



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

# **DISEÑO DE UNA EDAR (ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES) PARA LA INDUSTRIA CONSERVERA**

Autor: Juan Riquelme Borrero

Director: Carlos Morales Polo

Madrid

Agosto 2018

## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### ***1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.***

El autor D. Juan Riquelme Borrero

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: **Diseño de una EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) para la industria conservera**, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2º. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### ***3º. Condiciones de la cesión y acceso***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### ***4º. Derechos del autor.***

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### ***5º. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.

## Diseño de una EDAR para la industria conservera | Juan Riquelme Borrero

- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

### **6°. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a ...26..... de .....Agosto..... de ...2018

ACEPTA



Fdo.....Juan Riquelme Borrero.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
**DISEÑO DE UNA EDAR (ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS  
RESIDUALES) PARA LA INDUSTRIA CONSERVERA**  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico **2017/2018** 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.: Juan Riquelme Borrero

Fecha: 27/08/2018

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Firmado  
digitalmente por  
Carlos Morales Polo  
Fecha: 2018.08.27  
10:25:46 +02'00'

Fdo.: Carlos Morales Polo

Fecha: 27/08/2018



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

# **DISEÑO DE UNA EDAR (ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES) PARA LA INDUSTRIA CONSERVERA**

Autor: Juan Riquelme Borrero

Director: Carlos Morales Polo

Madrid

Agosto 2018



# Diseño de una EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) para la industria conservera

**Autor: Juan Riquelme Borrero**

Directores: Carlos Morales Polo

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso imprescindible para los seres vivos. Para los seres humanos, es un recurso absolutamente necesario tanto para la vida cotidiana como para la industria.

Debido al rápido crecimiento de la industria a lo largo de los últimos 200 años, llegan en nuestros días al agua una gran cantidad y diversidad de contaminantes procedentes de las distintas actividades que realiza el ser humano. Tal es dicho crecimiento, que en muchos casos se han superado las capacidades de descontaminación natural de los cauces de agua, de ahí la necesidad de tratar dichas aguas.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales o EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) buscan lograr de manera constante la depuración del afluente residual que reciben, evacuando un efluente que cumpla las normativas de calidad de vertidos vigentes en cada momento o que posea la calidad requerida para su posterior reutilización, a un coste técnico y económico admisible.

Este proyecto está centrado y enfocado en el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria conservera. En esta industria es muy importante la depuración debido a la gran cantidad y diferencia de vertidos y contaminantes (aceites, elementos sólidos, etc..). Según el tipo de materia prima que trate la industria (hay una gran variedad de productos posibles: frutas, verduras y hortalizas, con todos sus productos derivados) obtendremos unos niveles mayores o menores de contaminantes, sobre todo concentrados en DQO y SS.

Según el informe de AINIA “Asociación de Investigación de la Industria Agroalimentaria”, sobre la gestión y mantenimiento de las depuradoras en industrias agroalimentarias, el consumo de agua, depende en principal medida, al tipo de proceso empleado y en menor medida al producto que se elabora. Principalmente, entre el 30-50% del consumo total de agua se suele concentrar en el lavado de la materia prima cuando es recibida en la fábrica. Otros consumos suelen ser las aguas de transporte, escaldado, limpieza y refrigeración. El volumen de agua residual de esta actividad

industrial depende del tipo de producto, siendo por ejemplo de 25-50 m<sup>3</sup>/T para las espinacas o de 5-10 m<sup>3</sup>/T en el caso de la pera.

El sector se caracteriza por trabajar en la mayoría de casos “por campaña”, aprovechando las diferentes materias primas a lo largo del año. El sector hortofrutícola se concentra en España en Andalucía y la Región de Murcia.

Los procesos a llevar a cabo para dicho tratamiento dependerán de los contaminantes predominantes de este tipo de industrias. Los más comunes son vertidos líquidos de origen orgánico. Este tipo de contaminante puede depurarse, además de por procesos fisicoquímicos y biológicos, por digestión anaerobia. Se trata de un proceso biológico que valoriza dichos contaminantes ya que transforma la materia orgánica en biogás, una mezcla de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> con alto poder calorífico que puede ser utilizado como biocombustible.

## **METODOLOGÍA**

Para la realización del proyecto, se ha organizado de la siguiente forma:

1. Estudio de los contaminantes.
2. Estudio de los tratamientos a realizar.
3. Cálculo y dimensionamiento de la EDAR.
4. Anexos: pliego de condiciones y presupuesto.

La primera tarea que marcará la estructura del proyecto, será analizar los distintos contaminantes que vamos a tener que gestionar en nuestra EDAR.

Dependiendo de la producción diaria y dependiendo de los diferentes productos que tratemos, nuestros contaminantes quedarán determinados. Dichos contaminantes, dependiendo de sus cantidades y su tipología, determinarán a su vez las etapas y tratamientos necesarios para cumplir finalmente con la normativa Dir. 91/271/CEE, que exige la calidad de los efluentes depurados para su vertido. A su vez, los caudales de aguas residuales dependerán también de las diferentes materias primas y sus cantidades de producción.

En el caso de nuestro proyecto se ha escogido una fábrica de conservas vegetales de Murcia. El contenido de contaminantes analizado, teniendo en cuenta la producción anual y los consumos por tipo de producto elaborado son como la siguiente tabla:

	Máximo	Mínimo	Medio	Diseño
<b>DQO</b>	3625	775	2200	2750
<b>DBO</b>	1232	318	775	969
<b>SS</b>	975	188	581	727
<b>P</b>	24	14	19	24
<b>N</b>	65	49	57	71
<b>pH</b>	8	6	7	

**Tabla 1.** Parámetros de diseño en mg/.Fuente: Elaboración propia

Posterior al análisis de contaminantes que tendremos en nuestro caso, tendremos que elegir los tratamientos óptimos a utilizar en nuestra EDAR, como dimensionar las diferentes instalaciones, para poder cumplir con la normativa antes mencionada Dir. 91/271/CEE, la cual exige unos parámetros de contaminantes a la salida de la depuradora según la siguiente tabla:

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

**Tabla 2.** Concentraciones de los contaminantes a la salida de la EDAR establecida por la ley de la directiva 91/271/CEE .Fuente: [MAGRAMA]

Teniendo en cuenta los antes comentados contaminantes y la necesidad de cumplir con los niveles de contaminación máximos establecidos por la normativa, pasaremos a diseñar la EDAR, debiendo elegir los tratamientos a utilizar para la línea de aguas y de fangos.

En cuanto a la línea principal de nuestra depuradora, la línea de aguas, los tratamientos se pueden dividir en cuatro: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento avanzado. El objetivo de estos tratamientos es la reducción de los contaminantes de nuestro vertido residual hasta por lo menos, alcanzar los niveles exigidos por la normativa. La línea secundaria, la línea de fangos, se puede dividir en su caso en tres: espesamiento, estabilización y deshidratación o secado. La línea de fangos, ayudará a eliminar contaminantes, pero también permitirá la recuperación de energía por biogás.

Una vez elegidos los tratamientos requeridos para eliminar los contaminantes, deberemos dimensionar nuestra EDAR. Para ello nos apoyaremos del programa Excel, el cual nos permitirá

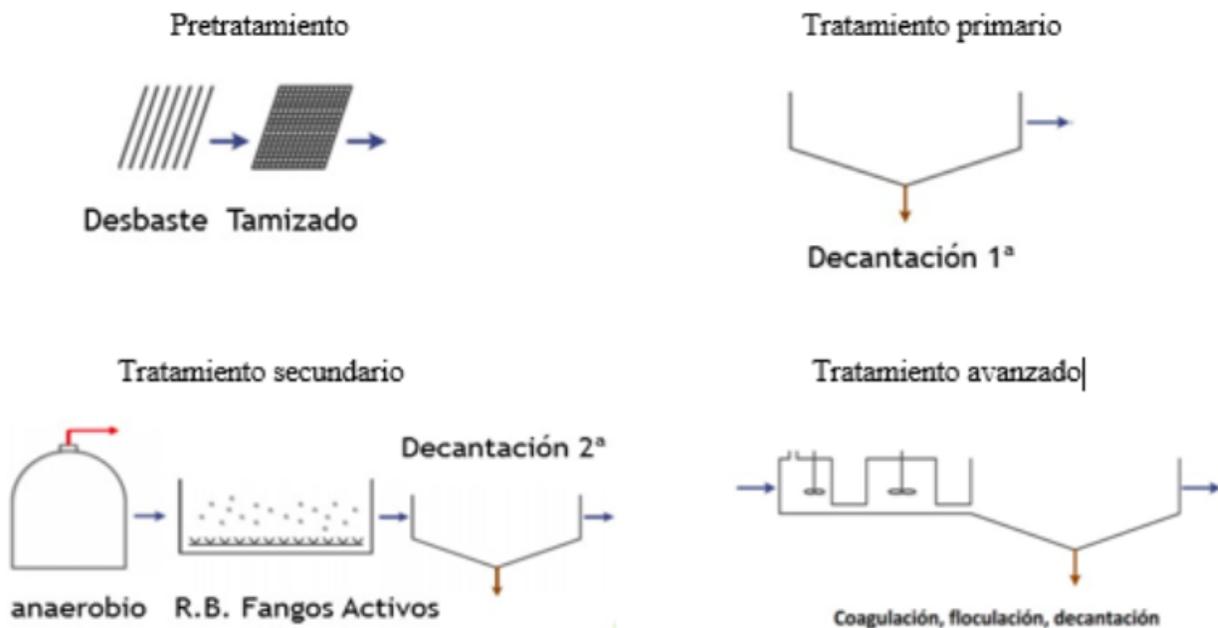
tener en cuenta en los cálculos los parámetros relevantes para dicho dimensionamiento: caudal de entrada y contaminantes a la entrada y a la salida de la EDAR.

Por último, al final del proyecto se realizará un estudio sobre el impacto ambiental de la depuradora, un capítulo dedicado al presupuesto necesario para desarrollar la instalación completa (obra civil y maquinaria) y un pliego de condiciones referente a la misma.

## **SOLUCIÓN**

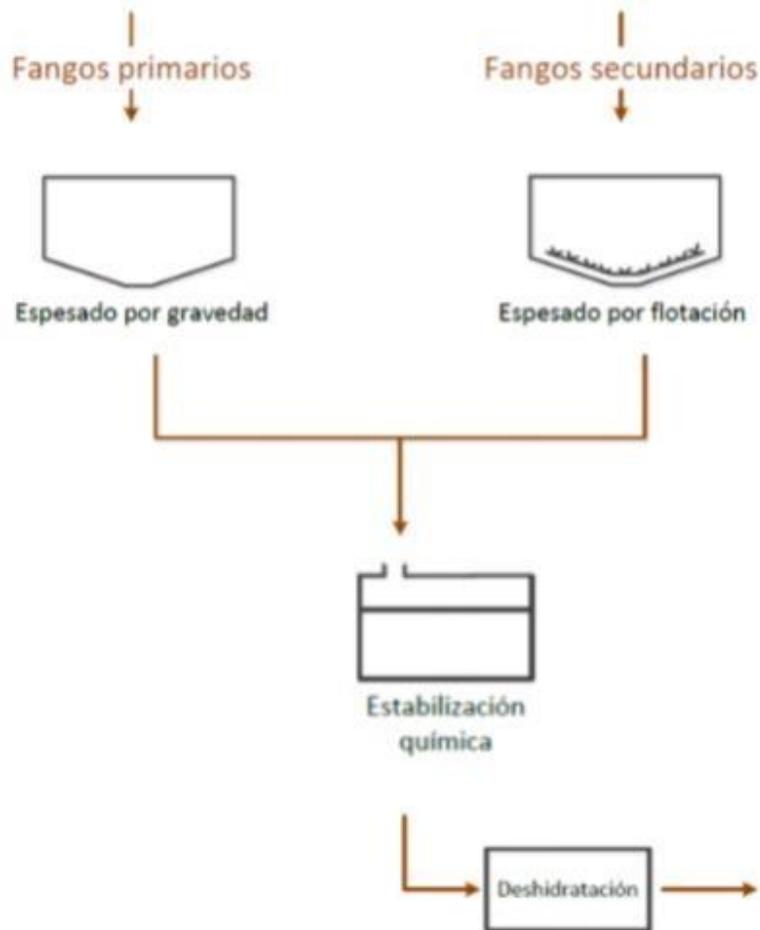
En este apartado, presentamos un esquema resumido de la solución adoptada para la reducción de los contaminantes del agua residual. Mostramos los diferentes tratamientos utilizados tanto en la línea de fangos como en la línea de aguas.

### **Línea de aguas:**



**Figura:** Esquema de línea de aguas. Fuente [CLED17]

## Línea de fangos



**Figura:** Esquema de línea de fangos. Fuente [CLED17]

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [CLED17] María del Mar Cledera Castro. Apuntes de Ingeniería y desarrollo sostenible, Tecnología Medioambiental, Contaminación agua. Universidad Pontificia de Comillas. I.C.A.I. Madrid 2017.
- [MAGRAMA] Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*.
- [MACH17] Machés Rueda, Jaime “*Diseño de una EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) para la industria cervecera*”. Proyecto de fin de grado, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Mayo 2017.
- [MORA14] Morales Polo, Carlos “*Diseño de la EDAR capaz de regenerar el agua residual para uso potable*”. Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. 2014.

## **RESULTADOS**

A continuación, presentamos en la siguiente tabla los resultados específicos de reducción de contaminantes en cada etapa y en cada tratamiento seleccionado aplicando los rendimientos de eliminación de cada uno. Así a la salida de la EDAR los contaminantes cumplen con la citada normativa.

Eliminación contaminantes													
Contaminantes	Entrada	Pretratamiento				Tratamiento primario		Tratamiento biológico				Tratamiento avanzado	
		Desbaste		Tamizado		Decantación primaria		Reactor anaerobio (CRM)		Reactor aerobio (Fangos Activos)		Cloruro férrico	
		Rendimiento (%)	Salida (mg/L)	Rendimiento (%)	Salida (mg/L)	Rendimiento (%)	Salida (mg/L)	Rendimiento (%)	Salida (mg/L)	Rendimiento (%)	Salida (mg/L)	Rendimiento (%)	Salida (mg/L)
DBO	968,75	2,5	944,53	2,5	920,92	33	617,02	90	61,70	90	6,17	-	6,17
DQO	2750	2,5	2681,25	2,5	2614,22	33	1751,53	90	175,15	90	17,52	-	17,52
SS	726,56	2,5	708,40	2,5	690,69	60	276,28	85	41,44	85	6,22	-	6,22
N	71,25	-	71,25	-	71,25	-	71,25	5	67,69	85	10,15	-	10,15
P	23,75	-	23,75	-	23,75	10	21,38	5	20,31	-	20,31	95	1,02



WWTP (Waste Water Treatment Plant) designed for the canned vegetable industry

**Author: Juan Riquelme Borrero**

Directors: Carlos Morales Polo

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

## **INTRODUCTION**

Water is an essential resource for living beings. For human beings, it is an absolutely necessary resource both for everyday life and for industry.

Due to the rapid growth of the industry over the last 200 years, a large amount and diversity of pollutants coming from the different activities carried out by the human being arrive in our days. Such is said growth, that in many cases the capacities of natural decontamination of the water channels have been overcome, hence the need to treat said waters.

The sewage treatment plants or WWTP (Wastewater Treatment Plant) seek to achieve constant treatment of the residual affluent that they receive, evacuating an effluent that complies with the current quality regulations for discharges or that possesses the required quality for its subsequent reuse, at an acceptable technical and economic cost.

This project is focused and focused on the treatment of wastewater from the canning industry. In this industry, the purification is very important due to the large amount and difference of discharges and contaminants (oils, solid elements, etc.). According to the type of raw material that the industry treats (there is a wide variety of possible products: fruits, vegetables, with all its derivative products) we will obtain higher or lower levels of pollutants, especially concentrates in COD and SS.

According to the report of AINIA "Agrifood Industry Research Association", on the management and maintenance of water treatment plants in agri-food industries, water consumption depends mainly on the type of process used and to a lesser extent on the product that is used to be elaborated. Mainly, between 30-50% of the total water consumption is usually concentrated in the washing of the raw material when it is received in the factory. Other consumptions are usually the waters of transport, blanching, cleaning and cooling. The volume of wastewater from this industrial activity depends on the type of product, being for example 25-50 m<sup>3</sup> / T for spinach or 5-10 m<sup>3</sup> / T in the case of pear.

The sector is characterized by working in most cases "by campaign", taking advantage of different raw materials throughout the year. The horticultural sector is concentrated in Spain in Andalusia and the Region of Murcia.

The processes to be carried out for said treatment will depend on the predominant pollutants of this type of industries. The most common are liquid spills of organic origin. This type of pollutant can be purified, in addition to physical and chemical processes, by anaerobic digestion. It is a biological process that valorizes these pollutants since it transforms organic matter into biogas, a mixture of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> with a high calorific value that can be used as biofuel.

## **METHODOLOGY**

For the realization of the project, it has been organized as follows:

1. Study of pollutants.
2. Study of the treatments to be performed.
3. Calculation and sizing of the WWTP.
4. Annexes: specifications and budget.

The first task that will mark the structure of the project, will be to analyze the different pollutants that we will have to manage in our WWTP.

Depending on the daily production and depending on the different products we treat, our contaminants will be determined. These pollutants, depending on their quantities and their typology, will in turn determine the stages and treatments necessary to finally comply with Dir. 91/271 / CEE, which requires the quality of the purified effluents for their discharge. In turn, the flows of wastewater will also depend on the different raw materials and their production quantities.

In the case of our project, we have chosen a vegetable canning factory in Murcia. The content of pollutants analyzed, taking into account the annual production and the consumptions by type of elaborated product are as the following board:

	Máximo	Mínimo	Medio	Diseño
<b>DQO</b>	3625	775	2200	2750
<b>DBO</b>	1232	318	775	969
<b>SS</b>	975	188	581	727
<b>P</b>	24	14	19	24
<b>N</b>	65	49	57	71
<b>pH</b>	8	6	7	

**Board 1:** Design parameters in mg / L. Source: Own elaboration.

After the analysis of pollutants that we will have in our case, we will have to choose the optimal treatments to use in our WWTP, such as dimensioning the different facilities, in order to comply with the aforementioned Dir. 91/271 / CEE regulations, which requires certain parameters of contaminants at the outlet of the treatment plant according to the following board:

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

**Board 2:** Concentrations of pollutants leaving the WWTP established by the law of Directive 91/271 / EEC.[MAGRAMA]

Taking into account the aforementioned pollutants and the need to comply with the maximum contamination levels established by the regulations, we will design the WWTP, choosing the treatments to be used for the water and sludge line.

As for the main line of our water treatment plant, the water line, the treatments can be divided into four: pretreatment, primary treatment, secondary treatment and advanced treatment. The objective of these treatments is the reduction of the pollutants of our residual discharge until at least, reaching the levels required by the regulations. The secondary line, the line of sludge, can be divided into three cases: thickening, stabilization and dehydration or drying. The sludge line will help eliminate pollutants, but will also allow the recovery of energy by biogas.

Once the required treatments have been chosen to eliminate the contaminants, we will have to size our WWTP. For this, we will rely on the Excel program, which will allow us to take into

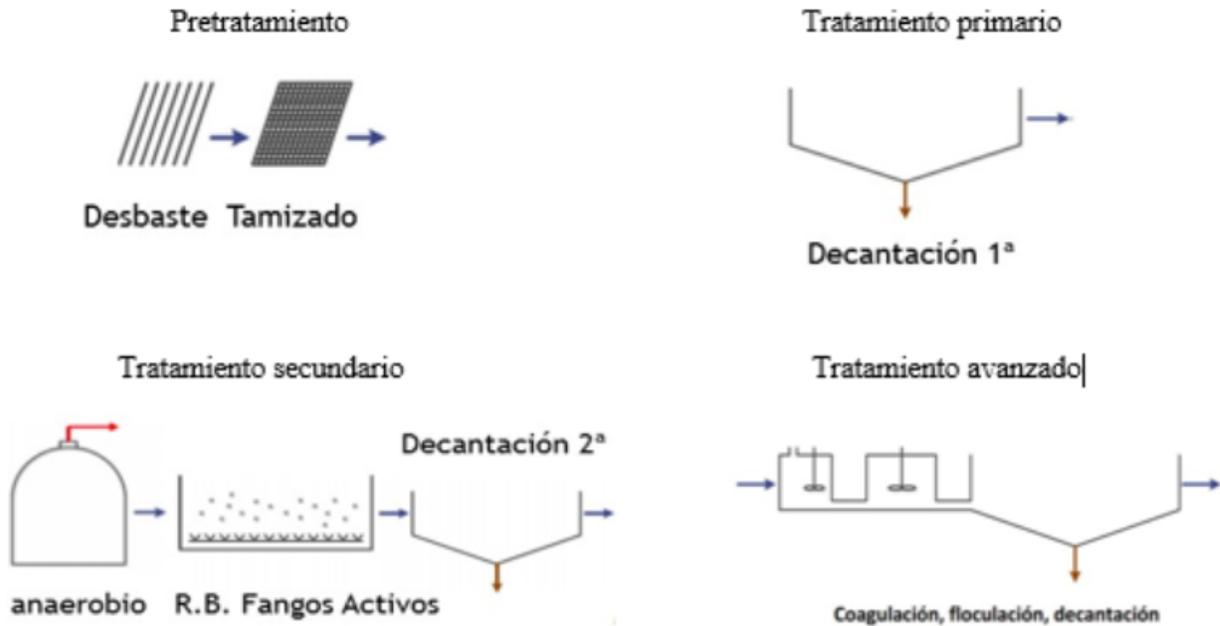
account in the calculations the relevant parameters for this sizing: inflow and contaminants at the entrance and exit of the WWTP.

Finally, at the end of the project a study on the environmental impact of the treatment plant will be carried out, a chapter dedicated to the budget necessary to develop the complete installation (civil works and machinery) and a list of conditions referring to it.

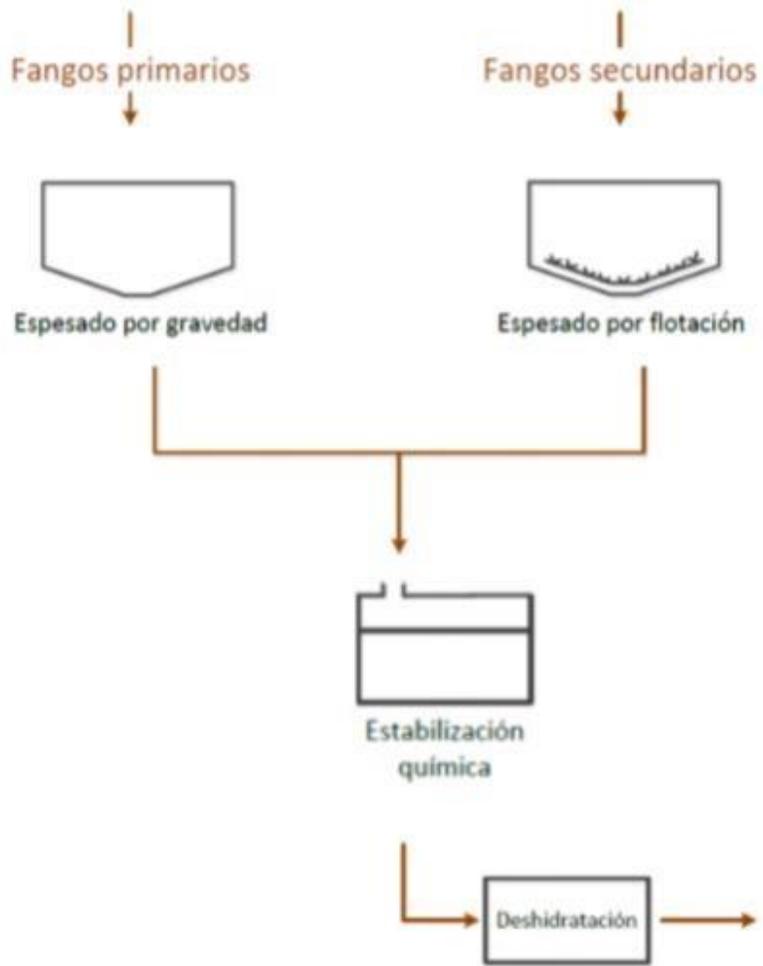
## **DEPLOYED SOLUTION**

In this section, we present a summary outline of the solution adopted for the reduction of wastewater pollutants. We show the different treatments used both in the sludge line and in the water line.

