



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

(I.C.A.I.)

GRADO EN INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

Especialidad Mecánica

**Diseño de una EDAR (Estación
Depuradora de Aguas Residuales) para
la industria textil**

Autor: Álvaro de la Torre Aguilar

Director: Carlos Morales Polo

Julio 2019

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

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

El autor D. **Álvaro de la Torre Aguilar** _____

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: **Diseño de una EDAR para la industria textil** _____, 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.
- 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.

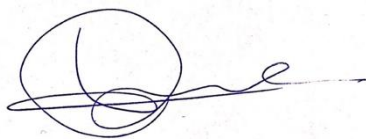
6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

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 ...17.. de ...Julio..... de ...2019....

ACEPTA **Álvaro de la Torre Aguilar**



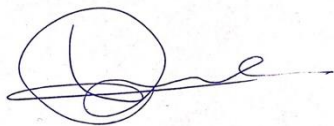
Fdo.....

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

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the user to provide reasons for requesting restricted access to a work in the Institutional Repository.

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título **Diseño de una EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) para la industria textil** en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico **2018/19** 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.: Álvaro de la Torre Aguilar

Fecha: 9 / 07 / 2019

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Firmado
digitalmente por
Carlos Morales Polo
Fecha: 2019.07.09
18:10:16 +02'00'

Fdo.: Carlos Morales Polo

Fecha: 9 / 07 / 2019



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

(I.C.A.I.)

GRADO EN INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

Especialidad Mecánica

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

Autor: Álvaro de la Torre Aguilar

Director: Carlos Morales Polo

Julio 2019

DISEÑO DE UNA E.D.A.R. (ESTACIÓN DEPURADORA DE LAS AGUAS RESIDUALES) PARA LA INDUSTRIA TEXTIL.

Autor: Torre Aguilar, Álvaro de la

Directores: Morales Polo, Carlos.

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

Introducción

Como bien es sabido, el agua es el recurso esencial para la vida en nuestro planeta, es absolutamente necesaria para el desarrollo de todos los seres vivos que lo habitan. Con la evolución del ser humano, la industria ha ido aumentando a lo largo de la historia, volviéndose cada vez más compleja y con nuevos y complicados procesos dentro de ella. Se estima que en el siglo XX la población se ha duplicado y con ello ha aumentado considerablemente la utilización del agua. No solamente para consumo doméstico si no industrialmente. El 25% del agua dulce es utilizada en procesos industriales. Tras estos procesos, el agua residual resultante contiene numerosos contaminantes que impiden su utilización y que suponen una seria amenaza para los ecosistemas donde es vertida. Por lo que se entiende necesaria la incorporación de estaciones depuradoras que permitan devolver las propiedades exigidas para su reutilización, generando así el menor impacto posible sobre la naturaleza y permitiendo la disminución del consumo de agua. Legalmente, el gobierno ha impuesto medidas que exijan a las diferentes industrias que utilizan agua en sus procesos la instalación de una estación depuradora con el objetivo de reducir su huella ecológica. La ley encargada de regular las características que debe tener el agua vertida, así como exigir la obligatoriedad de la depuración es la ley directiva *91/271/CEE*.

En este proyecto se desarrollará el diseño de una EDAR que depure el agua residual proveniente de la industria textil. Esta industria utiliza el agua en prácticamente la totalidad de los procesos que desarrolla y, a su vez, genera agua residual con elevada concentración de productos químicos y biológicos. A su vez, la industria textil es considerada la segunda más contaminante del planeta, por lo que se justifica la necesidad de incluir una estación depuradora que se encargue de reducir los contaminantes generados y permita poder reutilizar el agua otra vez en los propios procesos de la industria textil.

