and the modified WWTP are shown below. In them it can be clearly seen how the level of contaminants for the first case did not comply with the regulations, while in the second case of study they are within the established limits.

Eliminación Contaminantes-EDAR Inicial											
Contaminantes		Pretratamiento								Tratamiento Primario	
		Desbaste de gruesos		Desbaste de finos		Desarenado		Desengrasado		Decantación primaria	
	Entrada	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
DBO	350	2,5	341,25	5	324,19	5	307,98	5	292,58	30	204,81
DQO	565	2,5	550,875	5	523,33125	5	497,16	5	472,31	30	330,61
SS	350	5	332,5	10	299,25	5	284,2875	0	284,2875	50	142
N	64	0	64	0	64	0	64	0	64	10	57,6
P	7,4	0	7,4	0	7,4	0	7,4	0	7,4	10	6,66

Table 7. Summary of the elimination of the contaminants in the stages of the initial EDAR.

Eliminación Contaminantes-EDAR Inicial							
Tratamiento Secundario						Tratamiento Avanzado	
Tratamiento Biológico Aerobio		Nitrificación - Desnitrificación		Decantación secundaria		Cloruro Férrico	
Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
93	14,34	0	14,34	50	7,17	0	7,17
90	33,06	0	33,06	30	23,14	0	23,14
90	14,21	0	14,21	60	5,69	0	5,69
0	57,6	0	57,6	0	57,6	0	57,60
0	6,66	0	6,66	0	6,66	0	6,66

Eliminación Contaminantes-EDAR Modificada											
Contaminantes	Entrada	Pretratamiento								Tratamiento Primario	
		Desbaste de gruesos		Desbaste de finos		Desarenado		Desengrasado		Decantación primaria	
		Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
DBO	350	2,5	341,25	5	324,19	5	307,98	5	292,58	30	204,81
DQO	565	2,5	550,875	5	523,33125	5	497,16	5	472,31	30	330,61
SS	350	5	332,5	10	299,25	5	284,2875	0	284,2875	50	142
N	64	0	64	0	64	0	64	0	64	10	57,6
P	7,4	0	7,4	0	7,4	0	7,4	0	7,4	10	6,66

Table 8. Summary of the elimination of the contaminants in the stages of the modified EDAR.

Eliminación Contaminantes-EDAR Modificada							
Tratamiento Secundario						Tratamiento Avanzado	
Tratamiento Biológico Aerobio		Nitrificación - Desnitrificación		Decantación secundaria		Cloruro Férrico	
Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
93	14,34	0	14,34	50	7,17	0	7,17
90	33,06	0	33,06	30	23,14	0	23,14
90	14,21	0	14,21	60	5,69	0	5,69
0	57,6	95	2,88	0	2,88	0	2,88
0	6,66	0	6,66	0	6,66	87	0,87

VI. Conclusions

After the previously analysed, it is concluded that thanks to the fact that the EDAR fulfils its function of purifying waste water by respecting the limits established by European regulations and by contributing to the good use of the integral water cycle in Andalusia, it is considered a highly viable project.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. MEMORIA	7
1.1. Introducción.....	8
1.2. Objetivo del Proyecto.	9
1.3. Estudios previos.	10
1.3.1. Estudio de la población del área objeto de análisis.....	10
1.3.2. Estudio de las normativas que afectan al proyecto.....	12
1.3.3. Características del medio receptor.	13
1.3.4. Estudio de la situación del tratamiento de aguas en Andalucía.....	14
1.4. Bases de partida.	16
1.4.1. Características del agua de entrada.....	16
1.4.2. Características del agua de salida.	17
1.4.3. Cálculos de partida.....	17
1.5. Procesos de depuración.	18
1.5.1. Línea de aguas.....	20
1.5.2. Línea de fangos.	34
1.6. Descripción de la solución adoptada.	37
1.6.1. Líneas de aguas.	37
1.6.2. Líneas de fangos.....	45
1.7. Contribución a los objetivos de desarrollo sostenible.....	47
1.8. Bibliografía.....	52
CAPÍTULO 2. CÁLCULOS.....	53
2.1. Introducción.....	54
2.2. Líneas de agua.....	54
2.2.1. Pretratamiento.....	55
2.2.2. Tratamiento primario.....	59
2.2.3. Tratamiento secundario.....	59
2.2.4. Tratamiento terciario o avanzado.	68
2.3. Líneas de fangos.	69
2.3.1. Espesamiento.....	69
2.3.2. Estabilización.....	71

2.3.3. Deshidratación.....	73
2.4. Contaminantes.....	74
2.5. Bibliografía.....	79
<i>CAPÍTULO 3. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL.....</i>	<i>80</i>
3.1. Introducción.....	81
3.2. Valoración de los impactos.	85
3.3. Medidas preventivas y correctoras.....	87
3.4. Bibliografía.....	88
<i>CAPÍTULO 4. VIABILIDAD ECONÓMICA</i>	<i>89</i>
4.1. Introducción.....	90
4.2. Metodología.....	90
4.3. Datos de partida.....	91
4.4. Resultados.....	92
4.5. Conclusiones.	93
4.6. Bibliografía.....	93
<i>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....</i>	<i>94</i>
5.1. Conclusiones.	95
<i>CAPÍTULO 6. ANEXOS.....</i>	<i>97</i>
<i>PLIEGO DE CONDICIONES.....</i>	<i>98</i>
<i>PRESUPUESTO</i>	<i>112</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la población de la ciudad de análisis del 1996-2019. Fuente: [INE20]	11
Figura 2. Evolución de la población de La Rinconada y Alcalá del Río de 1996-2019. Fuente: [INE20]..	11
Figura 3. Proyección de la población en España 2018-2033. Fuente: [INE20]	12
Figura 4. Esquema genérico de una EDAR. Fuente: [CLED18]	20
Figura 5. Esquema del pretratamiento de una EDAR. Fuente [CLED18].....	21
Figura 6. Esquemas de los dos tipos de tratamientos primarios en una EDAR. Fuente:[CLED18]	24
Figura 7. Decantador primario circular. Fuente: [CLED18].....	25
Figura 8. Decantador primario rectangular. Fuente:[CLED18]	26
Figura 9. Decantador primario Lamelar. Fuente: [CLED18].....	26
Figura 10. Reactor biológico de fangos activos Fuente: [CLED18]	28
Figura 11. Reactor biológico de lechos bacterianos. Fuente: [CLED18].....	28
Figura 12. Reactor biológico de lechos bacterianos de biodiscos. Fuente: [CLED18]	29
Figura 13. Proceso de crecimiento de los microorganismos. Fuente: [CLED18]	30
Figura 14. Proceso de reacción anaerobia. Fuente: [CLED18]	31
Figura 15. Reactor de mezcla completa (RMC) sin recirculación.	32
Figura 16. Curva Imhoff. Fuente: [CLED18].....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos de los vertidos procedentes de EDAR mediante tratamiento secundario. Fuente: Elaboración propia	13
Tabla 2. Requisitos de los vertidos procedentes de EDAR mediante tratamiento primario. Fuente: Elaboración propia	13
Tabla 3. Requisitos para los vertidos procedentes de EDAR a zonas sensibles. Fuente: Elaboración propia	13
Tabla 4. Parámetros y concentración del agua de salida de la EDAR. Fuente: Elaboración propia	14
Tabla 5. Parámetros de entrada. Fuente: Elaboración propia.....	17
Tabla 6. Parámetros de salida. Fuente: Elaboración propia.....	17
Tabla 7. Calidad exigida en los efluentes de la EDAR de acuerdo con la Directiva 91/271/CEE. Fuente: [CLED18]	18
Tabla 8. Métodos de medida de referencia de los parámetros a tratar. Fuente: [MAGR91].....	19
Tabla 9. Relación del tiempo de retención de la materia orgánica con su porcentaje de reducción.....	36
Tabla 10. Resumen de los principales ODS , metas y prácticas desarrolladas con el diseño de la EDAR. Fuente: Elaboración propi.	51
Tabla 11. Resumen de la eliminación de los contaminantes en las etapas de la EDAR inicial.	75
Tabla 12. Continuación del resumen de la eliminación de los contaminantes en las etapas de la EDAR inicial.	76
Tabla 13. Resumen de la eliminación de los contaminantes en las etapas de la EDAR modificada.	77
Tabla 14. Continuación del resumen de la eliminación de los contaminantes en las etapas de la EDAR modificada.	78
Tabla 15. Precios sombras. Fuente: [HERN09]	91
Tabla 16. Coste medio de los inputs. Fuente: [HMS10]	91
Tabla 17. Outputs no deseables. Fuente: Elaboración propia.....	92
Tabla 18. Cantidad de contaminantes eliminados en el proceso de depuración. Fuente: Elaboración propia	92
Tabla 19. Beneficio ambiental. Fuente: Elaboración propia.	92
Tabla 20. Beneficio neto obtenido. Fuente: Elaboración propia.	93

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- **EDAR:** Estación Depuradora de Aguas Residuales
- **INE:** Instituto Nacional de Estadística
- **CEE:** Comunidad Económica Europea
- **SS:** Sólidos en suspensión
- **DBO:** Demanda Biológica de Oxígeno
- **DQO:** Demanda Química de Oxígeno
- **MAGRAMA:** Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente
- **CFD:** Coagulación, Floculación y Decantación
- **RMC:** Reactor de Mezcla Completa
- **ODS:** Objetivos de Desarrollo Sostenible
- **DMA:** Directiva de Marco del Agua
- **ACB:** Análisis Coste-Beneficio

CAPÍTULO 1. MEMORIA

1.1. Introducción.

En el mundo se puede encontrar agua en muchos lugares, desde ríos y lagos hasta plantas y animales pasando por el propio organismo de los humanos. No obstante, pese a la gran cantidad de agua que dispone nuestro planeta solo un 1% de esta podemos usarla para consumo humano. En los últimos 50 años el consumo de agua se ha triplicado debido al rápido crecimiento de la población mundial. Es por ello por lo que se prevé que un 47% de esta población vivirá en 2030 en zonas de estrés hídrico.

Tras esta afirmación, se hace imprescindible hacer un uso adecuado del agua, así como de disponer de agua limpia, libre de contaminantes, para su devolución al medioambiente y su posible reutilización en zonas urbanas y procesos industriales.

Centrándonos en España, es un país que sufre estrés hídrico debido a que hay pocas precipitaciones y, las que hay, están mal repartidas en espacio y tiempo. España necesita agua para la población, industria agraria, turismo y medioambiente, entre otros. Hoy en día, se consume una media por persona de 144 litros en España en comparación con otros países de la Unión Europea que se consume 128 litros por persona. Por todo lo comentado, es muy importante la depuración y reutilización del recurso del agua, optimizar su consumo dada la escasez y reparto desigual de la misma tanto en el territorio como en el tiempo y además de que tenemos un medioambiente que cuidar.

Debido a la mala reutilización del agua, España está siendo sancionada ya que no se cumplen los estándares de depuración europeos. Según noticias recientes, España se está gastando 22 millones de euros en estas infracciones. Algunas de las regiones que están incumpliendo con estos estándares son: Huelva, Málaga, Cádiz, Sevilla, Gijón Este y Santa Cruz de Tenerife. En este proyecto se analizará la situación concreta de Andalucía ya que es una región con un clima seco cuyo medio ambiente necesita una depuración adecuada, así como que se haga un buen uso del ciclo integral del agua y de su reutilización.

1.2. Objetivo del Proyecto.

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y análisis económico-sostenible la EDAR de S.J con 340.000 habitantes equivalentes, teniendo en cuenta el marco legal, el impacto económico y ambiental y las normativas de seguridad, suministro y salud.

Para ello se llevará acabo una serie de tareas con el fin de alcanzar dicho objetivo:

- Análisis genérico de la situación actual en España y más concretamente Andalucía

- Estudio detallado sobre la población actual y procedencia de aguas residuales de la ciudad objeto de estudio.

- Diseño y ajuste de las etapas del sistema de depuración de forma que consigamos mejores resultados del agua tratada en relación con el cumplimiento de las normas y legislación de aguas residuales.

- Estudio sobre el impacto medioambiental como consecuencia de la construcción de la EDAR y su posterior explotación.

- Estudio de viabilidad económica de la planta según un presupuesto inicial, una subvención dada y su integración en el ciclo del agua de consumo humano.

Debido al contexto que rodea a Andalucía se hace de vital importancia la construcción de estaciones depuradoras de agua para reducir los vertidos al medioambiente, promover la posterior reutilización del agua una vez depurada, conseguir obtener unas propiedades finales del agua que permita reducir las sanciones a las que España está siendo sometida y fomentar que se haga un buen uso del recurso natural del agua.

1.3. Estudios previos.

Desde hace casi 30 años España se encuentra en el punto de mira en el saneamiento del agua junto con otros países de Europa como Italia, Bélgica o Luxemburgo. España se ha visto ya tres veces sancionada por el incumplimiento de la Directiva 91/271/CEE sobre aguas residuales. Es debido a la falta de coordinación y dejadez política que el tratamiento de aguas residuales se ha convertido en un problema alarmante y crónico en Andalucía debido a los múltiples municipios que incumplen con dicha normativa europea.

Al inicio de la década de los años 90 Andalucía ya comenzó una importante transformación en su política de saneamiento de aguas, esfuerzo que no se vio del todo consolidado hasta 2005. No obstante, la consolidación de una política de agua sostenible para la depuración de aguas residuales no es el único problema al que se tiene que hacer frente.

Acciones como expansión de la agricultura intensiva, privatización de la gestión del agua urbana en ciertas zonas de Andalucía como Cádiz y Jerez de la Frontera, aumento de la esquilmación de acuíferos, crecimiento de la minería, trasvases de agua como la del Guadiana al Guadalquivir o desecaciones de ríos, son ejemplos del uso inadecuado y abuso que se hace de los recursos hídricos en Andalucía. De acuerdo con el “Mapa colaborativo de los conflictos del agua en Andalucía”, son 41 conflictos a los que actualmente Andalucía hace frente [OTER19] .

1.3.1. Estudio de la población del área objeto de análisis.

La ciudad de análisis cuenta con una población actual de 688.711 habitantes [INE20]. Al igual que en el resto de España, en los últimos años el crecimiento de la población se ha visto frenada debido a diferentes factores sociodemográficos, entre ellos el fuerte descenso de la natalidad, así como la crisis económica mundial y la involución del saldo migratorio. Consecuentemente, la población de la ciudad servida ha disminuido tal como se puede apreciar en **Error! Reference source not found.** en la última década.

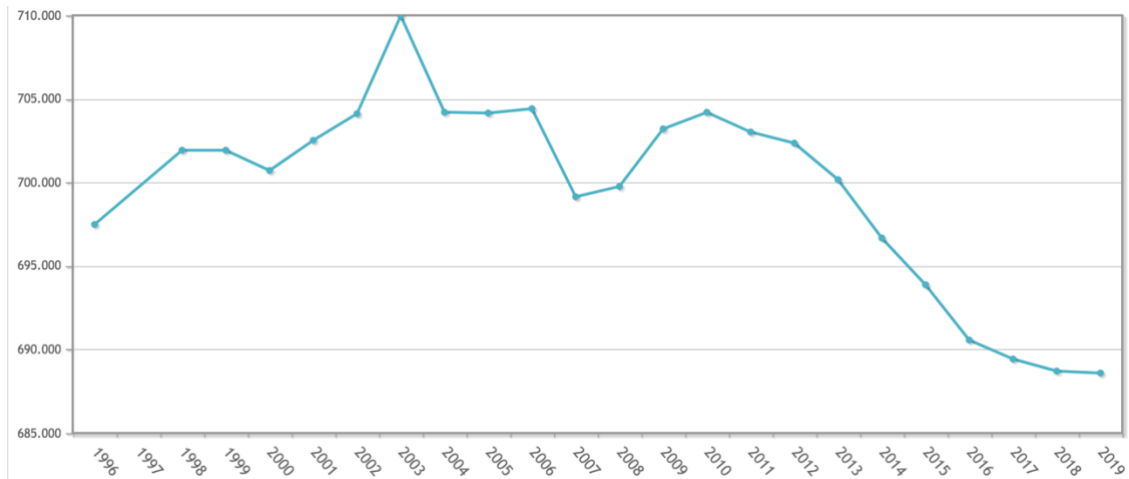


Figura 1. Evolución de la población de la ciudad de análisis del 1996-2019. Fuente: [INE20]

En concreto, la EDAR S.J trata la zona norte de la ciudad de estudio junto con otros municipios del área de estudio. A diferencia de la ciudad, la población de los municipios a crecido ligeramente en los últimos años. En la se puede observar la evolución de dos de los municipios que forman parte del área servida terminaron en 2019 con 38.628 habitantes y 12.030 habitantes respectivamente [INE20]. En este contexto, la población total del área tratada es de 163.000 habitantes [INE20].

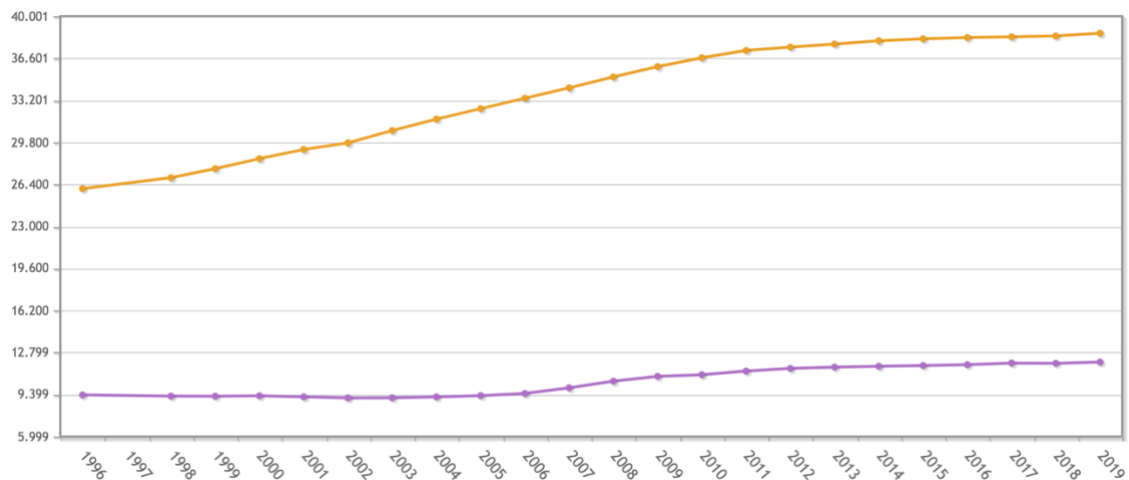


Figura 2. Evolución de la población de La Rinconada y Alcalá del Río de 1996-2019. Fuente: [INE20]

Debido a que no existen estudios precisos acerca de la evolución futura de la población de estudio, se ha empleado datos del INE para el pronóstico de la evolución de la población española. Se dice que España ganará casi 2,4 millones de habitantes en los próximos 15 años (ver Figura 3. Proyección de la población en España 2018-2033) si se mantiene las tendencias actuales en relación con migración, fecundidad y mortalidad. En el caso particular de Andalucía se prevé un crecimiento relativo del 3% siendo la

población en 2033 de 8.671.753 habitantes en comparativa con la de 2019 de 8.409.738 habitantes. Esta estimación de la población se tendrá en cuenta en el diseño de la estación depuradora de aguas residuales sobredimensionando su capacidad en un 3%.

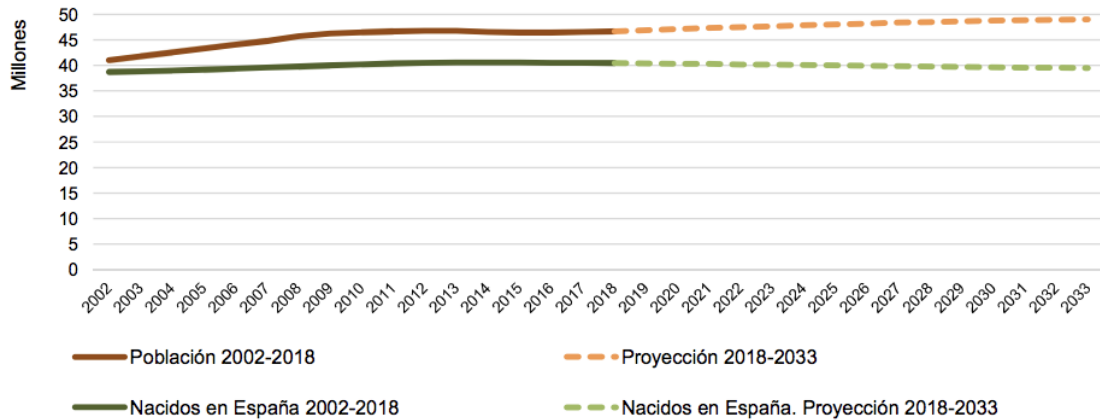


Figura 3. Proyección de la población en España 2018-2033. Fuente: [INE20]

1.3.2. Estudio de las normativas que afectan al proyecto.

La Comisión Europea es la institución que define el conjunto de normativas que España ha de cumplir en el tratamiento de las aguas residuales urbanas. El diseño de una EDAR se ve afectada por las siguientes normativas:

- Directiva 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

De acuerdo con la normativa 91/271/CEE, los requisitos que ha de alcanzar los vertidos procedentes de estaciones depuradoras de aguas son:

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción
DBO	25 mg/L O ₂	70-90%

DQO	125 mg/L O ₂	75%
Total sólidos en suspensión	35 mg/L	90%

Tabla 1. Requisitos de los vertidos procedentes de EDAR mediante tratamiento secundario. Fuente: Elaboración propia

Parámetros	Porcentaje mínimo de reducción
DBO	20%
Total sólidos en suspensión	50%

Tabla 2. Requisitos de los vertidos procedentes de EDAR mediante tratamiento primario. Fuente: Elaboración propia

En el caso concreto de vertidos a zonas sensibles, se tendrán que cumplir los requisitos de la Tabla 3. Requisitos para los vertidos procedentes de EDAR a zonas sensibles Se considerará zona sensible aquella que, de acuerdo con el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, sea necesario la eliminación de fósforo, nitrógeno, produzca agua potable y pudiese contener nitrato superior a 50mg/L y masas de agua que requiriesen un tratamiento adicional al secundario.