### **Water line:**



### **Mud line:**



## **BIBLIOGRAPHY**

- [CLED17] María del Mar Cledera Castro. Apuntes de Ingeniería y desarrollo sostenible, Tecnología Medioambiental, Contaminación agua. Universidad Pontificia de Comillas. I.C.A.I. Madrid 2017.
- [MAGRAMA] Directive 91/271 / CEE on urban wastewater treatment. Ministry of Agriculture, Food and Environment.
- [MACH17] Machés Rueda, Jaime “*Diseño de una EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) para la industria cervecera*”. Proyecto de fin de grado, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Mayo 2017.
- [MORA14] Morales Polo, Carlos “*Diseño de la EDAR capaz de regenerar el agua residual para uso potable*”. Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. 2014.

## **RESULTS**

In this section, we present a summary outline of the solution adopted for the reduction of wastewater pollutants. We show the different treatments used both in the sludge line and in the water line.

Contaminants Elimination											
Contaminants	Entrance	Pretreatment				First Treatment		Second Treatment			
		Rough Down		Sieve		First Decantation		CSTR Reactor		Active Muds	
		Efficiency (%)	Exit (mg/L)	Efficiency (%)	Exit (mg/L)	Efficiency (%)	Exit (mg/L)	Efficiency (%)	Exit (mg/L)	Efficiency (%)	Exit (mg/L)
BDO5	968,75	2,5	944,53	2,5	920,92	33	617,02	90	61,70	90	6,17
COD	2750	2,5	2681,25	2,5	2614,22	33	1751,53	90	175,15	90	17,52
SS	726,56	2,5	708,40	2,5	690,69	60	276,28	85	41,44	85	6,22
N	71,25	-	71,25	-	71,25	-	71,25	5	67,69	85	10,15
P	23,75	-	23,75	-	23,75	10	21,38	5	20,31	-	20,31



## ÍNDICE

### Capítulo I Memoria

1. Introducción.....	26
2. Objetivos.....	28
3. Contaminación en la industria conservera de vegetales.....	29
3.1. Proceso de fabricación de las conservas vegetales	
3.2. Consumo de agua en la fabricación de conservas vegetales	
3.3. Contaminantes presentes en el agua residual de la industria conservera	
4. Depuración de aguas residuales.....	39
4.1. Línea de aguas	
4.1.1. Pretratamiento	
4.1.2. Tratamiento primario	
4.1.3. Tratamiento secundario	
4.1.4. Tratamiento avanzado	
4.2. Línea de fangos	
4.2.1. Espesamiento de los fangos	
4.2.2. Estabilización de los fangos	
4.2.3. Deshidratación de fangos	
4.3. Descripción de la solución adoptada	
4.3.1. Línea de aguas	
4.3.1.1. Pretratamiento	
4.3.1.2. Tratamiento primario	
4.3.1.3. Tratamiento secundario	
4.3.1.4. Tratamiento avanzado	
4.3.1.5. Esquema de la línea de aguas	
4.3.2. Línea de fangos	
4.3.2.1. Espesado	
4.3.2.2. Estabilización	
4.3.2.3. Deshidratación	
4.3.2.4. Esquema de línea de fangos	
5. Bibliografía.....	74

## Capítulo II Cálculos

1. Introducción.....	79
2. Línea de aguas.....	80
2.1.Pretratamiento	
2.1.1.    Desbaste	
2.1.2.    Tamizado	
2.2.Tratamiento primario	
2.2.1.    Decantación primaria	
2.3.Tratamiento secundario	
2.3.1.    Reactor biológico anaerobio	
2.3.2.    Fangos activos	
2.3.3.    Decantación secundaria	
2.4.Tratamiento avanzado	
2.4.1.    Cloruro Férrico	
3. Línea de fangos.....	91
3.1.Espesamiento	
3.1.1.    Espesamiento por gravedad	
3.1.2.    Espesamiento por flotación	
3.2.Estabilización	
3.2.1.    Estabilización química	
3.3.Deshidratación	
3.3.1.    Deshidratación por centrifugación	
4. Contaminantes.....	97
5. Bibliografía.....	99

## Capítulo III Impacto Medioambiental

1. Introducción.....	102
2. Valoración de impactos.....	106
3. Medidas preventivas y correctivas.....	109
4. Bibliografía.....	110

## Capítulo IV Anexos

Presupuesto

Pliego de condiciones

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Etapas del proceso de elaboración de las conservas vegetales Fuente [GMTD06].....	32
<b>Figura 2.</b> Dotación de agua por sectores industriales. Fuente: [CTNCA08].....	35
<b>Figura 3.</b> Consumos de agua en etapas de conservas vegetales. Fuente [GMTD06].....	36
<b>Figura 4.</b> Caudal de vertido de aguas residuales en elaboración de conservas de hortalizas y frutas. Fuente: Datos del sector.....	37
<b>Figura 5.</b> Carga contaminante de aguas residuales en transformación de conservas y congelados de hortalizas y frutas. Fuente: [GMTD06]].....	39
<b>Figura 6.</b> Concentraciones de los contaminantes a la salida de la EDAR establecida por la ley de la directiva 91/271/CEE. Fuente: [CLED17].....	40
<b>Figura 7.</b> Métodos de medida de referencia de contaminantes presentes en los vertidos, según Dir. 91/271/CEE. Fuente:[MAGRAMA].....	41
<b>Figura 8.</b> Esquema de la línea de aguas y de fangos de una depuradora. Fuente: [CLED17]. .....	42
<b>Figura 9.</b> Esquema general de la fase de pretratamiento de una EDAR. Fuente [CLED17] .....	44
<b>Figura 10.</b> Ejemplos de instalaciones de desbaste (izq) y tamizado (drcha.). Fuente: [CLED17]. .....	46
<b>Figura 11.</b> Esquema general de las operaciones de desarenado y desengrasado. Fuente [CLED17]. .....	46
<b>Figura 12.</b> Esquema general del tratamiento primario de una EDAR. Fuente: [CLED17]. .....	47
<b>Figura 13.</b> Ejemplo de decantador circular. Fuente: [CLED17]. .....	48
<b>Figura 14.</b> Ejemplo de un decantador rectangular. Fuente: [CLED17]. .....	49
<b>Figura 15.</b> Ejemplo de un decantador lamelar. Fuente [CLED17]. .....	50
<b>Figura 16.</b> Esquema general del tratamiento secundario en una EDAR. Fuente [CLED17].....	50
<b>Figura 17.</b> Ejemplo de un sistema CFD. Fuente: [CLED17].....	51
<b>Figura 18.</b> Ejemplo reactor de lechos fijos. Fuente: [TECD13].....	52
<b>Figura 19.</b> Ejemplo reactor de biodiscos. Fuente: [CLED17]. .....	52
<b>Figura 20.</b> Ejemplo de tratamiento fangos activos. Fuente: [CLED17]. .....	53

<b>Figura 21.</b> Fases de crecimiento de los microorganismos en los fangos activos. Fuente: [CLED17].	54
<b>Figura 22.</b> Proceso de reacción anaerobia. Fuente: [CLED17].	55
<b>Figura 23.</b> Reactor de mezcla completa sin recirculación. Fuente: [IDAE07].	56
<b>Figura 24.</b> Tanto por ciento de reducción de materia volátil en función del tiempo. Fuente [CLED17].	60
<b>Figura 25.</b> Reja automática de finos. Fuente: [SAVE18]	65
<b>Figura 26.</b> Tamiz rotativo de alimentación externa. Fuente [SAVE18].	65
<b>Figura 27.</b> Decantador circular. Fuente [CLED17].	66
<b>Figura 28.</b> Digestores anaerobios de mezcla completa. Fuente [IDAE07].	67
<b>Figura 29.</b> Ejemplo de espesado de fangos por gravedad. Fuente: [CLED17].	69
<b>Figura 30.</b> Ejemplo de espesamiento de fangos por flotación. Fuente: [CLED17].	70
<b>Figura 31.</b> Dosis de cal en función de tipos de fango y concentración. Fuente [SUAJA07].	71
<b>Figura 32.</b> Ejemplo de deshidratación por centrifugación. Fuente: [CLED17].	72
<b>Figura 33.</b> Esquema general línea de fangos. Fuente: [CLED17].	73
<b>Figura 34.</b> Esquema general línea de fangos. Fuente: [CLED17].	74

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Caudal y carga contaminante en subsectores. Fuente [BREF03].....	37
<b>Tabla 2.</b> Consumos de aguas y agua vertida según productos.....	38
<b>Tabla 3.</b> Caudales de producción. Fuente: elaboración propia. ....	116
<b>Tabla 4.</b> Curva de factor punta. Fuente: [CLED17]. ....	116
<b>Tabla 5.</b> Contaminantes presentes en el efluente de llegada. Fuente: Elaboración propia. .....	117



# CAPÍTULO I

## MEMORIA

## **1. INTRODUCCIÓN**

El agua es un recurso imprescindible para los seres vivos. Para los seres humanos, es un recurso absolutamente necesario tanto para la vida cotidiana como para la industria.

Debido al rápido crecimiento de la industria a lo largo de los últimos 200 años, llegan en nuestros días al agua una gran cantidad y diversidad de contaminantes procedentes de las distintas actividades que realiza el ser humano. Tal es dicho crecimiento, que en muchos casos se han superado las capacidades de descontaminación natural de los cauces de agua, de ahí la necesidad de tratar dichas aguas.

*Según el informe del Ministerio de Agricultura de 2012*, el consumo total de agua en España es de unos veinte mil hm<sup>3</sup>/año que se reparten entre consumo de la agricultura, urbano y de la industria. Respectivamente cada uno representa un 80-14-6% del consumo total.

En España, hay un total de dos mil doscientas quince depuradoras repartidas por todo el territorio nacional, para poder abastecer la necesidad de depurar dichas aguas residuales. En total, se depuran alrededor de ocho mil ciento treinta hm<sup>3</sup> al año. Las diez depuradoras más grandes de España, depuran el agua equivalente a un total de dieciocho millones de habitantes, el resto de depuradoras están localizadas en poblaciones más pequeñas. La capacidad de depuración española de depuración está en torno a los cuatro mil hm<sup>3</sup>/año lo que representa un total de cien m<sup>3</sup> de agua residual depurada por habitante al año.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales o EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) buscan lograr de manera constante la depuración del afluente residual que reciben, evacuando un efluente que cumpla las normativas de calidad de vertidos vigentes en cada momento o que posea la calidad requerida para su posterior reutilización, a un coste técnico y económico admisible.

Este proyecto está centrado y enfocado en el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria conservera. En esta industria es muy importante la depuración debido a la gran cantidad y diferencia de vertidos y contaminantes (aceites, elementos sólidos, etc..). Según el tipo de materia prima que trate la industria (hay una gran variedad de productos posibles: frutas, verduras y hortalizas, con todos sus productos derivados) obtendremos unos niveles mayores o menores de contaminantes, sobre todo concentrados en DQO y SS.

Según el informe de AINIA “*Asociación de Investigación de la Industria Agroalimentaria*”, sobre la gestión y mantenimiento de las depuradoras en industrias agroalimentarias, el consumo de agua, depende en principal medida, al tipo de proceso empleado y en menor medida al producto que se elabora. Principalmente, entre el 30-50% del consumo total de agua se suele concentrar en el

lavado de la materia prima cuando es recibida en la fábrica. Otros consumos suelen ser las aguas de transporte, escaldado, limpieza y refrigeración. El volumen de agua residual de esta actividad industrial depende del tipo de producto, siendo por ejemplo de 25-50 m<sup>3</sup>/T para las espinacas o de 5-10 m<sup>3</sup>/T en el caso de la pera.

El sector se caracteriza por trabajar en la mayoría de casos “por campaña”, aprovechando las diferentes materias primas a lo largo del año. El sector hortofrutícola se concentra en España en Andalucía y la Región de Murcia.

Los procesos a llevar a cabo para dicho tratamiento dependerán de los contaminantes predominantes de este tipo de industrias. Los más comunes son vertidos líquidos de origen orgánico. Este tipo de contaminante puede depurarse, además de por procesos fisicoquímicos y biológicos, por digestión anaerobia. Se trata de un proceso biológico que valoriza dichos contaminantes ya que transforma la materia orgánica en biogás, una mezcla de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> con alto poder calorífico que puede ser utilizado como biocombustible.

## **2. OBJETIVO**

EL fin de este proyecto, es el correcto diseño de una E.D.A.R. (Estación de depuración de Aguas Residuales) para la correcta depuración de las aguas residuales provenientes de la industria de conservas vegetales, con sus contaminantes específicos, de manera que se pueda alcanzar un equilibrio entre la correcta eliminación de dichos contaminantes para cumplir con la normativa vigente e impactar lo menos posible en el medio ambiente.

La primera tarea, será definir la producción de nuestra industria y por lo tanto determinar los contaminantes que estarán presentes en nuestro efluente a depurar. Los parámetros más relevantes de dicho efluente serán la DQO (demanda química de oxígeno), la DBO (demanda biológica de oxígeno), los sólidos en suspensión (causantes de la turbidez en el agua), el Ph (encargado de la acidez del agua), y los niveles tanto de P (fósforo) y N (nitrógeno).

Una vez conocidos los contaminantes de nuestro efluente, deberemos elegir entre los diferentes tratamientos que se pueden incorporar en una E.D.A.R. de manera que consigamos a la salida un caudal que cumpla con la normativa y a su vez, consiga una eficiencia en el proceso, es decir, maximizar el proceso de depuración optimizando los recursos posibles a nuestro alcance, minimizando el coste e impacto ambiental.

Tras haber decidido las diferentes etapas de nuestra depuradora, y conociendo nuestro caudal de diseño y contaminantes, pasaremos a dimensionar las diferentes etapas utilizadas en la misma con la ayuda de herramientas como Microsoft Excel para un adecuado dimensionamiento.

Por último, y no menos importante, realizaremos un estudio del impacto medioambiental que podría causar la construcción y mantenimiento de una infraestructura civil como esta.

### **3. CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA CONSERVERA DE VEGETALES**

Por lo general, todas las industrias tienen un gran impacto medioambiental. De una manera u otra, todas contribuyen a la contaminación de aguas debido a su actividad (con los consecuentes contaminantes), consumen energía para poder desarrollar su actividad lo que contribuye en cierta medida a producir emisiones a la atmósfera (ya sea por consumo de combustibles o por gases generados en la producción). A estos afectos, habría que sumarles por supuesto otros impactos quizá menos reconocidos como lo son el ruido producido por la maquinaria de producción, los consumos de materias primas, olores, etc.

En nuestro caso, la industria conservera de vegetales se caracteriza por su gran consumo en aguas (debido a los diferentes procesos de lavado, pelado, etc que serán explicados más adelante) y sobre todo por su gran variabilidad en el consumo de dichas aguas, ya que dependen en gran parte del tipo de vegetal que traten, teniendo una gran variabilidad en cuanto a contaminantes y consumo de agua debido al carácter estacional de esta industria. Dicho consumo de agua está presente en todas las fases de producción, desde el lavado de la materia prima hasta el envasado de la misma para su conservación, lo cual hace del agua un factor muy importante y determinante en esta industria.

A continuación, describiremos los distintos impactos que están presentes en la industria, para luego presentar las medidas obligatorias, recomendadas y las no permitidas en la producción de conservas vegetales para conseguir reducir el impacto y ser respetuosos con el medio ambiente.

Residuos: en la industria conservera, los residuos generados no son excesivamente elevados como lo podrían ser en otras industrias de carácter químico y/o energético. Debido a que en esta industria el envasado es una fase elemental para la conservación de los productos, el uso de envases metálicos y de cristal reciclados reduce el impacto de los mismos en el medio ambiente. Como es de esperar, también están presentes residuos orgánicos procedentes de las actividades de lavado y pelado de los vegetales, pero estos no suponen un peligro grave en la contaminación.

Emisión de gases: los gases producidos en esta industria provienen de la energía utilizada en toda la cadena de producción. En el caso específico de las conservas vegetales, están presentes acciones como son la pasteurización/esterilización y enfriamiento, las cuales implican un aumento y disminución de la temperatura del producto, con su respectiva maquinaria que consume energía (en algunos casos podemos alcanzar el 30-40% del consumo total de energía). A su vez, las operaciones de generación de vapor (necesario para el escaldado y tratamiento térmico de la materia prima) son el principal actor en cuanto a las contaminaciones atmosféricas, dependiendo principalmente del tipo de combustible que utilicemos en la caldera (fuel oil, gasoil, propano o gas natural). Los gases emitidos serán, como cabe de esperar, CO<sub>2</sub>.

Contaminación acústica y vibraciones: Debido a todas las actividades relacionadas con el procesado de los vegetales, la maquinaria utilizada para los diferentes procesos contribuye a una contaminación acústica y de vibraciones. Cierto es, que, con la mejora técnica presente en la maquinaria en la actualidad, dicha contaminación se ha podido reducir considerablemente.

Vertidos: los vertidos son el principal factor presente en el impacto medioambiental de esta industria, debido al alto consumo de agua que generan el proceso de lavado, escaldado, enfriamiento, etc. Estos vertidos tendrán presentes un alto contenido orgánico debido a la materia prima y otros posibles contaminantes procedentes del proceso de traslado de la materia prima desde su obtención hasta la planta de tratado.

Como ya habíamos presentado con anterioridad, el principal problema en esta industria estará presente en los vertidos que se producen durante toda la cadena de elaboración del producto final que es la conserva. De esta manera, tendremos que hacer hincapié en el control de los siguientes parámetros durante el proceso:

**Demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** como su nombre indica, es la demanda de oxígeno que presenta un vertido para poder biodegradar la materia orgánica en un periodo de 5 días. La forma de calcular este parámetro, se realiza con un ensayo durante 5 días, a 20° C de temperatura, midiendo la cantidad de oxígeno que está presente en una muestra del vertido antes y después del periodo de 5 días.

**Demanda química de oxígeno (DQO):** este parámetro, nos indica la proporción de materia que puede ser objeto de oxidación en el agua. El ensayo utilizado para su medición, consiste en utilizar un oxidante potente que oxide cualquier sustancia presente en la muestra ya sea orgánica o inorgánica.

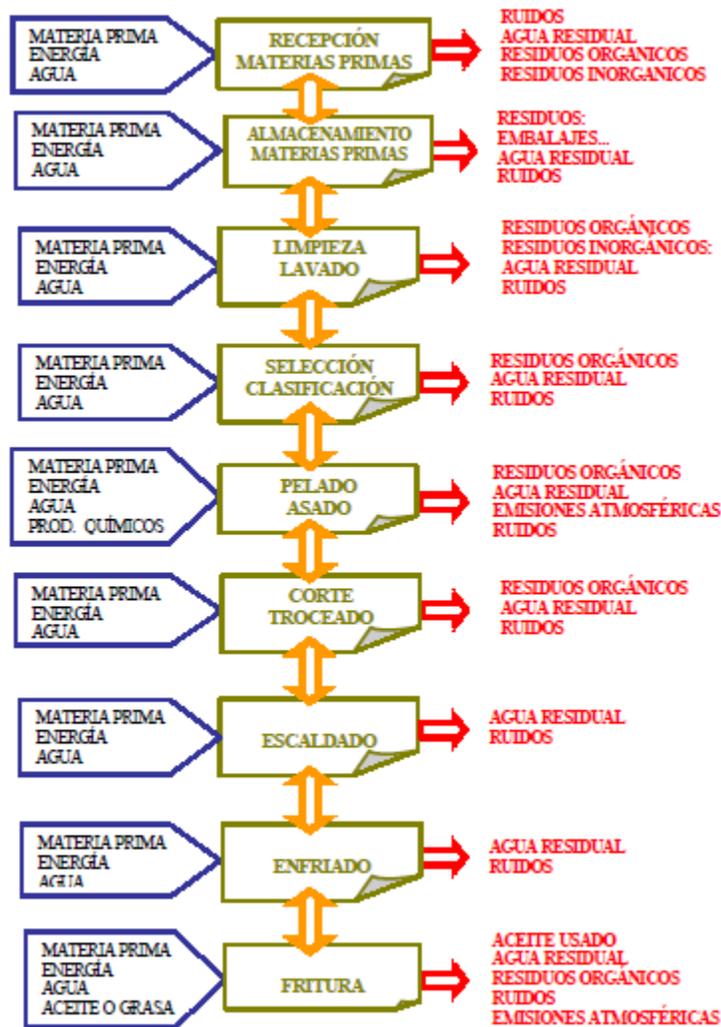
**Sólidos en suspensión:** representa la cantidad de sólidos que se encuentran en el agua y que pueden ser eliminados mediante procesos físicos (tamizado, desbaste, etc).

**pH:** este parámetro es el encargado de medir la acidez de un líquido en particular, que para nuestro caso evidentemente será el agua. Básicamente, mide la cantidad de iones de H que está presentes en una muestra de líquido. Esta medida puede ser pH alto o pH bajo, correspondiendo el alto con una baja concentración de iones y viceversa.

**Fósforo y Nitrógeno:** Debemos controlar estos parámetros a la salida de la depuradora de cara a poder cumplir con la normativa vigente con respecto a los efluentes.

### 3.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS CONSERVAS VEGETALES

El proceso de producción de conservas vegetales presenta determinadas fases correspondientes a las operaciones de preparación de las materias primas para obtener la conserva final. Podemos observar el esquema general en la siguiente figura:



**Figura 1:** Etapas del proceso de elaboración de las conservas vegetales Fuente [GMTD06]

**Recepción y almacenamiento:** Como podemos observar en la figura, la primera etapa es el proceso recepción y almacenamiento de las materias primas recibidas directamente de los productores agrícolas. Esta etapa es de especial importancia, ya que requiere un almacenamiento correcto en cuanto a las condiciones de temperatura de las materias primas para su futuro

procesamiento en la planta. Esta recepción de materias primas, se puede realizar de diferentes maneras:

1. *Bolsas de inmersión por agua:* el producto se descarga sobre bolsas de recepción que contienen agua. La función principal es amortiguar la descarga de los productos para proteger el mismo de sufrir daños y tener que desecharlos. Este sistema, está presente cuando los productos son frágiles como, por ejemplo, con los guisantes, habas, legumbres, alubias verdes, champiñones, etc.
2. *A granel:* Es la técnica más utilizada. Los productos llegan transportados en camiones que descargan las mismas en el suelo o en zonas especialmente determinadas para ello.
3. *En contenedores:* Los productos llegan directamente a la fábrica de procesado en el interior de contenedores que son depositados en naves para su almacenamiento.
4. *Bunker de descarga:* El producto se descarga en una cinta transportadora que la transporta directamente a la línea de producción. Esta técnica está presente cuando se procesan productos de alta resistencia como son las patatas o zanahorias.
5. *Almacenamiento:* Dependiendo del tipo de producto, tendremos la necesidad de almacenarlo entre 0-15 °C o a temperatura ambiente. El almacenamiento refrigerado se lleva a cabo cuando las materias primas no van a ser procesadas con inmediatez. Esta fase del proceso es de vital importancia de cara a no desperdiciar materias primas utilizables en la producción.

**Limpieza y lavado:** En la siguiente etapa, encontraríamos la limpieza y lavado de las materias primas. Este proceso será de gran importancia porque en él, se consume una gran cantidad de agua de cara a quitar cualquier tipo de impurezas y residuos (tierra, pesticidas, fertilizantes ,etc) con los que llegan los productos de las plantaciones. Suele realizarse en varias etapas, produciendo la primera de ellas el agua más contaminada. Este proceso de limpieza y lavado de las materias primas se replican en otras fases como el pelado, el corte y transporte del producto. Dentro de las técnicas disponibles cabe destacar la limpieza en seco que sirve especialmente para la separación de contaminantes de gran tamaño (ventiladores, cepillos, bombos giratorios, separación magnética, etc) y limpieza en húmedo, el cual en algunos casos podría alcanzar el 50% del consumo total de agua del proceso total (AINIA 2000).

**Selección, calibrado y clasificación:** En esta etapa del proceso, se procede a la clasificación de las materias primas según su tamaño y también se procede a la eliminación de materias primas defectuosas (podridos, rotos, inmaduros, etc). La calibración de los productos se puede realizar según el tamaño de la pieza, el peso, la forma, el color la forma, etc. Este proceso se puede realizar de forma manual, de forma mecánica o de forma fotométrica.