Para realizar la depuración, en una EDAR se realizan diferentes procesos físico-químicos que permiten eliminar los residuos sólidos que se encuentran en el agua residual, eliminar el contenido químico perjudicial para el medio ambiente y, en definitiva, devolver en la medida de lo posible las características originales en los diferentes parámetros de medida

como son la DBO, DQO, sólidos en suspensión y diferentes elementos como el fósforo o el nitrógeno. Por lo general, el pretratamiento y el tratamiento primario de una EDAR suele ser común para todas y dependiendo de las características que presente el agua residual, se deberá utilizar unos procesos u otros en el resto de la estación depuradora. En el caso de la industria textil, el agua residual presenta una elevada concentración de fósforo y nitrógeno además de un cociente elevado de DBO entre DQO. Este cociente será el que determine el tratamiento secundario a realizar, en el que generalmente se diferencian unas EDAR de otras. Por último, la elevada concentración de fósforo a la salida del tratamiento secundario, condicionará el tratamiento avanzado que se realizará.

Metodología

El proyecto ha sido dividido en las siguientes etapas para su realización:

1. Estudio y análisis de la industria textil, así como de los contenidos contaminantes del agua residual producida.
2. Elección de los tratamientos y procesos más convenientes según las características del agua residual.
3. Dimensionamiento y cálculo de cada uno de los tratamientos realizados en la EDAR.
4. Estudio del impacto medioambiental que supone la construcción de la EDAR.
5. Anexos que incluyen el pliego de condiciones y el presupuesto general.

Como se indica en las etapas del proyecto, en primer lugar, se analiza el agua residual que se produce en una fábrica textil, obteniendo los valores de los principales parámetros contaminantes en función de los que se dimensionará la EDAR.

Para el caso de este proyecto se han tomado valores genéricos de una fábrica textil. Los valores con los que se ha diseñado la EDAR son los siguientes, tomados del MTM para la industria textil:

	Máximo	Mínimo	Medio / Diseño
DBO	2500	720	1610
DQO	2800	1400	2100
SS	150	118	134
N	50	30	40
P	51	49,9	50,4

Teniendo en cuenta estos parámetros contaminantes, como se indica, se elegirán todos los tratamientos y etapas de los que estarán constituida la EDAR a diseñar. El objetivo principal es lograr que el agua depurada una vez sale de la estación depuradora cumpla con la normativa de la directiva 91/271/CEE. En la tabla que sigue se muestran los valores máximos que pueden tener estos parámetros contaminantes:

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

Una vez son sabidos los parámetros contaminantes del agua residual y los valores máximos que podemos tener, se ha de diseñar la EDAR. En primer lugar, se elegirán los tratamientos contenidos en la línea de aguas, incluyendo el pretratamiento, el tratamiento primario, el tratamiento secundario y el tratamiento avanzado. Aquí es donde se reducirán los contaminantes que presente el agua residual y permitirá cumplir con la normativa. Durante este proceso se producen fangos y lodos que han de ser tratados para su manipulación sin peligro. Este tratamiento de los fangos se produce en la línea de fangos que cuenta con las etapas de espesado, estabilización y deshidratación.

Sabiendo las etapas que se van a incluir en la EDAR, el siguiente paso será dimensionar y calcular todos los parámetros necesarios de cada uno de los tratamientos que se realizan. Para realizar este dimensionamiento se utilizarán tablas de Excel siguiendo la metodología del libro *“Proyectos de plantas de tratamientos de aguas”* de Ricardo Isla. Se indicarán los parámetros de entrada de cada una de las etapas en función de los caudales y contaminantes presentes y mediante estos cálculos se obtienen las características de cada etapa.

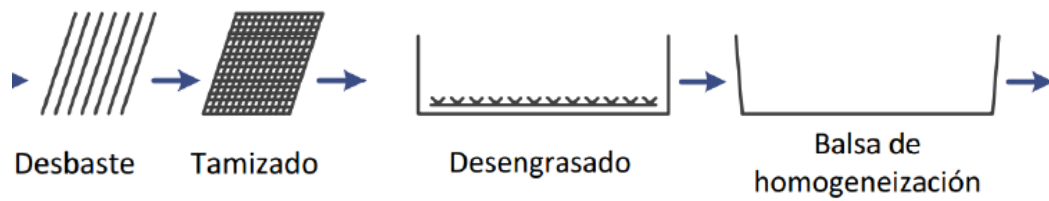
Tras tener ya la EDAR diseñada y dimensionada, se procederá a realizar un análisis del impacto medioambiental que supondría la ejecución de este proyecto, así como una serie de medidas a realizar tanto para prevenir como para corregir futuros errores.