Parámetros	Concentración		Porcentaje mínimo de reducción
	10.000 a 100.000 h-e	>100.000 h-e	
Fósforo total	2 mg/L P	1 mg/L P	80%
Nitrógeno total	15 mg/L N	10 mg/L N	70-80%

Tabla 3. Requisitos para los vertidos procedentes de EDAR a zonas sensibles. Fuente: Elaboración propia

Por último, de acuerdo con el Anexo I.A del Real Decreto 1620/2007, se establece “Los criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos” diferenciado cinco tipos de calidad. Además, según el Anexo I.B del Real Decreto 1620/2007 se indica “La frecuencia mínima de muestreo y análisis de cada parámetro” que se tendrá que realizar en los puntos de entrega, así como a la salida de la estación depuradora de agua residual.

1.3.3. Características del medio receptor.

La EDAR S.J, con 340.000 h-e, se ubica en un entorno natural cerca del mar considerado como zona sensible. Una vez depuradas las aguas en la planta depuradora son vertidas a uno de los afluentes del río Guadalquivir. Consecuentemente, de acuerdo con las

normativas mencionadas en el apartado 3.2 será necesario el control de los parámetros del fósforo y nitrógeno. Al ser una estación depuradora con más de 100.00 h-e los niveles finales de P y N han de ser inferiores a 1mg/L y 10 mg/L respectivamente.

Además, el agua tratada en la EDAR S.J es utilizada por un complejo minero-metalúrgico, para agua de procesos que incluyen agua de refrigeración y calentamiento. Por lo tanto, se clasifica el agua con una calidad 3.1 “Agua de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria y otros usos industriales” de acuerdo con el Anexo I.A del Real Decreto 1620/2007.

A continuación, se muestra en la Tabla 4. Parámetros y concentración del agua de salida de la EDAR un resumen de las características que ha de cumplir el agua de salida de la EDAR.

Parámetros	Concentración
DBO	< 25mg/L O ₂
DQO	< 125 mg/L O ₂
Fósforo	< 1mg/L
Nitrógeno	< 10 mg/L
Sólidos en suspensión	< 35 mg/L
Turbidez	<15 UNT

Tabla 4. Parámetros y concentración del agua de salida de la EDAR. Fuente: Elaboración propia

1.3.4. Estudio de la situación del tratamiento de aguas en Andalucía.

El área de estudio cuenta con otros servicios de depuración agua tales como la EDAR R.S, C.S Y T.S. Sus características mas importantes se muestran a continuación.

EDAR R.S

- Zona tratada: Este de la ciudad de análisis
- Caudal: 90.000 m³/ día
- Población de diseño: 350.000 h-e
- Tecnología: tratamiento biológico de fangos activos

EDAR C.S

- Zona tratada: Sur de la ciudad de análisis
- Caudal: 255.000 m³/ día
- Población de diseño: 950.000 h-e
- Tecnología: tratamiento biológico de fangos activos

EDAR T.S

- Zona tratada: Oeste de la ciudad de análisis.
- Caudal: 50.000 m³/ día
- Población de diseño: 200.000 h-e
- Tecnología: tratamiento biológico de fangos activos

Una vez tratadas las masas de aguas de todas se vierten también a una zona sensible. Es por ello, que al igual que con la EDAR de S.J, requerirán de tratamientos rigurosos para eliminar el fósforo y nitrógeno de sus vertidos ya que este medio receptor está protegido según los Planes Hidrológicos de la Orden 2656/2008 de 10 de septiembre. Por otro lado, el origen de las aguas residuales de las estaciones nombradas es principalmente urbano, pero también provienen de usos industriales, ganaderos y desaladoras.

Cabe resaltar que, gracias a la ubicación geográfica de estudio, las masas de agua depuradas sirven de gran ayuda en relación con la penetración del agua salina en los ríos del área en cuestión. De esta manera, se evita la salinización de los terrenos y se hace posible el uso del agua del río para regadío.

Actualmente, solo la EDAR de R.S cumple con la normativa europea conforme a estudios realizados por Ecologistas en Acción. Es por esto, que en Andalucía se están llevando a cabo grandes inversiones para lograr corregir los graves problemas de depuración de aguas y conseguir cumplir con los niveles exigidos por la Unión Europea.

1.4. Bases de partida.

Teniendo en cuenta el estudio anterior, en este apartado se definirán las características del agua a tratar, así como, las características del agua de salida. Una vez fijados ambos parámetros se procede a explicar los procesos de tratamiento que puede tener una planta de depuración, la elección de estos en función de las características de entrada del agua y, por último, el dimensionamiento de cada etapa de depuración.

Cabe mencionar, que primero se hará el cálculo de las etapas de la EDAR S.J inicial y posteriormente, en vista si cumple o no con la normativa, se mejorará dicho diseño modificando sus etapas de depuración de modo que el agua de salida cumpla con los niveles de la normativa.

1.4.1. Características del agua de entrada.

Como se ha mencionado anteriormente, las aguas que llegan a la EDAR de S.J son de origen principalmente urbano, aunque también procede de usos industriales. En este sentido, la zona de estudio esta muy industrializada debido tanto al volumen de las industrias como por su número. Entre los diferentes tipos de industrias que hay en esta área destacan las industrias pesadas y contaminantes, textiles y automovilísticas.

Es por ello, que dichas aguas tendrán una composición muy heterogénea con elevados contaminantes y se clasificarán como *aguas domésticas e industriales* según la directiva 91/271 CEE. Además, hay que añadir la posible procedencia de agua por infiltración y pluvial. En la Tabla 5. Parámetros de entrada se muestran los parámetros de entrada del agua de la planta depuradora.

Parámetros	Concentración
Población	350.000 h-e
Caudal de diseño	55.000 m ³ /día
Caudal máximo	3.600 m ³ /h
Dotación	157,14 L/h-e
DBO₅	350 mg/L

DQO	565 mg/L
Fósforo	7,4 mg/L
Nitrógeno	64 mg/L
Sólidos en suspensión	350 mg/L

Tabla 5. Parámetros de entrada. Fuente: Elaboración propia

1.4.2. Características del agua de salida.

Con objeto de cumplir con la normativa europea vigente y teniendo cuenta que las aguas tratadas se verterán a una zona sensible, las características del agua tratada de la EDAR ha de tener los niveles de concentración que se muestran en la Tabla 6. Parámetros de salida.

Parámetros	Concentración
Caudal de agua tratada	46.000 m ³ /día
DBO₅	5 mg/L O ₂
DQO	125 mg/L O ₂
Fósforo	1mg/L
Nitrógeno	10 mg/L
Sólidos en suspensión	10 mg/L
Turbidez	15 UNT

Tabla 6. Parámetros de salida. Fuente: Elaboración propia

1.4.3. Cálculos de partida.

Tras haber establecido las características de entrada y salida del agua, se procede a calcular la cantidad de residuos que entran en la estación depuradora al día, así como, el rendimiento de eliminación de residuos necesario para cumplir con la normativa europea vigente.

Parámetros	Concentración
Caudal diario	55.000,00 m ³ /día
Caudal de diseño	2.291,67 m ³ /h

Caudal máximo	3.600,00 m ³ /h
Cantidad de SS que entran	19.250,00 kg/día
Cantidad de DBO que entran	18.150,00 kg/día
SS por habitante y día	55,00 gr/h-e.día
DBO por habitante y día	51,86 gr/h-e.día
Rendimiento de eliminación de SS	97%
Rendimiento de eliminación de DBO	98%

1.5. Procesos de depuración.

Tras haber analizado las características del agua residual procedente de la zona urbana de estudio, es imperativo el diseño de una planta depuradora de agua. Es por ello, que a lo largo de este apartado va a explicar el conjunto de tratamientos y procesos que tienen lugar en una EDAR para cumplir con los niveles de vertido establecidos por la normativa europea.

Como se mencionó en el apartado “1.3.2 Estudio de las normativas que afectan al proyecto”, el caudal de salida de la EDAR ha de cumplir con unos niveles de calidad para eliminar o minimizar el impacto ambiental que estos vertidos puedan generar en los cauces y ambientes receptores. Consecuentemente, cada tratamiento de la EDAR ha de tener unos porcentajes mínimos de reducción de contaminantes, así como una concentración final máxima de los parámetros para poder obtener un agua con la calidad exigida. En la Tabla 7 se muestra un resumen de los porcentajes mínimos de reducción de cada contaminante y sus valores finales máximos a la salida de la EDAR.

Zona de Vertido	Tratamiento Necesario	Parámetro	[mg/l]	[% reducción]
Normal	Secundario	DBO	25	70-90
		DQO	125	75
		SS	35	90
SENSIBLE	Eliminación de nutrientes	P	1-2	80
		N	10-15	70-80

Tabla 7. Calidad exigida en los efluentes de la EDAR de acuerdo con la Directiva 91/271/CEE. Fuente: [CLED18]

Paralelamente, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente (MAGRAMA), determina el método de medida de referencia de cada uno de los parámetros a tratar por la EDAR (i.e. DBO, DQO, Sólidos en Suspensión, Fósforo y Nitrógeno) [MAGR91]. A continuación, en la Tabla 8 se resumen los contaminantes a tratar junto con sus respectivos métodos.

Parámetros	Método de medida de referencia
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅ a 20 °C)	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Determinación del oxígeno disuelto antes y después de 5 días de incubación a 20 °C ± 1 °C, en completa oscuridad. Aplicación de un inhibidor de la nitrificación.
Demanda Química de oxígeno (DQO)	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Dicromato potásico.
Total de sólidos en suspensión	<ul style="list-style-type: none"> Filtración de una muestra representativa a través de una membrana de filtración de 0,45 micras. Secado a 105 °C y pesaje. Centrifugación de una muestra representativa (durante 5 minutos como mínimo, con una aceleración media de 2800 a 3000 g) secado a 105 °C y pesaje.
Fosforo total	Espectrofotometría de absorción molecular
Nitrógeno total	Espectrofotometría de absorción molecular

Tabla 8. Métodos de medida de referencia de los parámetros a tratar. Fuente: [MAGR91]

Por lo tanto, para tratar los contaminantes previamente mencionados, una EDAR debe estar constituida por líneas de aguas y líneas de fangos y, en función de los tratamientos empleados en la depuración, también puede incluir líneas de gas.

Por un lado, la línea de agua es la línea primordial de la red de depuración. Está formada por el conjunto de tratamientos que tratan el agua residual para conseguir una caudal de salida que cumpla con los requisitos de calidad, es decir, ejecuta la acción de depuración del agua. A continuación, se enuncian las principales etapas principales que la componen:

- Pretratamiento.
- Tratamiento primario.

- Tratamiento secundario.
- Tratamiento terciario o avanzado.

Por otro lado, las líneas de fangos recogen los subproductos generados en las líneas de agua, particularmente del decantador primario y del decantador secundario. De esta manera, se consigue tratar los lodos generados para permitir un mejor procesado. Las líneas de fangos están formadas principalmente por tres fases:

- Espesamiento.
- Digestión o estabilización.
- Deshidratación.

De esta manera, en la Figura 4 se muestra un esquema general de una estación depuradora de agua residuales.

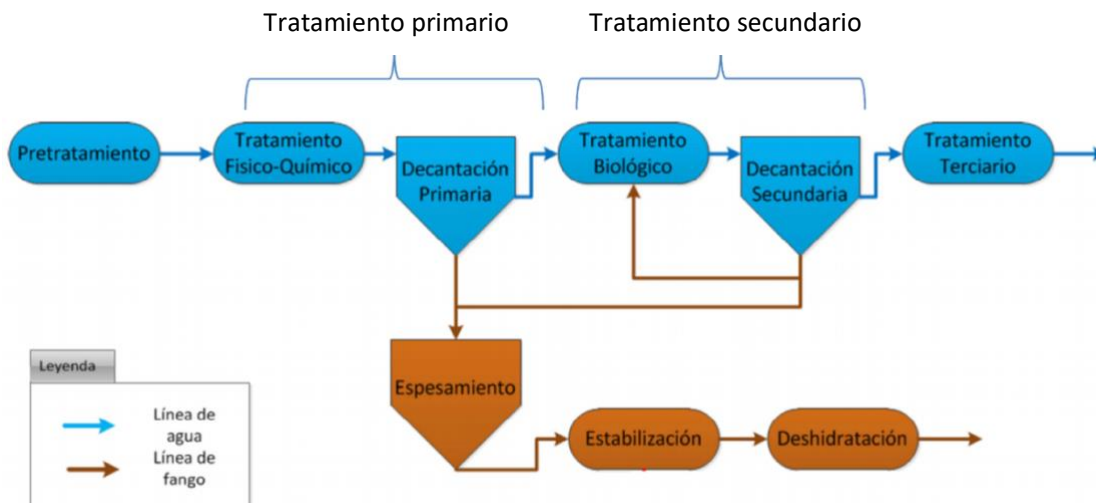


Figura 4. Esquema genérico de una EDAR. Fuente: [CLED18]

1.5.1. Línea de aguas.

A continuación, se muestra los diferentes tratamientos de los que está formado la línea de aguas:

- **Pretratamiento:** es la primera etapa dentro del proceso de depuración del agua residual. En este sentido, el pretratamiento pretende reducir los sólidos en suspensión, arenas, aceites y grasas presentes en el agua para así preparar el vertido

para los posteriores tratamientos. De esta manera se consigue evitar posibles averías o fallos en las máquinas y equipos encargados de los siguientes tratamientos. En particular, con el pretratamiento se consigue reducir hasta en un 30% los sólidos en suspensión y la DBO.

- Tratamiento primario: permite eliminar los sólidos en suspensión que no han podido ser eliminados durante el pretratamiento. Este tratamiento puede ser físico o fisicoquímico en función de las características del vertido a tratar. El tratamiento primario junto con el pretratamiento consigue eliminar hasta un 50% los sólidos en suspensión y la DBO.
- Tratamiento secundario: es el tratamiento principal y más importante en una EDAR. Tiene como fin eliminar los restos de sólidos en suspensión y DBO tras haber sido tratados en el pretratamiento y tratamiento primario. En particular, el tratamiento secundario logra reducir entre un 80-95% los sólidos en suspensión y DBO para así alcanzar los niveles exigidos. En el caso de que no se consiguiera alcanzar los niveles requeridos por la normativa, se llevaría a cabo un tratamiento terciario o avanzado.
- Tratamiento terciario o avanzado: es un proceso que está presente en una planta depuradora cuando se exige que el agua de salida tenga unos niveles muy bajos de contaminantes. Normalmente, se suele emplear dicho tratamiento cuando el efluente se vierte a una zona sensible. El tratamiento terciario o avanzado suele estar constituido generalmente por la desinfección que permite suprimir los virus presentes en el agua gracias a rayos ultravioleta, cloración u ozono.

1.5.1.1. *Pretratamiento.*

Es el primer tratamiento que se lleva a cabo en la EDAR donde el agua residual llega cargada de contaminantes. En este sentido, el pretratamiento tiene como fin reducir y eliminar en la medida de lo posible todos los sólidos en suspensión, grasas, aceites y arenas para evitar así posibles averías en las máquinas de los siguientes procesos. El pretratamiento presenta el siguiente esquema:

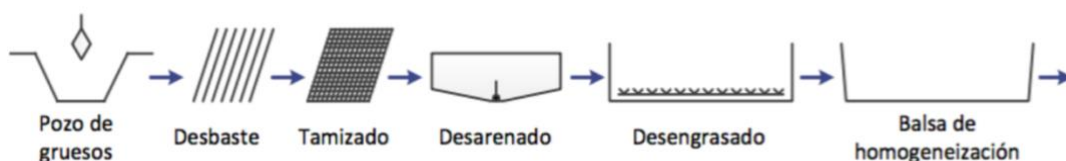


Figura 5. Esquema del pretratamiento de una EDAR. Fuente [CLE18]

A continuación, se definen las fases que pueden constituir el pretratamiento de una EDAR en función de los contaminantes del agua residual.

- **Obra de llegada:** Consiste en la obra civil que hay que realizar en la entrada de la EDAR para recibir las aguas residuales mediante un colector.
- **Aliviadero o Bypass:** Tiene como objeto redirigir aquellas aguas que no pueden ser tratadas en la EDAR por exceso de capacidad a otras plantas depuradoras.
- **Retorno:** Mecanismo por el cual se devuelve a la entrada de la planta depuradora el agua que se ha desechado en algunos procesos para que vuelva a ser tratada.
- **Pozos de gruesos:** Busca eliminar los sólidos de mayor tamaño a través de una cuchara bivalva para evitar posibles obstrucciones y averías en la EDAR. Además, es necesario que el tiempo de retención sea corto de manera que los sólidos no lleguen a sedimentar.
- **Elevación de agua bruta:** Proceso por el cual se eleva el agua a través de diversos métodos (i.e. Tornillos de Arquímedes) para posteriormente evitar el uso de bombas y permitir que el agua fluya por acción de la gravedad.
- **Desbaste:** Permite eliminar el resto de los sólidos que no han podido ser eliminados en los pozos de gruesos. Gracias a esta fase, se consigue evitar obstrucciones e incrementar el rendimiento de los tratamientos posteriores. El desbaste se realiza mediante dos tipos de rejillas en función del tamaño de los sólidos. Por un lado, la rejilla de gruesos se emplea para espesores mayores de 6mm y, por otro lado, la de finos para espesores menores de 1,5-6mm.
- **Tamizado:** Tiene la misma función que la fase anterior, con la diferencia de que en esta fase se emplean rejillas extrafinas para espesores de entre 0,2-1,5mm y micro tamices para espesores de entre 0,001-0,3mm. Gracias a estas rejillas se consigue eliminar los sólidos de tamaño muy reducido que no se han podido eliminar en las fases anteriores.
- **Desarenado:** Sistema por el cual se busca eliminar tanto las arenas como la gravilla (1mm) del agua residual a tratar. Ambas sedimentan en un depósito gracias a la acción de la gravedad. Además, se emplean dos tipos de canales de flujo: el helicoidal ($d > 0,15\text{mm}$ y $Tr = 3\text{min}$) y horizontal ($v = 0,3\text{ m/s}$ y $Tr = 1\text{min}$).

- **Desengrasado:** Proceso necesario para separar las grasas, aceites y otras partículas del agua residual. Existen distintos métodos para llevar a cabo el desengrasado. Por un lado, está la flotación que permite separar las grasas por la diferencia de densidades. Por otro lado, la electro flotación genera unas burbujas a través de pulsos eléctrico que hacen que las grasas se separen y, por último, la flotación por aire disuelto, hace que el agua y las grasas se separen gracias a la inyección de aire a presión.
- **Tratamiento químico (opcional).**
- **Homogenización:** Gracias a esta fase se logra homogeneizar y equilibrar el caudal, nutrientes, pH (6,5-8,5) y la carga orgánica. Consecuentemente, se obtiene un caudal constante a lo largo del proceso de depuración. Esta fase se recomienda emplearla cuando se dan las siguientes condiciones:

$$\frac{Q_{punta}}{Q_{medio}} > 2 \quad \text{ó} \quad \frac{DBO_{punta}}{DBO_{medio}} > 2$$

1.5.1.2. *Tratamiento primario.*

Como se mencionó previamente, el tratamiento primario tiene como objetivo principal eliminar el resto de los sólidos en suspensión que no han podido ser eliminados durante el pretratamiento. Sin embargo, también se consigue una reducción parcial de la DBO y DQO. El tratamiento primario se puede realizar por decantación primaria (proceso físico) o por coagulación, floculación y decantación (CFD) (proceso químico).

Pese a que normalmente se suele emplear únicamente la decantación, se pueden dar situaciones en las que los sólidos no puedan decantar por sí solos al ser demasiado pequeños y se requiere de floculantes para así formar partículas de mayor tamaño y permitir su decantación. No obstante, una de las desventajas que tiene este proceso de floculación es que la deshidratación de los fangos que se generan es más compleja.

Cabe destacar, que mediante la introducción de agitadores internos se puede conseguir mejorar el proceso físicamente al permitir que las partículas impacten entre ellas y se produzca la floculación debido a dicho impacto.

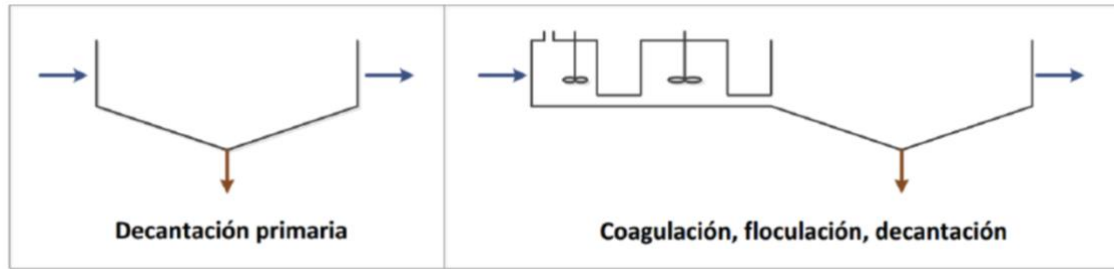


Figura 6. Esquemas de los dos tipos de tratamientos primarios en una EDAR. Fuente:[CLED18]

La decantación primaria es el procedimiento de clarificación del agua por el cual esta sedimenta sus sólidos en suspensión en un tanque con forma circular, cuadrada o rectangular. Para ello, es necesario retener el agua durante un determinado tiempo de retención que puede ir desde los 20 minutos a las 3 horas. Normalmente, el tiempo medio de retención suele ser de 2 horas.

Gracias a la decantación primaria se obtiene un porcentaje mínimo de reducción del 20% para la DBO y 50% para los sólidos en suspensión. Además, también permite la homogenización del caudal de agua en el caso de que el pretratamiento no presentase una balsa de homogenización.

Respecto a la clasificación de los tipos de decantadores para dicho tratamiento, se distinguen dependiendo de su funcionamiento los decantadores mecanizados y estáticos, y en función de su geometría se diferencian los siguientes tipos:

- **Decantador primario circular:** El agua residual entra por el medio del depósito y se extrae por los laterales de este. Debido a los cambios de caudal se suele emplear un colector triangular que permite la recogida del agua. Por otro lado, los lodos generados a lo largo de este proceso se almacenan en depósitos ubicados en las soleras del decantador que son purgados automáticamente. En cuanto a los sólidos en suspensión, se emplea un mecanismo de rasquetas que permiten barrer los sólidos para su extracción.