**Pelado:** En la siguiente fase del proceso, encontramos la etapa de pelado. Durante el mismo, se procede a la eliminación de las cortezas o pieles de los productos para su procesado. Este proceso está presente en la producción de productos como el tomate, melocotón, espárrago, alcachofa, etc. El pelado se puede realizar de forma mecánica, con maquinaria específica para ello, por pelado químico o por pelado a la llama (normalmente utilizado para productos como el pimientos calentando el producto en un horno).

**Corte y troceado:** En esta etapa, como su propio nombre indica, se procede al corte y troceado de la materia prima de cara a conseguir la presentación final del producto que llega al consumidor y sobre todo para adecuarlo al envase utilizado en cada producto y para respetar las normas de calidad. Este proceso se puede realizar de manera manual, automática o de forma combinada.

**Escaldado y enfriado:** En esta fase del proceso de producción, se procede tanto al escaldado como al enfriado, ambas etapas de crucial importancia para la preparación de las materias primas para su conservación. El escaldado, consiste en mantener las materias primas a una temperatura en torno a 75-100 °C para, entre otras, eliminar gases ocluidos, inactivar enzimas, reblandecer el producto o reducir la carga microbiana. La operación de enfriado, es vital que se produzca justo después de la operación de escaldado para evitar que el producto se deteriore por haber estado a tan alta temperatura. Las operaciones de escaldado pueden realizar por agua caliente o vapor de agua mientras que las operaciones de enfriado pueden realizarse por inmersión en agua o enfriamiento por aire.

**Fritura:** La fritura es un tratamiento térmico que se le aplica a los vegetales que se realiza en aceite o grasas caliente (temperatura en torno a los 180 °C), de cara a mejorar la palatabilidad, la textura del producto y el sabor, eliminando además el exceso de agua del vegetal.

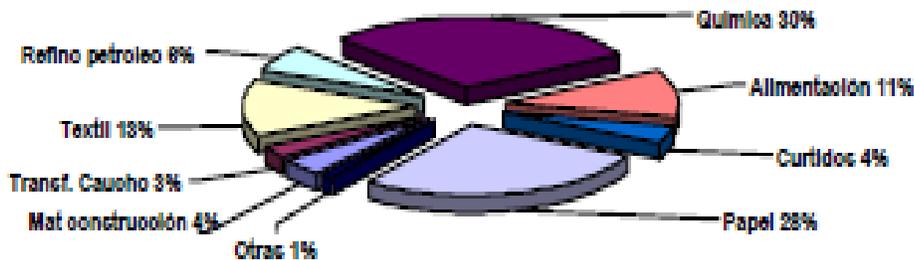
**Envasado:** Esta etapa, la del envasado, es en la cual se procede a introducir el producto (conserva) totalmente terminado en sus respectivos envases. Dichos envases dependen en el tipo de producto y pueden tener diversas formas y tamaños.

**Pasteurización/esterilización:** Por último, y específicamente para las conservas vegetales, se llevan a cabo las operaciones de pasteurización y esterilización. Dependiendo de la acidez del producto, deberemos realizar una pasteurización al producto cuando el pH sea menor de 4,6 o un proceso de esterilización cuando el pH sea mayor de 4,6. El proceso de pasteurización consiste en un tratamiento térmico al producto final envasado (temperatura siempre menor de 100 °C) y a presión atmosférica de cara a acabar con cualquier microorganismo del tipo bacterias, mohos o levaduras. Por su lado, el proceso de esterilización consiste en un tratamiento térmico al producto final envasado (temperaturas superiores a 100 °C) para conseguir eliminar las bacterias que puedan estar presentes.

### 3.2. CONSUMO DE AGUA EN LA FABRICACIÓN DE CONSERVAS VEGETALES

Como hemos podido observar en el apartado anterior, el agua está presente, sino en todas, en casi todas las fases de producción de las conservas vegetales. Dentro de todas las etapas, debemos hacer hincapié en las que suponen un gran consumo de agua con respecto al total, y las que más contaminan dichas aguas.

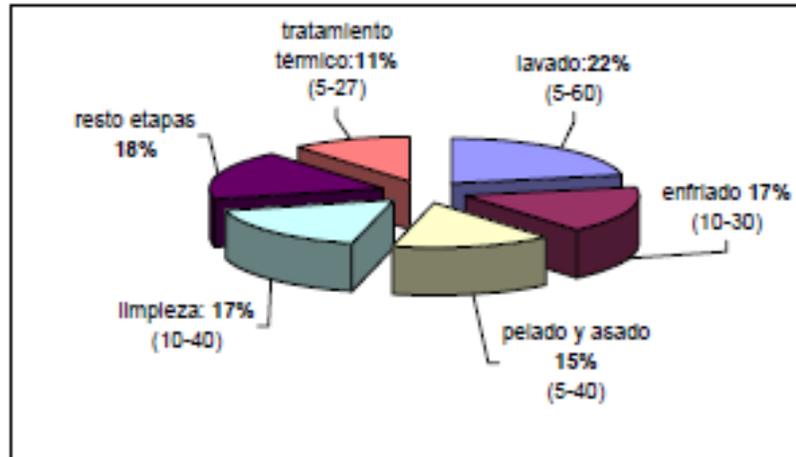
En el marco general de la industria, la industria agroalimentaria en la que está incluida la de fabricación de conservas vegetales, representa una de las principales en cuanto al consumo de agua se refiere. Como podemos observar en la siguiente figura, el consumo de la industria agroalimentaria representa el 11% del consumo total.



**Figura 2:** Dotación de agua por sectores industriales. Fuente: [CTNCA08]

Según el informe del **Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación** y como hemos comentado con anterioridad, el consumo de agua en la industria conservera está presente en numerosas fases de producción y operaciones, tales como, lavado de materias, escaldado y enfriamiento, tratamientos térmicos, lavado y mantenimiento de equipos auxiliares de producción (calderas de vapor, instalaciones para enfriamiento, etc).

De cara a ver de forma más general los consumos de agua, dependiendo de la etapa o fase de la producción, podemos observar la siguiente tabla de organización de consumos de agua en las diferentes etapas de conservas vegetales (GMTD).



**Figura 3:** Consumos de agua en etapas de conservas vegetales. Fuente [GMTD06]

Según diferentes autores, como consecuencia de la presencia de un alto uso de agua en las fases de producción de la industria conservera, tendremos como consecuencia de ello una gran generación de aguas residuales, sobre todo en lo que concierne a los términos de volumen o caudal. En torno al 70-80% del total del consumo de agua, se vierte en forma de aguas residuales (la cual tendremos que tratar en nuestra depuradora para cumplir con las normativas vigentes) y en torno al 20-30% del consumo se refiere a evaporaciones de agua en los procesos de tratamientos térmicos y la utilización del líquido de gobierno, el cual es esencial y principal en el envasado y conservación.

Por ejemplo, en la Región de Murcia, dónde está localizada nuestra depuradora, el consumo total anual de agua en el sector de las conservas vegetales está en torno al 10 y 15 hm<sup>3</sup>, por lo que si le aplicamos el 70-80% de aguas residuales comentadas anteriormente, estaríamos hablando de un total de entre 8 y 12 hm<sup>3</sup> de aguas residuales al año.

Como hemos comentado con anterioridad y dado que el consumo de agua en esta industria está presente sobre todo en las operaciones de lavado y pelado de las materias primas, el consumo de agua dependerá en gran medida del tipo de producto que se produzca y la cantidad del mismo que se quiera tratar. Este consumo también quedará condicionado por la estacionalidad de los productos que tengamos que tratar, ya que dependiendo de cuando se recojan los mismos, los consumos de agua estarán concretados en esas fechas, pudiendo intentar regular ese consumo anualmente, con una producción equilibrada teniendo en cuenta el consumo por kg de producto tratado y la estacionalidad de los mismos.

### **3.3. CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA CONSERVERA VEGETAL**

Como ya hemos valorado anteriormente, la industria conservera vegetal, conlleva un gran consumo de agua, derivado de todas las etapas de producción. Según el **GMTD**, el 80% del agua consumida total, se convierte en aguas residuales que serán vertidas. El restante 20% formara parte del líquido de gobierno o se pierde en evaporaciones y otras causas.

Otro de los aspectos más relevantes del consumo de agua en este sector, es la carga de contaminantes que contienen los vertidos, contaminantes específicos y caracterizados por el tratamiento de productos, que a su vez se verá determinado por el tipo de productos tratados y procesados. De dichos contaminantes, los parámetros relevantes y a analizar, serán la demanda bioquímica de oxígeno **DBO**, la demanda química de oxígeno **DQO**, los sólidos en suspensión **SST** y en ocasiones en algunos vertidos el **pH**.

Otro factor que determinará los contaminantes en esta industria, será el carácter estacional de la producción determinada por las diferentes campañas de las diferentes materias primas utilizadas. Es tal la importancia, que puede llegar a causar paradas en la producción, dificultando el tratamiento y dimensionamiento de las aguas residuales.

En la siguiente tabla, podemos observar los intervalos de la generación de aguas residuales dependiendo del subsector (conservas y congelado vegetales y zumos) y de los intervalos de carga contaminante que representan cada uno.

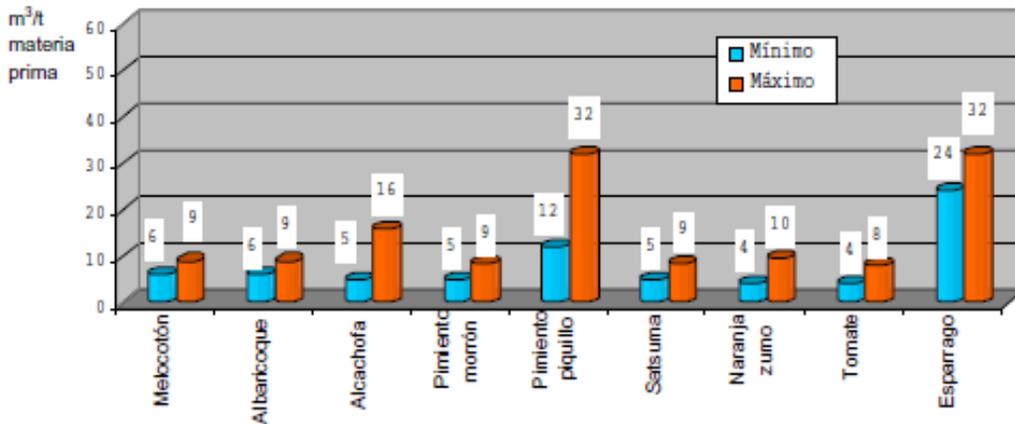
Subsectores	Caudal (m <sup>3</sup> /t materia prima)	Carga contaminante
Conservas y congelados vegetales	3.5 a 8.5	DBO <sub>5</sub> : 140 a 7.000 mg/l SST: 60 a 3.000 mg/l
Zumos	0.5 a 6.5	DBO <sub>5</sub> : 500 a 3.200 mg/l SST: 300 a 1.300 mg/l

**Tabla 1:** Caudal y carga contaminante en subsectores. Fuente [BREF03]

Como podemos observar en la tabla, el caudal de vertido de aguas residuales oscila para la industria conservera en torno a los **3,5 y 8,5 m<sup>3</sup>/Tm** de producto producido, con una carga de

contaminantes que en el caso de la **DBO** oscila entre los **140 a 7.000 mg/L** y de **60 a 3.000 mg/L** en el caso de los **sólidos en suspensión**.

Por otro lado, dentro de los contaminantes y en específico para el producto tratado, tendremos niveles de vertidos distintos, siendo el mayor en consumo de agua residual la producción de espárragos y pimientos en conserva (32m<sup>3</sup>/Tm) y el menor el del melocotón, albaricoque (9m<sup>3</sup>/Tm). Según datos del sector, podemos observar en la siguiente gráfica, cuales son algunos de los consumos máximos y mínimos en España según la producción de diferentes materias primas:



**Figura 4:** Caudal de vertido de aguas residuales en elaboración de conservas de hortalizas y frutas. Fuente: Datos del sector

Por otro lado, y como hemos comentado antes, tendremos distintos niveles de contaminación en los parámetros de interés (DBO, DQO, SST y pH), en función de la materia prima utilizada. Podemos observar este amplio espectro en la siguiente tabla resumen:

Producto	Carga contaminante		
	pH	DQO (mg/l)	SST (mg/l)
Melocotón	7-8.5	1.200-4.400	150-550
Albaricoque	6-8	600-2.700	75-250
Alcachofa	6-8.5	400-2.600	100-350
Pimiento morrón	6.5-9.5	400-2.000	150-400
Pimiento piquillo	5-7.5	500-3.500	100-500
Satsuma	5.5-7.5	700-3.200	175-400
Naranja zumo	5-7.5	1.500-5.500	150-550
Manzana concentrado	4.5-7.0	800 -2.500	150-450
Tomate	4.5-7.5	1.000-4.000	400-2.500
Congelados *	6-9	1.000-4.000	100-1.200

**Figura 5:** Carga contaminante de aguas residuales en transformación de conservas y congelados de hortalizas y frutas. Fuente: [GMTD06]

#### **4. DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

En este apartado, vamos a explicar de manera general la estructura que suele tener una EDAR, detallando cada una de las etapas presentes en la misma y las funciones e impactos que tienen sobre el efluente a depurar. Lógicamente, no todas las depuradoras tienen la misma estructura y etapas, ya que la selección de las mismas depende del tipo de efluente que tengamos, los diferentes contaminantes presentes en el mismo, lo que nos obligará a introducir o no diferentes etapas necesarias para eliminar contaminantes específicos.

Nuestra industria, es muy específica en cuanto a los contaminantes presentes en ella, debido a los procesos de fabricación explicados en el apartado 3. Debemos recordar, que el fin de nuestra depuradora es conseguir a la salida que los contaminantes respeten la normativa de los vertidos de las industrias **Dir. 91/271/CEE**. Éstos parámetros exigidos, influirán en las diferentes etapas a incluir en nuestra instalación, teniendo presente siempre que los valores de los parámetros de contaminación nunca deberán superar los que se muestran en la tabla siguiente:

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

**Figura 6:** Concentraciones de los contaminantes a la salida de la EDAR establecida por la ley de la directiva 91/271/CEE. Fuente: [CLED17]

A parte de establecer la normativa los contaminantes a la salida de la EDAR, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente establece los procedimientos y métodos de medida para obtener los contaminantes de los vertidos. Como podemos observar en el siguiente cuadro, los métodos de medida de referencia para los diferentes parámetros son:

Parámetros	Método de medida de referencia
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> 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"> <li>• Filtración de una muestra representativa a través de una membrana de filtración de 0,45 micras. Secado a 105 °C y pesaje.</li> <li>• 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.</li> </ul>
Fosforo total	Espectrofotometría de absorción molecular
Nitrógeno total	Espectrofotometría de absorción molecular

**Figura 7.** Métodos de medida de referencia de contaminantes presentes en los vertidos, según Dir. 91/271/CEE. Fuente [MAGRAMA]

Conociendo la normativa presente y las exigencias de concentraciones de la misma, es obvio que el objetivo de la EDAR a diseñar tendrá que estar enfocado en:

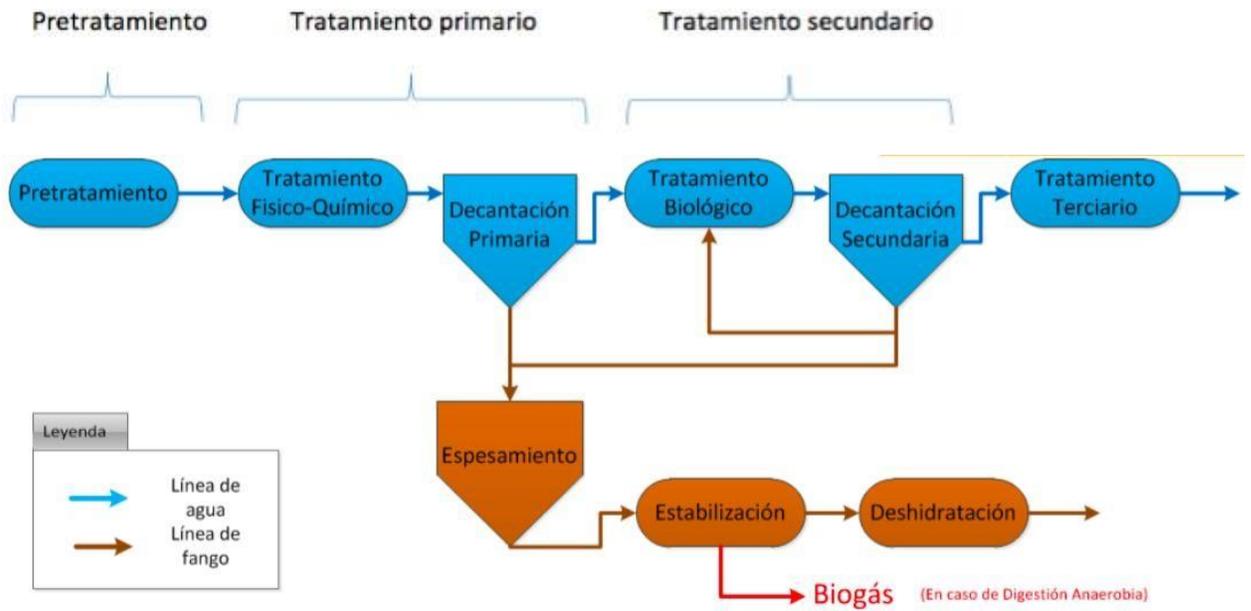
- Reducir la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) hasta 25 mg/L.
- Reducir la demanda química de oxígeno (DQO) hasta 125 mg/L.
- Reducir los sólidos en suspensión (SS) hasta 35 mg/L.
- Reducir las concentraciones tanto de Nitrógeno (N) y Fósforo (P) hasta 10 mg/L y 1 mg/L respectivamente.

A continuación, explicaremos de manera general los diferentes procesos generales que pueden estar presentes en las EDAR, para así tener una visión general de la estructura que debe tener nuestra instalación y las posibilidades que tenemos para aplicarlas a nuestra depuradora para posteriormente profundizar en las técnicas y etapas y finalmente poder elegir las que sean más adecuados para nuestro caso en particular.

En todas las EDAR tendremos como estructura general tres líneas diferentes:

- **Línea de aguas:** Línea principal de la instalación por donde circula todo el caudal efluente de la actividad industrial. Es la línea en la que se aplican los principales procesos y la que finalmente se vierte (como ya hemos comentado con anterioridad, será la que tenga que cumplir los requisitos de contaminantes). En esta línea están presentes diferentes fases por las que tendrá que pasar el agua residual:
  - Pretratamiento: Físico, químico o ambos.
  - Tratamiento primario: Físico o Físico – Químico.
  - Tratamiento secundario: Biológico o Químico.
  - Tratamiento avanzado: Físico y/o químico y/o biológico.
  
- **Línea de fangos:** Los fangos son el subproducto derivado de la eliminación de los contaminantes procedentes de la depuración en la línea de agua. Dichos contaminantes, provienen de los procesos de decantación primaria y secundaria aplicados a la línea de aguas. El objetivo es la obtención del mínimo posible de fangos, pudiendo excepcionalmente ser reutilizados en otras industrias como son la agricultura en forma de abono. Los fangos pueden ser tratados con los siguientes procesos:
  - Espesador: Físico.
  - Digestor: Químico o biológico.
  - Deshidratación: Físico.
  
- **Línea de gas:** La línea de gas aparece en la instalación en los casos en los que en la línea de aguas se aplica un tratamiento secundario de carácter anaeróbico, del que se derivan gases que pueden ser aprovechados para obtención de energía y así hacer más eficiente la instalación.

Una vez explicadas las diferentes líneas, se presenta en el siguiente esquema la estructura general de las depuradoras industriales:



**Figura 8.** Esquema de la línea de aguas y de fangos de una depuradora. Fuente: [CLED17].

## **4.1. LÍNEA DE AGUAS**

Dentro de la línea de aguas podemos encontrar los siguientes tratamientos/etapas:

### **Pretratamiento:**

Es la primera etapa presente en la línea de aguas. Es el primer filtro que se aplica al agua residual cuyo principal objetivo es eliminar los contaminantes sólidos del agua (normalmente los de gran tamaño, llamados gruesos), grasas y arenas. Principalmente su función se aplica para evitar posibles daños a lo largo de las siguientes etapas en la maquinaria debido a la presencia de dichos sólidos.

Como ya hemos avanzado anteriormente, este tratamiento puede ser de carácter físico, químico o biológico dependiendo de los contaminantes que queramos depurar en la etapa.

Según diversos autores, en esta etapa se suele conseguir un rendimiento de entorno el 15-30% en relación con los sólidos en suspensión (SS) y la demanda química de oxígeno (DQO).

### **Tratamiento primario:**

Una vez eliminados los contaminantes sólidos de gran tamaño, arenas y grasas pasamos a una nueva fase de depuración. En esta etapa, el objetivo principal es seguir eliminando sustancias insolubles como los sólidos en suspensión mediante procesos físicos, esto quiere decir, por medio de la acción de la gravedad. En los casos en los que el caudal sea especialmente elevado o se tengan previstas fuertes puntas de contaminación se puede incorporar un tratamiento físico-químico.

Según diversos autores, en esta etapa de depuración podemos obtener rendimientos entorno al 50-60% para la DBO<sub>5</sub> y del 65-75% para los sólidos en suspensión (SS).

Este proceso se caracteriza por su sencillez y bajo coste, alcanzando rendimientos bastantes significativos, por lo que será una etapa de principal importancia en la instalación.

### **Tratamiento secundario:**

Este es el proceso más importante y fundamental en una EDAR, ya que en él se produce la mayor reducción de contaminantes, sobre todo en cuanto a materia orgánica biodegradable, llegando incluso a poder reducir en su totalidad los sólidos en suspensión.

En esta etapa, el objetivo principal es reducir la DBO hasta alcanzar prácticamente los niveles exigidos a la salida de la depuradora. En cuanto a los rendimientos, se suele alcanzar un 80-95% de reducción en cuanto a la DBO y en torno a un 80-95% también en cuanto a sólidos en suspensión se trata.

### **Tratamiento terciario o avanzado:**

Esta etapa de la depuración no tiene que estar presente en todas las depuradoras, ya que sólo es necesaria en casos en los que el vertido sea de carácter sensible y necesite reducir aún más los niveles de contaminación o el nivel de contaminante del efluente de llegada sean demasiado elevados que haga falta introducirla para reducir hasta los niveles permitidos.

Se trata de un proceso físico-químico en el que se trata de eliminar algunos contaminantes concretos que no hayan sido eliminados con anterioridad o que necesiten un tratamiento específico para su eliminación, como es el caso, por ejemplo, de los nitratos, fosfatos, minerales, bacterias, etc.

Una vez dada una pincelada general a los procesos que componen una depuradora, pasaremos a explicar en detalle cada uno de ellos, con sus subetapas y técnicas y procedimientos utilizados en cada uno de los casos.