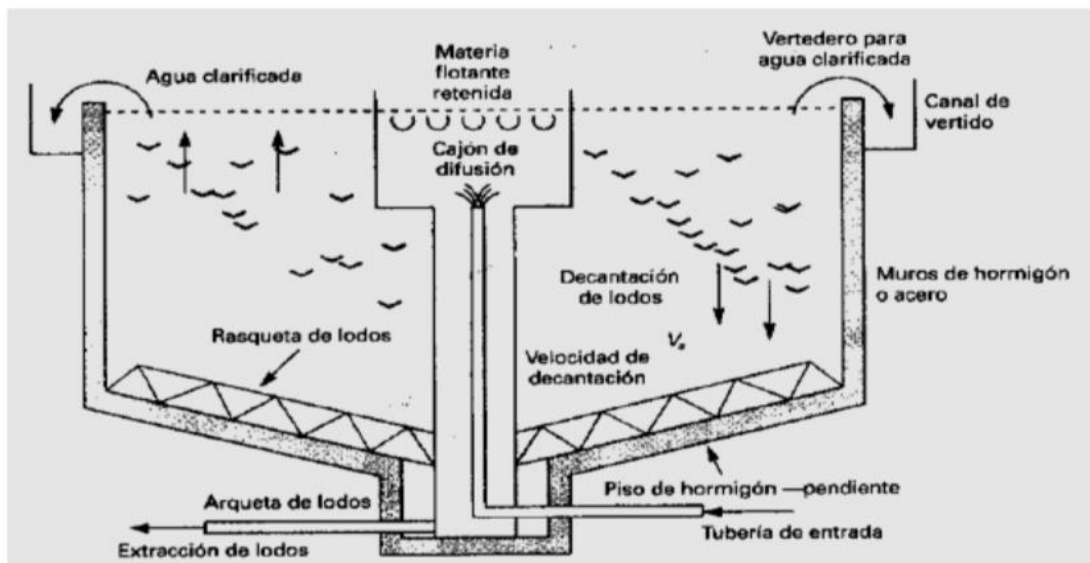


Figura 7. Decantador primario circular. Fuente: [CLED18]

- **Decantador primario rectangular:** A diferencia del modelo anterior, la entrada de las aguas residuales se realiza por el lateral más estrecho del decantador y se expulsan por el lateral opuesto y también a través de un colector triangular. En cuanto a los lodos, se emplea un mecanismo de rasquetas transversales para barrer así los sólidos en suspensión. Este modelo tiene un precio más elevado que el decantador circular y a su vez es más complejo en términos de mecanismo. No obstante, presenta la ventaja que presenta mejor rendimiento que el decantador circular.

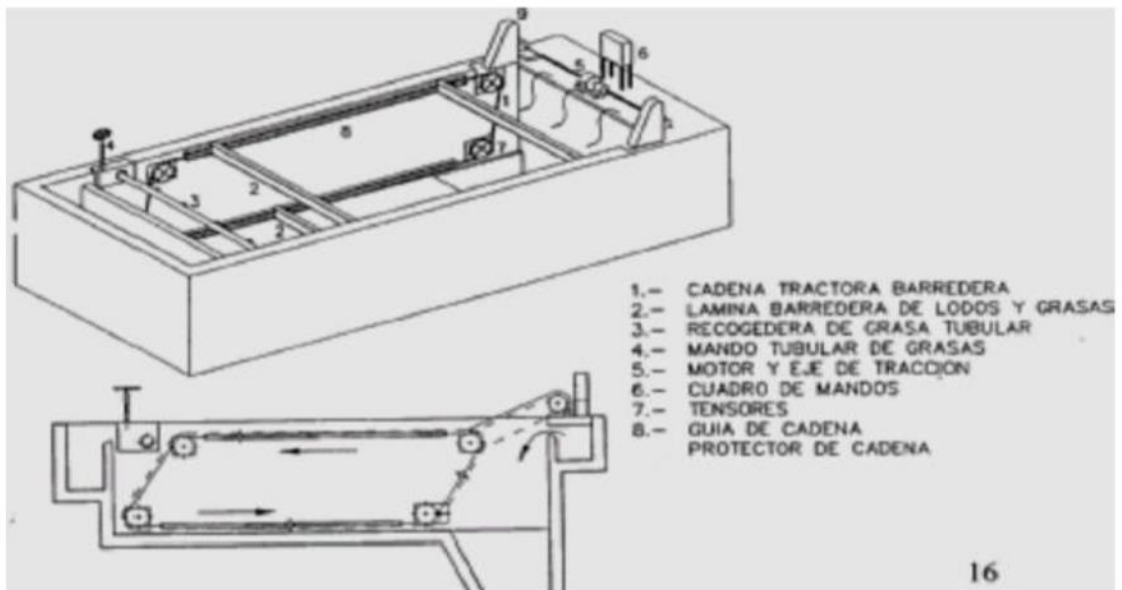


Figura 8. Decantador primario rectangular. Fuente:[CLED18]

- Decantador Lamelar:** Este modelo tiene la característica de presentar el mejor rendimiento de los tres modelos ya que logra reducir los niveles de DBO hasta un 60%. Este hecho se debe fundamentalmente a que la distancia con la decantación mediante lamelas es menor. Sin embargo, presenta el inconveniente de que, al reducir considerablemente la DBO, pueden producirse problemas de reducción de nutrientes en el reactor biológico.

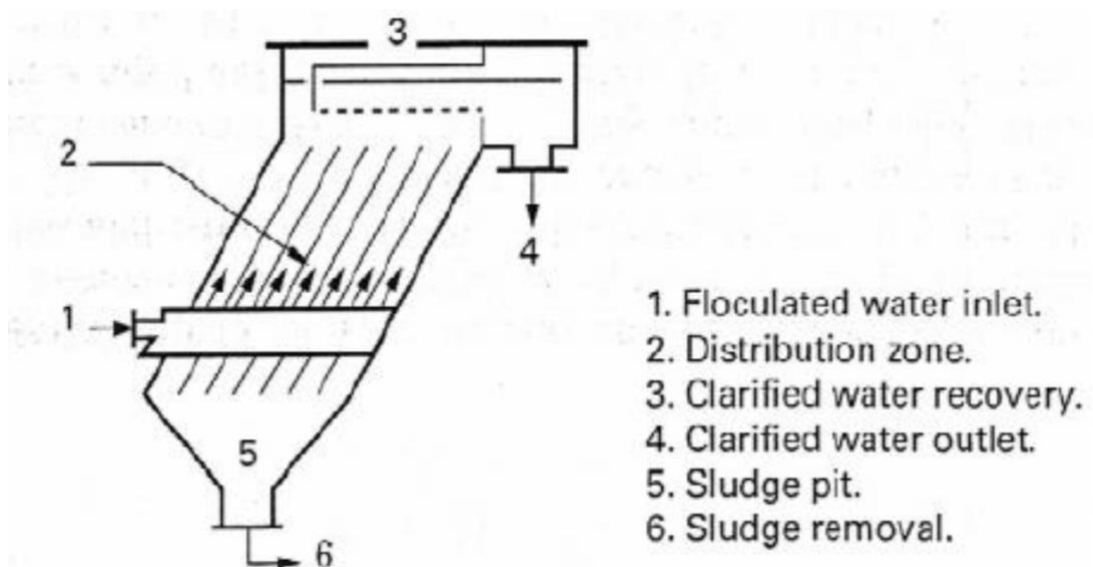


Figura 9. Decantador primario Lamelar. Fuente: [CLED18]

Por último, cabe mencionar que a lo largo del tratamiento primario se generan los lodos que posteriormente se tratarán en las líneas de fangos.

1.5.1.3. *Tratamiento secundario.*

Se considera el tratamiento más importante en el proceso de depuración de agua residual y, por lo tanto, será el tratamiento que marcará la diferencia entre distintas plantas depuradoras. Consecuentemente, se ha de prestar especial atención al diseño de las fases de este tratamiento ya que determinarán en gran medida los parámetros de salida del agua.

El tratamiento secundario tiene como principal objetivo la reducción de DBO y los sólidos en suspensión en un 80-95%. Además, también se logra disminuir en pequeñas cantidades el fósforo y nitrógeno del agua residual.

Pese a que a este tratamiento se le ha conocido normalmente como tratamiento biológico, el proceso de depuración puede requerir de un tratamiento químico secundario. Sin embargo, independientemente de que el tratamiento sea físico o químico, hay que añadir siempre al final de ambos tratamientos una fase de decantación secundaria.

A continuación, se va a describir los diferentes tipos de reactores que se pueden emplear en el tratamiento secundario:

- **Reactor biológico:** Con este proceso se logra retener el agua residual durante 6-8 horas durante el cual el agua se airea y mezcla para formar los flóculos bacterianos (i.e. la materia orgánica pasa a formar parte de la biomasa bacteriana). Hay diversos tipos de reactores:
 - Cultivos en suspensión o fangos activos: Este tipo de reactor biológico se suele emplear cuando la división entre la DBO y DQO es mayor que 0,4. Normalmente, es el reactor que más se suele usar ya que permite reducir en gran medida los niveles de carga orgánica. Su funcionamiento está basado en la eliminación de la materia orgánica mediante la inyección de oxígeno por la parte inferior del depósito. Este hecho, hace que se generen unas burbujas que, al ascender hacia

la superficie del depósito, arrastran consigo las partículas en suspensión. Existen tres tipos de reactores de fangos activos: el reactor secuencial discontinuo (SBR), reactor de mezcla completa y reactor de flujo de pistón.

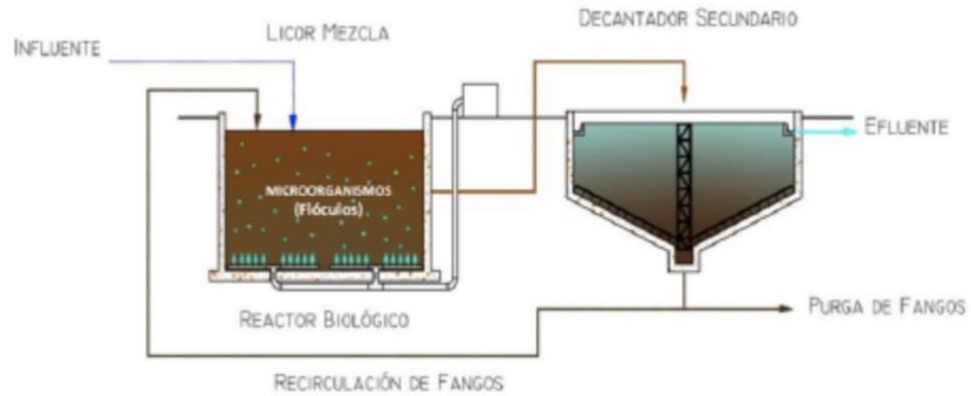


Figura 10. Reactor biológico de fangos activos Fuente: [CLE18]

- Lechos bacterianos o cultivos fijos: En este caso, se utiliza este tipo de reactor cuando la división entre la DBO y la DQO está dentro del rango de 0,2-0,4. Su

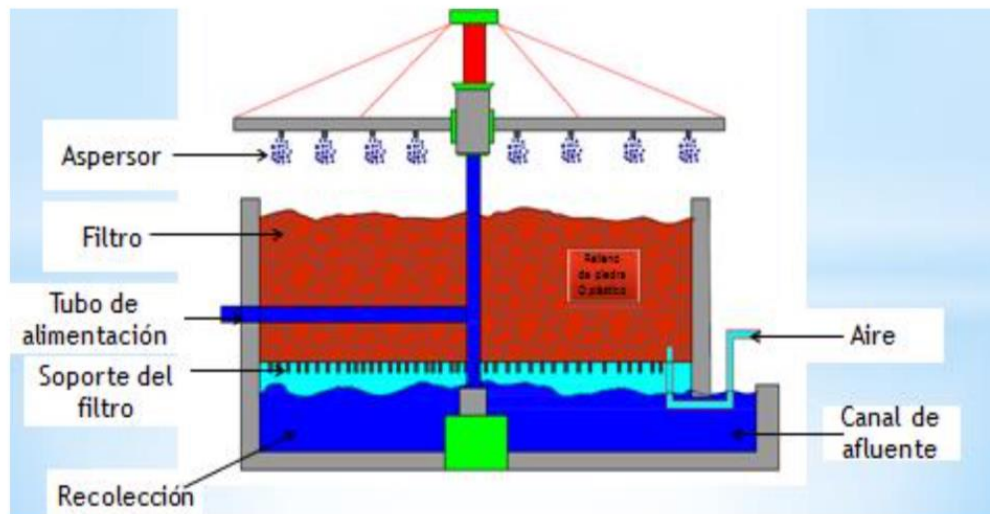


Figura 11. Reactor biológico de lechos bacterianos. Fuente: [CLE18]

funcionamiento se basa en la formación de un lecho bacteriano en la superficie de un medio o soporte airado. Para ello, se utiliza un depósito de acero relleno de plástico (6 metros de profundidad) o piedras (1 metro de profundidad) o de hormigón. De esta manera, para producir la nitrificación y, por lo tanto, disminuir la DBO del agua residual, se riega el agua residual por aspersión sobre el lecho bacteriano.

- Lechos bacterianos de biodiscos: Al igual que en el caso anterior, se va a utilizar este tipo de reactor cuando la división entre la DQO y la DBO esté dentro del rango de 0,2-0,4. Su funcionamiento consiste en un depósito semicircular dónde gira un cilindro de plástico. Este hecho, hace que se cree un lecho bacteriano sobre la superficie del cilindro que se airea y moja con el agua residual sucesivamente gracias al movimiento circular del cilindro. Generalmente, se suele hacer uso de este tipo de reactor cuando se carece de espacio en el terreno.

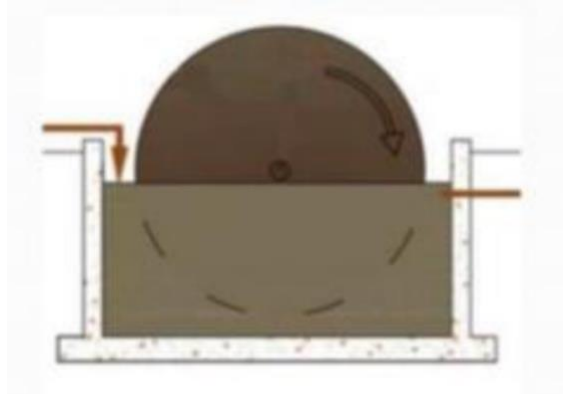


Figura 12. Reactor biológico de lechos bacterianos de biodiscos. Fuente: [CLE18]

Los reactores previamente descritos llevan a cabo sus procesos gracias a la presencia del oxígeno, es decir, se trata de tratamientos biológicos aerobios. La materia orgánica se biodegrada debido a los microorganismos presentes del agua residual. Resulta fundamental que la proporción de nutrientes sea la adecuada, la temperatura sea estable, haya un pH dentro del rango de 6,5-8,5, la cantidad de oxígeno sea la necesaria y la salinidad esté por debajo de los 3g/L. Por lo tanto, la relación que se suele emplear es la siguiente:

$$\frac{DBO_5}{100} = \frac{N}{5} = \frac{P}{1}$$

Para conseguir dicha proporción, es necesario que el incremento de los microorganismos se produzca en cuatro fases:

1. Fase de retardo o aclimatación.
2. Fase de crecimiento estable.
3. Fase estacionaria.

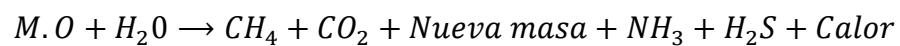
4. Fase de mortandad.



Figura 13. Proceso de crecimiento de los microorganismos. Fuente: [CLED18]

Cabe mencionar, que en la EDAR se ha de mantener las condiciones de la fase estacionaria. Es por esto por lo que se recirculará los fangos activos y se eliminará el sobrante de este.

- Reactor biológico anaerobio: Este tratamiento se suele emplear para aguas residuales que tienen origen industrial y tienen niveles de DBO muy elevados. Es por ello, que en la planta depuradora se incluirá este tratamiento cuando los niveles de DBO sean superiores a 1500 mg/L. Para realizar el tratamiento se va a usar un depósito cerrado donde la ausencia de oxígeno hará que la DBO se descomponga en biogás. La reacción que tiene lugar es la siguiente:



Por último, hay situaciones en las que los niveles de DBO son extremadamente elevados que hacen que el reactor anaerobio se tenga que usar en el tratamiento primario y posteriormente, en el tratamiento secundario, se use un tratamiento biológico aerobio. Además, uno de los inconvenientes que presenta el reactor anaerobio es que entre los productos que se generan en la reacción previamente comentada, el único gas que se puede reutilizar es el metano (CH_4).

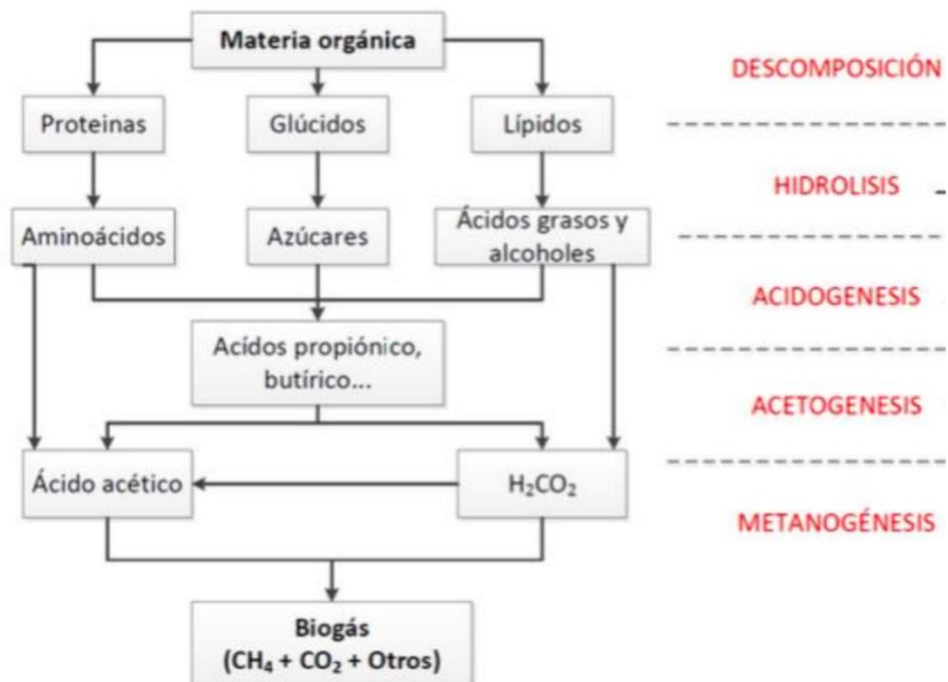


Figura 14. Proceso de reacción anaerobia. Fuente: [CLED18]

Generalmente, el reactor que más se suele emplear es el de mezcla completa (RMC) sin recirculación. Su funcionamiento se basa en un depósito cilíndrico que contiene el agua residual y en una cubierta semiesférica que permite la retención de los gases generados en la digestión. Gracias a este modelo se logra una densidad constante de microorganismos a través de la agitación.

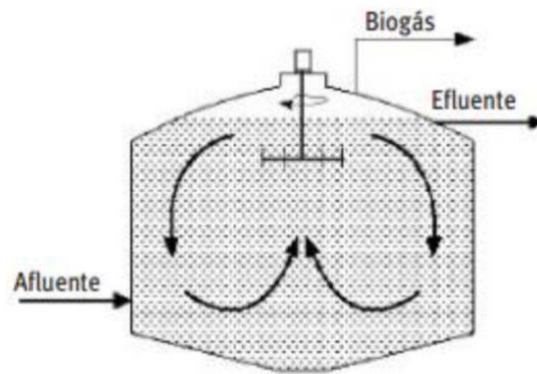


Figura 15. Reactor de mezcla completa (RMC) sin recirculación.

- **Tratamiento químico:** Se utiliza cuando el cociente entre la DBO y la DQO es inferior a 0,2. Este tratamiento tienen la desventaja de que es muy caro por lo que se usará únicamente si no se lograra descomponer la materia orgánica hasta los niveles deseados.

Por último, cabe mencionar que siempre se usará un decantador secundario al final del tratamiento secundario independientemente del tipo de reactor o proceso utilizado. El agua residual se retendrá un tiempo mínimo de dos horas en el decantador y sus dimensiones serán superiores al del tratamiento primario.

1.5.1.4. Tratamiento terciario o avanzado.

El tratamiento terciario o avanzado se utiliza cuando se busca alcanzar niveles muy bajos en los contaminantes del agua residual:

- DBO < 25 mg/L
- SS < 35 mg/L
- Nitrógeno < 10 mg/L
- Fósforo < 1 mg/L

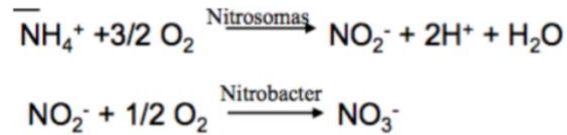
Los principales procesos que se pueden usar para reducir los contaminantes en el tratamiento terciario son los siguientes:

- **Eliminación del nitrógeno:** Este proceso tiene lugar en el tratamiento secundario tras el reactor biológico y antes del decantador secundario. Gracias a la nitrificación-desnitrificación se consigue reducir en un 90% los niveles de nitrógeno del agua

residual. A continuación, se muestra la cantidad total de nitrógeno que se ha de eliminar:

$$NTK = N_{inorg} + N_{org} + N_{nitrito} + N_{nitrato}$$

Para ello, se produce en primer lugar la nitrificación bajo condiciones aerobias:



Después, se produce la desnitrificación bajo la ausencia de oxígeno y presencia de carbono. Este procedimiento se puede llevar a cabo en diferentes reactores o en el mismo. En este último, comúnmente se utiliza es el conocido como Carrusel dónde se combinan zonas óxicas y anóxicas al mismo tiempo que se mueve el agua residual en forma circular.

- **Eliminación del fósforo:** Los niveles de fósforo presentes en el agua residual se deben principalmente a residuos de los alimentos, fertilizantes, aditivos de las aguas potables, producto para la limpieza. Para conseguir eliminar la concentración de fósforo del agua se pueden realizar los siguientes procesos:
 - Procesos biológicos: Consiste en forzar a los microorganismos a absorber más fósforo del que necesitan para su crecimiento.
 - Procesos químicos: Se consigue la reducción del fósforo mediante la adición de sales minerales como FeCl_3 .
- **Filtración en medio granular:** Este proceso se utiliza cuando se quiere obtener un nivel de sólidos en suspensión inferior a 10 mg/L. Para lograr dicho objetivo, se emplean filtros bicapa formado por antracita y arenas o filtros multicapa compuestos de arena, antracita y granate. Cabe mencionar, que si el agua tratada se va a usar posteriormente para riego se ha de incluir adicionalmente un filtro de arena.
- **Adsorción con carbón activado:** Este tratamiento se utiliza para eliminar el olor y sabor del agua a tratar.

- **Tratamiento químico:** Tiene como objetivo dotar al agua residual de un nivel de pH apropiado, reducir el fósforo mediante la precipitación química y disminuir los olores que pudiera tener el agua a tratar.
- **Eliminación de amoníaco:** Se consigue una reducción del amoníaco en el agua residual gracias al uso de cloro para poder formar las cloraminas o mediante la introducción de aire a pH entre 10,8-11,5.
- **Desinfección:** Este tratamiento se realiza mediante la aplicación de cloro. Generalmente, se desinfecta el agua residual cuando el agua tratada se vierte a aguas de captación para consumo humano, aguas de baño o aguas de cría de marisco.

1.5.2. Línea de fangos.

Las líneas de fangos se necesitan en el proceso de depuración del agua residual para poder tratar los lodos generados en la línea de aguas, particularmente del decantador primario y del decantador secundario. Gracias a este tratamiento, se pueden reutilizar los fangos tratados en actividades como la agricultura. Las líneas de fangos están compuestas por las siguientes fases:

- Espesamiento.
- Digestión o estabilización.
- Deshidratación.

1.5.2.1. *Espesamiento de los fangos.*

El espesamiento de fangos permite disminuir la cantidad de agua presente en los fangos y consecuentemente, reducir su volumen.

Se pueden dar dos tipos de espesadores:

- **Espesador por gravedad:** Se utiliza para tratar los fangos procedentes del decantador primario. Su funcionamiento consiste en un decantador de tamaño menor que el decantador primario y está dotado de un mecanismo de rasquetas para barrer los lodos. Además, presenta un peine que permite dividir el agua del

fango. Cabe destacar que la pendiente del decantador ha de ser de al menos un 10% para permitir que el agua fluya hasta el inicio de la EDAR.

- **Espesador por flotación:** Se utiliza para tratar los fangos procedentes del decantador secundario. Su funcionamiento se basa en generar unas burbujas mediante la introducción de agua a presión para así arrastrar los flóculos hasta la superficie y poder eliminarlos. En este caso, los fangos a tratar son mucho más ligeros ya que previamente han pasado por las fases de pretratamiento y tratamiento primario, dónde se han reducido en gran medida los sólidos en suspensión.

1.5.2.2. *Estabilización de los fangos.*

La estabilización de los fangos representa una de las etapas más importantes de las líneas de fangos ya que gracias a ella, se podrá transportar y manipular los fangos de un modo seguro. Tiene como fin disminuir la materia volátil, mineralizar la materia orgánica, neutralizar tanto las bacterias como los virus y permitir una concentración de los lodos.

Existen tres tipos de estabilizadores:

- **Estabilización aerobia:** Permite la degradación biológica de la materia orgánica bajo condiciones aerobias. Durante este proceso, el digestor funciona en la fase de mortandad. Como resultado, se obtiene dióxido de carbono, calor, fango digerido y agua. La estabilización aerobia tiene una serie de beneficios tales como reutilización del calor que se genera durante el proceso, no generan olores adicionales y permite disminuir la DBO. Sin embargo, presenta las desventajas de costes de mantenimiento elevados, la posterior deshidratación es más compleja y sólo se puede emplear para una población máxima de 20.000 habitantes. En cuanto al tiempo de retención, se muestra en la Tabla 9 la relación entre los días de retención de la materia orgánica y su porcentaje de reducción. Se puede decir que a mayor tiempo de retención mayor será la materia orgánica que se biodegradará.

t_R (días)	1	6	10	15
Reducción M. Volátil(%)	5	24	33	40

Tabla 9. Relación del tiempo de retención de la materia orgánica con su porcentaje de reducción.

- **Estabilización anaerobia:** Este procedimiento se utiliza cuando los niveles de DBO son elevados. Además, se da bajo condiciones de ausencia de oxígeno y tiene las siguientes etapas:

- Descomposición
- Hidrólisis
- Acidogénesis y acetogénesis
- Metanogénesis

Además, este procedimiento tiene la ventaja que permite reducir en gran medida los patógenos, tener una mejor deshidratación posterior, no genera olores y permite la reutilización el biogás. No obstante, tiene la desventaja que el tiempo de retención es muy superior al caso anterior, aproximadamente de 20 días y la instalación es más cara.

- **Estabilización química:** Permite eliminar los microorganismos que presentan una fuerte alteración de pH. Tiene la ventaja de ser un proceso muy eficiente para eliminar los patógenos y tiene un coste de inversión bajo. Existen tres tipos de estabilización química: estabilización por cal, oxidación por cloro y por ácidos.

1.5.2.3. *Deshidratación de los fangos.*

Es la última etapa de las líneas de fangos que tiene como objetivo eliminar el 100% del agua de los lodos. A continuación, se describen las tres formas distintas de deshidratación.

- **Natural:** Se puede realizar en estanques de lodos o con eras de secado. Por un lado, los estanques de lodos se usan de manera ocasional y en producciones de pequeña magnitud. Por otro lado, las eras de secado es el método de deshidratación natural más común ya que el tiempo de retención es menor que

en el caso anterior (15 días). Consiste en un depósito de arena que actúa como filtro para separar el agua de los fangos.

- **Secado térmico:** Consiste en un proceso que requiere unas condiciones de temperaturas muy elevadas, entre los 350-600º. Como resultado, se obtiene unos lodos libres de patógenos y secos.
- **Mecánica:** Aporta energía a través de un mecanismo para poder realizar y mejorar la eficiencia de la deshidratación. Existen diferentes tipos: filtración al vacío, filtros de prensa, filtros de banda, tornillos compactadores y por centrifugación.

1.6. Descripción de la solución adoptada.

En este apartado, se va a explicar la elección de los tratamientos de la EDAR para tratar el agua residual procedente del área urbana de estudio. La elección se hará en función de las características y niveles de contaminantes del agua de entrada. En este sentido, se justificará los tratamientos tanto de las líneas de aguas como de las líneas de fangos y, en el siguiente apartado, se mostrará los cálculos asociados a cada etapa.

En primer lugar, se hizo un estudio para la EDAR inicial y, tras ver que el agua de salida incumplía con la normativa (ver Tabla 12), se decidió modificar las etapas de la EDAR. De esta manera, se rediseñó la EDAR original, añadiendo un nuevo tratamiento para cumplir así con niveles de la normativa (ver Tabla 14). Por lo tanto, en los siguientes apartados se definen y justifican la elección de los procesos para la EDAR modificada.

1.6.1. Líneas de aguas.

1.6.1.1. *Pretratamiento.*

Como se mencionó previamente, es la primera fase dentro de la depuración del agua residual. Estará formado por cuatro fases: desbaste de gruesos, desbaste de finos, desarenado y desengrasado.

1. Desbaste de gruesos

Será la primera etapa por la que el agua residual pase. Tiene como objetivo reducir los sólidos de mayor tamaño para evitar obstrucciones y averías en los equipos. En este sentido, permite retener los sólidos en suspensión de tamaños de 6 mm.

Es necesario incluir esta etapa para poder eliminar los sólidos procedentes de la zona urbana de estudio. Para ello, se utilizan unas rejillas verticales que permiten el paso del agua y a su vez, retener los sólidos de mayor tamaño.

Se ha diseñado unas rejillas con una inclinación de 60º y un espesor de barrotes de 12mm.



Ilustración 1. Desbaste de gruesos. Fuente:[DEAG2020]

2. Desbaste de finos

Al igual que en el caso anterior, tiene como objetivo retener los sólidos en suspensión del agua residual para evitar posibles averías en los equipos de los procesos posteriores. Es necesario incluir esta etapa en la EDAR para poder eliminar los diferentes tipos de sólidos que se encuentran en el agua residual como consecuencia de la actividad tanto industrial como urbana que se llevan a cabo en el área de estudio.

De esta manera, tras el desbaste de gruesos, se instalan rejillas de acero verticales o diagonales que permitan el tránsito del agua y retener aquellos sólidos de tamaño mayor a 1,5 mm. Gracias al desbaste de finos se consigue incrementar la eficiencia de los siguientes procesos de depuración.

Se ha diseñado unas rejillas con una inclinación de los barrotes de 60º y un espesor de barrotes de 6mm.



Ilustración 2. Desbaste de finos. Fuente: [DEAG2020]

3. Desarenado

Este tratamiento se emplea para eliminar las arenas existentes del agua residual urbana y evitar que los equipos y máquinas de los siguientes procesos puedan sufrir alguna avería y se produzcan sedimentaciones en la red de tuberías. Debido a las características del agua procedente del área de influencia, es necesario incluir esta etapa dentro del proceso de depuración.

En este sentido, se ha diseñado un desarenador aireado porque permite aumentar el rendimiento de eliminación de las arenas para grandes caudales, como es el caso de estudio. Además, hace que las arenas se eliminen en ausencia de materia orgánica y previene frente a condiciones sépticas. Por último, al airearse las arenas se reducen la posibilidad de los olores y tienen pérdidas de cargas muy pequeñas.

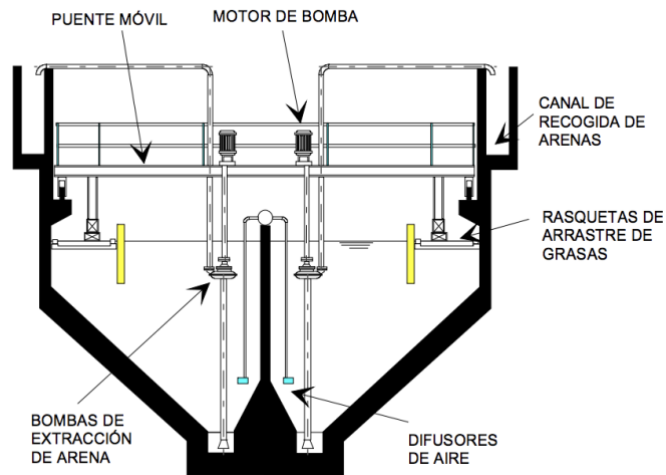


Ilustración 3. Esquema típico de un desarenador aireador. Fuente: [WEEG14]

4. Desengrasado

Debido a la presencia de industrias textiles dentro del área servida, el agua residual tiene abundantes grasas que se han de eliminar. Pese a que el modelo de desarenador usado en el caso anterior también elimina una pequeña cantidad de grasas, es necesario incluir una etapa de desengrasado para poder eliminar en mayor medida las grasas.

Se ha diseñado un modelo de desengrasado tipo API que permite reducir grandes niveles de grasas de aguas residuales y a su vez, disminuir los niveles de DBO presentes en el agua. Además, este modelo presenta muchas ventajas respecto a otros modelos de desengrasado.

1.6.1.2. Tratamiento primario.

Tras haber realizado el pretratamiento, se diseña el tratamiento primario. Como se mencionó anteriormente, el principal objetivo de este tratamiento es eliminar los sólidos en suspensión que no han podido ser eliminados durante el pretratamiento y al mismo tiempo, disminuir los niveles de DBO.

Por lo tanto, para lograr este fin se ha elegido diseñar una única etapa con un decantador primario mecanizado y circular. Es muy importante la existencia de este

tratamiento debido a la gran cantidad de sólidos en suspensión presentes en el agua residual urbana a tratar. De esta manera, el decantador primario presenta un mecanismo de rasquetas para recoger los lodos en la parte inferior del depósito. Además, el agua residual se retendrá durante un tiempo mínimo para permitir que los sólidos decanten. No obstante, el tiempo de retención no ha de ser muy elevado ya que sino disminuirá el rendimiento del tratamiento. En este caso, se ha elegido un tiempo de medio retención de 2,5h.

Gracias a la decantación primaria, se consigue reducir en un 50% los sólidos en suspensión y en un 30% la DBO del agua residual urbana. Además, también se consigue reducir en un 10% el fósforo y nitrógeno presentes en el agua.



Ilustración 4. Decantador primario. Fuente: [DAGA19]

1.6.1.3. Tratamiento secundario.

Como se mencionó anteriormente, el tratamiento secundario es la fase más crítica en el proceso de depuración y será la que marque la diferencia entre las estaciones depuradoras de agua residual. En este sentido, tiene como principal objetivo reducir gran parte de la DBO y, en menor medida, el nitrógeno y fósforo del agua residual.

Para elegir el tipo de reactor ha emplear, se realizó el cociente entre la DBO y la DQO del agua de entrada y se obtuvo un valor de 0,619 el cual es mayor a 0,4. Por lo tanto, se decidió usar un reactor biológico aerobio de fangos activos en el que también se ha incluido el tratamiento de nitrificación-desnitrificación debido a los elevados niveles de nitrógeno del agua residual.

El reactor biológico aerobio basa su funcionamiento en la degradación de la materia orgánica mediante microorganismos y en presencia del oxígeno. De esta manera, para incorporar los microorganismos para la degradación se utilizarán lodos activos. Además, se incluirá un decantador secundario para conseguir decantar los lodos producidos en el reactor.

En este contexto, los factores que se han de tener en cuenta a lo largo de este proceso son:

- Presencia de contaminantes tóxicos que pueden deteriorar el mecanismo de fangos activos.
- Temperatura a la cual se realiza el proceso ya que pueden provocar efectos negativos en la transferencia de oxígeno y velocidad.
- Tiene que existir un equilibrio en los nutrientes para garantizar unos lodos que sedimenten de una forma adecuada.
- Tiene que haber una concentración de oxígeno adecuada para que la velocidad puede disminuir al disminuir.

Con relación al proceso de nitrificación-desnitrificación, para llevarlo a cabo es necesario incluir los siguientes componentes:

- En primer lugar, una balsa de desnitrificación de tipo anóxica donde se combinan el licor mixto recirculado, el agua residual y los lodos recirculados de la salida. En esta balsa es donde tiene lugar la mayor parte del proceso de la desnitrificación.
- En segundo lugar, una balsa de nitrificación de tipo aerobia donde tiene lugar la oxidación del amoníaco y materia carbonosa a nitratos. Normalmente, es el propio reactor biológico el que se emplea como balsa aerobia. Por último, el licor mixto que se genera en esta balsa es recirculado a la balsa de desnitrificación.
- En tercer lugar, otra balsa de desnitrificación de tipo anóxica donde se consigue disminuir los nitratos a nitrógeno. Para ello, las bacterias emplean como origen de carbono a oxidar el carbono endógeno.
- Por último, se ha de incluir una balsa de reaireación que tiene un tiempo de residencia bajo.

Con todo ello, se puede decir que el tratamiento secundario permite la reducción al menos en un 90% los sólidos en suspensión y la DBO. No obstante, el nitrógeno y fósforo seguirían sin cumplir con la normativa europea en la EDAR inicial, por lo que se diseñó el tratamiento terciario que se explica en el siguiente apartado.

1.6.1.4. Tratamiento terciario o avanzado.

El tratamiento terciario o avanzado se incluye en el proceso de depuración cuando el agua de salida se vierte a una zona sensible o bien cuándo, no se cumplen con los rangos de nitrógeno y fósforo impuestos por la normativa.

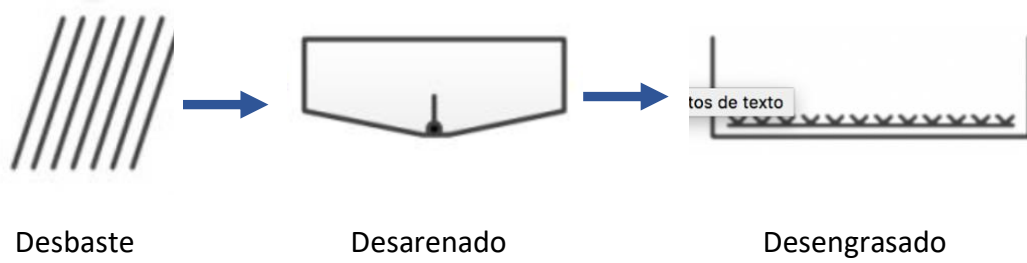
En el caso de la EDAR inicial, se incumplía con los parámetros tanto de nitrógeno como de fósforo y, además, el vertido se realiza a una zona sensible. Es por ello, que se decidió incluir el tratamiento terciario para reducir estos niveles y consecuentemente, cumplir con la normativa.

Para ello, se eligió un tratamiento químico de cloruro férrico que consiste en precipitar el fósforo mediante sales minerales (i.e. cloruro férrico). Mediante este tratamiento se logra reducir como mínimo en un 80% los niveles de nitrógeno y fósforo.

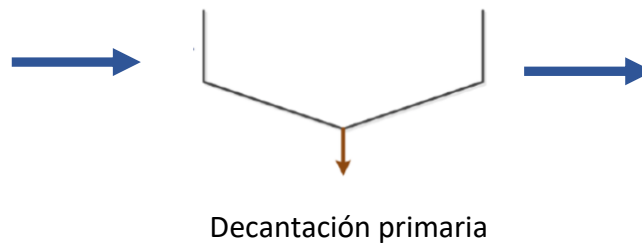
Con el tratamiento terciario concluiría el proceso de depuración de agua residual ya que el agua se encuentra dentro de los límites establecidos por la normativa europea. Tras este proceso se verterá el agua al medio receptor sin suponer un riesgo para el medioambiente y poder reutilizarse para otras aplicaciones (i.e. riego).

1.6.1.5. Esquema de línea de aguas.

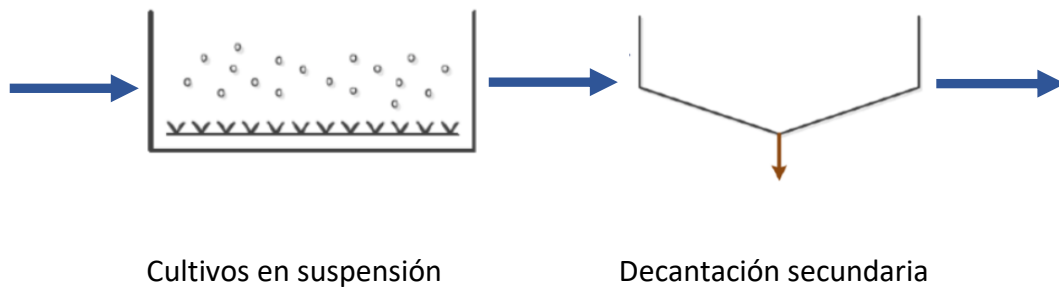
Pretratamiento



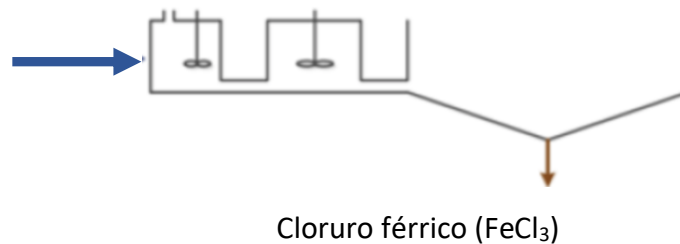
Tratamiento primario



Tratamiento secundario



Tratamiento terciario



1.6.2. Líneas de fangos.

Tras haber elegido el conjunto de tratamientos de las líneas de aguas se procede a explicar la solución adoptada para las líneas de fangos. Van a estar constituidas por tres fases: espesado, estabilización aerobia y deshidratación mecánica.

1.6.2.1. *Espesado.*

En primer lugar, se diseñó la fase de espesado cuyo fin es reducir al máximo la presencia de agua en los fangos para un mejor procesamiento.

Debido a que los fangos tienen orígenes diferentes (i.e. decantador primario y decantador secundario), las características de estos serán diferentes. Es por esta razón, que para llevar a cabo el proceso de espesado se emplean dos técnicas diferentes: espesado por gravedad y espesado por flotación.

En particular, se ha elegido para tratar los fangos procedentes del decantador primario un espesado por gravedad porque los fangos a tratar son mucho más densos ya que sigue presente gran parte de la materia orgánica. Por otro lado, para tratar los fangos secundarios se ha elegido el espesado flotación ya que los fangos en este caso son muchos más ligeros que el caso anterior al no haber tanta materia orgánica.

1.6.2.2. *Estabilización.*

Una vez que se ha diseñado la etapa de espesado se continúa con la fase de estabilización. Es una de las fases más importantes de las líneas de fangos ya que es la

que permite eliminar los patógenos, virus y otros microorganismos causantes de la descomposición de los fangos.

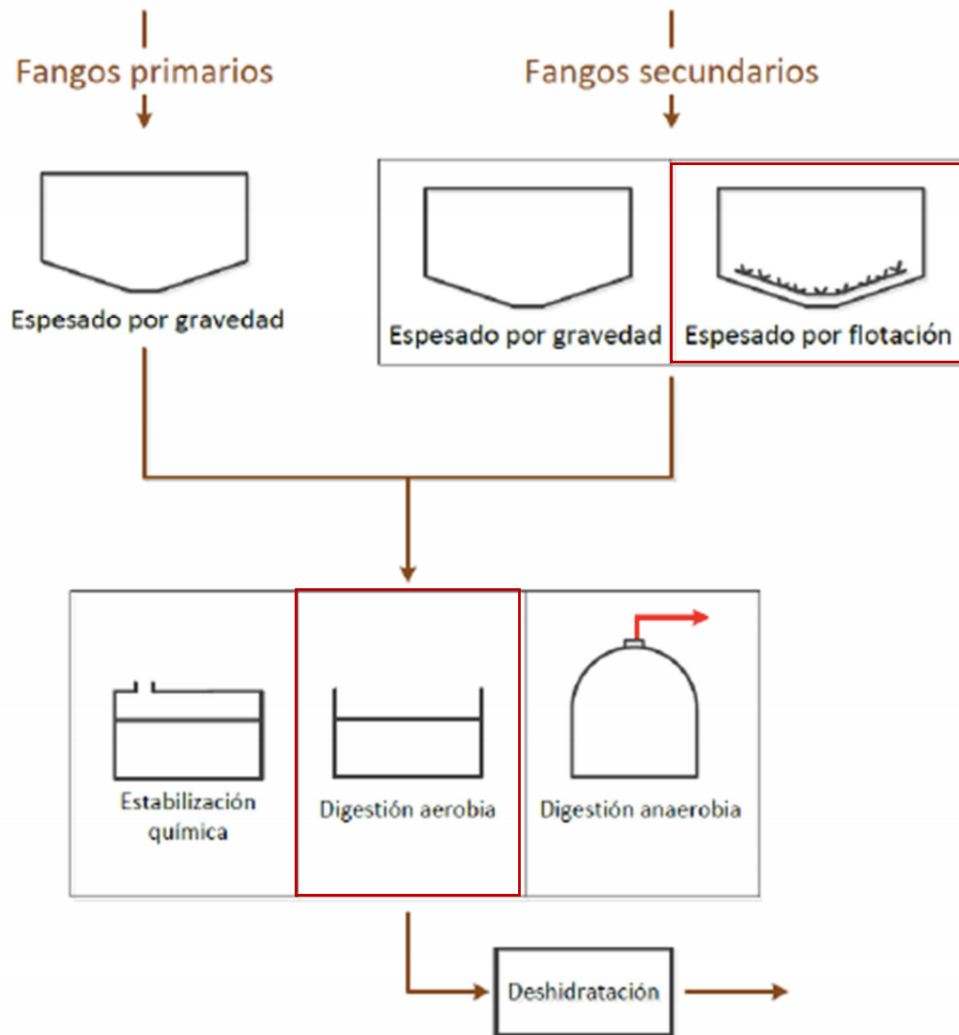
En particular, debido a la gran cantidad de materia orgánica presente en los lodos se eligió un tratamiento de estabilización aerobia. Como se mencionó previamente, este tratamiento presenta ventajas como es la reutilización del calor, no generan olores adicionales y permite reducir en gran medida la DBO.