#### **4.1.1. PRETRATAMIENTO**

El pretratamiento, es la primera etapa presente en una depuradora. En esta fase, el objetivo es eliminar contaminantes gruesos, arenas y flotantes que podamos encontrar en el efluente y que puedan afectar a los procesos posteriores y en casos de que el caudal sea muy variable y excesivamente alto, homogeneizarlo de cara a una gestión más eficiente del mismo. El esquema general de la fase de pretratamiento es el siguiente:



**Figura 9:** Esquema general de la fase de pretratamiento de una EDAR. Fuente [CLED17]

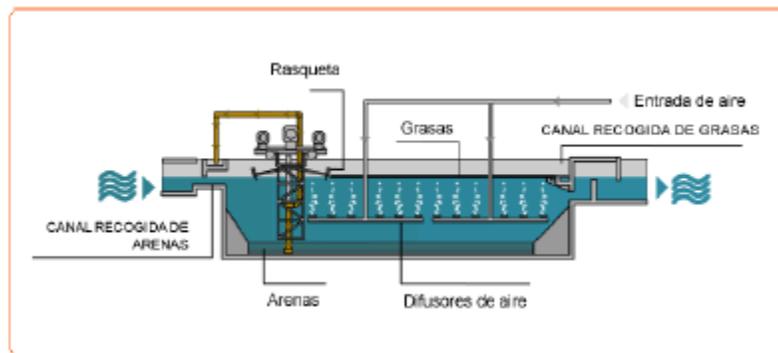
De cara a entender profundamente cada una de las etapas presentes en el pretratamiento, procedemos a una explicación en detalle de los mismos:

- i) **Obra de llegada:** Se trata de una obra civil que se construye a la entrada de la depuradora. Ella es la que recibe el agua residual que se va a tratar en la planta. Recibe las mismas mediante un colector.
- ii) **Aliviadero y Bypass:** El objetivo de incluir un aliviadero, es el de poder desviar el caudal para los casos y/o épocas del año en el que haya aumento de caudal y se supere el máximo de diseño de la planta. El Bypass, sería el encargado de desviar este caudal sobrante a otras depuradoras para su posterior tratamiento.
- iii) **Retorno:** El retorno se refiere al agua residual que ha sido eliminada en algunos de los procesos de la planta, que se devuelve a la entrada de la misma para poder ser tratada. Esta agua puede provenir de etapas como el espesamiento de lodos o el desengrasado.
- iv) **Pozo de gruesos:** Consiste en un pozo construido, con una cuchara bivalva, cuya función es la eliminación de sólidos muy grandes, para evitar posibles daños en la maquinaria de la planta.
- v) **Elevación de agua bruta:** Es una instalación, la cual sirve para elevar el agua bruta inicialmente para así poder evitarnos utilizar bombas a lo largo del resto de procesos de la EDAR. Un tipo de elevador muy utilizado y presente en las depuradoras son los **Tornillos de Arquímedes**.
- vi) **Desbaste y tamizado:** Esta operación, la de desbaste, es la encargada de eliminar contaminantes no eliminados en procesos anteriores a partir de rejillas que pueden ser de diferentes tipos: gruesas (>6mm), finas (1,5 – 6 mm) y extrafinas (0.2 – 1.5 mm). La operación de tamizado, sería similar a la de desbaste, pero con unas rejillas extrafinas denominadas microtamices (0,001 – 0.3 mm). Las funciones principales de estas operaciones son las de eludir posibles depósitos posteriores, evitar obstrucciones en la maquinaria ya que eliminamos sólidos en suspensión no tan gruesos y aumentar la eficacia del tratamiento posterior, ya que en esta fase afinamos mucho los contaminantes de nuestra agua a tratar, para poder eliminar posteriormente la DBO y DQO. Los residuos generados en este proceso suelen ser triturados o incinerados para su eliminación.



**Figura 10.** Ejemplos de instalaciones de desbaste (izq) y tamizado (drcha.). Fuente: [CLED17]

- vii) **Desarenado:** En esta operación se procede a eliminar las arenas y gravillas presentes en el agua que son menores de 1mm y no han podido ser eliminadas en el proceso anterior. El procedimiento es sencillo, haciendo circular el caudal por unos canales en los que la arena y gravilla sedimentan por efecto de la gravedad. Éstos sedimentos recogidos en el fondo de los canales, son recogidos mediante un sistema de rasquetas. Los canales utilizados para esta operación pueden ser de flujo horizontal ( $v=0,3$  m/s y  $tr = 1$  min) o de flujo helicoidal ( $tr = 3$  min y  $d > 0,15$  mm).
- viii) **Desengrasado:** Operación esencial, con la que conseguimos separar del agua las grasas, aceites y partículas pequeñas mediante un proceso de flotación llevado a cabo en las denominadas **cubas de flotación**, mediante inyección de aire. Hay tres posibilidades distintas para realizarlo: flotación por gravedad, electroflotación y flotación por aire disuelto (FAD). En algunas ocasiones, se suelen encontrar conjuntas las operaciones de desarenado y desengrasado.



**Figura 11:** Esquema general de las operaciones de desarenado y desengrasado. Fuente [CLED17].

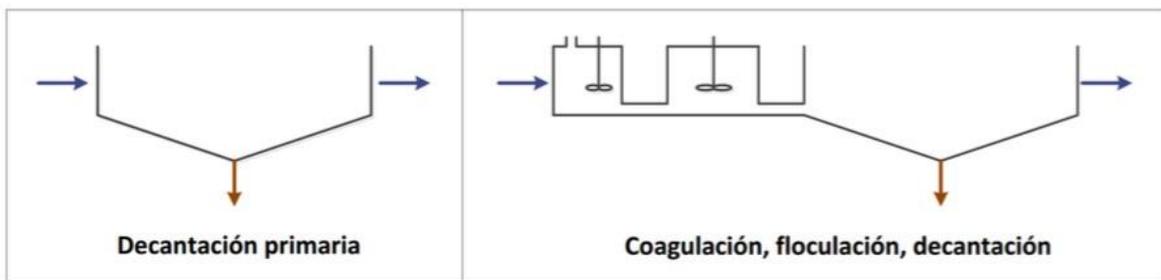
- ix) **Tratamiento químico:** opcional.
- x) **Homogeneización o ecualización:** En esta operación, el objetivo es homogeneizar el tanto el caudal como la carga orgánica del caudal de agua de nuestra planta, de cara a empezar el tratamiento primario. A su vez, sirve para equilibrar el pH y nutrientes presentes en el agua. Es beneficioso para el posterior tratamiento biológico de los contaminantes y es bastante adecuado ya que supone una obra civil sencilla, pero requiere una superficie bastante grande para su implantación. Es adecuado incluir esta etapa en nuestra instalación cuando ocurran alguno de los siguientes casos:

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

### 4.1.2. TRATAMIENTO PRIMARIO

Durante esta etapa del proceso de depuración, trataremos de eliminar los contaminantes que no han sido posible eliminar en etapas anteriores. Suelen ser dichos contaminantes los que están en suspensión en el agua, por lo que, en esta etapa, se intentará una decantación de los mismos. Aunque el principal efecto de la decantación sea la eliminación de los sólidos en suspensión, durante esta etapa de decantación también se consigue eliminar la DBO y DQO.

Este tratamiento, principalmente se realiza de manera física en tanques de decantación (los detallaremos más adelante) en los que se guarda el agua durante un tiempo entre 20 minutos y 3 horas, aunque el promedio suele estar en torno a las 2 horas. También, se puede utilizar un proceso físico-químico, en el que se añaden floculantes y coagulantes (CFD) previo a la decantación para favorecer la misma. El problema principal del CFD es que genera lodos químicos que son más difíciles de tratar.

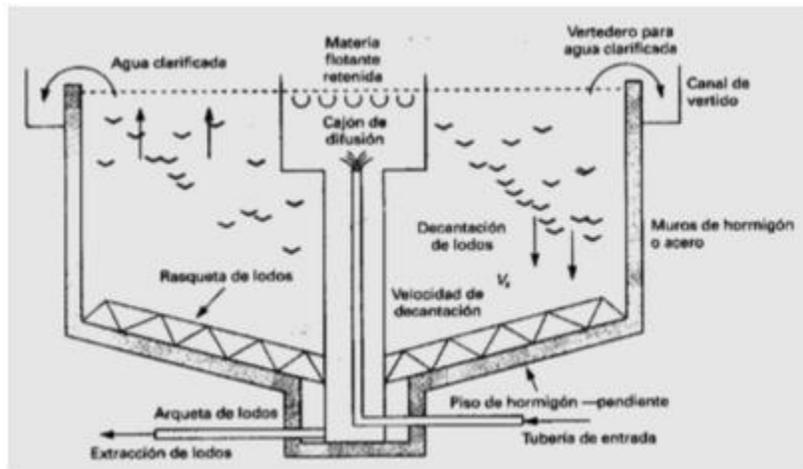


**Figura 12:** Esquema general del tratamiento primario de una EDAR. Fuente: [CLED17].

Durante el proceso de decantación primaria y según diversos autores, podemos conseguir hasta una reducción del 60% en sólidos en suspensión y una reducción del 30% de la DBO y DQO. A parte de estas reducciones, las concentraciones de fósforo y nitrógeno también se ven reducidas en torno a un 10%, y las grasas y aceites en un 5%.

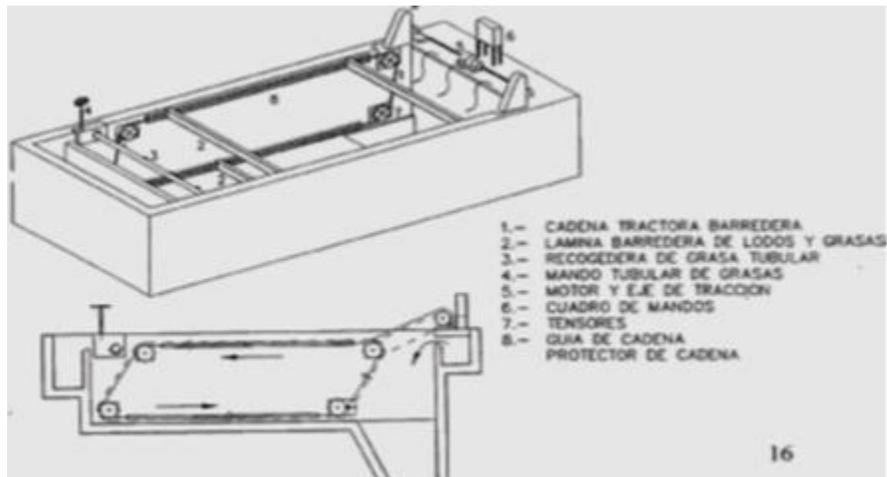
En cuanto al funcionamiento de los decantadores, podemos distinguir entre decantadores estáticos o mecanizados. Otra clasificación más común es en cuanto a su forma y podemos encontrar los siguientes:

**Decantador primario circular:** Como su propio nombre indica, son tanques de forma circular que reciben el caudal de agua generalmente por el medio. El proceso general, es que los sedimentos se recoger en el fondo del tanque mediante mecanismos de barrido y estos son expulsados mediante una tubería de desagüe.



**Figura 13:** Ejemplo de decantador circular. Fuente: [CLED17].

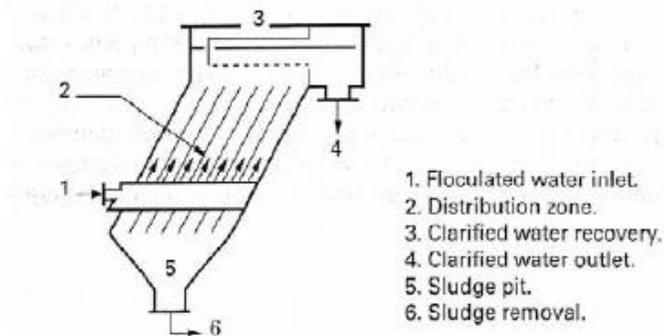
**Decantador primario rectangular:** La principal diferencia con respecto al decantador circular, es la forma rectangular de este. También se diferencia en que los lodos sedimentados se recogen mediante un sistema de rasquetas y que por lo general, estos son más caros que los circulares. A favor, encontramos que su instalación y construcción es más sencilla que la de un decantador circular.



**Figura 14:** Ejemplo de un decantador rectangular. Fuente: [CLED17].

**Decantador primario lamelar:** Este tipo de decantador lamelar, consigue rendimientos superiores a los de un decantador primario circular o rectangular en cuanto a la reducción de la DBO en un 60%, debido a la menor distancia de decantación con las lamelas.

El funcionamiento es el siguiente: el caudal se canaliza mediante una tubería hacia la cámara de decantación para ser dirigido a la parte inferior de las lamelas. Al pasar el fluidos por las placas lamelares, se separan los sólidos que resbalan por la pendiente de las mismas mientras que el agua sigue la trayectoria ascendente de las mismas.



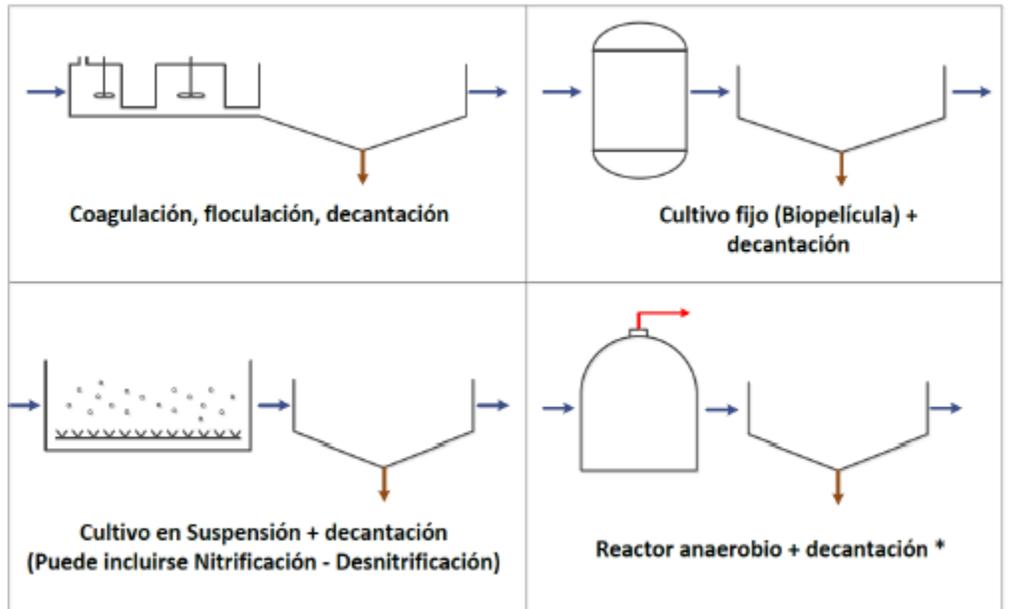
**Figura 15:** Ejemplo de un decantador lamelar. Fuente [CLED17].

Durante esta decantación primaria, y como ya mostramos anteriormente en el esquema general de una EDAR, se generan los fangos primarios que serán tratados en la línea de fangos.

### **4.1.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO**

Esta tercera etapa del tratamiento de aguas tiene el objetivo de disminuir aún más la DBO para alcanzar los límites permitidos, mediante la biodegradación de la materia orgánica presente en el agua, en productos que no sean contaminantes. La reducción de contaminantes en esta etapa se verá determinada por el tipo de reactor biológico que decidamos utilizar. Al final de este tratamiento se consigue un agua bien oxigenada, con ausencia de nutrientes para las bacterias aerobias y las plantas acuáticas (nutrientes como la materia orgánica, fósforos y nitrógenos).

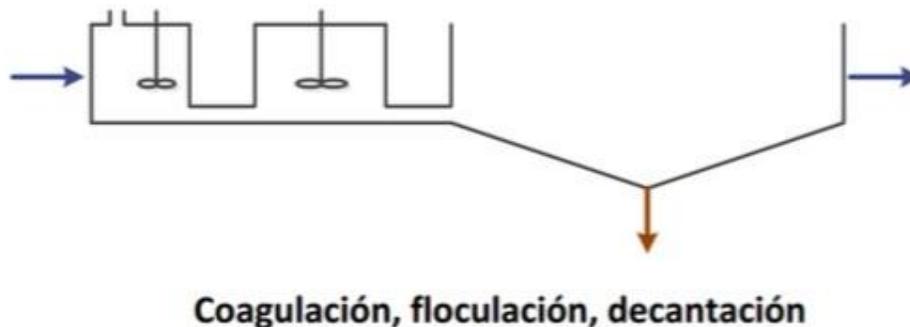
Como esquema general del tratamiento secundario, podemos observar la siguiente figura:



**Figura 16:** Esquema general del tratamiento secundario en una EDAR. Fuente: [CLED17].

A continuación, describiremos los distintos procesos que podemos encontrar y utilizar para el tratamiento secundario, que quedarán determinados en función del coeficiente de biodegradabilidad, DBO/DQO:

**Tratamiento químico:** Se introduce cuando el coeficiente  $DBO/DQO < 2$ . Ya que cuando este cociente es bajo cuando es menor que dos, podemos afirmar que la mayoría de contaminantes presentes en el agua son de carácter inorgánico. Este tratamiento químico, consiste en una coagulación-floculación y una decantación posterior. Esto supone, que añadimos floculantes y coagulantes al agua para que formen sólidos mayores llamados flóculos y estos decanten en el decantador secundario y extraerlos como fangos secundarios.



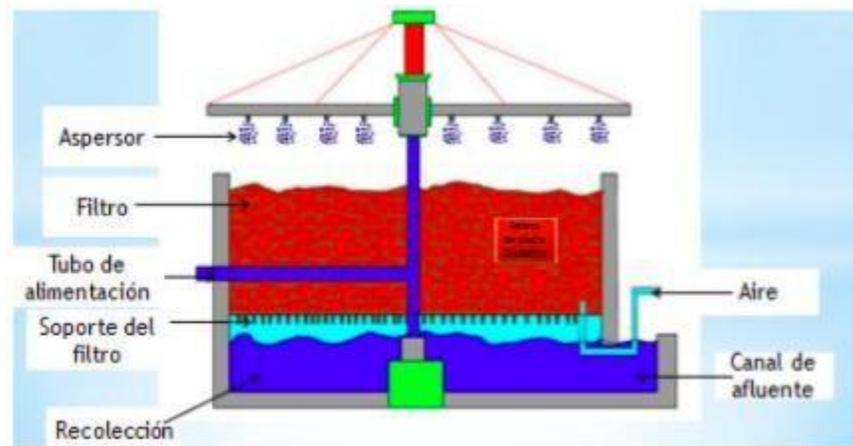
**Figura 17:** Ejemplo de un sistema CFD. Fuente: [CLED17].

**Tratamiento biológico aerobio de lechos bacterianos:** Este tratamiento lo escogeremos cuando nuestro cociente de biodegradabilidad sea  $DBO/DQO (0,2 - 0,4)$ .

Este cociente, lo que nos determina, es que las aguas que tenemos que tratar no tienen un alto contenido en materia orgánica. El carácter biológico del proceso, determina que la biodegradación de la materia orgánica se realiza mediante microorganismos, y el carácter anaerobio, que necesitan oxígeno para sobrevivir. La biodegradación se produce dentro de los reactores biológicos, instalaciones donde se retiene el agua durante horas, mientras se forman los flóculos bacterianos que van decantando poco a poco en el decantador secundario. El proceso se caracteriza por la oxidación de la materia orgánica presente en el agua, haciendo pasar la misma por un medio poroso con bacterias. Con este proceso, conseguimos reducir la DBO en un 85%.

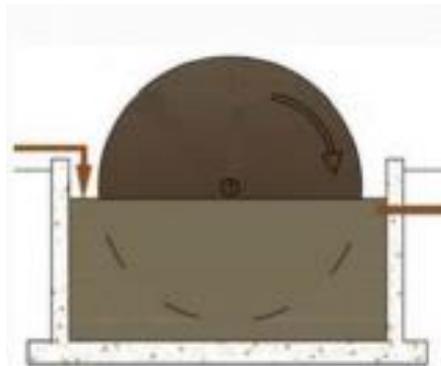
El material de soporte donde están colocados los lechos bacterianos, determina la clasificación de los mismos en dos tipos:

- i) **Lecho fijo:** Este tratamiento también es llamado filtro percolador. Durante el proceso va creciendo una capa bacteriana en la superficie de soporte, que puede ser de piedra, plástico) mientras se airea. El funcionamiento es el siguiente: el agua se encuentra encerrada en un tanque de hormigón abierto por la parte superior, en ocasiones rellenado con piedras (1m de profundidad) o plástico (6m de profundidad) en donde se sitúa el lecho bacteriano. El agua que queremos depurar se rocía por la parte superior abierta del tanque sobre el lecho fijo donde se encuentran las bacterias que van reduciendo la DBO. Por otro lado, las bacterias nitrificantes se encuentran en el fondo del tanque, donde se produce la nitrificación.



**Figura 18:** Ejemplo reactor de lechos fijos. Fuente: [TECD13]

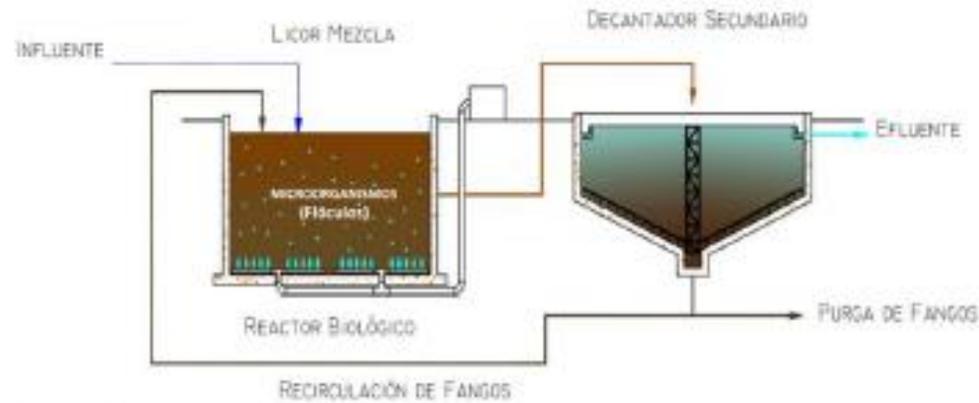
- ii) **Biodiscos:** La aplicación es parecida a la explicada anteriormente en lechos fijos, pero la diferencia está en que contiene un cilindro de plástico que gira alrededor del tanque. En dicho cilindro está el lecho bacteriano donde se forma la capa bacteriana que luego sedimenta y se extrae.



**Figura 19:** Ejemplo reactor de biodiscos. Fuente: [CLED17].

**Tratamiento biológico aerobio de lechos en suspensión (fangos activos):** Como ocurre con el tratamiento descrito anteriormente, elegiremos este tratamiento en función de nuestro cociente de biodegradabilidad, es decir, cuando el cociente DBO/DQO > 0,4.

Este tratamiento de fangos activos consiste en un proceso aerobio, es decir, que requiere de la presencia de oxígeno para completar sus funciones. A diferencia con los lechos bacterianos descritos anteriormente, en este proceso las bacterias se encuentran en suspensión. Para conseguir que se forme la capa bacteriana, es necesaria que haya contacto entre el oxígeno, el agua residual y las bacterias suspendidas, por lo que será necesario introducir una balsa aireada en el tanque. Para poder llevar a cabo la aireación, introduciremos turbinas superficiales que ventilen o difusores sumergidos en el tanque que proporcionen el aire para la oxigenación. Después del proceso, en el decantador secundario, salen por un lado los fangos activos (a la línea de fangos) y el agua que se dirige al siguiente tratamiento.



**Figura 20:** Ejemplo de tratamiento fangos activos. Fuente: [CLED17].

En este tratamiento, es de vital importancia mantener a los microorganismos en unas condiciones de temperatura idónea, con un pH en torno a 6,5 y 8,5 y con una concentración de sal de 3g/L.

La relación necesaria es:

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

Este proceso por el cual, crecen los microorganismos bacterianos en el reactor aerobio se da en 4 fases diferenciadas:

- i) Fase de retardo o aclimatación.
- ii) Fase de crecimiento estable logarítmico. Condiciones óptimas para el crecimiento.
- iii) Fase estacionaria, crecimiento igual a mortandad.
- iv) Fase de mortandad.

El objetivo principal de esta etapa, es mantener el digestor aerobio en la fase de estacionaria, consiguiéndolo mediante la recirculación de los fangos activos para mantener la carga másica adecuada y la eliminación del exceso de fangos activos.



**Figura 21:** Fases de crecimiento de los microorganismos en los fangos activos. Fuente: [CLED17].

**Tratamiento biológico anaerobio:** Como en los casos anteriores, este tratamiento deberá estar presente en nuestra instalación siempre y cuando se den unas condiciones de concentrado de la DBO > 1500 mg/L.

El funcionamiento de este proceso es el siguiente: los microorganismos anaerobios descomponen la materia orgánica, pero a diferencia del proceso aerobio, este sin presencia de oxígeno. Las bacterias anaerobias descomponen la materia orgánica presente en el agua residual en biogás ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ , etc) y digestato (N, P, Ca, ect). La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



A partir de esta reacción, sabemos que obtendremos alrededor de un litro de gas del que un 65% de  $CH_4$ , un 30% de  $CO_2$ . Estos gases generados, pueden ser aprovechados para la obtención de energía por combustión y así generar energía o como fuente de calor si fuese necesaria en alguna etapa de la depuradora.