1.6.2.3. Deshidratación.

Para concluir con el diseño de la línea de fangos, se ha incluido la fase de deshidratación que permitirá retirar el agua restante de los lodos. En este sentido, se optó por una deshidratación mecánica tipo centrífuga gracias su elevado rendimiento y eficacia.

En el apartado de “*Cálculos*” se procede al diseño y dimensionamiento técnico de los equipos de cada uno de los tratamientos.

1.6.2.4. Esquema de líneas de fangos.



1.7. Contribución a los objetivos de desarrollo sostenible.

En este apartado, se va a analizar la contribución del diseño de la estación depuradora de aguas residuales para aguas urbanas con los objetivos de desarrollo sostenible. En este sentido, se va a hacer una breve contextualización de los objetivos elegidos para así poder describir posteriormente su interacción con el presente proyecto.

En primer lugar, las ODS son un conjunto de objetivos globales desarrollados el 25 de septiembre de 2015 por las Naciones Unidas. Dichos objetivos, buscan desarrollar un nuevo plan de desarrollo sostenible en los próximos 15 años tratando de garantizar la prosperidad, eliminar la pobreza y proteger el planeta. Hay un total de 17 objetivos de

desarrollo sostenible que se pueden clasificar en tres ámbitos: económico, social y medioambiental [PNUD19].

En particular, la construcción de la planta depuradora de este proyecto tiene como objeto tratar las aguas residuales de una zona urbana a través del diseño de una serie de etapas y procesos específicos. Gracias a estos tratamientos, se obtiene un agua final baja en contaminantes, permitiendo su devolución a un cauce receptor para su posterior reutilización. No obstante, pese a que el principal objetivo de la EDAR es obtener un agua limpia mediante su saneamiento, no se pueden dejar de lado otros de los muchos beneficios que una planta depuradora puede ofrecer tales como fomentar el consumo eficiente de la energía, protección del especies marinas y terrestres o contribución a la salud y bienestar de las personas. Es por ello, que el diseño de la EDAR contribuye principalmente con los siguientes objetivos de desarrollo sostenible:



A continuación, se va a describir cada uno de los objetivos previamente mencionados.

- Salud y bienestar: busca asegurar una vida sana promoviendo el bienestar social. En particular, trata de incrementar la esperanza de vida de la sociedad luchando contra las principales causas de enfermedades y muertes. En los últimos años se ha logrado disminuir algunas de estas causas como es la mortalidad materna e infantil. No obstante, aún quedan muchos esfuerzos por hacer para poder superar los diferentes problemas de salud que existen hoy en día en la sociedad y dónde entre otros, una mejor higiene y saneamiento es uno de los factores claves en esta lucha.

- Agua limpia y saneamiento: debido a la escasez hídrica que existe en el planeta, se planteó este objetivo para encontrar una solución al desequilibrio de consumo de agua y estrés hídrico que sufre el planeta y que se prevé que incremente en los próximos años. Es por ello, que este objetivo persigue que todas las personas tengamos acceso a agua potable segura y asequible para nuestro consumo diario y que haya un consumo responsable de la misma. Por lo tanto, es crucial la implantación de instalaciones destinadas al tratamiento y saneamiento del agua.
- Energía asequible y no contaminante: mediante este objetivo las Naciones Unidas pretende conseguir un incremento del consumo de energía limpia y eficiencia energética para sustituir a los combustibles fósiles y garantizar el acceso mundial de energía. En este sentido, debido al crecimiento de la población en los próximos años, se busca fomentar una demanda de energía limpia a través de las energías renovables y mejorar la eficiencia energética de la tecnología de los procesos para así contribuir con el medioambiente.
- Producción y consumo responsable: para poder conseguir un desarrollo sostenible a la par que una progresión económica, es vital que se produzca un cambio del modo de producción y consumo de bienes. En este contexto, la gestión de los deshechos, así como el uso responsable de los recursos naturales son dos factores claves para alcanzar este objetivo. Por esta razón, los consumidores, industrias y comercios han de cambiar sus modelos de consumo y producción, minimizando los residuos generados y promoviendo una economía circular.
- Acción por el clima: como consecuencia del cambio climático que todo el planeta está sufriendo, las Naciones Unidas estableció este objetivo para poder abordar esta emergencia climática. Es crucial la reducción de gases de efecto invernadero que han hecho que la temperatura del planeta haya incrementado considerablemente en los últimos. Para ello, es necesario que instituciones políticas desarrollen y fomenten medidas sostenibles, así como estrategias nacionales, se desarrollen nuevas tecnologías sostenibles y se realicen inversiones financieras apropiadas.

- Vida de ecosistemas terrestres: a través de este objetivo se pretende proteger y preservar la flora y fauna del planeta. Ambos sirven de sustento para la vida humana y, además, para la lucha contra el cambio climático. Por lo tanto, es de vital importancia llevar a cabo medidas para preservar el ecosistema y su biodiversidad y consecuentemente, reducir las pérdidas de hábitats naturales.

Tras haber descrito los objetivos principales con los que se contribuye con el desarrollo de la EDAR, se va a definir la interacción que existe entre el proyecto y cada ODS, es decir, con que metas de cada objetivo contribuye la EDAR y las prácticas llevadas a cabo para cumplir con dichas metas. A continuación, en la Tabla 10 se resume los principales objetivos, metas y prácticas realizadas con el desarrollo de este proyecto.

Dimensión	Objetivos de Desarrollo Sostenible	Meta	Práctica
Social	3. Salud y bienestar	3.9. Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo.	Depuración de aguas residuales urbanas para lograr un caudal de agua de salida que cumple con los parámetros de la normativa europea de manera que no se contaminen los cauces receptores y sea posible su reutilización.
Medioambiental	6. Agua limpia y saneamiento	6.3. Para 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.	Depuración de aguas residuales urbanas para eliminar los contaminantes de entrada del agua y lograr un caudal de agua de salida que cumpla con los niveles de la normativa. De esta manera, se evita la contaminación de los cauces receptores y sea posible su reutilización.
Social	7. Energía asequible y no contaminante	7.3 Para 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.	Implantación de sistema de gestión de energía de acuerdo con la norma ISO 50001. Se busca un consumo eficiente de la energía en todas las etapas y procesos de la EDAR y minimizar el impacto energético de su actividad.
Económica	12. Producción y consumo responsable	12.5. Para 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.	Reutilización de las arenas tratadas, reutilización del agua en la medida de lo posible a lo largo de la depuración y valoración de los lodos generados durante el proceso para futuras aplicaciones (i.e. agrícola).
Medioambiental	13. Acción por el clima	13.2. Incorporar medidas relativas al cambio climático en las política, estrategias y planes nacionales.	Control de las emisiones generadas, construcción de depósitos de retención para evitar inundaciones y aplicación de tecnología de calidad para evitar avería y fugas de agua.
Medioambiental	15. Vida de ecosistemas terrestres	15.1. Para 2020, velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas, en consonancia con las obligaciones contraídas en virtud de acuerdos internacionales.	Mejora de la calidad del agua aportada a los cauces y medios receptores para así proteger su biodiversidad, se minimiza el impacto que puede generar la obra y explotación de la EDAR al medioambiente.

Tabla 10. Resumen de los principales ODS, metas y prácticas desarrolladas con el diseño de la EDAR. Fuente: Elaboración propia.

1.8. Bibliografía.

- [CLED18] María del Mar Cledera Castro. Apuntes de Ingeniería y desarrollo sostenible, Tecnología Medioambiental, Contaminación agua. Universidad Pontificia de Comillas. I.C.A.I. Madrid 2018.
- [EMAS19] EMASESA, “Acciones y retos de EMASESA en su contribución a las ODS”, 2019.
- [INE20] Instituto Nacional de Estadística (INE), 2020.
- [MAGR91] Directiva 91/271/CEE, sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA).
- [OTER19] Alberto Otero , “Los conflictos del Agua en Andalucía” 2019.
- [PNUD19] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, “Objetivos de Desarrollo Sostenible”, 2019.

CAPÍTULO 2. CÁLCULOS

2.1. Introducción.

Tras la descripción teórica de los procesos que van a formar parte de la estación depuradora de aguas residuales para la zona urbana a tratar, se procede a explicar los cálculos de diseño de cada tratamiento.

Como se mencionó anteriormente, el principal objetivo que tiene la planta depuradora es conseguir que el agua de salida de la estación este dentro de los niveles impuestos por la normativa europea y evitar impactos negativos en el medioambiente.

Para el cálculo del dimensionamiento se ha hecho uso de la herramienta Excel, dónde se modificarán los datos de entrada de la EDAR para cada una de las etapas de la planta. Para ello se ha empleado el método de *“Proyectos de plantas de tratamiento de aguas”*, [ISLA05]. De esta forma, se obtienen los datos de dimensionamiento de los equipos empleados en cada una de las etapas del proceso de depuración.

2.2. Líneas de agua.

A lo largo de este apartado se van a explicar los cálculos referentes al dimensionamiento de las cuatro etapas que constituyen las líneas de aguas: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

Para poder realizar los cálculos en cada una de las etapas, se introducirá en el Excel los datos de partida extraídos de una EDAR de la zona geográfica a tratar. Como se mencionó previamente, el método a emplear será el de *“Proyectos de plantas de tratamiento de aguas”* [ISLA05].

Por último, se incluye al final de los cálculos del dimensionamiento dos tablas resumen (EDAR inicial, EDAR modificada), con el porcentaje de reducción de cada contaminante en cada una de las fases, así como, el resultado final obtenido del proceso de depuración.

2.2.1. Pretratamiento.

2.2.1.1. *Rejas de desbaste de grueso.*

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	2.291,6667
Caudal máximo (m ³ /h)	3.600,0000
Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja sucia (m/s)	0,9000
Número de líneas de desbaste	1,0000
Espesor de los barrotes (mm)	12,0000
Distancia entre barrotes (Luz) (mm)	60,0000
Resguardo del canal (m)	0,3000
Ángulo de inclinación de los barrotes (grados)	60,0000
Máxima colmatación entre dos limpiezas (%)	30,0000
Relación profundidad útil/anchura del canal	1,0000
Metros cúbicos de residuos por 1000 m ³ de agua residual a caudal de diseño	0,01

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de diseño por línea (m ³ /h)	2.291,6667
Caudal máximo por línea (m ³ /h)	3.600,0000
Superficie útil del canal (m ²)	1,0501
Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia (m/s)	0,6300
Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja limpia (m/s)	0,9897
Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja colmatada (m/s)	1,4138
Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño (m/s)	0,6062
Anchura del canal (m)	1,0247
Profundidad útil del canal (m)	1,0247
Profundidad total del canal (m)	1,3247
Producción normal de residuos (m ³ /día) (Gruesos)	0,55

Se obtiene una superficie útil del canal de 1,0501 m² y una profundidad total de 1,3247 m. Además, debido a la relación impuesta entre la profundidad útil y la anchura del canal se obtiene el mismo valor de 1,0247 m² para la profundidad como para la anchura.

Por último, se dispone de unos barrotes de 12 mm de espesor con una inclinación de 60°.

2.1.1.2. *Rejas de desbaste de finos.*

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	2.291,67
Caudal máximo (m ³ /h)	3.600,00
Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja sucia (m/s)	0,90
Número de líneas de desbaste	1,00
Espesor de los barrotes (mm)	6,00
Distancia entre barrotes (Luz) (mm)	10,00
Resguardo del canal (m)	0,30
Ángulo de inclinación de los barrotes (grados)	60,00
Máxima colmatación entre dos limpiezas (%)	30,00
Relación profundidad útil/anchura del canal	1,00
Metros cúbicos de residuos por 1000 m ³ de agua residual a caudal de diseño	0,01

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de diseño por línea (m ³ /h)	2.291,67
Caudal máximo por línea (m ³ /h)	3.600,00
Superficie útil del canal (m ²)	1,40
Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia (m/s)	0,63
Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja limpia (m/s)	0,99
Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja colmatada (m/s)	1,41
Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño (m/s)	0,45
Anchura del canal (m)	1,18
Profundidad útil del canal (m)	1,18
Profundidad total del canal (m)	1,48
Producción normal de residuos (m ³ /día) (Finos)	0,55

Al igual que en el caso anterior, se impuso una relación de 1 entre la profundidad útil y la anchura del canal, obteniéndose así un valor de 1,48 m tanto para la profundidad

como para la anchura. Además, se dispone de una distancia entre barrotes de 10 mm y un ángulo de inclinación de 60°. De esta manera, se obtiene una superficie útil del canal de 1,40 m² y una profundidad total del canal de 1,48 m.

2.1.1.3. *Desarenado.*

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	2.291,6667
Caudal máximo (m ³ /h)	3.600,0000
Velocidad ascensional a caudal de diseño [m ³ /(m ² .h)]	15,0000
Velocidad de paso a caudal de diseño (m ³ /m ² .h)	50,0000
Tiempo medio de residencia a caudal de diseño (minutos)	15,0000
Número de líneas	1,0000
Metros cúbicos de aire por metro cuadrado de superficie y hora	8,0000
Metros cúbicos de arena por 1000 metros cúbicos de agua residual a caudal de diseño	0,0200
Metros cúbicos de arena por 1000 metros cúbicos de agua residual con tormenta	1,8000

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de diseño por línea (m ³ /h)	2.291,6667
Caudal máximo por línea (m ³ /h)	3.600,0000
Superficie horizontal (m ²)	152,7778
Sección transversal (m ²)	45,8333
Volumen útil unitario (m ³)	572,9167
Longitud (m)	12,5000
Profundidad útil (m)	3,7500
Anchura (m)	12,2222
Velocidad ascensional a caudal máximo (m ³ /m ² .h)	23,5636
Velocidad de paso a caudal máximo (m ³ /m ² .h)	78,5455
Tiempo medio de residencia a caudal máximo (minutos)	9,5486
Caudal total de aire necesario (m ³ /h)	1.222,2222
Producción normal de arena seca (m ³ /día)	1,1000
Producción normal de arena seca con tormenta (m ³ /h)	6,4800

Se obtiene un volumen útil del desarenador de 572,916 m³ que presenta una producción normal de arena seca de 1,1 m³/día. Además, se obtiene una anchura del canal de 12,22 m, una profundidad útil de 3,75 m y longitud de 12,5 m. Por último, el tiempo de residencia es de 9,5486 minutos.

2.1.1.4. *Desengrasado.*

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	2.291,6667
Número de líneas	1,0000
Densidad del agua a la temperatura de diseño (kg/l)	0,9920
Densidad del aceite a la temperatura de diseño (kg/l)	0,9740
Viscosidad del agua a la temperatura de diseño (cp)	0,6500
Relación profundidad anchura	0,5000
Diámetro mínimo de las partículas a separar (cm)	0,0150

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de diseño unitario (m ³ /h)	2.291,6667
Velocidad ascensional del aceite (m/h)	1,2211
Velocidad transversal del agua (m/h)	18,3167
Factor de turbulencia y cortocircuito	1,6269
Anchura del API (m)	15,8186
Profundidad útil del API (m)	7,9093
Longitud del API sin entradas y salidas (m)	193,0128

Debido a las propiedades del agua residual procedente de la zona urbana a tratar se decidió emplear un separador de aceite tipo API. En este sentido, se ha obtenido un separador de anchura de 15,81m y profundidad útil de 7,9m. Cabe destacar, que se estableció una relación de profundidad y anchura de 0,5. Además, se obtiene una velocidad transversal muy superior a la ascensional debido a la diferencia en los coeficientes de viscosidad.

2.2.2. Tratamiento primario.

2.2.2.1. Decantación primaria.

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	2.291,6667
Velocidad ascensional a caudal de diseño (m ³ /m ² *h)	1,3
Tiempo medio de residencia a caudal de diseño (h)	2,5
Número de líneas	4
Distancia desde el vertedero a la pared interna de la cuba (m)	0,5

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de diseño por línea (m ³ /h)	572,917
Superficie del decantador (m ²)	440,705
Diámetro interno (m)	37,209
Volumen cilíndrico útil (m ³)	1.432,292
Profundidad cilíndrica útil (m)	3,250
Longitud de vertedero por decantador (m)	113,754

Se ha obtenido un decantador primario de las siguientes dimensiones: diámetro interno de 37,209m y profundidad cilíndrica útil de 3,250m. De esta manera, se obtiene un volumen cilíndrico de 1432,292 m³ y una superficie de decantación de 440,705 m².

Gracias a la decantación primaria se consigue reducir en un 30% la DBO y DQO, 50% los sólidos en suspensión y un 10% el nitrógeno y fósforo.

2.2.3. Tratamiento secundario.

2.2.3.1. Reactor biológico aerobio.

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	2291,667
Número de líneas	1,000

Concentración de SS en la salida del biológico (mg/l)	14,210
Concentración de DBO en la salida del biológico (mg/l)	14,340
Concentración de SS en la entrada del biológico (mg/l)	142,000
Concentración de DBO en la entrada del biológico (mg/l)	204,810
Sólidos en suspensión en balsa (MLSS) (mg/l)	3000,000
Relación alimento/microorganismos ((kg DBO alimentados/d)/(kg MLSS en balsas)) Valor recomendado < 6,787-0,0718*(Rendimiento eliminación de DBO en %)	0,400
Profundidad útil (m)	4,000
Relación longitud/anchura de la balsa	3,000
Concentración de SS en la recirculación (mg/l)	8000,000

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Rendimiento esperado de SS (%)	90,000
Rendimiento esperado de DBO (%)	93,000
kilos de DBO alimentados por día al biológico	11264,550
Kilos de MLSS en balsa de lodos activos	28161,375
Volumen total útil de balsa/s de nitrificación(m ³)	9387,125
Volumen unitario útil por balsa (m ³)	9387,125
Superficie unitaria de cada balsa (m ²)	2346,781
Anchura de cada balsa (m)	27,969
Longitud de cada balsa (m)	83,907
Tiempo de retención hidráulico a caudal de diseño (h)	4,096
Carga volumétrica a caudal de diseño (kg de DBO/m ³ .d)	1,200
Caudal teórico de recirculación (m ³ /h)	1375,000
Caudal de recirculación recomendado (m ³ /h)	2291,667
Producción de fangos en exceso (kg/d de SS a purgar)	10671,095
Caudal de fango en exceso a purgar de la recirculación (m ³ /h)	55,579
Caudal de fango en exceso a purgar del licor mixto (m ³ /h)	148,210

Para diseñar el reactor biológico aerobio se ha establecido el caudal de diseño y las concentraciones de DBO y sólidos en suspensión tanto a la entrada como a la salida. De esta manera, se obtiene unas dimensiones de 83,907, de largo y 27,969 de ancho, lo que

hace que tenga un volumen unitario de 9387,125 m³ y una superficie unitaria de 2346,781 m². Además, se genera un exceso de fangos de 10671,095 kg/día que se han de recircular a la línea de fangos para poder mantener constante la concentración de solidos en suspensión del licor mixto (MLSS). En este sentido, se obtiene una cantidad de 28161,375 en la balsa de nitrificación.

Gracias a este tratamiento se consigue reducir en un 90% los sólidos en suspensión y la DQO y un 93% DBO.

Por último, para poder llevar a cabo el proceso de nitrificación-desnitrificación la balsa ha de trabajar en la zona de baja carga como se muestra en el siguiente gráfico.

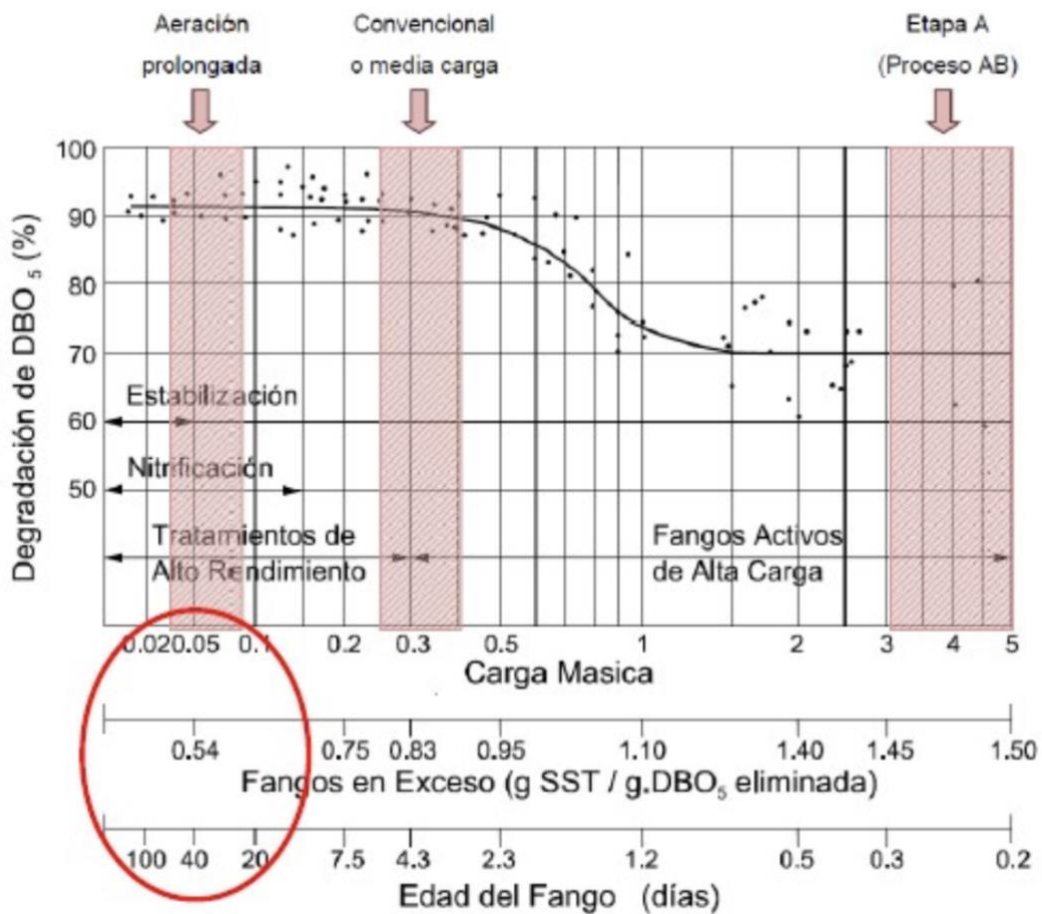


Figura 16. Curva Imhoff. Fuente: [CLE18]

2.2.3.2. *Necesidades de oxígeno para la nitrificación.*

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Coeficiente de síntesis celular	0,530
Coeficiente de respiración celular	0,110
Coeficiente de puntas de caudal y contaminación	1,800
Concentración de saturación de O ₂ a la temperatura del licor mixto (mg/l)	9,200
Coeficiente impurezas	0,920
Coeficiente de temperatura	1,025
Presión atmosférica a la altitud de la depuradora (mm Hg)	740,000
Coeficiente de intercambio entre licor mixto y agua pura (turbinas)	0,900
Coeficiente de intercambio entre licor mixto y agua pura (difusores)	0,630

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Oxígeno teórico requerido para síntesis celular (kg/h)	231,34
Oxígeno teórico requerido para respiración celular (kg/h)	129,07
Oxígeno teórico requerido para nitrificación(kg/h)	110,54
Oxígeno teórico medio requerido (kg/d)	11302,22
Oxígeno teórico requerido en condiciones punta (kg/h)	744,47
Oxígeno real requerido en condiciones medias de operación (kg/d)(turbinas)	16307,93
Oxígeno real requerido en condiciones punta de operación (kg/h)(turbinas)	1074,19
Oxígeno real requerido en condiciones medias de operación (kg/d)(difusores)	23297,05
Oxígeno real requerido en condiciones punta de operación (kg/h)(difusores)	1534,55

2.2.3.3. *Equipos de aireación para la nitrificación.*

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Capacidad específica de oxigenación de las turbinas (kgO ₂ /kWh)	1,900
Rendimiento del motor-reductor de la turbina (%)	90,000
Rendimiento del motor-reductor de la soplante (%)	90,000
Número total de turbinas	2,000
Coeficiente de transferencia para difusores	0,100

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Potencia total requerida de las turbinas (CV)	853,505
Potencia unitaria mínima requerida por turbina (CV)	426,752
Potencia mínima de agitación (W/m ³) (turbinas)	16,965
Potencia de agitación instalada (W/m ³) (turbinas)	66,919
Caudal punta de aire con difusores (Nm ³ /h)	53213,602
Potencia total requerida por los soplantes (CV)	1946,098

2.2.3.4. Dimensionamiento de balsa anóxica previa.

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	2291,667
Número de líneas	1,000
Concentración de NO ₃ -N en salida de balsa anóxica previa (mg/l)	9,800
Concentración de SS en entrada al biológico con el agua a tratar (mg/l)	142,000
Porcentaje de recirculación del licor mixto (%)	400,000
Profundidad útil (m)	3,000
Relación longitud/anchura de la balsa	3,000
Coefficiente de producción máxima de bacterias (kg MLVSS/kg NO ₃ -N)	0,800
Coefficiente de decomposición celular (kg/kg.d)	0,040
Concentración de NO ₃ -N en entrada al biológico con el agua a tratar (mg/l)	57,600

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Kilos de NO ₃ -N alimentados por día a balsa anóxica previa	4500,513
Concentración de NO ₃ -N en entrada de balsa anóxica previa (mg/l)	81,828
Coefficiente de producción de pseudomonas etc. (kg/kg.d)	0,040
Tiempo de residencia celular mínimo (edad del fango) (d)	24,723
Tiempo de residencia celular diseño (edad del fango) (d)	49,445
Relación alimento/microorganismos método americano	0,075
Volumen total útil de balsa/s anóxicas previas (m ³)	21926,408
Volumen unitario útil por balsa (m ³)	21926,408
Superficie unitaria de cada balsa (m ²)	7308,803
Anchura de cada balsa (m)	49,359

Longitud de cada balsa (m)	148,076
Tiempo de retención hidráulico a caudal de diseño (h)	9,568
Carga volumétrica a caudal de diseño (kg de NO ₃ -N/m ³ .d)	0,205
Kilos de MLSS en balsas anóxicas previas	65779,225
Relación alimento/microorganismos (kg NO ₃ -N/d/kg MLSS)	0,068
Rendimiento de eliminación de NO ₃ -N en balsa anóxica previa (%)	87,990

Se obtiene unas dimensiones para la balsa anóxica previa de 49,359 m de ancho y una longitud de 148,076 m. De esta manera, se obtiene una superficie unitaria de 7308,803 m² y un volumen unitario útil de 632,123 m³.

2.2.3.5. Dimensionamiento de balsa anóxica posterior.

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	2291,667
Número de líneas	1,000
Concentración de NO ₃ -N en salida de balsa anóxica posterior (mg/l)	2,880
Profundidad útil (m)	3,000
Relación longitud/anchura de la balsa	1,000
Coefficiente de producción máxima de bacterias (kg MLVSS/kg NO ₃ -N)	0,800
Coefficiente de descomposición celular (kg/kg.d)	0,040

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Kilos de NO ₃ -N alimentados por día a balsa anóxica posterior	1163,195
Concentración de NO ₃ -N en entrada de balsa anóxica posterior (mg/l)	21,149
Coefficiente de producción de pseudomonas etc. (kg/kg.d)	0,021
Tiempo de residencia celular mínimo (edad del fango) (d)	48,190
Tiempo de residencia celular diseño (edad del fango) (d)	96,379
Relación alimento/microorganismos método americano	0,063
Volumen total útil de balsa/s anóxicas posteriores (m ³)	6648,680
Volumen unitario útil por balsa (m ³)	6648,680
Superficie unitaria de cada balsa (m ²)	2216,227
Anchura de cada balsa (m)	47,077

Longitud de cada balsa (m)	47,077
Tiempo de retención hidráulico a caudal de diseño (h)	2,901
Carga volumétrica a caudal de diseño (kg de NO ₃ -N/m ³ .d)	0,175
Kilos de MLSS en balsas anóxicas posteriores	19946,041
Relación alimento/microorganismos (kg NO ₃ -N/d/kg MLSS)	0,058
Rendimiento de eliminación de NO ₃ -N en balsa anóxica posterior (%)	85,868

Se ha obtenido un dimensionamiento para la balsa anóxica posterior de 47,077 m de ancho y longitud. De esta manera, se obtiene una superficie unitaria de 52,92 m² y un volumen unitario de 6648,68 m³.

2.2.3.6. *Dimensionamiento de la balsa de reaireación final.*

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	2291,667
Número de líneas	1,000
Tiempo de retención hidráulico a caudal de diseño (h)	0,500
Profundidad útil (m)	3,000
Relación longitud/anchura de la balsa	1,000

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Volumen total útil de balsa/s de reaireación final (m ³)	1145,833
Volumen unitario útil por balsa (m ³)	1145,833
Superficie unitaria de cada balsa (m ²)	381,944
Anchura de cada balsa (m)	19,543
Longitud de cada balsa (m)	19,543
Kilos de MLSS en balsas de reaireación final	3437,500

Como se puede observar en la Tabla de Resultados de cálculo se ha obtenido un volumen unitario de 1145,833 m³ con una anchura y longitud de 19,543 m.

2.2.3.7. *Necesidades de oxígeno y equipos de aireación para balsas de reaireación.*

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Coeficiente de seguridad	2,000
Número total de turbinas	2,000
Coeficiente de transferencia para difusores	0,100

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Oxígeno teórico requerido (kg/h)	31,510
Oxígeno real requerido (kg/h) (turbinas)	48,146
Oxígeno real requerido (kg/h) (difusores)	68,780
Potencia total requerida de las turbinas (CV)	38,255
Potencia unitaria mínima requerida por turbina (CV)	19,127
Potencia mínima de agitación necesaria (W/m ³) (turbinas)	16,965
Potencia de agitación instalada (W/m ³) (turbinas)	24,572
Caudal de aire con difusores (Nm ³ /h)	2385,067
Potencia total requerida por los soplantes (CV)	73,244

2.2.3.8. *Resumen y balance de alcalinidad.*

RESUMEN Y BALANCE DE ALCALINIDAD	
Volúmen total útil de balsas de nitrificación (m ³)	9387,125
Volúmen total útil de balsas anóxicas previas (m ³)	21926,408
Volúmen total útil de balsas anóxicas posteriores (m ³)	6648,680
Volúmen total útil de balsas de reaireación final (m ³)	1145,833
Volúmen total útil de todas las balsas (m ³)	39108,047
Tiempo de retención hidráulico global a caudal de diseño (h)	17,065
Kilos de MLSS en todas las balsas	117324,14
Potencia total requerida en las turbinas (CV)	891,759
Caudal punta total de aire con difusores (Nm ³ /h)	55598,669
Concentración de NO ₃ -N en la salida del biológico (mg/l)	2,880
Nitrógeno total en el efluente (mg/l)	4,580

Rendimiento total eliminación de N (%)	95
Alcalinidad necesaria como CO ₃ Ca en el influente (mg/l)	223,909

En la tabla anterior se muestra un resumen de todas las balsas empleadas a lo largo de este tratamiento. Se ha obtenido que el volumen total de las 39108,047 m³ donde los niveles de MLSS son de 117324,14 kg. Por último, se ha logrado un porcentaje de reducción del nitrógeno del 95%.

2.2.3.9. Decantador secundario.

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	2.291,6
Caudal máximo (m ³ /h)	3.600,0
Velocidad ascensional a caudal de diseño (m ³ /m ² *h)	0,800
Tiempo medio de residencia a caudal de diseño (h)	5,000
Número de líneas	4,000
Distancia desde el vertedero a la pared interna de la cuba (m)	0,500

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de diseño por línea (m ³ /h)	572,917
Caudal máximo por línea (m ³ /h)	900,000
Superficie del decantador (m ²)	716,146
Diámetro interno (m)	47,432
Volumen cilíndrico útil (m ³)	2.864,583
Profundidad cilíndrica útil (m)	4,000
Velocidad ascensional a caudal máximo (m ³ /m ² *h)	1,257
Tiempo medio de residencia a caudal máximo (h)	3,183
Longitud de vertedero por decantador (m)	145,872
Carga máxima sobre vertedero (m ³ /m*h)	6,170

Tal y como se procedió con el decantador primario, se ha dimensionado el decantador secundario. Se ha obtenido una profundidad cilíndrica útil de 4 m y un diámetro interno de 47,432 m. De esta manera, se obtiene un decantador secundario con un volumen de

2.864,583 m³ y una superficie de 716,146 m². Pese a que son valores altos, cabe destacar que son coherentes debido al elevado caudal que se trata en la estación depuradora de agua. Además, a diferencia del decantador primario, la decantación secundaria es más lenta ya que el tiempo medio que ha de permanecer el agua para su decantación es de 5h.

2.2.4. Tratamiento terciario o avanzado.

Como se mencionó previamente, el proceso de depuración ha de incluir el tratamiento terciario ya que la EDAR inicial incumplía con los niveles de nitrógeno y fósforo establecido en la normativa. Es por ello, que se ha empleado un tratamiento avanzado de cloruro férrico (Cl₃Fe) para hacer que el fósforo pueda precipitar y consecuentemente, se reduzca sus niveles en el agua residual.

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	2.291,667
Caudal máximo (m ³ /h)	3.600,000
Dosis de coagulante (mg/l)	20,000
Concentración del reactivo comercial (kg/ton)	400,000
Densidad del reactivo comercial (kg/l)	1,417
Autonomía de almacenamiento (días)	15,000
Concentración de dosificación (kg/ton) (Reactivo diluido)	50,000
Horas dosificación al día	24,000

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Consumo de reactivo puro a caudal de diseño (kg/h)	45,833
Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño (kg/h)	114,583
Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño (l/h)	80,863
Consumo de reactivo diluido a caudal de diseño (kg/h)	916,667
Consumo aproximado de reactivo diluido a Q de diseño (l/h)	882,947
Densidad aproximada del reactivo diluido (kg/l)	1,038

Consumo de reactivo puro a caudal máximo (kg/h)	72,000
Consumo de reactivo comercial a caudal máximo (kg/h)	180,000
Consumo de reactivo comercial a caudal máximo (l/h)	127,029
Consumo del reactivo diluido a caudal máxima (kg/h)	1.440,000
Consumo aproximado de reactivo diluido a caudal máxima (l/h)	1.387,029
Consumo aproximado de reactivo diluido a caudal de diseño (l/h)	41,250

Usando un valor de 20 mg/L de coagulante, se ha obtenido un consumo de reactivo puro de 45,833 kg/h.

2.3. Líneas de fangos.

De la misma manera que con las líneas de agua, las líneas de fangos también se han de dimensionar. A continuación, se presentan los cálculos correspondientes a las etapas de espesamiento, estabilización y deshidratación de las líneas de fangos.

2.3.1. Espesamiento.

2.3.1.1. Espesamiento por gravedad.

Para poder realizar los cálculos de espesamiento por gravedad, se realizará en primer lugar el cálculo de producción de fangos de la decantación primaria.

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Eliminación sólidos en suspensión (%)	60
Eliminación DBO (%)	30
Concentración sólidos en suspensión entrada decantación (mg/l)	284,2875
Concentración DBO entrada decantación (mg/l)	292,58
Concentración fango decantado (mg/l)	15

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Producción fangos primarios (kg/d de sólidos)	9381,488
Producción media fangos primarios (kg/d de sólidos)	390,895
Caudal medio fangos primarios (m ³ /h)	26,060
Concentración sólidos en suspensión salida decantación (mg/l)	113,715

Concentración DBO salida decantación (mg/l)	204,806
---	---------

Tras obtener la producción de fangos primarios de 9381,488 kg/día, se procede al cálculo de espesamiento por gravedad de los fangos procedentes del decantador primario.

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Carga de sólidos (kg/m ² .h)	55
Tiempo de residencia hidráulico (h)	24
Número de unidades	4
Concentración de salida de los fangos espesados (kg/m ³)	33,33
Sólidos contenidos en los fangos del decantador primario (kg/d)	9381,488
Sólidos contenidos en los fangos del decantador secundario (kg/d)	0
Concentración de los fangos primarios (kg/m ³)	30
Concentración de los fangos secundarios (kg/l)	0

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal fangos primarios (m ³ /h)	13,030
Caudal fangos secundarios (m ³ /h)	0,000
Sólidos contenidos en fangos primarios y secundarios (kg/d)	9381,488
Caudal fangos primarios y secundarios (m ³ /h)	13,030
Concentración fangos mixtos (kg/m ³)	30,000
Superficie unitaria espesador (m ²)	42,643
Diámetro interno (m)	7,369
Volúmen cilíndrico útil unitario (m ³)	312,716
Profundidad cilíndrica útil (m)	7,333
Caudal salida de fangos (m ³ /h)	11,728
Velocidad ascensional (m ³ /m ² *h)	0,076

De esta manera, se obtiene un volumen cilíndrico del espesador de gravedad de 312,716 m³, con un diámetro interno de 7,369 m y una profundidad de 7,333 m. Además, se obtiene un caudal de salida de fangos de 11,728 m³/h que se juntará posteriormente con el caudal de espesamiento por flotación y se estabilizará

2.3.1.2. *Espesamiento por flotación.*

El espesamiento por flotación se emplea para tratar los fangos procedentes del decantador secundario.

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Carga de sólidos (kg/m ² .h)	3
Tiempo de residencia hidráulico (h)	6
Número de unidades	1
Concentración de salida de los fangos espesados (kg/m ³)	30
Sólidos contenidos en los fangos biológicos (kg/d)	10671
Concentración de los fangos biológicos (mg/l)	8000

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de fangos biológicos (m ³ /h)	55,579
Superficie unitaria del espesador (m ²)	148,21
Diámetro interno (m)	13,737
Volumen cilíndrico útil unitario (m ³)	333,47
Profundidad cilíndrica útil (m)	2,25
Caudal de salida de fangos (m ³ /h)	14,821
Velocidad ascensional sin recirculación(m ³ /m ² .h)	0,375
Necesidades de aire para presurización (m ³ /h)	22,194
Caudal de recirculación mínimo (m ³ /h)	111,16

Se ha obtenido un espesador por flotación con diámetro interno de 13,737 m, profundidad de 2,25m, superficie unitaria de 148,21 m² y volumen de 333,47 m³. Además, se podrá espesar un caudal de fangos biológicos de 55,579 m³/h.

2.3.2. Estabilización.

2.3.2.1. *Digestión aerobia.*

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Tiempo de retención hidráulica (d)	12

Profundidad útil del digestor (m)	3
Número de unidades	1
Relación longitud/anchura del digestor	1
Sólidos volátiles contenidos en el fango sin digerir (%)	55
Reducción de volátiles esperada en el fango digerido (%)	45
Sólidos contenidos en los fangos a digerir (kg/d)	28161
Concentración de los fangos a digerir (kg/m ³)	25
Incremento concentración del fango en digestor por purga de sobrenadantes (kg/m ³)	5

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de fangos a digerir (m ³ /h)	46,936
Sólidos contenidos en los fangos digeridos (kg/d)	21191
Concentración de fango alcanzada en el digestor (kg/m ³)	23,813
Caudal de fangos digeridos (m ³ /h)	37,08
Volumen total útil de digestión (m ³)	13517
Volumen unitario (m ³)	13517
Longitud unitaria (m)	67,125
Anchura unitaria (m)	67,125
Tiempo de retención de sólidos (d)	15,189

Se han obtenido unas dimensiones de 67,125 m para la longitud y anchura y un volumen de 13517 m³ para el reactor aerobio. Además, dicho reactor podrá dirigir un caudal de fangos de 37,08 m³.

2.3.2.2. Necesidades de oxígeno.

NECESIDADES DE OXÍGENO	
Temperatura del digestor (°C)	20
Necesidades de oxígeno (kg de oxígeno/ kg sólido volátil eliminado)	2
Concentración de saturación de oxígeno a la temperatura del fango (mg/l)	9,17
Coefficiente de impurezas	0,95

Concentración de oxígeno a mantener en el fango (mg/l)	2
Coeficiente de temperatura	1,069
Presión atmosférica a la altitud de la depuradora (mm de Hg)	720
Coeficiente de intercambio entre fango y agua pura (turbinas)	0,9
Coeficiente de intercambio entre fango y agua pura (difusores)	0,6

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Oxígeno teórico requerido (kg/d)	13940
Oxígeno real requerido en condiciones de operación (kg/d) (turbinas)	946,43
Oxígeno real requerido en condiciones de operación (kg/d) (difusores)	1419,6

2.3.3. Deshidratación.

PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de fango a secar (m ³ /d)	889,93
Días funcionamiento por semana	5
Horas funcionamiento por día	6
Número centrífugas	1
Concentración de sólidos en el fango alimentado (kg/m ³)	25
Concentración de sólidos en el fango seco(kg/m ³)	220
Densidad sólidos contenidos en el fango (kg/l)	1,5
Capacidad específica de la centrífuga	60
Relación longitud/diámetro del rotor	3
Dosis de polielectrolito (kg/Ton materia seca)	5

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de fango a filtrar (m ³ /h)	207,65
Caudal fangos alimentados por centrífuga (m ³ /h)	207,65
Sólidos alimentados por centrífuga (kg/h)	5191,3
Caudal másico de fangos alimentado por centrífuga (Ton/h)	209,38
Densidad del fango alimentado a la centrífuga [kg/l]	1,0083
Densidad del fango deshidratado [kg/l]	1,0733

Volumen del fango deshidratado por hora laborable [m ³ /h]	23,597
Volumen del fango deshidratado semanal [m ³ /semana]	707,9
Diámetro del rotor [m]	0,671
Longitud del rotor [m]	2,0129
Potencia unitaria aproximada del motor [CV]	92,701
Consumo del polielectrolito por centrifuga [kg/h laborable]	25,956
Consumo del polielectrolito por centrifuga [kg/h semana]	778,69

2.4. Contaminantes.

Gracias a los tratamientos empleados, se consigue obtener un caudal de salida del agua que cumple con los niveles de la normativa europea al haber reducido de forma significativa todos sus contaminantes. No obstante, se tuvo que modificar las etapas de la EDAR inicial ya que los niveles de nitrógeno y fósforo del agua de salida se encontraban fuera del rango impuesto por la normativa (ver Tabla 12). Por lo tanto, para corregir dichos parámetros, se introdujo dentro del tratamiento secundario el proceso de nitrificación para poder reducir el nitrógeno y, además, se añadió un tratamiento avanzado con cloruro férrico para conseguir reducir el fósforo hasta los niveles deseados. De esta manera, se logra que todos los parámetros del agua depurada de salida se encuentren dentro de los niveles de la normativa de vertido, tal y como se aprecia en la Tabla 14.

Eliminación Contaminantes-EDAR Inicial											
Contaminantes	Entrada	Pretratamiento								Tratamiento Primario	
		Desbaste de gruesos		Desbaste de finos		Desarenado		Desengrasado		Decantación primaria	
		Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
DBO	350	2,5	341,25	5	324,19	5	307,98	5	292,58	30	204,81
DQO	565	2,5	550,875	5	523,33125	5	497,16	5	472,31	30	330,61
SS	350	5	332,5	10	299,25	5	284,2875	0	284,2875	50	142
N	64	0	64	0	64	0	64	0	64	10	57,6
P	7,4	0	7,4	0	7,4	0	7,4	0	7,4	10	6,66

Tabla 11. Resumen de la eliminación de los contaminantes en las etapas de la EDAR inicial.

Eliminación Contaminantes-EDAR Inicial							
Tratamiento Secundario						Tratamiento Avanzado	
Tratamiento Biológico Aerobio		Nitrificación - Desnitrificación		Decantación secundaria		Cloruro Férrico	
Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
93	14,34	0	14,34	50	7,17	0	7,17
90	33,06	0	33,06	30	23,14	0	23,14
90	14,21	0	14,21	60	5,69	0	5,69
0	57,6	0	57,6	0	57,6	0	57,60
0	6,66	0	6,66	0	6,66	0	6,66

Tabla 12. Continuación del resumen de la eliminación de los contaminantes en las etapas de la EDAR inicial.