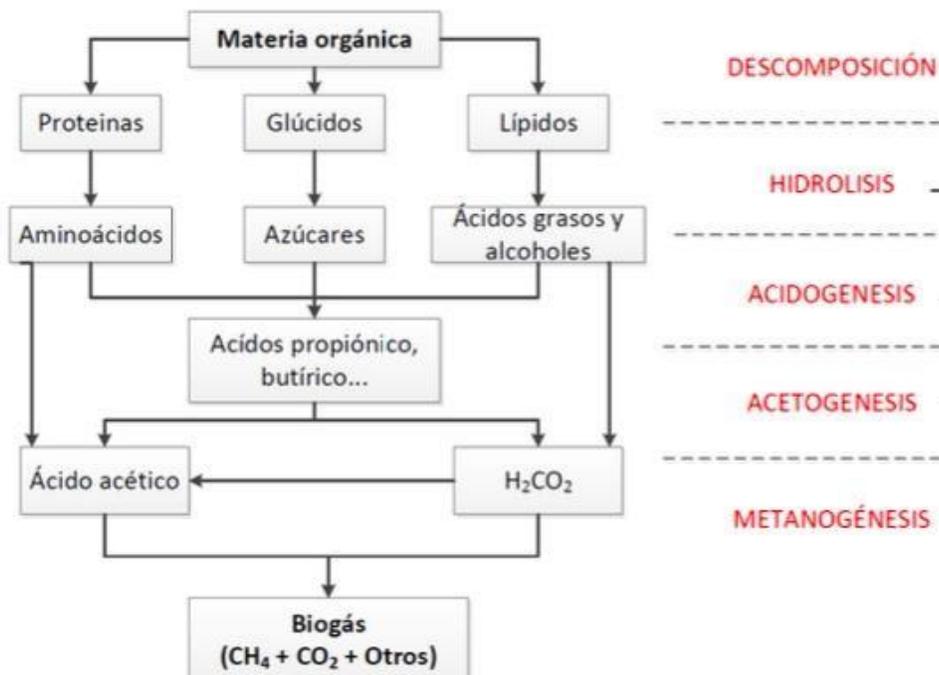
Este proceso de biodegradación, necesita de la presencia de 5 grandes grupos de bacterias, como son: bacterias hidrolíticas, bacterias acetogénicas, bacterias homoacetogénicas, bacterias

metanogénicas hidrogenófilas, bacterias metanogénicas acetoclásticas. La principal diferencia entre los diferentes grupos bacterianos descritos anteriormente, es la velocidad de crecimiento y las diferentes respuestas ante la materia orgánica de cada uno de ellos. Por ejemplo, las bacteria acidogénicas tienen un crecimiento muy rápido y generan ácidos muy rápido también, mientras que las bacterias matanogénicas crecen más lento y además ralentizan al pH rápido.

Este proceso queda recamarcado por 4 fases:

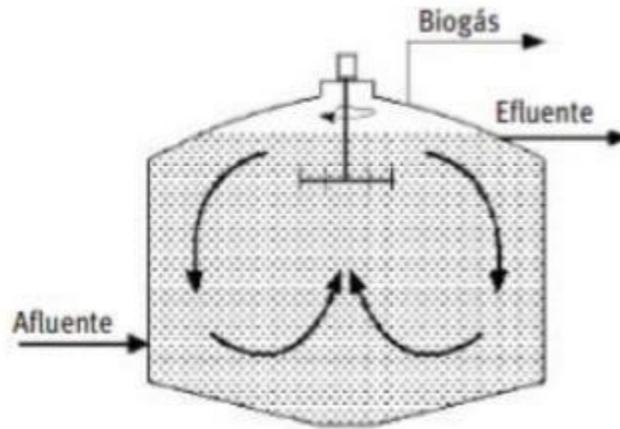
- **I) Hidrólisis:** Fase en la que los compuestos complejos insolubles se transforman en compuestos más sencillos. Los polímeros pasar a formar monómeros.
- **II) Acidogénesis:** Durante esta fase, los compuestos solubles se transforman en ácidos volátiles capaces de metanizar.
- **III) Acetogénesis:** Durante esta etapa se produce la transformación de los compuestos en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.
- **IV) Metanogénesis:** Como última fase del proceso, se transforman los ácidos volátiles en metano, dióxido de carbono y otros gases.

En la siguiente figura, podemos observar el proceso de manera más esquemática:



**Figura 22:** Proceso de reacción anaerobia. Fuente: [CLED17].

Para este proceso de digestión anaerobia, solemos utilizar un digestor, que para este caso el más utilizado es el de mezcla completa (RMC) sin recirculación. Como podemos observar en la siguiente figura, consiste en un tanque cilíndrico con una cúpula, donde se acumulan todos los gases procedentes del proceso anaerobio descrito anteriormente.



**Figura 23:** Reactor de mezcla completa sin recirculación. Fuente: [IDAE07].

#### **4.1.4. TRATAMIENTO AVANZADO**

Encontraremos este tratamiento cuando necesitemos concentraciones excepcionales a la salida de nuestra depuradora. Aunque también pueda denominarse tratamiento terciario, no tiene por qué ir en último lugar de nuestra depuradora, pudiendo estar intercalado entre cualquiera de los demás tratamientos descritos en este apartado.

Dentro de los diferentes tratamientos que podemos llevar a cabo son:

- **I) Eliminación de nitrógeno:** proceso que podemos realizar típicamente entre el reactor biológico y la decantación secundaria. Eliminamos el nitrógeno a través de un proceso de desnitrificación. En esta fase podemos alcanzar hasta un 90% de reducción en cuanto a la concentración de Nitrógeno.  
Este proceso de desnitrificación, se produce en dos etapas, una aerobia y otra anóxica (ausencia de oxígeno) y en presencia de carbono para dar lugar a  $N_2$ .
- **II) Eliminación de fósforo:** los causantes de que haya presencia de fósforo en los efluentes suelen ser los detergentes, fertilizantes, y demás. Se pueden eliminar a través de dos procesos:  
**Precipitación química:** A partir de la adición de sales de  $FeCl_3$ .  
**Procesos biológicos:** Forzando microorganismos a retener más fósforo del que necesitan para su crecimiento normal. Con este proceso, podemos conseguir reducir hasta en 3 mg/L la presencia de fósforo en el agua.
- **III) Filtración en medio granular:** este tratamiento estará en el proceso cuando necesitemos a la salida de nuestra depuradora una concentración en sólidos en suspensión inferiores a la normativa general, es decir, para concentraciones que estén en torno a 10mg/L. Se pueden utilizar dos tipos de filtro; bicapa o multicapa.
- **IV) Adsorción con carbón activo:** Este tratamiento tiene la finalidad de eliminar el olor y sabor que pueda tener el agua, cuando tiene presencia de compuesto orgánicos industriales.
- **V) Desinfección:** Este tratamiento lo tendremos que llevar a cabo cuando el vertido de nuestras aguas residuales sea a zonas de sensibles: agua de baño o aguas de captación para el consumo humano.

- **VI) Tratamiento químico:** Este tratamiento lo utilizaremos cuando tengamos que corregir el pH, para reducir nuevamente los olores que pueda tener el agua o precipitación química de los fósforos.
- **VII) Eliminación de amoniaco:** Este tratamiento se realiza con la presencia de aire y en los casos en los que el pH este entre 10,5 – 11,5. También se puede realizar este proceso con la ayuda de cloro.

## **4.2 LÍNEA DE FANGOS**

Los fangos provienen de la depuración de la línea de agua. Son el resultado de la decantación de contaminantes que hemos ido queriendo eliminar durante las diferentes etapas del proceso. Éstos, provienen principalmente de la decantación primaria y secundaria. La principal función en esta etapa de depuración es su eliminación (llevándolos al respectivo vertedero) o reutilizarlos como fertilizantes en la agricultura.

Este proceso, se determina de manera muy clara en tres tratamientos principales, ellos son:

- Espesamiento
- Estabilización
- Deshidratación

### **4.2.1. ESPESAMIENTO DE FANGOS**

Durante esta etapa, se procede a la eliminación de agua de los fangos provenientes de la línea de agua, para así poder reducir su volumen, manteniendo las condiciones óptimas de humedad para poder realizar el siguiente tratamiento de estabilización.

En cuanto a los espesadores, podemos encontrar dos tipos principales:

- **I) Espesador por flotación:** Con este tratamiento conseguimos aprovecharnos de la poca concentración de los fangos, introduciendo agua presurizada con oxígeno. Este oxígeno provoca burbujas que empujan los flóculos de contaminantes hacia la superficie siendo recogidos por una rasqueta en la parte superior del tanque.
- **II) Espesador por gravedad:** Como su propio nombre indica, utiliza la gravedad para producir la decantación en un tanque similar a los utilizados en el tratamiento primario y secundario, aunque suelen ser de menor tamaño. Como en el caso del espesador por flotación, el espesador por gravedad cuenta con una rasqueta en el fondo del tanque que recoge los lodos generados. El tiempo de retención de fangos en este tratamiento para alcanzar la concentración deseada, suele ser superior a 24 horas.

### 4.2.2. ESTABILIZACIÓN DE FANGOS

Durante esta segunda etapa de tratamiento, procedemos a la estabilización de los fangos espesados en el proceso anterior. Esta etapa es de crucial importancia para que la posterior retirada de los fangos se pueda realizar de manera adecuada y segura. Durante esta etapa se realizan las funciones de: Disminución de la concentración de lodos, reducción de la materia volátil, mineralización de la materia orgánica y eliminación de bacterias.

En cuanto a los métodos que podemos utilizar en este tratamiento, encontramos tres principales:

- **I) Digestión aerobia:** Este procedimiento estará presente cuando tengamos un coeficiente de biodegradabilidad (DBO/DQO) no muy elevado. Como hemos explicado con anterioridad, este proceso elimina la materia orgánica mediante un proceso biológico en presencia de oxígeno. El proceso se lleva a cabo en un digestor en el que se produce la etapa endógena (explicada con anterioridad) y resulta un lodo digerido, agua, CO<sub>2</sub> y calor.

Este procedimiento tiene como principal ventaja que no expulsa olores y que gracias a que expulsan calor, se puede reutilizar para autocalentar el propio digestor. Por lo contrario, presenta grandes inconvenientes como un coste de mantenimiento considerablemente superior y el proceso de deshidratación suele ser más difícil.

En cuanto al tiempo necesario que deben permanecer los lodos en el digestor, presentamos la siguiente tabla que, como cabe esperar, a mayor tiempo de retención mayor es la materia volátil reducida:

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

**Figura 24:** Tanto por ciento de reducción de materia volátil en función del tiempo.  
Fuente [CLED17].

Como podemos observar, este proceso tiene prácticamente un tiempo mínimo de retención de 24 horas, pudiendo alargarse el proceso hasta 15 días para los casos que necesiten una alta reducción.

- **II) Estabilización química:** este proceso estará presente en los casos en los que necesitemos eliminar tanto los virus y microorganismos como en los casos de pH muy elevado. En cuanto a las ventajas, presentan un coste relativamente bajo con respecto a otros tratamientos, los digestores suelen ser de menor tamaño y en cuanto a los patógenos, tiene una alta efectividad.

Podemos encontrar tres tipos principales de estabilización química: estabilización por cal (cuando tengamos pH superiores a 12,5 y necesitemos tiempos de retención menores), estabilización por ácidos (en los casos en los que presenten un pH entre 2-3 y también un tiempo de retención menor) y por último la oxidación mediante cloro (la cual es la más costosa de todas y su tiempo de retención por lo general supera los 90 minutos).

- **III) Digestión anaerobia:** Como en los casos anteriores, este proceso deberá estar presente cuando tengamos una alta cantidad de DBO en nuestros fangos. Como ya hemos explicado anteriormente, al ser un tratamiento biológico anaerobio, se realiza en ausencia de oxígeno. Mediante dicho tratamiento, como resultado obtenemos biogás procedente del proceso biológico anaerobio.

Este proceso descrito, se produce en varias fases: descomposición, hidrólisis, acidogénesis y acetogénesis y metanogénesis.

Este proceso a su vez, presente ventajas en cuanto al comentado biogás obtenido del proceso anaerobio, la posterior deshidratación se realiza de manera más sencilla, no produce olores y la eliminación de patógenos suele ser bastante elevada. Por lo contrario, la instalación suele tener un alto coste y el proceso presenta unas características necesarias en cuanto a la temperatura y pH del mismo. En cuanto a los digestores utilizados en este proceso podemos distinguir entre los de baja carga, alta carga, en fase y separada en fases.

### **4.2.3 DESHIDRATACIÓN DE FANGOS**

Por último, en la fase de tratamiento de la línea de fangos, encontramos la deshidratación de los mismos, cuyo objetivo principal es eliminar el agua que contienen para poder realizar su posterior transporte, tratamiento o manipulación. Este proceso se puede realizar de tres maneras:

- **I) Natural:** la deshidratación se puede realizar mediante eras de secado y estanques de lodos, o en casos excepcionales en los que necesitemos aplicar a una producción pequeña tendremos lechos de carrizo.

Las eras de secado, por su lado, son tanque de arena que sirven de filtrador, presentan un alto coste de mano de obra, un alto tiempo de retención y los lodos finales contienen un 60-70% de humedad.

- **II) Térmica:** este proceso se realiza mediante un tratamiento térmico de alta temperatura (300-600 °C) obteniendo un lodo prácticamente seco.
- **III) Mecánica:** este proceso presenta diferentes aplicaciones como pueden ser: filtración al vacío, filtros de banda o de prensa, tornillos compactadores y centrifugación. Cada proceso presenta una instalación específica y serán utilizados dependiendo de la necesidad de sequedad de los lodos finales.

### **4.3. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA**

En este último apartado de la Memoria del proyecto, nos centraremos en explicar de la manera más sencilla y a la vez detallada, la solución que hemos decidido adoptar para nuestro caso en particular. Una vez analizado la industria conservera vegetal y las técnicas y tratamientos disponibles para la depuración del agua y fangos, estamos en disposición de seleccionar las etapas de nuestra EDAR que mejor encajen condicionados siempre por los contaminantes presentes en el agua efluente. Tendremos, como ya hemos comentado anteriormente, dos líneas principales en la depuración: la línea de aguas y la línea de fangos.

#### **4.3.1. LÍNEA DE AGUAS**

##### **4.3.1.1. Pretratamiento**

Durante esta fase de la depuración, se llevarán a cabo las operaciones de desbaste del caudal y tamizado del mismo.

##### **I) Desbaste**

Será el primer tratamiento presente en nuestra instalación, al cual llegará el efluente bruto de la industria. Esta operación de desbaste como ya hemos explicado en el punto anterior, tiene como función principal eliminar los sólidos en suspensión gruesos presentes en el efluente de llegada, de cara a proteger la maquinaria de la instalación.

Esta operación de desbaste se realiza colocando una reja formada por barras de acero, que impiden el paso de los gruesos a través de ellas, reteniéndolos para más adelante ser eliminados.

En nuestro caso en particular, hemos elegido una reja de finos con las siguientes características: Espesor entre barrotos de **6mm** y distancia entre los barrotos de **10mm**. Esta reja de finos, será la encargada de eliminar posibles botes, latas o cualquier otro sólido grueso que pueda provenir de la industria de conservas vegetales.



**Figura 25:** Reja automática de finos. Fuente: [SAVE18]

## II) Tamizado

La siguiente operación de nuestra EDAR será la operación de tamizado, siendo su principal función parecida a la del desbaste, ya que pretendemos eliminar los gruesos existentes en nuestro efluente bruto para evitar daños en los diferentes equipos de la instalación. La principal diferencia, es que esta operación está destinada a la eliminación de gruesos más finos que en los de la operación de desbaste.

Para nuestra instalación hemos decidido utilizar un tamiz automático rotativo de acero inoxidable, dado su alto rendimiento y su poca necesidad de mantenimiento ya que el mecanismo es muy sencillo.



**Figura 26:** Tamiz rotativo de alimentación externa. Fuente [SAVE18].

#### **4.3.1.2. Tratamiento primario**

En la siguiente etapa de nuestra EDAR tendremos el tratamiento primario, el cual hemos decidido que sea una decantación primaria, ya que la finalidad del tratamiento primario es la eliminación de los sólidos en suspensión que no hemos podido eliminar durante las etapas anteriores de desbaste y tamizado, por lo que en esta etapa, nos enfocamos en los sólidos más pequeños que no han sido eliminados ni por las rejillas ni por el tamiz rotativo.

Como ya hemos explicado en el punto anterior, la decantación consiste en retener el agua residual en un decantador circular durante un tiempo determinado para que los sólidos en suspensión decanten en el fondo y así sean eliminados. La principal variable a la hora del diseño del decantador será el tamaño del mismo y el tiempo de retención del agua, que vendrán determinados por el caudal de diseño de la instalación y los sólidos en suspensión presentes en el agua.

Para nuestro caso en particular, hemos elegido un decantador circular dado que es el más sencillo en aplicación y el más común en estas instalaciones, utilizando un tiempo medio de retención de **1 hora** para asegurarnos la decantación y eliminación de los sólidos en suspensión.

Durante esta etapa, se espera una reducción del 30% en DBO y DQO mientras que para los sólidos en suspensión alcanzaremos un 60%. A su vez, con este tratamiento, se consigue la eliminación de los fosfatos en un 10%.



**Figura 27:** Decantador circular. Fuente [CLED17].

### **4.3.1.3. Tratamiento secundario**

Este tratamiento es de vital importancia en la instalación, dado que en él conseguiremos eliminar la mayoría de la DBO y DQO del agua residual, que en otros procesos no hemos podido eliminar. Durante esta etapa, también conseguimos eliminar los fosfatos y nitratos presentes en el agua pero no en su mayoría, los que serán eliminados en el tratamiento avanzado.

En nuestro caso en particular, una vez pasado las etapas de pretratamiento y tratamiento primario, llegan unos niveles de **1751,53 mg/L de DQO** y **617,02 mg/L de DBO**. Con estas concentraciones, tenemos un grado de biodegradabilidad (DBO/DQO) de 0,35, por lo que tendremos que utilizar un proceso biológico anaerobio.

Para este primer tratamiento secundario de la DBO y la DQO, utilizaremos el más común y presente en la industria de conservas vegetales que será un **reactor biológico anaerobio de mezcla completa**, el cual consiste en un tanque de forma cilíndrica con una cúpula semiesférica en la cual se obtienen los gases que se desprenden del proceso anaerobio descrito en el apartado anterior.

Durante este proceso, se cabe esperar un rendimiento del 90% para la DBO, un 90% para la DQO, un 85% en sólidos en suspensión y un 5% tanto en fosfatos como en nitratos.



**Figura 28:** Digestores anaerobios de mezcla completa. Fuente [IDAE07].

A la salida del digestor anaerobio descrito anteriormente, y aplicando los rendimientos esperados del mismo en los contaminantes alcanzaremos las siguientes concentraciones:

- **DBO = 61,70 mg/L**
- **DQO = 175,15 mg/L**
- **SS = 41,44 mg/L**
- **N = 67,69 mg/L**
- **P = 20,31 mg/L**

Dado que a la salida del reactor anaerobio tenemos un coeficiente de biodegradabilidad (DQO/DBO) de 0,35 deberemos aplicar fangos activos debido a esta biodegradabilidad y alternarlo zonas anodinas con zonas aireadas (balsas) en un procedimiento de balsas anóxicas.

El proceso de fangos activos se caracteriza por la generación de burbujas de aire en el fondo del tanque donde está almacenada el agua residual, con la finalidad de que estas burbujas asciendan a la superficie del tanque recogiendo con ellas los contaminantes presentes en el agua.

Elegiremos un un tratamiento de media carga, en el cual se esperamos unos rendimientos del 90% tanto para la DQO y la DBO y de un 85% para el caso de sólidos en suspensión y nitratos (aplicando posteriormente a los fangos activos las nombradas balsas anóxicas).

A continuación de los fangos activos, estará presente un nuevo decantador secundario que realizará las mismas funciones que el explicado para el tratamiento primario y que generará los fangos secundarios de la instalación que serán tratados en la línea de fangos junto con los fangos primarios provenientes de la decantación primaria.

Así, conseguiremos a la salida del tratamiento secundario unas concentraciones de contaminantes:

- **DBO = 6,17 mg/L**
- **DQO = 17,52 mg/L**
- **SS = 6,22 mg/L**
- **N = 10,15 mg/L**
- **P = 20,31 mg/L**

Como podemos observar, una vez alcanzado el tratamiento secundario, hemos conseguido reducir los niveles de contaminantes alcanzando valores por debajo de los máximos permitidos en todos los contaminantes excepto en los niveles de fosfatos, que siguen por encima. Para ello, deberemos incluir un tratamiento avanzado específico para su eliminación.

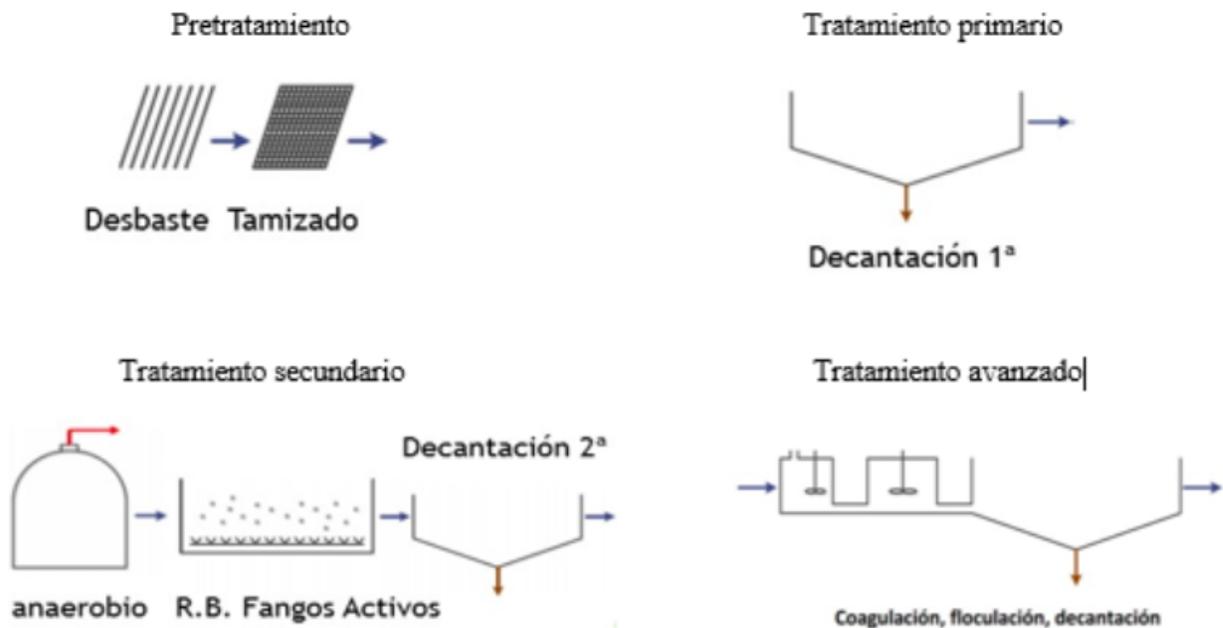
#### 4.3.1.4. Tratamiento avanzado

Este último tratamiento, está presente cuando tenemos que realizar un tratamiento específico para la eliminación de un contaminante en concreto que no hayamos conseguido eliminar con anterioridad en la instalación. Siempre debemos tener en cuenta, que nuestros niveles máximos de contaminantes los determina la normativa europea y debemos cumplirlos en todos los casos.

La concentración de fosfatos a la salida del tratamiento secundario es bastante elevado, alcanzando una concentración de **20,31 mg/L** cuando el máximo permitido por la normativa es de **2 mg/L**.

Para la reducción de estos fosfatos presentes en el agua, hemos decidido utilizar un tratamiento avanzado químico de CFD (coagulación, floculación y decantación) en el que utilizaremos cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) como reactivo químico que será el encargado de realizar las funciones de coagulantes y floculante para ya en el decantador, eliminar el exceso de los fosfatos. En esta etapa, se consigue eliminar hasta un 95% de los fosfatos presentes en el agua, por lo que conseguiremos una concentración final de **1,02 mg/L**, lo cual respeta la normativa europea vigente.

#### 4.3.1.5. Esquema general de la línea de aguas



#### 4.3.2. LÍNEA DE FANGOS

La función principal de la línea de fangos, es la de recoger y tratar todos los contaminantes que han sido eliminados en las etapas anteriores de decantación tanto la primaria como la secundaria y posteriormente eliminar dichos contaminantes mediante los procesos explicados anteriormente.

Las líneas de fangos suelen estar organizadas en tres etapas: espesado, estabilizado y deshidratado.

#### **4.3.2.1. Espesado de fangos**

Durante esta etapa de espesado, como su propio nombre indica y como ya hemos explicado en el apartado anterior, se procede a dar consistencia a los contaminantes recogidos de las decantaciones de la línea de aguas, para facilitar su eliminación y tratamiento posterior. Dentro de este proceso de espesado, se procede a eliminar su concentración de agua para facilitar los procesos posteriores de estabilización y deshidratación.

Tendremos que distinguir entre los fangos primarios y los fangos secundarios a la hora de decidir si utilizar un espesado por gravedad o un espesado por flotación, en función de las características y concentraciones de cada uno de los fangos primarios o secundarios.

Así es, los fangos primarios debido a que se decantan muchos sólidos en suspensión en el tratamiento primario, serán más duros y consistentes por lo que procederemos a utilizar un espesado por gravedad, siendo los propios fangos los que decantarán por su propio peso.

A la hora de realizar los cálculos, será importante tener en cuenta el tiempo de retención el cual generalmente está en torno a las 24 horas y saber cuál será la carga de los fangos procedentes de la decantación primaria de la línea de aguas.



**Figura 29:** Ejemplo de espesado de fangos por gravedad. Fuente: [CLED17].

Por otro lado, los fangos provenientes de la decantación secundaria tendrán menos carga de contaminantes ya que provienen de la decantación secundaria la cual tiene menos carga de sólidos en suspensión por lo que se eliminan menos contaminantes que en la primaria y los fangos son menos densos.

Para este tipo de fangos, lo más adecuado, es un espesamiento por flotación, el cual se caracteriza por introducir agua presurizada y saturada de oxígeno lo cual producirá burbujas de aire que hacen flotar el fango. Una vez el fango esté flotando en la superficie, se recogen mediante rasquetas en la superficie estos fangos para evitar que vuelvan a decantar.

Como en el caso del espesamiento de fangos por gravedad, tendremos que tener en cuenta variables importantes como son el tiempo de retención de los fangos y la carga de sólidos que tienen los propios fangos. En la siguiente figura, podemos observar un ejemplo de espesamiento de fangos por flotación:



**Figura 30:** Ejemplo de espesamiento de fangos por flotación. Fuente: [CLED17].

#### **4.3.2.2. Estabilización de fangos**

Una vez superado el proceso de espesamiento de fangos, llegamos a la etapa de estabilización de los fangos espesados. La función principal de esta etapa y como ya se ha explicado en el punto anterior, es la neutralización de las bacterias, gérmenes y virus presentes en los lodos para evitar su desintegración.

Como ocurre en el caso de espesamiento de fangos, deberemos distinguir entre los fangos procedentes de la decantación primaria y los fangos procedentes de la decantación secundaria.

En nuestro caso específico, dado que hemos utilizado un proceso anaerobio en el tratamiento secundario, dichos fangos secundarios ya vienen estabilizados debido a ese proceso anaerobio

comentado y su digestión en el reactor. Por ello, mezclaremos los fangos primarios y los secundarios obteniendo unos fangos mixtos que tendremos que estabilizar.

Dadas las características de los fangos obtenidos, el proceso más adecuado y más utilizado es una estabilización química de lodos a base de cal, proceso que se caracteriza por realizar variaciones el en pH de los mismos muy marcadas para obtener y conseguir la eliminación de los microorganismos como virus y bacterias presentes en los lodos y así proceder a su estabilización, que como ya hemos comentado anteriormente, consiste en evitar la desintegración de la materia orgánica presente en los lodos y evitar su putrefacción.

Para nuestro caso en particular, hemos decidido realizar una estabilización química de lodos con cal,  $(Ca(OH)_2)$  que nos permite aumentar el pH hasta niveles de entre 12 también nos permite reducir el tiempo de retención de los fangos, ya que el tiempo suele estar en torno a los 12 horas. Este proceso necesita unas condiciones características de temperatura siendo la temperatura ideal para el proceso de  $60^{\circ}C$ .

Las dosis de cal necesarias para el proceso dependen de diferentes factores como podemos observar en la siguiente figura:

TIPO DE FANGO	Concentración de sólidos, %		Dosis de cal, Kg $Ca(OH)_2$ /tonelada de sólidos secos	
	Intervalo	Valor medio	Intervalo	Valor medio
Primario	3 - 6	4.3	60 - 170	120
Exceso de fangos activo	1 - 1.5	1.3	210 - 430	300
Mezcla digerida vía aerobia	6 - 7	6.5	140 - 250	190
Líquido de fosas sépticas	1 - 4.5	2.7	90 - 510	200

**Figura 31:** Dosis de cal en función de tipos de fango y concentración. Fuente [SUAJA07].

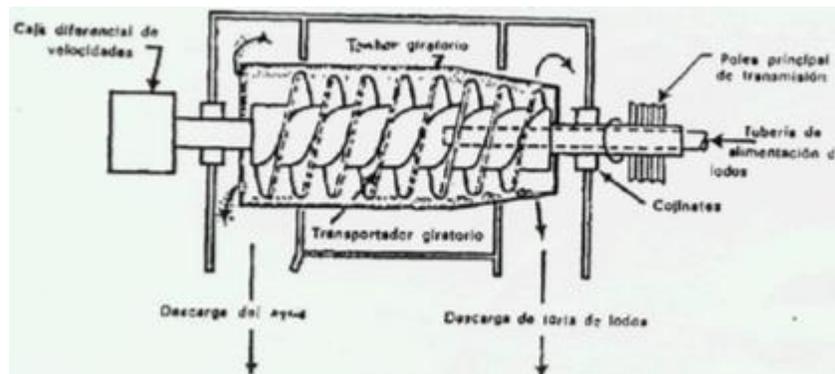
#### 4.3.2.3. Deshidratación de fangos

Por último, en la línea de fangos encontramos el tratamiento de deshidratación de fangos, proceso por el cual se procede a eliminar el agua presente en los fangos que no se ha podido eliminar en los procesos anteriores para el posterior almacenaje, eliminación o tratamiento de los lodos.

Como ya hemos visto en el punto anterior, hay diferentes procesos que podemos utilizar para la deshidratación de los fangos, siendo el proceso mecánico el más rápido y efectivo de todos.

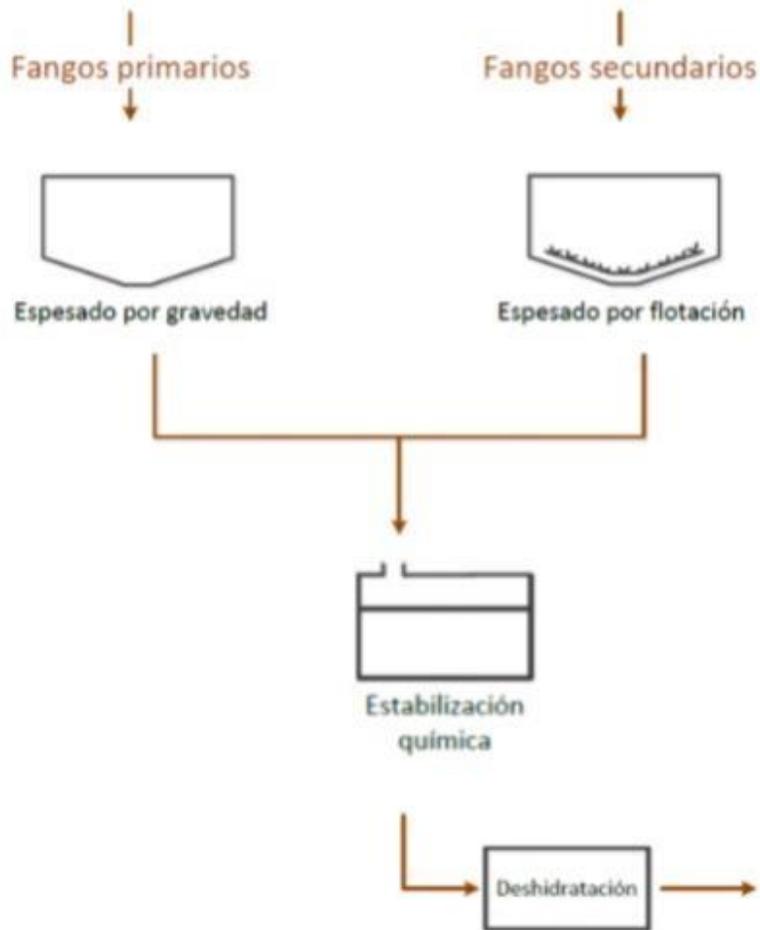
Para nuestro caso en particular, hemos decidido utilizar una deshidratación mecánica por centrifugación. Este proceso se realiza a partir de un tornillo sin fin que está introducido en un tambor cilíndrico que va girando sobre su propio eje y así va dejando los fangos deshidratados en la parte inferior de dicho tambor y el agua presente en los fangos se pegará a las paredes por fuerza centrífuga.

En la siguiente figura, podemos observar con detalle el proceso de deshidratación de fangos por centrifugación:



**Figura 32:** Ejemplo de deshidratación por centrifugación. Fuente: [CLED17].

**4.3.2.4. Esquema general de la línea de fangos**



**Figura 33:** Esquema general línea de fangos. Fuente: [CLED17].

## 5.BIBLIOGRAFÍA

- [CLED17] María del Mar Cledera Castro. Apuntes de Ingeniería y desarrollo sostenible, Tecnología Medioambiental, Contaminación agua. Universidad Pontificia de Comillas. I.C.A.I. Madrid 2017.
- [MACH17] Machés Rueda, Jaime “*Diseño de una EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) para la industria cervecera*”. Proyecto de fin de grado, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Mayo 2017.
- [DIAZXX] Paz Díaz Bauluz. “*Diseño paramétrico de Estación de Tratamiento de Agua*”.
- [GMTD06] Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de los transformados vegetales. *Ministerio de Medio Ambiente 2006.*
- [MAGRAMA] Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.*
- [AINIA00] Pascual, Andrés, “*Gestión y mantenimiento de Depuradoras en Industrias Agroalimentarias*”, AINIA Centro Tecnológico.
- [CTNCA08] Ayuso García, Luis Miguel “*Desarrollo de una alternativa de depuración biológica aplicable a las PYMES del sector de conservas vegetales*” Centro Tecnológico Nacional de la Conserva, Departamento de Medioambiente y Agua.
- [MORA14] Morales Polo, Carlos “*Diseño de la EDAR capaz de regenerar el agua residual para uso potable*”. Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. 2014.

- [TECD13]            Tecnologías blandas. Lechos bacterianos o filtros percoladores. TEC Depur Ingeniería. Octubre 2013.
- [SUAJA07]           J.Suárez y A. Jácome “*Tratamientos avanzados de depuración*” Universidad de la Coruña, Noviembre de 2007.
- [SAVE18]            Catálogo de productos para la industria de conservas vegetales y de frutas, Saveco SA, 2018.
- [IDAE07]            IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, “Biomasa. Digestores anaerobios”. Madrid. Octubre de 2007.
- [BREF03]            Documentos de Referencia Europeos sobre las Mejores Técnicas Disponibles, 2003. MAPAMA, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



# CAPÍTULO II

## CÁLCULOS



## 1. INTRODUCCIÓN

Durante este apartado, trataremos de obtener un dimensionamiento correcto a partir de la solución que hemos adoptado, conociendo los diferentes tratamientos presentes en la depuración de aguas residuales. Como objetivo final, seguimos teniendo que respetar los niveles máximos permitidos en los diferentes tipos de contaminantes.

Para este apartado, nos apoyaremos del programa informático **Microsoft Office Excel**, el cual nos permitirá dimensionar todas las fases y etapas de nuestra instalación según los tratamientos adoptados. A su vez, nos ayudará a presentar de manera más esquemática y clara los resultados obtenidos en el dimensionamiento.

Los cálculos los hemos realizado gracias a la ayuda de los métodos presentados en el libro *“Proyectos de plantas de tratamiento de aguas: Aguas de procesos residuales y de refrigeración”* de Ricardo Isla de Juana.

Para esclarecer el proceso llevado a cabo, vamos a proceder a dimensionar y presentar los resultados según el orden cronológico de las etapas de nuestra EDAR, esto es, primero pasaremos a diseñar la línea de aguas con sus respectivos pretratamiento, tratamiento primario, secundario y avanzado. Posteriormente, pasaremos a la línea de fangos con sus respectivos espesamiento, estabilización y deshidratación. Y por último, con el objetivo de presentar de manera visual y esquemática el proceso de reducción de contaminantes, presentaremos una tabla resumen con cada tratamiento planteado con sus contaminantes a la entrada y a la salida, y sus coeficientes de reducción aplicados.

## **2. LÍNEA DE AGUAS**

En este apartado de cálculos de la línea de aguas, procederemos al dimensionamiento de las diferentes etapas que hemos elegido en nuestra instalación (pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento avanzado).

Uno de los puntos más relativos a la hora de dimensionar será el caudal de la instalación. Dicha explicación se encuentra detallada más adelante en el apartado de Anexos, por lo que aquí explicaremos los resultados obtenidos para el dimensionamiento de las etapas. Para el buen dimensionamiento, hemos decidido añadir un coeficiente de sobredimensionamiento del 25% para no tener problemas con el diseño de las instalaciones y así poder asegurarnos el correcto funcionamiento en cualquier caso de imprevistos. A su vez, debido a que nuestro caudal de diseño es de **33,7 m<sup>3</sup>/h**, que como se detalla en el apartado de Anexos, corresponde con un factor punta **C<sub>p</sub> = 2**, lo que nos lleva a tener un caudal punta de **54 m<sup>3</sup>/h**.

En cuanto a los contaminantes y porcentajes de reducción esperados en cada etapa, se irán explicando a lo largo de cada etapa, y finalmente quedarán reflejados a modo de tabla resumen al final del capítulo, para una mejor visualización de las reducciones por etapas y tratamientos.

### **2.1. PRETRATAMIENTO**

Dentro de nuestra etapa de pretratamiento, hemos escogido en nuestra solución aplicar los tratamientos de desbaste y tamizado, de los cuales se presentan a continuación sus dimensionamientos en tablas.

#### **2.1.1. Desbaste**

<b>REJAS DE FINOS: PARAMETROS DE PARTIDA</b>	
Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /h)	33,7
Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	54
Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja sucia (m/s)	0,9
Número de líneas de desbaste	1
Espesor de los barrotes (mm)	6
Distancia entre los barrotes (Luz)(mm)	10
Resguardo del canal (m)	0,3
Angulo de inclinación de los barrotes (grados)	60
Máxima colmatación entre dos limpiezas (%)	30
Relación profundidad útil/anchura del caudal	1
Metros cúbicos de residuos por 1000 m <sup>3</sup> de agua residual a caudal de diseño	0,01
Metros cúbicos de residuos por 1000 m <sup>3</sup> de agua residual con tormenta	0,2

<b>RESULTADO DEL CÁLCULO</b>
------------------------------

Caudal de diseño por la línea (m <sup>3</sup> /h)	33,7
Caudal máximo por línea (m <sup>3</sup> /h)	54
Superficie útil del canal (m <sup>2</sup> )	0,021
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)	1,01
Velocidad de paso entre barrotes a caudal máx. con reja colmatada (m/s)	1,44
Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño (m/s)	0,45
Anchura del canal (m)	0,14
Profundidad útil del canal (m)	0,14
Profundidad total del canal (m)	0,44
Producción normal de residuos (m <sup>3</sup> /día) (Gruesos+finos)	0,008
Producción máxima de residuos con tormenta (m <sup>3</sup> /h) (Gruesos+finos)	0,0108

Como podemos observar en las tablas anteriores, hemos procedido a dimensionar en este apartado la reja de finos que hemos decidido introducir como primer tratamiento a nuestro caudal de agua residual bruta. Como características generales, hemos utilizado una reja de finos de **6mm** de espesor de barrotes, con una separación de barrotes de **10mm** y una inclinación de 60°.

En cuanto al canal por donde entrará en caudal de agua bruta, tendrá una superficie útil de **0,021m<sup>2</sup>**, lo cual era de esperar debido a que el caudal de diseño y el caudal punta no son muy grandes. Debido a la relación de 1:1 de superficie, tanto la anchura del canal como la profundidad del canal serán de **0,14m**.

### 2.1.2. Tamizado

Como segundo tratamiento aplicado dentro de la etapa de pretratamiento hemos introducido un tamiz rotativo para la eliminación de sólidos no tan gruesos como los eliminados en la operación de desbaste. Los datos de dimensionamiento los podemos encontrar en las siguientes tablas:

<b>TAMIZ ROTATIVO: PARÁMETROS DE PARTIDA</b>
--

Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /h)	33,7
Número de líneas	1
Sólidos en suspensión en el agua a tratar (mg/l)	727
Eliminación de sólidos en suspensión (%)	5
Distancia entre barras (Luz del tamiz) (mm)	1,5
Diámetro del tambor filtrante (m)	0,63

<b>RESULTADO DEL CÁLCULO</b>	
Caudal de diseño por la línea (m <sup>3</sup> /h)	33,7
Carga hidráulica a caudal máximo (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> de tambor.h)	168,40
Longitud del tambor filtrante (m)	0,172
Superficie del tambor filtrante (m <sup>2</sup> )	0,34
Diámetro del tambor filtrante (m)	0,63
Potencia mínima del motor del tamiz (Kw)	0,55
Superficie en planta aproximada ocupada por un tamiz (m <sup>2</sup> )	0,89
Peso aproximado del tamiz en vacío (Kg)	202,74
Peso aproximado del tamiz funcionando (Kg)	267,49
Caudal de agua de lavado total a 4 kg/cm <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> /h)	0,674
Potencia mínima de la bomba de lavado (Kw)	0,15
Producción de fangos en tamices (kg/d de sólidos)	29,382188
Carga hidráulica a caudal de diseño (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> de tambor.h)	98,78

Como podemos observar en las tablas, esperamos un rendimiento de eliminación del 5% en cuanto al tamiz rotativos para los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Como datos significativos del tamiz rotativo, obtenemos que debe tener una longitud del tambor de **0,172m**, un diámetro de **0,63m**, por lo que el tambor ocupará una superficie en planta aproximada de **0,89m<sup>2</sup>**. En cuanto a la potencia, deberá tener una potencia la bomba de lavado de unos **0,15Kw** que aproximadamente proporcionará un caudal de agua de lavado de **0,674 m<sup>3</sup>/h**.

El tamiz, de manera aproximada proporcionará un total de **29,38 kg de fangos al día**.

## **2.2. TRATAMIENTO PRIMARIO**

Como tratamiento primario y debido a las características del efluente de llegada que ya hemos comentado con anterioridad en el presente proyecto, hemos decidido implantar un decantador primario, el cual proporcionará los fangos primarios. Esta etapa es de gran importancia ya que se elimina el 60% de los sólidos en suspensión presentes en el efluente y generará fangos más densos que en la decantación primaria debido al alto contenido en sólidos en suspensión del efluente a la llegada de la decantación primaria.

### 2.2.1. Decantación primaria

DECANTADOR PRIMARIO: PARÁMETROS DE PARTIDA	
--	--

Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /h)	33,7
Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	54
Velocidad ascensional a caudal de diseño (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	1,3
Tiempo medio de residencia a caudal de diseño (h)	2,5
Número de líneas	1
Distancia desde el vertedero a la pared interna de la cuba (m)	0,5

RESULTADOS DEL CÁLCULO	
------------------------	--

Caudal de diseño por línea (m <sup>3</sup> /h)	33,7
Caudal máximo por línea (m <sup>3</sup> /h)	54
Superficie del decantador (m <sup>2</sup> )	25,92
Diámetro interno (m)	5,75
Volumen cilíndrico útil (m <sup>3</sup> )	84,25
Profundidad cilíndrica útil (m)	3,25
Velocidad ascensional a caudal máximo (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	2,08
Tiempo medio de residencia a caudal máximo (h)	1,56
Longitud de vertedero por decantador (m)	14,91
Carga máxima sobre vertedero (m <sup>3</sup> /m.h)	3,62

En cuanto al decantador, hemos introducido un decantador circular, cuyo tiempo de retención de agua será de **2,5 horas**. Tendremos un único decantador circular en el que se decantarán los sólidos en suspensión esperando un rendimiento del **60%** para los sólidos en suspensión y un **30%** para la DBO y la DQO respectivamente.

Dados estos parámetros de partida y con el caudal de diseño y punta, obtenemos un decantador de diámetro interno **5,75m** y una profundidad útil de **3,25m**, por lo que el volumen aproximado será de **84,25 m<sup>3</sup>**.

### **2.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO**

En esta etapa de tratamiento secundario, tendremos dos operaciones diferenciadas de cara a reducir la DBO y DQO presentes en el agua. Dado que con un primer tratamiento con el reactor biológico de mezcla completa y la alta concentración de nitratos en el efluente, deberemos añadir un tratamiento de fangos activos para la completa eliminación de los fosfatos y alcanzar los niveles máximos permitidos en DBO y DQO.

#### **2.3.1. Reactor Biológico Anaerobio de mezcla completa (RMC)**

Como hemos comentado con anterioridad, el reactor biológico tendrá altos rendimientos de eliminación de la DBO y DQO lo cual será crucial para poder alcanzar los niveles permitidos al final de la instalación. En las siguientes tablas encontramos los parámetros de dimensionamiento del reactor:

<b>PARÁMETROS DE PARTIDA</b>	
Tiempo de retención del digestor [días]	15
Altura cilíndrica útil del digestor [m]	5
Altura del fondo cónico del digestor primario [m]	2
Número de digestores	1
Q de diseño [m <sup>3</sup> /h]	33,7
DBO a la entrada [mg/l]	617,02
DQO a la entrada [mg/l]	1751,53
SS a la entrada [mg/l]	276,28
Reducción de DBO [%]	95
Reducción de DQO [%]	90
Reducción de SS [%]	85

<b>RESULTADOS DE CÁLCULO</b>	
Q de diseño [m <sup>3</sup> /h]	33,7
Volumen total del digestor [m <sup>3</sup> ]	505,5
Volumen unitario del digestor [m <sup>3</sup> ]	505,5
Diámetro interno del digestor primario [m]	10,7
DBO a la salida [mg/l]	30,9
DQO a la salida [mg/l]	175,2
SS a la salida [mg/l]	41,4

Para el dimensionamiento del reactor hemos decidido para optimizar el proceso, elegir un tiempo de retención de **15 días**. Del resto de parámetros, la altura total del reactor será de **7m**, correspondiendo **5m** a la altura cilíndrica útil del digestor y **2m** a la altura del fondo cónico superior del digestor.

Como ya hemos explicado anteriormente, este tratamiento tiene unos rendimientos de eliminación de contaminantes de **90%** tanto para la DBO y la DQO y del **85%** para los sólidos en suspensión. A su vez, con este tratamiento conseguimos eliminar el **5%** de los fosfatos y de los nitratos presentes en el agua residual.

Con estos parámetros de partida, hemos obtenido un reactor de **10,7m** de diámetro y un volumen total de **505,5 m<sup>3</sup>**, lo cual era de esperar debido a que el caudal obtenido en nuestros cálculos no es demasiado elevado.

Una vez realizado el dimensionamiento del digestor conociendo los parámetros de partida, procederemos al cálculo del balance térmico del mismo, que se presenta en las siguientes tablas:

<b>PARÁMETROS DE PARTIDA</b>	
Temperatura del digestor (°C)	35
Temperatura del aire a considerar para el cálculo (°C)	20
Temperatura del suelo a considerar para el cálculo (°C)	8
Temperatura del vertido alimentando al digestor (°C)	15
Altura enterrada de la virola [m]	1
Espesor del hormigón en la cúpula [m]	0,2
Espesor del hormigón en la virola [m]	0,2
Espesor del aislamiento [m]	0,06
Conductividad térmica K del hormigón [kcal/°C*h*m <sup>2</sup> /m]	1,64
Conductividad térmica K del aislamiento [kcal/°C*h*m <sup>2</sup> /m]	0,03
Coeficiente global U de la parte enterrada [kcal/h]	1
Poder calorífico del gas de digestión [kcal/h]	5000
Altura de la cúpula [m]	0,5
Rendimiento de la producción de calor a partir del gas de la digestión [%]	60

<b>RESULTADO DE CÁLCULO</b>	
Coeficiente global U de la cúpula [kcal/m <sup>2</sup> * °C*h]	0,47126437
Superficie de la cúpula [m <sup>2</sup> ]	89,991491
Calor perdido por la cúpula [kcal/h]	636,146746
Coeficiente global U de la virola [kcal/m <sup>2</sup> * °C*h]	0,47126437
Superficie de la virola [m <sup>2</sup> ]	133,925318
Calor perdido por la virola [kcal/h]	946,713453
Superficie enterrada [m <sup>2</sup> ]	128,763456
Calor perdido por la superficie enterrada [kcal/h] (Virola+cono)	3476,61331
Pérdidas totales de calor [kcal/h]	5059,47351
Calor necesario para el calentamiento del efluente [kcal/h]	28083,3333
Calor total necesario para la digestión [kcal/h]	33142,8068
Calor teórico disponible del gas de digestión [kcal/h]	
Exceso de calor en las condiciones del cálculo [kcal/h]	

Para poder realizar la digestión anaerobia, es necesaria una temperatura dentro del digester de 35°C. En cuanto a la temperatura media de la localidad en la que estará situada la instalación (Murcia) es de en torno 20°C. Para facilitar los cálculos consideraremos una temperatura de suelo de unos 8°C y que el efluente de agua que llega al digester tiene una temperatura de unos 15°C.