Eliminación Contaminantes-EDAR Modificada											
Contaminantes	Entrada	Pretratamiento								Tratamiento Primario	
		Desbaste de gruesos		Desbaste de finos		Desarenado		Desengrasado		Decantación primaria	
		Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
DBO	350	2,5	341,25	5	324,19	5	307,98	5	292,58	30	204,81
DQO	565	2,5	550,875	5	523,33125	5	497,16	5	472,31	30	330,61
SS	350	5	332,5	10	299,25	5	284,2875	0	284,2875	50	142
N	64	0	64	0	64	0	64	0	64	10	57,6
P	7,4	0	7,4	0	7,4	0	7,4	0	7,4	10	6,66

Tabla 13. Resumen de la eliminación de los contaminantes en las etapas de la EDAR modificada.

Eliminación Contaminantes-EDAR Modificada							
Tratamiento Secundario						Tratamiento Avanzado	
Tratamiento Biológico Aerobio		Nitrificación - Desnitrificación		Decantación secundaria		Cloruro Férrico	
Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
93	14,34	0	14,34	50	7,17	0	7,17
90	33,06	0	33,06	30	23,14	0	23,14
90	14,21	0	14,21	60	5,69	0	5,69
0	57,6	95	2,88	0	2,88	0	2,88
0	6,66	0	6,66	0	6,66	87	0,87

Tabla 14. Continuación del resumen de la eliminación de los contaminantes en las etapas de la EDAR modificada.

2.5. Bibliografía.

- [ISLA 05] Ricardo Isla de Juana. “Proyectos de plantas de tratamiento de aguas”.
2005.

CAPÍTULO 3. IMPACTO

MEDIOAMBIENTAL

3.1. Introducción.

A lo largo de este capítulo, se estudiará y analizará el impacto medioambiental que tiene la EDAR diseñada para zona urbana de estudio. En este sentido, se busca evaluar las afecciones ambientales que pudieran producirse como resultado de la construcción y la posterior explotación de la EDAR para así poder encontrar una solución óptima que consiga minimizar todos los impactos negativos.

Para identificar todos los impactos ambientales se empleará el procedimiento analítico de interrelación actividad-medio. En dicho procedimiento, se usará una matriz que muestre la interacción entre las acciones asociadas al desarrollo del proyecto y las características medioambientales para cada caso en particular. En particular, las columnas determinarán las actividades del proceso de construcción y explotación que generen un impacto ambiental mientras que las filas definirán los factores ambientales perjudicados junto con la especificación de cada impacto. Además, se usará un código de colores donde el verde indicará que el impacto es positivo mientras que el rojo indicará un impacto negativo.

Por último, las actividades realizadas durante la fase de construcción y explotación del proyecto serán entre otras: movimientos tanto de la maquinaria como de la tierra, ocupación del espacio por la planta y por los materiales, los vertidos accidentales y la producción de residuos.

MATRIZ DE IMPACTOS

		MATRIZ DE IMPACTOS														Evaluación de impactos		
		Construcción									Explotación							
		Movimiento de tierras	Movimientos de maquinaria	Ocupación del espacio Por la planta de cogeneración	Pistas y accesos	Ocupación del espacio por materiales de Obra	Aporte de materiales para la construcción	Producción de residuos	Vertidos accidentales	Funcionamiento de la instalación	Vertidos accidentales	Producción de residuos	Generación de residuos	Producción de olores	Tráfico de camiones			
Impactos ambientales	Clima	Alteración del clima																
	Geomorfología	Inestabilidad del terreno/aliteración de las formas del terreno																
	Geología	Alteración de rasgos geológicos																
	Hidrología superficial	Disminución de la calidad de las aguas																C
	Hidrología subterránea	Disminución de la calidad de las aguas																

Impactos ambientales	Edafología	Ocupación y pérdida irreversible de suelo	■	□	■	□	□	□	□	■	■	□	□	□	□	□	C	C	
		Contaminación y pérdida de capacidad productiva	■	■	□	■	■	□	■	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□
		Aumentos de la erosión y la sedimentación	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Flora	Pérdida/afección a la cubierta vegetal	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	C	C
	Fauna	Destrucción directa de la fauna edáfica	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	C	C
		Destrucción y pérdida de la calidad de hábitats para la fauna	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Paisaje	Alteración de la calidad paisajística	■	□	■	□	■	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	C	C
Ruido	Incremento de los niveles sonoros	■	■	□	■	□	■	□	□	■	□	□	■	□	■	□	M	C	

Impactos ambientales	Calidad del aire	Aumento de niveles de inmisión de partículas (polvo)	■	■			■	■									■	C	
		Aumento de niveles de inmisión de gases	■	■											■	■			C
	Elementos del patrimonio cultural	Afección a elementos del patrimonio histórico-artístico																	
	Elementos del medio socioeconómico	Afección a elementos socioeconómicos		■	■	■			■	■	■								C
	Valores de intereses humanos	Afección a elementos de interés humano									■								
	Sistema demográfico	Número de poblaciones activa ocupada	■	■		■		■			■								

Tipo de afección:
 ■ Negativo
 ■ Positivo

Magnitud de afección:
 C: Compatible
 M: Moderado

3.2. Valoración de los impactos.

Para evaluar el impacto ambiental que tiene el presente proyecto, se seguirá el método utilizado en “*Estudio ambiental de una planta de cogeneración en papelera guipuzcoana de Zicuña S.A.*” [NOTA07]. Dicho método, emplea la fórmula que se muestra a continuación, en la que intervienen diferentes tipos de variables que determinan la importancia del impacto ambiental.

$$I = \pm(3 IN + 2 EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

Los parámetros que intervienen en la fórmula son los siguientes:

- **I:** Representa la importancia del impacto. Puede adquirir valores entre 13 y 100 distinguiéndose los siguientes rangos:
 - Inferior a 25: compatibles.
 - Entre 25 y 50: moderados.
 - Entre 50 y 75: severos.
 - Superior a 75: críticos.
- **IN:** Indica la intensidad de las acciones. Se mide de la siguiente manera:
 - Afección mínima 1
 - Afección media 2
 - Afección alta 4
 - Afección muy alta 8
 - Destrucción total 12
- **EX:** Es la extensión del área del proyecto en relación con el medio dónde se genera el impacto. Tiene la siguiente escala de medición:
 - Puntual 1
 - Parcial 2
 - Extenso 4
 - Total 8
- **MO:** Se define como el momento. Indica el tiempo que transcurre entre la acción y el efecto de dicha acción.
 - Largo plazo 1

- Medio plazo 2
- Inmediato 4
- Crítico > 4
- **PE:** Representa la persistencia, es decir, cuánto tiempo va a durar el efecto hasta que se vuelvan a las condiciones iniciales.
 - Fugaz (menos de 1 año) 1
 - Temporal (entre 1 y 10 años) 2
 - Permanente (más de 10 años) 4
- **RV:** Son las iniciales de la reversibilidad. Indica que posibilidad tiene el factor afectado de volver a su condición inicial por medios naturales.
 - Corto plazo 1
 - Medio plazo 2
 - Irreversible 4
- **SI:** Representa la sinergia, es decir, la capacidad que tienen algunos factores de aumentar su efecto al ser combinados con otros.
 - Sin sinergismo 1
 - Sinérgico 2
 - Muy sinérgico 4
- **AC:** Hace referencia a la acumulación de un efecto debido a la aparición repetida de las acciones que lo provocan.
 - Simple 1
 - Acumulativo 4
- **EF:** Se refiere al efecto que se produce a causa de una acción.
 - Indirecto 1
 - Directo 4
- **PR:** Indica la periodicidad, es decir, la frecuencia de aparición de un efecto.
 - Irregular 1
 - Periódico 2
 - Continuo 4
- **MC:** Hace referencia a la recuperabilidad parcial o total que tiene un factor afectado a través de medidas correctoras.

- Recuperable de manera inmediata 1
- Recuperable a medio plazo 2
- Mitigable 4
- Irrecuperable 8

- **Signo:** Beneficioso (+) y perjudicial (-).

3.3. Medidas preventivas y correctoras.

En este apartado, se propone una serie de medidas para poder reducir al mínimo el impacto ambiental debido a las acciones llevadas a cabo durante el proyecto.

Por un lado, las medidas preventivas son aquellas que pueden efectuarse previamente al desarrollo del proyecto de manera que se evite o reduzca al mínimo los posibles impactos. Para poder establecer este tipo de medidas, es necesario realizar previamente un estudio del entorno, así como de las tareas que se van a ejecutar. A continuación, se definen una serie de medidas preventivas que podrían emplearse en el diseño de la estación depuradora de agua residuales para el área urbana de estudio:

- Empleo de maquinaria homologada y de calidad de manera que se evite en la medida de lo posible averías y emisiones de olores y gases nocivos para el medioambiente.
- Elección de una ubicación geográfica de la planta apartada de zonas urbanas.
- Tener una buena organización durante la construcción mediante la limitación de la zona de obra para no invadir los terrenos de los alrededores y evitar la acumulación de residuos durante más de un día.
- Tener un buen mantenimiento de la instalación para evitar ruidos innecesarios y vibraciones en el terreno.

Por otro lado, las medidas correctoras son las que se llevan a cabo una vez el proyecto ya ha comenzado. Son medidas que no evitan un impacto negativo sino tratan de reducir su efecto. Por ello, es necesario realizar un análisis posterior para poder evaluar la gravedad que tienen dichos impactos y la forma de corregirlos y minimizarlos.

Seguidamente, se detallan una serie de medidas correctivas que se podrían emplear en el presente proyecto:

- Reducir la huella ecológica de la planta depuradora mediante el empleo de materiales más ecológicos y con mayor durabilidad.
- Reemplazamiento de maquinaria que sea poco eficiente a nivel energético o porque genere excesivas emisiones, ruidos o vibraciones.
- Instalación de pantallas vegetales para minimizar el impacto visual y ambiental.
- Corrección de las etapas y tratamientos específicos del agua residual de manera que se cumplan con los niveles establecidos por la normativa europea.

3.4. Bibliografía.

- [DELA19] Álvaro de la Torre, “Diseño de una EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) para la industria textil”. Proyecto de fin de grado, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Junio 2019.
- [NOTA07] Esther Notario, “Estudio ambiental .de una planta de cogeneración en papelera. guipuzcoana de Zicuña S.A.”. Novotec, 2007.

CAPÍTULO 4. VIABILIDAD

ECONÓMICA

4.1. Introducción.

Bajo el panorama actual de estrés hídrico que muchas zonas geográficas están sufriendo y, el cual se está viendo agravado por el cambio climático, es de vital importancia la implementación de normativas y políticas de regulación para hacer un uso adecuado de los recursos hídricos. Es por ello, que la Directiva de Marco del Agua (DMA) ha establecido un plan de actuación sobre dichos recursos a través de la implementación de análisis económicos.

En este contexto, la depuración de aguas residuales es uno de los aspectos que mayor interés está generando desde 1970 debido a la continua y creciente contaminación de las masas de aguas. Como se mencionó anteriormente, el principal objetivo de la EDAR es limpiar las aguas residuales de los contaminantes para así verter el agua tratada a un medio receptor sin generar impactos negativos en el medioambiente.

En este sentido, para llevar a cabo una adecuada gestión de los recursos hídricos se va a utilizar el método de *“Análisis Coste-Beneficio”*, que es una de las metodologías más populares y complementa el proceso de toma de decisiones. Por lo tanto, en este apartado se aplicará dicha metodología para el caso particular de la EDAR de estudio, comparando los costes de explotación de la planta depuradora con los beneficios ambientales del proceso de depuración. Consecuentemente, se obtiene un indicador útil sobre la viabilidad económica del proyecto y, de esta manera, servir de soporte para el proceso de toma de decisiones.

4.2. Metodología.

Para llevar a cabo el análisis económico se va a tomar como base de partida la metodología empleada en el “Estudio de viabilidad económica para el tratamiento de aguas residuales a través de un análisis coste beneficio”, [HMS10]. Además, también incluye la metodología del teorema de la dualidad desarrollada por Shephard y la metodología de Fare acerca de la cuantificación de outputs no deseables.

Este método se aplicará para una muestra de 43 EDAR ubicadas en la Comunidad Valenciana. De esta manera, se obtiene los precios sombra que se muestran en la Tabla 15, que se usarán de referencia para el caso particular de la EDAR de estudio.

Destination	Reference price water €/m ³	Shadow prices for undesirable outputs (€/kg)				
		N	P	SS	BOD	COD
River	0.7	-16.353	-30.944	-0.005	-0.033	-0.098
Sea	0.1	-4.612	-7.533	-0.001	-0.005	-0.010
Wetlands	0.9	-65.209	-103.424	-0.010	-0.117	-0.122
Reuse	1.5	-26.182	-79.268	-0.010	-0.058	-0.140

Tabla 15. Precios sombras. Fuente: [HERN09]

4.3. Datos de partida.

Para realizar el análisis coste-beneficio (ACB), se han establecido los inputs necesarios para el proceso de depuración del agua residual.

Inputs	Valor (€/año)	Valor (€/m ³)
Energía	115.605	0,037
Personal	194.375	0,063
Reactivos y mantenimiento	89.801	0,065
Residuos y varios	111.739	0,035

Tabla 16. Coste medio de los inputs. Fuente: [HMS10]

Además, el agua depurada que se obtiene tras los diferentes tratamientos es de 16.790.000 m³/año, correspondiéndose este valor con el output deseable.

Por otro lado, tras el proceso de depuración se consigue disminuir los outputs no deseables en las cantidades que se muestran en la Tabla 17.

Outputs no deseable	Valor (kg/año)
DBO	5.742.280
DQO	9.097.829

Sólidos en suspensión	5.780.965
Nitrógeno	1.026.205
Fósforo	109.639

Tabla 17. Outputs no deseables. Fuente: Elaboración propia.

4.4. Resultados.

Para calcular el beneficio ambiental de la depuración del agua residual se multiplica el precio sombra del contaminante de estudio por la cantidad eliminada del mismo tras el proceso de depuración. En este sentido, en la Tabla 18 se muestra la cantidad eliminada de cada contaminante.

Contaminante	Valor (mg/L)
DBO	342,83
DQO	541,86
Sólidos en suspensión	344,31
Nitrógeno	61,12
Fósforo	6,53

Tabla 18. Cantidad de contaminantes eliminados en el proceso de depuración. Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, el beneficio ambiental que se ha obtenido del proceso de depuración se muestra en la Tabla 19. Cabe destacar, que debido a que el vertido se hará al afluente de un río considerado como zona sensible, sólo se ha calculado el escenario para río.

Contaminante	Beneficio ambiental (€/m³)
DBO	0,0113
DQO	0,0531
Sólidos en suspensión	0,0017
Nitrógeno	0,9992
Fósforo	0,2021
Total	1,7453

Tabla 19. Beneficio ambiental. Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, una vez calculado el beneficio ambiental y los costes, se calcula el beneficio neto como la diferencia entre ambos. En la Tabla 20 se muestra los resultados obtenidos.

Beneficio ambiental (€/m ³)	Coste (€/m ³)	Beneficio neto (€/m ³)
1,7453	0,20	1,5453

Tabla 20. Beneficio neto obtenido. Fuente: Elaboración propia.

4.5. Conclusiones.

Una vez realizado el análisis coste-beneficio se llegan a las siguientes conclusiones:

- El beneficio ambiental que más impacto positivo tiene es la eliminación del fósforo, seguido del nitrógeno, DQO, DBO y sólidos en suspensión.
- Se obtiene que el beneficio neto de la depuración del agua residual de aguas urbanas es positivo, lo que quiere decir que el proyecto es viable.

4.6. Bibliografía.

- [HMS10] Francesc Hernández-Sancho, María Molinos-Senante, Ramón Sala-Garrido , “Estudio de viabilidad económica para el tratamiento de aguas residuales a través de un análisis coste beneficio”, 2010.
- [HMS09] Francesc Hernández-Sancho, María Molinos-Senante, Ramón Sala-Garrido. Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: An empirical approach for Spain. Accepted 10/10/2009
- [MUÑO17] Francisco Muñoz Viguera, “Proyecto de una estación depuradora de aguas residuales con aporte a acuífero en la ciudad de Murcia”, 2017.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones.

Tras lo analizado, se concluye que para poder llevar a cabo el proceso de depuración del agua residual del área de influencia se requiere de la instalación de una EDAR con un *Tratamiento Tipo 1* de acuerdo con el Real Decreto 1620/2007 para poder conseguir un agua de *Calidad 1*. Para ello se llevo a cabo un estudio para la EDAR inicial y, tras ver que el agua de salida incumplía con la normativa se rediseñó las etapas de la planta depuradora. La decisión en la que se basó el nuevo diseño vino definida por las características del vertido, así como por los parámetros que incumplían con la normativa. De esta manera, la EDAR de estudio se compone de los siguientes tratamientos:

1. **Pretratamiento:** Permite eliminar los sólidos de mayor tamaño y reducir el riesgo para así preparar el vertido para los posteriores tratamientos y evitar posibles averías. Se han incorporado las fases de desbaste de gruesos, desbaste de finos, desarenado y desengrasado.
2. **Tratamiento primario:** Permite la disminución de los sólidos en suspensión que no han podido ser eliminados previamente. Dicho proceso se lleva a cabo mediante un decantador primario.
3. **Tratamiento secundario:** Tiene como fin eliminar los restos de sólidos en suspensión y DBO tras haber sido tratados en el pretratamiento y tratamiento primario. Esta constituido por un reactor biológico aerobio y una decantación secundaria.
4. **Tratamiento terciario o avanzado:** Permite que los vertidos de salida de la EDAR modificada cumplan con los límites establecidos por la normativa. Esta constituido por un tratamiento de cloruro férrico y un proceso de nitrificación-desnitrificación. Cabe destacar que pese a que este último tratamiento se considera tratamiento avanzado se incluye durante el tratamiento secundario.

Por último, tras realizar el análisis coste-beneficio de la EDAR se concluye que el beneficio ambiental que mayor impacto positivo tiene es la eliminación del fósforo, seguido del nitrógeno, DQO, DBO y sólidos en suspensión. Además, se obtiene que el beneficio neto de la depuración del agua residual de aguas urbanas es positivo

contribuyendo con el con el buen uso del ciclo integral del agua. Por todo ello, se considera que el proyecto es altamente viable.

CAPÍTULO 6. ANEXOS

PLIEGO DE CONDICIONES

CAPÍTULO I – OBJETO DEL PLIEGO

BASE 1ª- En el presente pliego se recogen las bases que regirán para la contratación de los Servicios de Mantenimiento, Conservación y Explotación de la Estación Depuradora de Aguas Residuales textil, en adelante EDAR, que comprende las instalaciones definidas en el proyecto de construcción, de manera que se asegure su funcionamiento y se efectúen cuantas labores de mantenimiento y conservación sean precisas.

BASE 2ª- Los servicios obligatorios que ha de realizar el contratista son:

- b) Mantener el funcionamiento normal de la estación de forma ininterrumpida y consiguiendo en todo momento unos índices de depuración que correspondan, como mínimo, a los requerimientos previstos en el proyecto constructivo de la EDAR, y recogidos en el Anexo I.
- c) Retirar en las debidas condiciones higiénicas, transportar y verter en los lugares adecuados las grasas, arenas y residuos de Pozo de gruesos, rejillas y tamices recogidos en la planta.
- d) Desechar los lodos producidos hasta alcanzar el límite de humedad indicado en el Anexo I, para que puedan ser retirados fácilmente y sin olores por el contratista.
- e) Conservar en perfecto estado todos los elementos de la planta e instalaciones ajenas.
- f) Mantener adecuadamente todas las instalaciones y equipos de la EDAR e instalaciones ajenas. Deberá suscribir los correspondientes contratos de mantenimiento con empresas homologadas, de los elementos e instalaciones de la planta, conforme a la legislación vigente.
- g) Reparar o reponer todos los elementos averiados y deteriorados de las instalaciones e instalaciones ajenas.
- h) Adquirir a su costa todos los materiales, productos y suministros precisos para el debido mantenimiento, conservación y explotación.
- i) Conservar y mantener en perfecto estado todas las instalaciones existentes de control, automatismo e información de la planta. A tal fin deberán suscribir los correspondientes contratos de mantenimiento.

- j) Mantener en perfecto estado de limpieza y pintura todos los elementos e instalaciones de la EDAR.
- k) Conservar en las debidas condiciones, todos los elementos anejos a la EDAR, tales como los jardines, caminos interiores y edificaciones auxiliares.
- l) Suscribir una póliza de responsabilidad civil con cobertura de 600 mil euros por siniestro y patronal para cada anualidad.
- m) Registrar y analizar las características de los parámetros que definen el proceso de las líneas de agua, fangos y auxiliares para su debido control y funcionamiento.
- n) Comunicar a los Servicios Técnicos del Ayuntamiento de forma inmediata, cualquier incidencia que afecte a las instalaciones de depuración.
- o) Enviar a los Servicios Técnicos del Ayuntamiento la información que estos soliciten sobre el funcionamiento de la planta y con la periodicidad que se determine.
- p) Además, deberá prestar al Concello el servicio de mantenimiento de las estaciones de bombeo, fosas sépticas y mini EDAR's de titularidad municipal. Todas las fosas sépticas de titularidad municipal deberán ser revisadas cada seis meses, procediendo a su limpieza, sin coste para el Ayuntamiento, si fuese necesario.
- q) Y, en general, cuantas operaciones y cuidados sean necesarios para cumplir con el fin iniciado en el apartado a).

CAPÍTULO II – CAUDALES, ÍNDICES Y CONDICIONES DE DEPURACIÓN

BASE 3ª- Como características medias de las aguas a tratar, se tomarán las indicadas en el Anexo I, (recogidas de la resolución de autorización de vertido de las aguas residuales de la Confederación Hidrográfica del Duero). Las características principales serán las siguientes:

CAUDAL MÁXIMO DIARIO: 86.400 m³/día.

BASE 4ª- En caso de lluvias se disponen los correspondientes aliviaderos en pretratamiento en planta, por lo que se tratarán los caudales recogidos en el proyecto de la EDAR.

BASE 5ª- El concesionario tratará toda el agua que pueda absorber la depuradora dentro del caudal máximo que pueda absorber la misma según sus condiciones técnicas.

BASE 6ª- La buena marcha de la depuración se comprobará por determinación de los índices recogidos en el Anexo I.