En la tabla de parámetros, podemos observar otros valores importantes para el diseño como lo son el espesor del hormigón utilizado en las diferentes partes del digester, las conductividades térmicas del hormigón y el rendimiento de producción de calor a partir del gas que está en torno al 60%.

Con todos estos parámetros obtenemos en total una necesidad de calor para la digestión de **33142,8 Kcal/h.**

### 2.3.2. Fangos activos

Dentro de la etapa de tratamiento secundario, y una vez analizados los niveles obtenidos después del reactor biológico, será necesario introducir en la instalación fangos activos con balsas anóxicas para llegar a obtener niveles de contaminación por debajo de los permitidos en cuanto a la DQO, DBO y nitratos. Durante esta etapa se consiguen rendimientos del **90%** tanto para la DQO y la DBO, del **85%** para los sólidos en suspensión y con la introducción de las balsas anóxicas un **85%** en los niveles de nitratos, lo que nos permite alcanzar niveles inferiores a los máximos permitidos por la norma vigente.

En la siguiente tabla, podemos observar los datos de partida y resultados de cálculos para los fangos activos:

<b>FANGOS ACTIVOS</b>
-----------------------

<b>1. DIMENSIONADO DE BALSAS</b>
----------------------------------

<b>Grados de libertad</b>	
Q diseño [m3/h]	33,7
Q máximo [m3/h]	54
N líneas	1
SST a al salida del biológico [mg/l]	6,22
DBO a la salida del biológico [mg/]	6,17
SST a la entrada [mg/l]	41,44
DBO a la entrada [mg/l]	61,70
SS en balsa (SSLM) [mg/l]	3000
Carga másica [kg DBO/ kg SSLM/día]	0,4
Profundidad útil [m]	6
Relación longitud anchura de la balsa	1
Concentración SS en la recirculación [mg/l]	8000

<b>Resultados de cálculo</b>	
Rendimiento esperado de SS [%]	85
Rendimiento esperado de DBO [%]	90

Kilos de DBO alimentados por día al biológico [kg DBO/día]	49,90
kilos de SSLM en balsa de fangos activos	124,76
Volumen total de balsa [m3]	41,59
Volumen unitario útil por balsa [m3]	41,59
Superficie unitaria de cada balsa [m2]	6,93
Anchura útil de balsa [m]	2,63
Longitud útil de balsa [m]	2,63
Tiempo de retención hidráulico a Q diseño [h]	1,23

Carga volumétrica a Q diseño [kg DBO/m <sup>3</sup> /día]	1,20
---	------

Para este procedimiento de fangos activos hemos establecido los siguientes parámetros de partida del mismo: profundidad útil que está normalizada en **6m**, los rendimientos esperados que necesitamos en esta etapa de **85%** para los sólidos en suspensión y **0%** para la DBO y DQO.

Según los cálculos realizados, nuestra balsa deberá tener **6,93m<sup>2</sup>** de superficie (habiendo fijado que la relación longitud/anchura fuera 1:1, siendo las mismas de **2,63m**). A su vez, el tiempo de retención en la balsa será de **1,23 horas** lo cual tiene sentido debido a los niveles de caudal y contaminantes que manejamos en nuestro caso en particular.

En cuanto a los fangos secundarios que obtendremos en este proceso, podemos observar el resultado en la siguiente tabla:

<b>FANGOS SECUNDARIOS</b>	
<b>Resultados de cálculo</b>	
Q teórico de recirculación [m <sup>3</sup> /h]	20,22
Q recirculación recomendado [m <sup>3</sup> /h]	33,70
Producción de fangos en exceso [kg/día]	45,26
Q fangos en exceso a purgar de la recirculación [m <sup>3</sup> /h]	0,24
Q fangos en exceso a purgar del licor mixto [m <sup>3</sup> /h]	0,63
Edad del fango [días]	2,48

### **2.3.3. Decantación secundaria**

Por último, en el tratamiento secundario encontraremos el decantador secundario en el cuál decantarán y se recogerán los fangos de todos los procesos utilizados durante este tratamiento secundario. En las siguientes tablas podemos observar los datos de partida y los resultados obtenidos en cuanto al dimensionamiento del decantador:

**DECANTADOR SECUNDARIO: PARÁMETROS DE PARTIDA**

Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /h)	33,7
Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	54
Velocidad ascensional a caudal de diseño (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	0,67
Tiempo medio de residencia a caudal de diseño (h)	4,1
Número de líneas	1
Distancia desde el vertedero a la pared interna de la cuba (m)	0,5

**RESULTADO DE CÁLCULO**

Caudal de diseño por línea (m <sup>3</sup> /h)	33,7
Caudal máximo por línea (m <sup>3</sup> /h)	54
Superficie del decantador (m <sup>2</sup> )	50,30
Diámetro interno (m)	8,00
Volumen cilíndrico útil unitario (m <sup>3</sup> )	138,17
Profundidad cilíndrica útil (m)	2,75
Velocidad ascensional a caudal máximo (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	1,07
Tiempo medio de residencia a caudal máximo (h)	2,56
Longitud de vertedero por decantador (m)	22,00
Carga máximo sobre vertedero (m <sup>3</sup> /m.h)	2,45

Como podemos observar en las tablas, dispondremos de un único decantador secundario ya que no será necesario incluir ninguno más debido a los niveles de contaminación y de caudal de la instalación. Como características generales, el tiempo de retención en el decantador será de **4 horas**, lo cual concuerda con los resultados esperados y deberá tener un volumen cilíndrico de aproximadamente **138 m<sup>3</sup>**.

#### **2.4. TRATAMIENTO AVANZADO**

Por último, dentro de la línea de aguas encontraremos el tratamiento avanzado. Dicho tratamiento está presente siempre que tengamos que eliminar algún contaminante en específico para cumplir con los niveles exigidos. En nuestro caso en particular, deberemos aplicar un proceso de CFD

(coagulación, floculación y decantación) para la eliminación de los fosfatos hasta niveles permitidos.

### 2.4.1. Cloruro férrico

En este tratamiento avanzado, hemos decidido utilizar un proceso químico avanzado con cloruro férrico,  $\text{Cl}_3\text{Fe}$ , para poder propiciar la decantación del fósforo presente en el agua residual. En las tablas posteriores, podemos observar los datos y parámetros para el corrector dimensionamiento de esta etapa:

## Eliminación del P: Cloruro férrico ( $\text{Cl}_3\text{Fe}$ )

<b>PARÁMETROS DE PARTIDA</b>	
Q de diseño ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	33,7
Q máximo ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	54
Dosis de coagulante (mg/l)	20
Concentración del reactivo comercial (kg/ton)	400
Densidad del reactivo comercial (kg/l)	1,417
Autonomía de almacenamiento (días)	15
Concentración de dosificación (kg/ton) (Reactivo diluido)	50
Horas de dosificación al día	17

<b>RESULTADO DE CÁLCULO</b>	
Consumo de reactivo puro a Q de diseño (kg/h)	0,674
Consumo de reactivo comercial a Q de diseño (kg/h)	1,685
Consumo de reactivo comercial a Q de diseño (l/h)	1,189
Consumo de reactivo diluido a Q de diseño (kg/h)	13,480
Consumo aprox. De reactivo diluido a Q de diseño (l/h)	12,984
Densidad aproximada del reactivo diluido (kg/l)	1,038
Consumo de reactivo puro a Q máximo	1,080
Consumo de reactivo comercial a Q máximo (kg/h)	2,700
Consumo de reactivo comercial a Q máximo (l/h)	1,905
Consumo del reactivo diluido a Q máxima (kg/h)	21,600
Consumo aprox. De reactivo diluido a Q máxima (l/h)	20,805
Consumo aprox. De reactivo diluido a Q de diseño (l/h)	0,430

Los parámetros de partida quedarán estipulados debido al productor reactivo comercial que suele tener los siguientes parámetros característicos: dosis de coagulante de **20 mg/L**, concentración del reactivo comercial de **400 kg/Tm**, densidad del reactivo comercial de **1,42 kg/L**, y una autonomía de almacenamiento del mismo de unos **15 días**.

Con estos parámetros de partida obtenemos unos resultados que son bastante coherente debido a: consumo de reactivo comercial de **1,685 kg/h**.

### **3. LÍNEA DE FANGOS**

En este apartado, procederemos al cálculo y dimensionamiento de las instalaciones necesarias para la línea de fangos. Como ya hemos comentado anteriormente, se encontrarán tres fases distintas en el proceso: espesado, estabilización y deshidratación.

#### **3.1. ESPESAMIENTO DE FANGOS**

En esta fase, procederemos al dimensionamiento de las instalaciones necesarias para el espesamiento de los fangos. Como ya hemos comentado en el apartado anterior, deberemos distinguir entre fangos primarios provenientes de la decantación primaria (serán los más densos) que serán espesados por gravedad y los fangos secundarios (menos densos) que serán espesados por flotación.

##### **3.1.1. Espesamiento por gravedad**

Como hemos comentado con anterioridad, debido a las características de los fangos primarios, procederemos a espesarlos por gravedad. A partir de los fangos primarios obtenidos de la decantación primaria procederemos a dimensionar el espesado por gravedad de los mismos:

**PRODUCCIÓN DE FANGOS PRIMARIOS**

Eliminación de sólidos en suspensión (%)	60
Eliminación de DBO (%)	33
Concentración de sólidos en suspensión en la entrada de decantación (mg/l)	691
Concentración de DBO en la entrada de decantación (mg/l)	921
Concentración del fango decantado (kg/m <sup>3</sup> )	30

Una

**RESULTADOS DEL CÁLCULO**

vez

Producción de fangos primarios (kg/d de sólidos)	335,18
Producción media de fangos primarios (kg/h de sólidos)	13,97
Caudal medio de fangos primarios (m <sup>3</sup> /h)	0,47
Concentración de sólidos en suspensión en salida de decantación (mg/l)	276,28
Concentración de DBO en la salida de decantación (mg/l)	617,02

conocidos los valores de nuestros fangos primarios, procedemos al dimensionamiento del espesado por gravedad de los mismos. Como dato característico obtenemos una producción de **335,18 kg de fangos diarios**.

Conocido este dato, procedemos al dimensionamiento del espesado por gravedad de los mismos, que podemos observar en las siguientes tablas:

<b>PARÁMETROS DE PARTIDA</b>	
Carga de solidos [kg/m <sup>2</sup> -dia]	55
Tiempo de retención [h]	24
Numero de líneas	1
Concentración de fangos espesados a la salida [kg/m <sup>3</sup> ]	30
Solidos de los fangos DEC 1 [kg/día]	335,18
Solidos de los fangos del DEC 2 [kg/día]	0
Concentración fangos DEC 1 [kg/m <sup>3</sup> ]	30
Concentración fangos DEC 2 [kg/m <sup>3</sup> ]	0

<b>RESULTADO DE CÁLCULOS</b>	
Caudal de fangos primarios [m <sup>3</sup> /h]	0,47
Caudal de fangos secundarios [m <sup>3</sup> /h]	0,00
Sólidos en fangos mixtos (1 <sup>º</sup> +2 <sup>º</sup> ) [kg/día]	335,18
Caudal de fangos mixtos [m <sup>3</sup> /h]	0,47
Concentración de fangos mixtos [kg/m <sup>3</sup> ]	30,00
Superficie unitaria [m <sup>2</sup> ]	6,09
Diámetro interno [m]	2,79
Volumen útil [m <sup>3</sup> ]	11,17
Profundidad útil [m]	1,83

Q fangos salida [m <sup>3</sup> /h]	0,47
Velocidad ascensional [m/h]	0,08

Hemos decidido establecer como parámetros de partida, un único decantador para la instalación ya que los niveles de caudal no son excesivamente altos y un tiempo de retención de **24 horas** que está en la media establecida.

Como resultados del cálculo, obtendremos un espesador de unos **6m<sup>2</sup>** de superficie unitaria, con un diámetro interno **2,8m** y una profundidad útil de **1,83m** y por lo tanto un volumen total de **11,2 m<sup>3</sup>**.

A su vez, hemos obtenido un caudal de salida de fangos de aproximadamente **0,5 m<sup>3</sup>/h**. Como ya hemos comentado al principio de este apartado, este caudal de fangos se unirá posteriormente al caudal de espesado por flotación para ir ambos al tratamiento de estabilización.

### 3.1.2. Espesamiento por flotación

Este tratamiento, será el utilizado para los fangos secundarios que como hemos comentado anteriormente, serán menos densos que los fangos primarios por lo que se adecúa el proceso de espesamiento por flotación a las características de estos fangos. En las siguientes tablas, podemos observar los datos del dimensionamiento del espesamiento por flotación de dichos fangos secundarios.

<b>ESPESADO FLOTACION</b>	
---------------------------	--

<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>	
Carga de solidos [kg/m <sup>2</sup> -h]	3
Tiempo de retención [h]	6
Numero de líneas	1
Concentración de fangos a la salida [kg/m <sup>3</sup> ]	30
Solidos contenidos en los fangos biológicos [kg/día]	400
Concentración de los fangos biológicos [mg/l]	8000

<b>RESULTADOS DE CÁLCULO</b>	
Caudal de fangos biológicos [m <sup>3</sup> /h]	2,08
Superficie unitaria útil [m <sup>2</sup> ]	5,56

Diámetro interno útil [m]	2,66
Volumen unitario útil [m <sup>3</sup> ]	12,50
Profundidad útil unitaria [m]	2,25
Caudal de fangos a la salida [m <sup>3</sup> /h]	0,56
Velocidad ascensional sin recirculación [m/h]	0,38
Necesidades de aire para presurización [m <sup>3</sup> /h]	0,83
Caudal de recirculación mínimo [m <sup>3</sup> /h]	4,17

Como principales parámetros que hemos decidido elegir, hemos elegido un tiempo de retención de **6 horas** que suele ser el habitual, y sobre todo, si aumentamos el tiempo de retención, el volumen necesario para el espesador sería significativamente mayor. Además, hemos decidido una concentración de fangos a la salida de **30 kg/m<sup>3</sup>**, que también suele ser la habitual.

Dados estos parámetros de partida, hemos obtenido un espesador con las siguientes características: diámetro interno de **2,66 m**, profundidad de **2,55 m** y volumen de **12,5m<sup>3</sup>**.

A su vez, el caudal de fangos a la salida será de **0,56 m<sup>3</sup>/h**, siendo nuestro caudal de fangos biológicos de **2,08 m<sup>3</sup>/h**.

### **3.2. ESTABILIZACIÓN DE FANGOS**

Durante esta etapa del tratamiento de fangos, procedemos a la estabilización de los mismos para poder facilitar el proceso posterior de deshidratación para su posterior eliminación. Como hemos comentado con anterioridad este proceso es de vital importancia para eliminar los microorganismos como virus y bacterias presentes en los fangos y así evitar su descomposición.

Para este proceso, debemos juntar los fangos primarios con los fangos secundarios obteniendo fangos mixtos. Para el procedimiento de estabilización, utilizaremos el procedimiento químico a base de cal viva.

#### **3.2.1. Estabilización química**

En la siguiente tabla, podemos observar los datos de partida que hemos obtenido mezclando los fangos primarios y los fangos secundarios, obteniendo los fangos mixtos que deberemos estabilizar:

<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>
---------------------------

Tiempo de retención del estabilizador [h]	3
Altura útil del tanque primario [m]	1
Numero de estabilizadores	1
Caudal de fangos secundarios [m <sup>3</sup> /h]	0,56
Caudal de fangos primarios [m <sup>3</sup> /h]	0,47
Solidos contenidos en los fangos primarios [kg/d]	335,18
Solidos contenidos en los fangos secundarios [kg/día]	400

Resultados de cálculo	
Caudal de fangos a estabilizar [m <sup>3</sup> /h]	1,02
Solidos contenidos en los fangos a digerir [kg/d]	735,18
Volumen total del estabilizador [m <sup>3</sup> ]	3,06
Diámetro interno del digestor primario [m]	1,95

Como tiempo de retención, hemos decidido diseñar a partir de **3 horas** para cerciorarnos que el proceso de aumento del pH hasta 12,5 se realiza con seguridad. Dados nuestros parámetros de partida obtenemos un estabilizador de **1.95 m** de diámetro y con un volumen total de **3 m<sup>3</sup>**.

Como ya hemos presentado anteriormente, para calcular las dosis de cal que deberíamos proporcionar para le estabilización nos apoyaremos en la siguiente tabla:

TIPO DE FANGO	Concentración de sólidos, %		Dosis de cal, Kg Ca(OH) <sub>2</sub> /tonelada de sólidos secos	
	Intervalo	Valor medio	Intervalo	Valor medio
Primario	3 - 6	4.3	60 - 170	120
Exceso de fangos activo	1 - 1.5	1.3	210 - 430	300
Mezcla digerida vía aerobia	6 - 7	6.5	140 - 250	190
Líquido de fosas sépticas	1 - 4.5	2.7	90 - 510	200

**Figura 34:** Dosis de cal necesarias para estabilización. Fuente [SUAJA07].

Ya sabemos que los fangos secundarios, al provenir de un tratamiento anaerobio, ya están estabilizados por el proceso de digestión por lo que solo tendremos que estabilizar los fangos primarios. Como podemos observar, para la estabilización de fangos primarios es necesaria una dosis media de cal (Ca (OH)<sub>2</sub>) de **120 kg por cada tonelada de sólidos secos**.

### 3.3. DESHIDRATACIÓN DE FANGOS

En este apartado, procederemos a dimensionar el último tratamiento de la línea de fangos que es la deshidratación de los mismos. Este proceso, se encargará de eliminar el agua que no se ha podido eliminar en los procesos anteriores para ya obtener un fango prácticamente seco para proceder a su almacenamiento o eliminación/reutilización. Como hemos comentado con anterioridad, hemos escogido un proceso de deshidratación centrífuga.

### **3.3.1. Deshidratación por centrifugación**

En este apartado, mostraremos los datos de partida de los fangos que necesitamos deshidratar y los resultados de dimensionamiento del equipamiento necesaria para la deshidratación por centrifugación de los mismos. En las siguientes tablas podemos observar dichos parámetros y resultados:

<b>DESHIDRATACIÓN: <u>CENTRÍFUGA</u></b>	
--	--

<b>PARÁMETROS DE PARTIDA</b>	
Caudal de fango a filtrar [m <sup>3</sup> /d]	1,02
Días de funcionamiento por semana	5
Horas de funcionamiento por día	17
Número de centrífugas	1
Concentración de sólidos en el fango alimentado [kg/m <sup>3</sup> ]	30
Concentración de sólidos en el fango seco [kg/m <sup>3</sup> ]	220
Densidad de los sólidos contenidos en el fango [kg/l]	1,5
Capacidad específica de la centrífuga	60
Relación longitud/diámetro del rotor	3
Dosis de poli electrolito [kg/Ton materia seca]	5

<b>RESULTADOS DE CÁLCULO</b>	
Caudal de fango a filtrar por hora laborable [m <sup>3</sup> /h]	0,084

Caudal de fangos a filtrar por centrifuga [m <sup>3</sup> /h laborable]	0,084
Sólidos alimentados [kg/año]	2,523
Caudal másico de los sólidos alimentados por centrifuga [Ton/hora laborable]	0,085
Densidad del fango alimentado a la centrifuga [kg/l]	1,010
Densidad del fango deshidratado [kg/l]	1,073
Volumen del fango deshidratado por hora laborable [m <sup>3</sup> /h]	0,011
Volumen del fango deshidratado semanal [m <sup>3</sup> /semana]	0,975
Diámetro del rotor [m]	0,070
Longitud del rotor [m]	0,211
Potencia unitaria aproximada del motor [CV]	0,106
Consumo del poli electrolito por centrifuga [kg/h laborable]	0,013
Consumo del poli electrolito por centrifuga [kg/h semana]	1,072

Como resultado de nuestro dimensionamiento, obtenemos que nuestra centrifugadora a instalar para poder deshidratar los fangos deberá tener una potencia de **0,11 CV** y unas dimensiones de **0,2m** de longitud y **0,07m** de diámetro del rotor.

#### **4. CONTAMINANTES**

A continuación, presentamos una tabla a modo de resumen donde se presentan los coeficientes de reducción establecidos en cada etapa y las concentraciones de contaminantes antes y después de cada etapa.

Eliminación contaminantes													
Contaminantes	Entrada	Pretratamiento				Tratamiento primario		Tratamiento biológico				Tratamiento avanzado	
		Desbaste		Tamizado		Decantación primaria		Reactor anaerobio (CRM)		Reactor aerobio (Fangos Activos)		Cloruro férrico	
		Rendimiento (%)	Salida (mg/L)	Rendimiento (%)	Salida (mg/L)	Rendimiento (%)	Salida (mg/L)	Rendimiento (%)	Salida (mg/L)	Rendimiento (%)	Salida (mg/L)	Rendimiento (%)	Salida (mg/L)
DBO	968,75	2,5	944,53	2,5	920,92	33	617,02	90	61,70	90	6,17	-	6,17
DQO	2750	2,5	2681,25	2,5	2614,22	33	1751,53	90	175,15	90	17,52	-	17,52
SS	726,56	2,5	708,40	2,5	690,69	60	276,28	85	41,44	85	6,22	-	6,22
N	71,25	-	71,25	-	71,25	-	71,25	5	67,69	85	10,15	-	10,15
P	23,75	-	23,75	-	23,75	10	21,38	5	20,31	-	20,31	95	1,02

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

- [SUAJA07] J.Suárez y A. Jácome “*Tratamientos avanzados de depuración*”  
Universidad de la Coruña, Noviembre de 2007.
- [DIAZ] Paz Díaz Bauluz. “*Diseño paramétrico de Estación de Tratamiento de Agua*”.

# CAPÍTULO III

## IMPACTO MEDIOAMBIENTAL



## **1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo tercero del proyecto, procederemos a analizar el impacto medioambiental que tendrá nuestra instalación de una EDAR para la industria conservera, una vez analizados todos los capítulos anteriores y conociendo las dimensiones y alcance de los mismos. De cara a poder reducir el impacto negativo que pueda tener en el medio ambiente la construcción de nuestra instalación, realizaremos este análisis intentando reducir y minimizar dichos impactos.

Para el estudio de los impactos medioambientales que tendrá la construcción de nuestra EDAR, utilizaremos el método actividad-medio. De cara a facilitar el cálculo y representación de los resultados utilizaremos una matriz de impactos donde quedarán reflejados todos los impactos que tendremos presentes por la construcción de nuestra EDAR ya sean negativos o positivos. De tal manera, la matriz de impactos quedará organizada de la siguiente manera: las filas serán los factores medioambientales, las columnas serán los aspectos medioambientales y el método de evaluación será verde (positivo) y rojo (negativo).

Dentro de las actividades a evaluar tendremos dos: la actividad de la propia construcción de la EDAR y la actividad de la propia explotación de la EDAR una vez haya sido puesta en marcha. Estas actividades conllevan movimiento de tierras, excavaciones, movimiento de maquinaria, vibraciones, ocupaciones de los trabajadores de la planta, producción de los propios residuos de explotación de la planta. Dicho esto, presentamos la matriz de impactos en la que se reflejan todos los impactos recogidos en una instalación como la nuestra:

MATRIZ DE IMPACTOS															
		Construcción									Explotación				
		Movimiento De Tierras	Movimientos de máquina	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	Tráfico de camiones	Vertidos accidentales	Funcionamiento de la instalación	Vertidos accidentales	Producción de residuos	Generación de ruido	Producción de olores
Impactos Ambientales	Clima	Alteración del clima													
	Geomorfología	Inestabilidad del terreno/aliteración													
	Geología	Alteración de rasgos geológicos													
	Hidrología superficial	Disminución de la calidad de las aguas													
	Hidrología subterránea	Disminución de la calidad de las aguas													
	Edafología	Ocupación y pérdida irreversible de suelo													
		Contaminación y pérdida de capacidad productiva													
Aumentos de la erosión y la sedimentación															

Impactos Ambientales	Flora	Pérdida/afección a la cubierta vegetal	■							■	■		■				
	Fauna	Destrucción directa de la fauna edáfica	■	■													■
		Destrucción y pérdida de la calidad de hábitats para la fauna	■								■						
	Paisaje	Alteración de la calidad paisajística	■		■		■				■						
	Ruido	Incremento de los niveles sonoros	■	■		■				■		■				■	
	Calidad del aire	Aumento de niveles de inmisión de partículas (polvo)	■	■		■				■							■
Aumento de niveles de inmisión de gases		■	■						■							■	

Impactos Ambientales	Elementos del patrimonio cultural	Afección a elementos del patrimonio histórico														
	Elementos del medio socioeconómico	Afección a elementos socioeconómicos		■	■	■	■		■	■	■	■				
	Valores de intereses humanos	Afección a elementos de interés humano										■				
	Sistema demográfico	Número de poblaciones activa ocupada	■	■		■		■				■				



## **2. VALORACIÓN DE IMPACTOS**

Para la correcta valoración de los citados impactos ambientales, utilizaremos el método que se presenta en “*Estudio ambiental de una planta de cogeneración en papelera de Zicuña S.A.*” del autor Esther Notario. La ecuación que evalúa los impactos es la siguiente

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

Para un correcto entendimiento de la fórmula, procederemos a la explicación detallada de los diferentes términos de la misma:

**IN:** mide la intensidad de las acciones. Su valor dependerá de la intensidad de la misma.

Intensidad mínima: 1

Intensidad media: 2

Intensidad alta: 4

Intensidad muy alta: 8

Destrucción total: 12

**EX:** relación entre el área de construcción con respecto al medio donde se expresa el impacto. Se mide de la siguiente manera:

Puntual: 1

Parcial: 2

Extenso: 4

Total: 8

**MO:** Representa el tiempo entre la acción y el efecto. Se mide de la siguiente manera:

Largo plazo: 1

Medio plazo: 2

Inmediato: 4

Crítico: > 4

**PE:** representa la persistencia, es decir, el tiempo que dura el efecto del impacto.

Menos de un año: 1

Entre 1 y 10 años: 2

Más de 10 años: 4

**RV:** reversibilidad. Representa el poder de regeneración de un factor impactado. Se mide así;

Corto plazo: 1

Medio plazo: 2

Irreversible: 4

**MC:** recuperabilidad. Representa la posibilidad de recuperación de un factor afectado ya sea de manera parcial o total. Se mide así:

Recuperación inmediata: 1

Recuperación a medio plazo: 2

Recuperable parcialmente: 4

Irrecuperable: 8

**SI:** sinergia. Capacidad de reforzamiento si hay varias actividades que actúan simultáneamente sobre un factor determinado. Se mide:

Sin sinergia: 1

Con sinergia: 2

Muy sinérgico: 4

**AC:** acumulación. Se mide así:

Simple: 1

Acumulativo: 4

**EF:** efecto. Determina la manifestación de un efecto sobre un factor. Se mide así:

Indirecto: 1

Directo: 4

**PR:** periodicidad. Mide la regularidad con la que se manifiesta el efecto. Se mide así:

Irregular: 1

Periódico: 2

Continuo: 4

**Signo:** beneficioso (signo positivo) o perjudicial (signo negativo).

**I:** importancia del impacto, es el valor que queremos calcular con la ecuación.

Una vez medidos todos los impactos arriba explicados con sus distintos valores, tomarán un intervalo entre 13-100 de valor. Dependiendo dentro de que rango se encuentre tendremos:

Compatibles: < 25

Moderados: 25 – 50

Severos: 50 – 75

Críticos: > 75

### **3. MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS**

Dentro de las medidas preventivas y correctoras, tendremos que diferenciar su objetivo, el cual es la minimización del impacto negativo que podemos llegar a obtener en el proceso de construcción de la EDAR y en la posterior explotación de la instalación.

Las medidas preventivas, serán las encargadas desde un principio en evitar que haya impactos negativos en la instalación. Como ejemplos podemos encontrar: un correcto mantenimiento de las instalaciones para poder evitar así derrames de productos o vibraciones de los mismos que impactan negativamente al medio ambiente.

Por otro lado, encontramos las medidas correctoras. Serán las encargadas de corregir los posibles efectos negativos que hayan tenido lugar en la instalación de cara a minimizar el impacto negativo del mismo sobre el medio ambiente. Como ejemplo de estas medidas correctoras podemos encontrar: una correcta elección en cuanto a los materiales a utilizar en las diferentes etapas de la instalación de cara a que tengan mayor duración en el tiempo y así poder reducir el impacto de medio ambiente.

#### **4. BIBLIOGRAFÍA**

- [NOTA07] Esther Notario, “Estudio ambiental de una planta de cogeneración en papelera guipuzcoana de Zicuña S.A.”. Novotec, 2007.
- [MACH17] Machés Rueda, Jaime “*Diseño de una EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) para la industria cervecera*”. Proyecto de fin de grado, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Mayo 2017.

# CAPÍTULO IV

# ANEXOS

## **1. CAUDALES**

Para poder dimensionar de manera correcta nuestra EDAR, hemos utilizado los valores de caudal medio y caudal punta para dimensionamiento de la misma.

No hemos podido conseguir valores reales de fábricas de la industria conservera de vegetales en Murcia (dónde se concentra la actividad económica como ya hemos visto en la Memoria del proyecto), por lo que para el razonamiento de los caudales medios y punta hemos utilizado las siguientes hipótesis:

- Como hemos podido analizar según la GMTD, la producción de aguas residuales en la industria conservera dependerá de los productos utilizados.
- Nuestra fábrica a implementar, hemos decidido producir en torno a unas **30Tm** de producto final, produciendo 4 productos variados cada uno en un 25% total de la producción para facilitar los cálculos.
- Los productos que hemos decidido producir son: Melocotón, pimiento, tomate y alcachofa, los cuales tienen un consumo de agua (según GMTD) como podemos ver en la siguiente tabla:

	m3 agua consumida/Tm	m3 agua vertida m3
<b>Melocotón</b>	8 -11	6 - 9
<b>Tomate</b>	5 - 10	4 - 8
<b>Alcachofa</b>	6 - 20	5 - 16
<b>Pimiento</b>	15 - 40	12 - 32

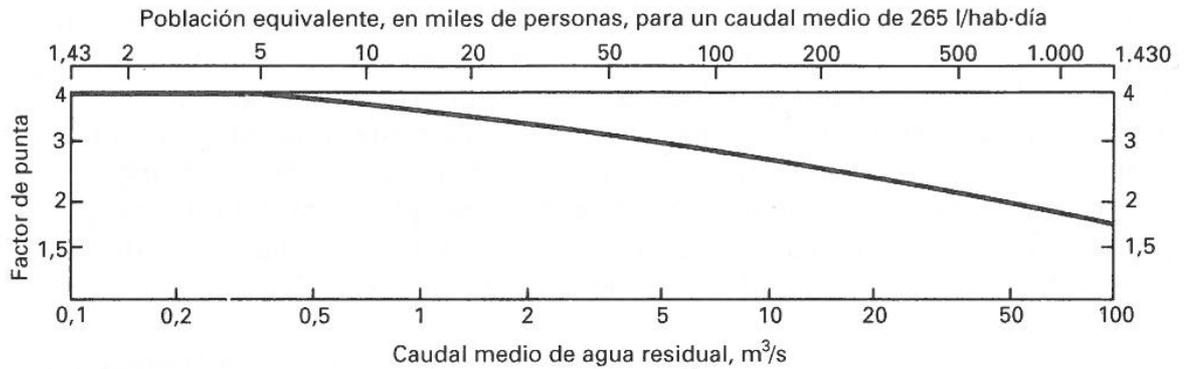
**Tabla 2:** Consumos de agua y agua vertida según productos. Fuente [GMTD06].

Como supuestos, hemos calculado los caudales que obtendríamos según los diferentes niveles de producción. Desde 10 Tm al día hasta 50 Tm al día, eligiendo una producción media de 30Tm que está acorde con la producción media del sector. En la siguiente tabla podemos observar los caudales que tendremos que tener en cuenta para el dimensionamiento de la planta aplicándoles un favor de sobredimensionamiento del 25%. Para el cálculo de los caudales, hemos aplicado un 25% de producción de cada uno de los cuatro productos distintos y hemos calculado el caudal diario medio. Este caudal diario medio lo hemos dividido entre las 16 horas que estará en producción la fábrica, por lo que obtendremos los siguientes resultados:

Caudal	Caudal max dia	Caudal min dia	Caudal medio	Caudal hora	Caudal diseño	Caudal Punta
10 Tm	162,5	67,5	143,75	8,984375	11,23046875	22,4609375
20 Tm	325	135	287,5	17,96875	22,4609375	44,921875
30 Tm	487,5	202,5	431,25	26,953125	33,69140625	67,3828125

40 Tm	650	270	575	35,9375	44,921875	89,84375
50 Tm	812,5	337,5	718,75	44,921875	56,15234375	112,3046875

**Tabla 3:** Caudales de producción. Fuente: elaboración propia.



**Figura 4:** Curva de factor punta. Fuente: [CLED17].

Como podemos observar en la tabla anterior, debido a nuestro caudal de diseño para 30 Tm hemos utilizado un factor punta (**Cp**) de 2.

En resumen, de cara a nuestros caudales, tendremos:

**Caudal diseño: 33,6914 m<sup>3</sup>/h**

**Cp = 2**

**Caudal punta: 67,3828 m<sup>3</sup>/h.**

## 2. CONTAMINANTES

Para el caso del cálculo de contaminantes, hemos seguido el mismo proceso que hemos utilizado para el cálculo de los caudales y basándonos en datos del **GMTD** en cuanto a contaminantes presentes (mínimos y máximos) tanto en la producción de melocotones, como de alcachofas, pimientos y tomates.

Aplicando el 25% de producción a cada tipo de producto y teniendo en cuenta los contaminantes máximos y mínimos, hemos obtenido la siguiente tabla resumen de contaminantes del efluente de llegada a la EDAR (hemos mayorado en un 25% los contaminantes medios para el correcto dimensionamiento de la planta):

	<b>Maximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Medio</b>	<b>Diseño</b>
<b>DQO</b>	3625	775	2200	2750
<b>DBO</b>	1232	318	775	969
<b>SS</b>	975	188	581	727
<b>P</b>	24	14	19	24
<b>N</b>	65	49	57	71
<b>pH</b>	8	6	7	

**Tabla 5:** Contaminantes presentes en el efluente de llegada. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en la tabla y conociendo los caudales que tendremos en la producción, cabe destacar que tendremos un coeficiente de biodegradabilidad (DBO/DQO) igual a 0,35 lo que determinará en cierta medida los procesos a utilizar en nuestra instalación.

# **PLIEGO DE CONDICIONES**

## **ÍNDICE**

CAPÍTULO I.- OBJETIVO DEL PLIEGO.....	119
CAPÍTULO II. CAUDALES, ÍNDICES Y CONDICIONES DE DEPURACIÓN.....	120
CAPÍTULO III. ENSAYOS Y ANÁLISIS.....	122
CAPÍTULO IV. PERSONAL.....	123
CAPÍTULO V. MATERIALES, REPOSICIONES Y SUMINISTROS.....	124
CAPÍTULO VI. PARADAS Y AVERÍAS.....	125
CAPÍTULO VII. MEJORAS Y AMPLIACIONES.....	125
CAPÍTULO VIII. INSPECCIÓN Y VIGILANCIA.....	126
CAPÍTULO IX. GASTOS POR CUENTA DEL CONTRATISTA.....	126
ANEXO I.....	127

### **CAPÍTULO I.- OBJETIVO 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 para industria de conservas vegetales, 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:

- a) 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.
- b) 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.
- c) Desecar 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.
- d) Conservar en perfecto estado todos los elementos de la planta e instalaciones anejas.
- e) Mantener adecuadamente todas las instalaciones y equipos de la EDAR e instalaciones anejas. Deberá suscribir los correspondientes contratos de mantenimiento con empresas homologadas, de los elementos e instalaciones de la planta, conforme a la legislación vigente.
- f) Reparar o reponer todos los elementos averiados y deteriorados de las instalaciones e instalaciones anejas.
- g) Adquirir a su costa todos los materiales, productos y suministros precisos para el debido mantenimiento, conservación y explotación.
- h) 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.
- i) Mantener en perfecto estado de limpieza y pintura todos los elementos e instalaciones de la EDAR.
- j) Conservar en las debidas condiciones, todos los elementos anejos a la EDAR, tales como los jardines, caminos interiores y edificaciones auxiliares.

- k) Suscribir una póliza de responsabilidad civil con cobertura de 600 miles de euros por siniestro y patronal para cada anualidad.
- l) 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.
- m) Comunicar a los Servicios Técnicos del Ayuntamiento de forma inmediata, cualquier incidencia que afecte a las instalaciones de depuración.
- n) Enviar a los Servicios Técnicos del Ayuntamiento la información que éstos soliciten sobre el funcionamiento de la planta y con la periodicidad que se determine.
- o) Además, deberá prestar al Ayuntamiento 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.
- p) 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 PUNTUAL (l/s)**

162,77

**CAUDAL MÁXIMO DIARIO (m<sup>3</sup>/día)**

4688

**VOLUMEN ANUAL (m<sup>3</sup>/año)**

1.200.128

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 aquéllos 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/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 12ª.- 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 13ª.- 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 14ª.- El contratista 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 ésta.

#### **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 11ª.
- c) Equipos de seguridad de forma que se cumplan las normas vigentes sobre seguridad e higiene en el trabajo.

BASE 24ª.- 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 25ª.- 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 26ª.- Serían 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 27ª.- 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 28ª.- 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 29ª.- 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 aquéllas de especial importancia que requieran la sustitución de elementos complejos o el traslado de los elementos averiados a taller.

BASE 30ª.- Las reparaciones de elementos de la planta que impidan la continuidad del funcionamiento normal de ésta, 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, aún 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 Región de Murcia.

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 multiriesgo de 600.000 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**

### **ANEXO I. RESUMEN CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS EDAR**

#### DATOS GENERALES

AÑO ACTUAL

#### CAUDALES

- Caudal medio horario: 103,8 m<sup>3</sup>/h □ Caudal medio diario: 2491 m<sup>3</sup>/h.

#### CONTAMINACIÓN

- Concentración media DBO<sub>5</sub>: 2250 mg/l
- Concentración media sólidos en suspensión: 1125 mg/l

#### RESULTADOS A OBTENER

#### AGUA DEPURADA

- Sólidos en suspensión <20 mg/l
- DBO5 <20 mg/l
- DQO <125 mg/l
- pH 6,5-7,5
- Nitrógeno total <15 mg/l
- Fósforo total <0,5 mg/l

## FANGOS

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

\* Los valores máximos instantáneos no superarán 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 finos: luz y espesor barrotes 6 mm.

\*TAMIZADO (DESBASTE FINO)

- 1 Tamiz rotativo de 1,1 CV de potencia c/u.

- Malla de 1,5 mm. de luz de paso.

- Caudal unitario: 0-300 m<sup>3</sup>/h.

- Caudal total: 0-600 m<sup>3</sup>/h.

### -TRATAMIENTO BIOLÓGICO

- 1 Balsa biológica de 1100 m<sup>3</sup> de volumen unitario c/u.

\* 1º ZONA ANOXICA para la desnitrificación con agitador sumergible de 274 m<sup>3</sup> de volumen.

\* 2º ZONA OXICA para la nitrificación. Aireación mediante red de difusores membrana de burbuja fina, de 760 m<sup>3</sup> de volumen.

- 3 ELECTROSOPLANTES para la aireación de 2.100 m<sup>3</sup>/h. y 60 CV. de potencia unitaria.

- Eliminación de fósforo por precipitación con adición de Cloruro Férrico (Almacenamiento y Dosificación de Reactivos).

- 1 DECANTADOR CIRCULAR de 30,82 m. de diámetro con puente móvil con sistema de arrastre de fangos y sobrenadantes a tolvas de recogida.

#### **-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**

- PURGA MANUAL y recirculación automática de fangos activados (2 Bombas de 175 m<sup>3</sup>/h. c/u.)

-PURGA y recirculación de fangos de Licor Mezcla de (1 Bomba de 500 m<sup>3</sup>/g.).

#### **-EXTRACCIÓN DE FANGOS EN EXCESO**

- Extracción automática de fangos en exceso al espesador de (1 Bomba de 23 m<sup>3</sup>/h.).

#### **\*ESPESAMIENTO**

- Espesamiento por gravedad de los fangos en exceso.

- Tanque circular de 5,8 m. de diámetro, con equipo barredor-concentrador por rasquetas.
- Sobrenadantes a cabecera de planta.

#### **-SECADO DE FANGOS**

- Deshidratación de los fangos espesados en una MÁQUINA CENTRÍFUGA de rango 0,19 m<sup>3</sup>/h. y motor de 1 CV de potencia, previa floculación y acondicionamiento químico con polielectrolito. (Almacenamiento y dosificación de Reactivo).
- Trasiego de fangos espesados a Centrífuga (1 Bomba de tornillo de 25/10 m<sup>3</sup>/h. c/u).
- Drenaje de centrífuga a cabecera de planta.

#### **-EQUIPO DE CONTROL**

- Medición agua tratada con registro y totalización en panel.
- Medidores de oxígeno disuelto en tratamiento biológico con registro en panel.

#### **-SERVICIOS AUXILIARES**

- Línea de aire de servicio.
  - Línea de agua de servicio.
- Riego de la zona ajardinada

#### **-ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS**

- Sistema de transporte y acometida en A.T.
- TRANSFORMACIÓN: mediante C.T. de 250 KVA. Tipo interior, medida en A.T y distribución de la energía eléctrica.
- Sinóptico de proceso

- ESTACIÓN OPERADORA (AUTÓMATA) con PC e impresora en la sala de control para manejo de los equipos de la EDAR.
- Insonorización del edificio de aire, mediante silenciadores de celdillas y cerramiento de ladrillo absorbentes.

#### **-EDIFICIOS**

- Edificio de bombeo de agua bruta, laboratorio y sala de reactivo, de 109,5 m<sup>2</sup> de superficie total.
- Edificio del C.T., soplantes para aire de proceso, deshidratación de fangos, taller y sala de C. eléctricos, de 165 m<sup>2</sup> de superficie total.
- Edificio principal, de dos plantas, la superior para sala de control y la inferior para servicios y vestuarios, de 40,50 m<sup>2</sup> de superficie total.
- Edificio de fangos y aire de servicio, de 27,8 m<sup>2</sup> de superficie total.



# PRESUPUESTO



## ÍNDICE

1. PRESUPUESTOS PARCIALES.....	136
1.1 Pretratamiento	
1.1.1 Desbaste	
1.1.2 Tamizado	
1.2 Tratamiento Primario	
1.2.1 Decantador Primario	
1.3 Tratamiento Secundario	
1.3.1 Reactor biológico + Balsas anóxicas	
1.3.2 Reactor RMC	
1.3.3 Decantador secundario	
1.4 Tratamiento Avanzado	
1.4.1 Canal de desinfección	
1.5 Espesamiento de fangos	
1.5.1 Espesamiento de fangos por gravedad	
1.5.2 Espesamiento de fangos por flotación	
1.6 Digestión de fangos	
1.6.1 Estabilización química	
1.7 Deshidratación de fangos	
1.7.1 Máquina centrífuga	
1.8 Conducciones	
1.8.1 Conducciones EDAR	
2. PRESUPUESTO GENERAL.....	140
3. BIBLIOGRAFÍA.....	142

## **1. PRESUPUESTOS PARCIALES**

### **1.1 Pretratamiento**

#### **1.1.1 Desbaste**

**Obra civil:** Excavación en todo tipo de terreno, relleno y compactación en cimentación, transporte de material sobrante a vertedero, suministro y puesta en obra de hormigón en masa y hormigón armado, encofrado, escalera metálica y barandilla de aluminio.

**Importe: 14.890**

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

**Importe: 2.685**

#### **1.1.2 Tamizado**

**Equipos mecánicos:**

Suministro e instalación del tamiz rotativo

**Importe: 3.560**

### **1.2 Tratamiento Primario**

#### **1.2.1 Decantador Primario**

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

**Importe: 10.659**

**Equipos mecánicos:**

Bombas.

Compuertas de reparto a decantador.

Puente decantador primario.

**Importe: 5.300**

### 1.3 **Tratamiento Secundario**

#### 1.3.1 **Reactor biológico + 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: 125.450**

#### **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: 20.650**

#### 1.3.2 **Reactor RMC**

**Obra civil:** Movimiento de tierras, excavación en todo tipo de terreno, transporte de material sobrante a vertedero, encofrado, hormigón para armar, acero B 400S elementos metálicos auxiliares.

**Importe: 45.000**

#### **Equipos mecánicos:**

**Importe: 10.000**

#### 1.3.3 **Decantador secundario**

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

**Importe: 23.689**

**Equipos mecánicos:**

Compuertas.

Puente decantador secundario.

**Importe: 6.000**

1.4 **Tratamiento Avanzado**

1.4.1 **Canal de desinfección**

**Importe: 12.372**

1.5 **Espesamiento de fangos**

1.5.1 **Espesamiento de fangos por gravedad**

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

**Importe: 11.066**

**Equipos mecánicos:**

Mecanismos espesadores por gravedad.

Bombas de fangos espesados por gravedad

**Importe: 10.440**

1.5.2 **Espesamiento de fangos por flotación**

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

**Importe: 25.465**

**Equipos mecánicos:**

Mecanismos espesadores por flotación.

Bombas de fangos espesados por flotación

**Importe: 8.355**

## 1.6 Digestión de fangos

### 1.6.1 Estabilización química

#### Obra civil

**Importe: 23.000**

## 1.7 Deshidratación de fangos

### 1.7.1 Máquina centrífuga

**Obra civil:** Movimiento de tierras, excavación en todo tipo de terreno, transporte de material sobrante a vertedero, hormigón estructural, acero corrugado, encofrado.

**Importe: 2.390**

#### Equipos mecánicos:

Bombas de fangos a centrífuga Bombas evacuación filtrado.

**Importe: 450**

## 1.8 Conducciones

### 1.8.1 Conducciones EDAR

**Importe: 10.000**

## **2. PRESUPUESTO GENERAL**

<b>PRESUPUESTO GENERAL</b>				
<b>Etapas</b>	<b>Procesos</b>	<b>Obra civil</b>	<b>Equipos mecánicos</b>	<b>Total (€)</b>
<b>Pretratamiento</b>	<b>Desbaste</b>	<b>14.890</b>	<b>2.685</b>	<b>17.575</b>
	<b>Tamizado</b>	<b>0</b>	<b>3.560</b>	<b>3.560</b>
<b>Tratamiento primario</b>	<b>Decantador primario</b>	<b>10.659</b>	<b>5.300</b>	<b>15.959</b>
<b>Tratamiento secundario</b>	<b>Reactor biológico +balsas anóxicas</b>	<b>45.000</b>	<b>10.000</b>	<b>55.000</b>
	<b>Fangos Activos</b>	<b>125.450</b>	<b>20.650</b>	<b>146.100</b>
	<b>Decantador secundario</b>	<b>23.689</b>	<b>6.000</b>	<b>29.689</b>
<b>Tratamiento avanzado</b>	<b>Canal de cloración</b>			<b>12.372</b>
<b>Espesamiento de fangos</b>	<b>Espesamiento por gravedad</b>	<b>11.066</b>	<b>10.440</b>	<b>21.506</b>
	<b>Espesamiento por flotación.</b>	<b>25.465</b>	<b>8.355</b>	<b>33.820</b>
<b>Estabilización de fangos</b>	<b>Estabilización química</b>	<b>23.000</b>		<b>23.000</b>
<b>Deshidratación de fangos</b>	<b>Centrifugadora</b>	<b>2.390</b>	<b>400</b>	<b>2.790</b>
<b>Conducciones</b>				<b>10.000</b>

<b>RESULTADO TOTAL</b>
<b>Total= 371.371 €</b>
<b>+3% GG +6% B.industrial = 404.794 €</b>
<b>+18% IVA</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA: 477.657 €</b>

### **3. BIBLIOGRAFÍA**

- [CRUZ08] Miguel Cruz Campos, *“Ingeniería básica en la planta de tratamiento de efluentes procedentes de la industria de envasado de aceitunas. Presupuesto”* Octubre 2008.