BASE 7ª- El contenido de humedad de los lodos una vez desecados, y el porcentaje en peso de materia volátil, deberán conseguir los porcentajes indicados en el Anexo I.

BASE 8ª- Las determinaciones a que se refieren las BASES 6a y 7a, se hará de acuerdo con los métodos de análisis de la American Public Health Association, o con aquellos que el Departamento Técnico del Ayuntamiento decida para cada caso específico. La Dirección Técnica del Ayuntamiento podrá ordenar o realizar otros ensayos, para un mejor conocimiento de la marcha de la depuración.

BASE 9ª- Será obligación y a cuenta del adjudicatario, la retirada de las arenas, grasas, residuos del pozo de gruesos, rejillas y tamices, recogidos en la planta, así como su transporte y depósito en vertederos autorizados.

BASE 10ª- En el caso de que aparezcan en las aguas residuales sustancias o materias perturbadoras de los procesos de tratamiento o digestión, se comunicará inmediatamente su presencia a los Servicios Técnicos del Ayuntamiento, que determinará si se está en el caso de suspender temporal o parcialmente, alguna de las fases del proceso de tratamiento.

CAPÍTULO III – ENSAYOS Y ANÁLISIS

BASE 11ª- En el laboratorio instalado en la planta, el adjudicatario deberá llevar a cabo cuantos ensayos y análisis sean precisos para el seguimiento de la depuración, para lo cual proveerá el personal, aparatos y reactivos necesarios.

Se deben realizar, como mínimo, las siguientes determinaciones:

- Sólidos totales que contiene el agua bruta y el efluente.

- Sólidos sedimentables que contiene el agua bruta y el efluente.
- Sólidos en suspensión del agua bruta y efluente.
- Contenidos de materia orgánica y mineral de lodos.
- DBO5 con o sin inhibidor Nitrificación.
- DBO5 disuelto.
- Residuo seco.
- Demanda química de oxígeno
- Medición del pH y temperatura en lodos y aguas.
- Conductividad.
- Oxígeno disuelto.
- Índice volumétrico de lodos (I.V.L)
- Nitrógeno amoniacal.
- Nitrógeno-nitratos.
- Nitrógeno-nitritos.
- Fósforo-ortofosfatos.

El control del efluente se realizará en los puntos de control, con la periodicidad y demás requisitos de la Resolución de Autorización de Vertido de una EDAR.

BASE 12^a- Por su parte, los Servicios Técnicos del Ayuntamiento, podrán encargar al laboratorio de la planta o a otros laboratorios, cuantos ensayos y análisis juzguen necesarios para comprobar el cumplimiento de las condiciones establecidas en los Capítulos II y III de estas Bases, o para estudiar la posibilidad de mejoras en el rendimiento y funcionamiento de las instalaciones.

BASE 13^a- En el caso de que el contratista no estuviera de acuerdo con el resultado de los análisis efectuados por los Servicios del Ayuntamiento, se podrá acudir al arbitraje de un laboratorio oficial elegido de común acuerdo por las partes. Los gastos de los análisis de arbitraje serán por cuenta del contratista si no tuviera razón.

BASE 14^a- El contratista con previa autorización de los Servicios Técnicos, podrá montar instalaciones experimentales para ensayar posibilidades de mejora en los rendimientos

o calidades de las aguas tratadas o de los lodos, ateniéndose para ello a las condiciones que dicho servicio le señale. Asimismo, colaborará en el montaje de instalaciones de este tipo, si se llevasen a cabo por iniciativa del Ayuntamiento por terceros autorizados por esta.

CAPÍTULO IV – PERSONAL

BASE 15ª- El adjudicatario deberá disponer del personal preciso para garantizar la correcta realización, en todo momento de las labores de explotación, mantenimiento y conservación de la planta. Al frente del personal y para todas las relaciones con los Servicios Técnicos del Ayuntamiento se hallará un titulado superior, especializado en el tratamiento de aguas residuales.

El resto del personal de la empresa concesionaria, tendrá una formación profesional y experiencia, acordes con las funciones que vayan a tener encomendadas.

El explotador distribuirá el personal en los oportunos turnos de trabajo, de tal forma que se cubran todos los días del año.

La variación y sustitución del personal deberá ser razonada y puesta en conocimiento de los servicios Técnicos Municipales antes de proceder a la misma.

La empresa adjudicataria deberá subrogar al personal que actualmente está adscrito al presente servicio.

BASE 16ª- Para atender las necesidades e incidencias que se presenten en la estación depuradora, el contratista dispondrá por su cuenta de los vehículos que estimen necesarios.

BASE 17ª- El personal deberá atender con toda corrección a los representantes del Departamento Técnico Municipal, en cuantas visitas, inspecciones y trabajos efectúen

en las instalaciones, proporcionándoles, asimismo, todos los datos o detalles que soliciten.

BASE 18ª- Todo el personal que emplee el adjudicatario para la prestación del servicio, deberá percibir, como mínimo, los haberes o jornales fijados en las correspondientes reglamentaciones laborales y estará en todo momento al corriente de sus obligaciones tributarias y Seguridad Social.

BASE 19ª- El Ayuntamiento no tendrá relación de ningún tipo con el personal, ni durante la vigencia del contrato ni a su terminación.

BASE 20ª- Todo el personal de la contrata que, de servicio en la planta, cuyo mantenimiento, conservación y explotación es objeto del contrato, deberá actuar correctamente uniformado e identificado.

BASE 21ª- Aparte del personal vinculado al contratista y al Departamento Técnico del Ayuntamiento, no se permitirá la entrada en las instalaciones a ninguna otra persona que no vaya provista de una autorización expresa y nominal, expedida para cada caso concreto por el departamento citado.

CAPÍTULO V – MATERIALES, REPOSICIONES Y SUMINISTROS

BASE 22ª- El contratista queda obligado a disponer en las instalaciones de todos los materiales, aparatos, herramientas y repuestos necesarios para su funcionamiento normal y para las reparaciones de rutina.

BASE 23ª- El contratista vendrá obligado a la introducción de las mejoras y complementaciones que a continuación se detallan:

a) Material de oficina, taller, etc., necesarios.

- b) Equipamiento e instrumentación del laboratorio para poder efectuar todos los análisis previstos y, en especial, los señalados en la BASE 11^a.
- c) Equipos de seguridad de forma que se cumplan las normas vigentes sobre seguridad e higiene en el trabajo.

BASE 24^a- En los quince primeros días desde la fecha de comienzo de los servicios del contratista, se procederá por éste y por los Servicios Técnicos del Ayuntamiento, a redactar un inventario contradictorio de todos los materiales, aparatos, herramientas y repuestos que existen en la Estación Depuradora y demás instalaciones. El contratista repondrá cuantos elementos incluidos en el inventario se consuman, deterioren o desaparezcan, manteniendo éste al día. Podría, por su parte, aumentar a su costa el número y clase de repuestos si lo considera conveniente para el buen funcionamiento de las instalaciones, incluyéndose también en el inventario.

BASE 25^a- Serán de cuenta del contratista todos los suministros de productos fungibles necesarios para el debido mantenimiento de la estación y su funcionamiento correcto, debiendo tener acopiados en el almacén los suficientes, para hacer frente a cualquier eventualidad que se puede presentar en la entrega de productos por los respectivos abastecedores.

BASE 26^a- Serán por cuenta del Ayuntamiento los siguientes suministros:

- a) Los gastos derivados de aquellas pruebas o ensayos que tengan por objeto la mejora de los rendimientos, o la mejor adaptación de las instalaciones a las nuevas disposiciones legales, salvo que los mismos hubieran sido ofertados por el licitador como mejoras y, por tanto, incorporados al objeto del contrato.
- b) El consumo de cloro para adicionar al efluente en aquellos casos que determine la Dirección del Ayuntamiento, que será abonado por la administración en la certificación correspondiente. Serán por cuenta del contratista los productos químicos necesarios para el funcionamiento de la planta.

BASE 27^a- Los gastos de consumo eléctrico ocasionado por el funcionamiento de la Estación Depuradora, o estaciones depuradoras, en su caso, e instalaciones anejas serán por cuenta del contratista.

CAPÍTULO VI – PARADAS Y AVERÍAS

BASE 28^a- La planta operará bajo el principio de mantenimiento preventivo, planeado para evitar roturas de índole mecánica, paros generales por reparación de elementos esenciales, y conseguir una operación de la instalación en proceso continuo.

En principio, y dadas las características constructivas de la planta, se prevén paradas generales de la planta para realizar el mantenimiento en el pozo de bombeo de agua bruta. Estas podrán ser acordadas por el Ayuntamiento, previa solicitud razonada del explotador.

Anualmente se realizará, en colaboración con el Ayuntamiento, una inspección sobre el estado de mantenimiento de las instalaciones, del que se realizará un informe escrito.

BASE 29^a- El contratista deberá reparar rápidamente y a su costa, cuantos desperfectos y averías se produzcan en las instalaciones.

Siempre que sea posible, las reparaciones se harán en la propia estación, excepto aquellas de especial importancia que requieran la sustitución de elementos complejos o el traslado de los elementos averiados a taller.

BASE 30^a- Las reparaciones de elementos de la planta que impidan la continuidad del funcionamiento normal de esta, se harán en el plazo máximo de 48 horas. Si se trata de elementos disponibles en el mercado y no pueden repararse en el plazo citado, serán reemplazados de manera provisional por otros similares en tanto se repara el averiado, previa conformidad de los Servicios Técnicos del Ayuntamiento y a cargo del contratista.

Si hubiera imposibilidad de reparar o sustituir la máquina averiada en el plazo citado, el contratista se atenderá estrictamente a lo que ordenen los Servicios Técnicos del Ayuntamiento, procediendo en todo caso con la mayor diligencia.

CAPÍTULO VII – MEJORAS Y AMPLIACIONES

BASE 31ª- El contratista podrá proponer toda clase de mejoras a su costa durante la vigencia del contrato, y el Servicio Técnico del Ayuntamiento será libre para aceptarlas o no. En el caso de su aceptación, no producirán modificación del respectivo canon, aun cuando den lugar a economías en los gastos de mantenimiento, conservación o explotación.

CAPÍTULO VIII – INSPECCIÓN Y VIGILANCIA

BASE 32ª- El contratista adjudicatario deberá atender con toda solicitud a cuantas órdenes dicten los Servicios Técnicos del Ayuntamiento, a cuyo fin existirá en la Estación un libro de órdenes foliado, firmado y sellado por la Dirección de dichos Servicios, a los cuales podrá acudir el contratista en caso de disconformidad con alguna orden dentro del plazo máximo de 24 horas.

BASE 33ª- Para la debida comprobación del cumplimiento de las condiciones de este Pliego de Bases y de las órdenes del Servicio Técnico del Ayuntamiento, éste designará los técnicos que crean convenientes, dando cuenta de ello por escrito al contratista.

CAPÍTULO IX – GASTOS POR CUENTA DEL CONTRATISTA

BASE 34ª- Además de todos los gastos necesarios para el cumplimiento de lo establecido en este Pliego de Bases, serán también por cuenta del contratista los que se originen por el montaje, desmontaje y retirada de cualquier clase de instalaciones, los de protección de materiales, seguridad tanto de personas al servicio de la planta como visitantes, como equipos e instalaciones, daño e incendio; los de conservación y reparación de caminos, jardines, pasarelas y desagües; los que afecten a la limpieza general de la planta, los ocasionados por la corrección de las deficiencias que se pongan

de manifiesto en las inspecciones, ensayos y pruebas sobre la marcha de la instalación y el estado de sus elementos.

También serán a costa del contratista, todos los gastos de teléfono, luz, agua y similares de las edificaciones e instalaciones adscritas a los servicios concedidos y de las nuevas aportadas por el concesionario, así como tributos e impuestos que legalmente sean exigibles a la concesión, así como aquellos otros que lo sean en el futuro. En especial, será a costa del adjudicatario, el canon de control de vertidos a satisfacer al Organismo de la Comunidad de Andalucía.

Asimismo, serán de cuenta del contratista, los gastos ocasionados por la suscripción de la póliza de seguro de responsabilidad civil con una cobertura mínima de 500.000,00 euros por siniestro y patronal para cada anualidad. Esta póliza deberá suscribirse durante el primer mes de prestación del servicio.

De igual modo, deberá asegurarse la depuradora contra incendios, robos, vandalismo, rayos, inundaciones y demás contingencias asegurables, con una póliza de seguro de multirriesgo de 600.000,00 euros.

Además, el concesionario será responsable de las sanciones impuestas por la Confederación Hidrográfica, por la realización de vertidos irregulares, salvo que se acredite la imposibilidad de evitar el vertido, bajo las condiciones de la instalación e infraestructuras existentes.

BASE 35ª- Serán también de cuenta del contratista los gastos de otorgamiento del contrato de adjudicación, incluso los correspondientes impuestos, los de anuncios y los de cuantos recargos o impuestos sean inherentes a la prestación del servicio y tramitación de documentos que a él se refieran incluso los del Impuesto del Valor Añadido (IVA).

ANEXO I

RESUMEN CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS EDAR

DATOS GENERALES AÑO ACTUAL

CAUDALES

- Caudal medio horario: 2291,67 m³/h
- Caudal medio diario: 55000 m³/h

CONTAMINACIÓN

- Concentración media DBO: 330 mg/l
- Concentración media solidos en suspensión: 350 mg/l

RESULTADOS A OBTENER AGUA DEPURADA

- sólidos en suspensión < 35 mg/l
- DBO5 < 25 mg/l
- DQO < 125 mg/l
- pH 6,5-7,5
- Nitrógeno total < 10 mg/l
- Fosforo total < 1 mg/l

FANGOS

- Sequedad (% en peso S. secos) > 25 %
- Estabilidad (% en peso S.V) < 40 %

* Los valores máximos instantáneos no superaran el 50% de los valores medios diarios.

En cualquier caso, los valores serán en todo momento los establecidos en la Resolución de Autorización de Vertido otorgada por la Confederación Hidrográfica.

LÍNEA DE AGUA

- PRETRATAMIENTO
- DESBASTE
 - Reja de gruesos: luz 60 mm y espesor barrotes 12mm.

- Reja de finos: luz 10mm y espesor barrotes 6 mm.
- DESARENADO: volumen 573 m³ y longitud de 12,5 m
- DESENGRASADO: Anchura del API 16 m y profundidad útil del API 8 m.

- TRATAMIENTO PRIMARIO
 - 1 DECANTADOR PRIMARIO de 37 m de diámetro interno.

- TRATAMIENTO SECUNDARIO
 - 1 Balsa BIOLÓGICA de 9387 m³ de volumen unitario c/u.
 - ZONA ANÓXICA para la desnitrificación con agitador sumergible de 6648 m³ de volumen.
 - ZONA ÓXICA para la nitrificación. Aireación mediante red de difusores de 1145 m³ de volumen.
 - 1 DECANTADOR SECUNDARIO CIRCULAR de 47 m de diámetro interno

- TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO
 - Eliminación de fósforo por precipitación con adición de Cloruro Férrico.

- MEDIDA DE CAUDAL Y ARQUETA DE SALIDA
 - En Canal tipo PARSHALL por ultrasonidos con indicación, registro y totalizador del agua tratada.
 - ARQUETA final de salida agua tratada.

- EMISARIO DE SALIDA DE LA EDAR
 - De longitud 1.530 m y D=600 mm de diámetro.

LÍNEA DE FANGOS

- RECIRCULACIÓN DE FANGOS
 - Caudal de recirculación recomendado 2291,667 m³/h.
 - Caudal de recirculación teórico 1375 m³/h.
 - Caudal de fango en exceso a purgar del licor mixto 400%
- EXTRACCIÓN DE FANGOS EN EXCESO

- Caudal de fango en exceso a purgar de la recirculación 55,58 m³/h.

- **ESPELAMIENTO**
 - **ESPELAMIENTO POR GRAVEDAD:** tanque cilíndrico con diámetro interno de 7,37 m.
 - **ESPELAMIENTO POR FLOTACIÓN:** tanque cilíndrico con diámetro interno de 13,74 m.

- **SECADO DE FANGOS**
 - **DESHIDRATACIÓN MECÁNICA** con bombas centrífugas con un caudal de fango a filtrar de 207,65 m³/h y motor de 9CV de potencia.

PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTOS PARCIALES.

1.1. Pretratamiento.

1.1.1. Desbaste.

Obra civil: Movimiento de tierras y hormigonado para la instalación del canal. Se incluirá también una escalera de PRFV.

Importe: 16.790 €

Equipos mecánicos: Suministro e instalación de reja automática para la separación de sólidos.

Importe: 3.730 €

1.1.2. Desarenado.

Obra civil: Excavación y movimiento de tierras, hormigón estructural, acero, encofrado y elementos auxiliares.

Importe: 9.253 €

Equipos mecánicos:

- Compuerta de entrada al desarenador.
- Bomba sumergible para la extracción de arenas.
- Contenedor de residuos.
- Compuerta de salida.

Importe: 7.500€

1.1.3. Desengrasado.

Obra civil: Movimiento de tierras, excavación en todo tipo de terreno, hormigón estructural, acero corrugado, encofrado, elementos metálicos auxiliares.

Importe: 9.410 €

Equipos mecánicos:

- Compuertas de entrada a separadores CPI.

- Paquete de placas de separadores CPI.
- Skimmer de separadores CPI.
- Bombas efluente separadores CPI.
- Bombas evacuación aceite de CPI.

Importe: 9.300 €

1.2. Tratamiento primario.

1.2.1. Decantación primaria.

Obra civil: Movimiento de tierras, excavación en todo tipo de terreno, hormigón estructural, acero corrugado, encofrado, elementos metálicos auxiliares.

Importe: 13.930 €

Equipos mecánicos:

- Bombas.
- Compuertas de reparto a decantador.
- Puente decantador primario.

Importe: 6.500 €

1.3. Tratamiento secundario.

1.3.1. Reactor biológico y balsas anóxicas.

Obra civil: Movimiento de tierras, excavación en todo tipo de terreno, transporte de material sobrante a vertedero, hormigón estructural, encofrado, elementos metálicos auxiliares.

Importe: 155.000 €

Equipos mecánicos:

- Compuertas de entrada, de salida y de reparto para las balsas.
- Bombas de recirculación de licor mixto.

- Bombas de exceso de fangos.
- Sistema de aireación para las balsas (turbinas, soplantes, difusores).

Importe: 30.000 €

1.3.2. *Decantador secundario.*

Obra civil: Movimiento de tierras, excavación en todo tipo de terreno, transporte de material sobrante a vertedero, hormigón estructural, encofrado, elementos metálicos auxiliares.

Importe: 27.990 €

Equipos mecánicos:

- Compuertas.
- Puente decantador secundario.

Importe: 8.000 €

1.4. Tratamiento avanzado o terciario.

1.4.1. *Cámara de floculación.*

Obra civil: Movimiento de tierras, excavación en todo tipo de terreno, transporte de material sobrante a vertedero, hormigón estructural, encofrado, elementos metálicos auxiliares.

Importe: 3.200 €

Equipos mecánicos:

- Agitador lento.
- Cajón vertedero
- Unidad de dosificación del cloruro férrico.

Importe: 8.800 €

1.4.2. *Decantador.*

Obra civil: Movimiento de tierras, excavación en todo tipo de terreno, transporte de material sobrante a vertedero, hormigón estructural, encofrado, elementos metálicos auxiliares.

Importe: 14.500 €

Equipos mecánicos:

- Compuertas de reparto a decantadores.
- Puentes decantadores primarios.
- Bombas de fangos primarios.

Importe: 6.500 €

1.5. *Espesamiento de fangos.*

1.5.1. *Espesamiento por gravedad.*

Obra civil: Movimiento de tierras, excavación en todo tipo de terreno, transporte de material sobrante a vertedero, hormigón estructural, encofrado, elementos metálicos auxiliares.

Importe: 14.200 €

Equipos mecánicos:

- Mecanismos espesadores por gravedad.
- Bombas de fangos espesados por gravedad.

Importe: 12.400 €

1.5.3. *Espesamiento por flotación.*

Obra civil: Movimiento de tierras, excavación en todo tipo de terreno, transporte de material sobrante a vertedero, hormigón estructural, encofrado, elementos metálicos auxiliares.

Importe: 29.500 €

Equipos mecánicos:

- Mecanismos espesadores por flotación.
- Bombas de fangos espesados por flotación.

Importe: 5.800 €

1.6. Estabilización de fangos.

1.6.1. Digestión aerobia.

Obra civil

Importe: 29.200 €

Equipos mecánicos:

- Compuertas
- Turbinas

Importe: 4.000 €

1.7. Deshidratación de fangos.

1.7.1. Bomba centrífuga.

Obra civil

Importe: 2.100€

Equipos mecánicos:

- Centrífuga .
- Bombas de entrada a centrífuga.
- Cinta recogida de fangos.
- Cinta de descarga de fangos.
- Tolva de fangos deshidratados .
- Paquete de polielectrolito.
- Bombas de polielectrolito.

Importe: 20.050 €

1.8. Conducciones.

1.8.1. Conductos y tuberías de la EDAR.

Importe: 10.000 €

2. PRESUPUESTO GENERAL.

PRESUPUESTO GENERAL				
Etapas	Procesos	Obra Civil (€)	Equipos Mecánicos (€)	Total (€)
Pretratamiento	Desbaste	16790	3730	20520
	Desarenado	9253	7500	16753
	Desengrasado	9410	9300	18710
Tratamiento Primario	Decantador Primario	13930	6500	20430
Tratamiento Secundario	Reactor biológico y balsas anóxicas	155000	30000	185000
	Decantador Secundario	27990	8000	35990
Tratamiento Avanzado	Cámara de floculación	3200	8800	12000
	Decantador	14500	6500	21000
Espesamiento de fangos	Espesado por gravedad	14200	12400	26600
	Espesado por flotación	29500	5800	35300
Estabilización de fangos	Digestión aerobia	29200	4000	33200
Deshidratación de fangos	Bomba centrífuga	2100	20050	22150
Conducciones				10000
TOTAL				457653

RESULTADO TOTAL	
Total	457653
3% GG + 6% B. Industrial	41188,8
18% IVA	82377,5
Presupuesto Total	581219

3. Bibliografía.

- [CRUZ08] Miguel Cruz Campos, “Ingeniería Básica de la Planta de Tratamiento de Efluentes Procedentes de Industria de Envasado de Aceitunas”, proyecto de fin de carrera. Escuela superior de ingenieros de Sevilla. Octubre, 2008.
- [DELA19] Álvaro de la Torre, “Diseño de una EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) para la industria textil”. Proyecto de fin de grado, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Junio 2019.