Por último, se presenta un presupuesto general tanto de la ejecución de la obra como de la maquinaria necesaria para la EDAR de la industria textil.

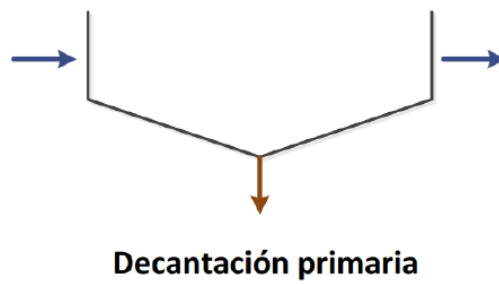
Solución adoptada

- Línea de aguas:

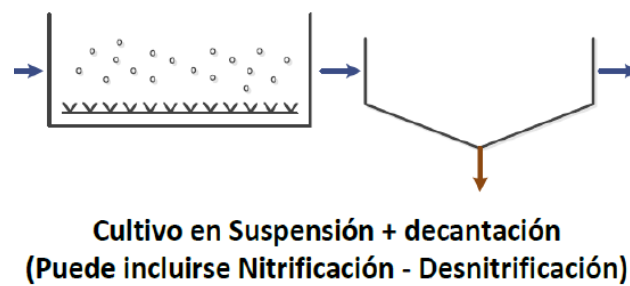
Pretratamiento



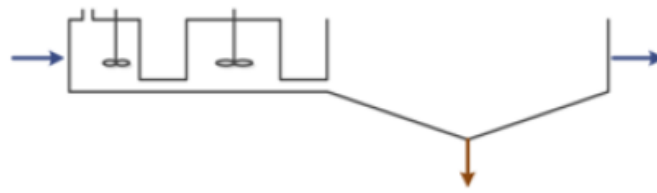
Tratamiento primario



Tratamiento secundario

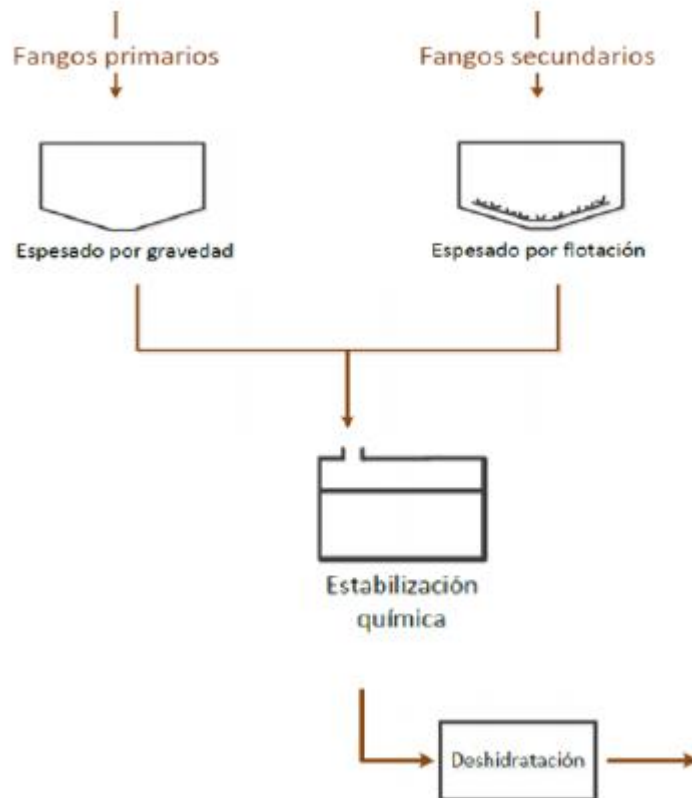


Tratamiento avanzado



Cloruro Férrico (FeCl_3)

- Línea de fangos:



Bibliografía

- [CLED18] María del Mar Cledera Castro. Apuntes de Ingeniería y desarrollo sostenible, Tecnología Medioambiental, Contaminación agua. Universidad Pontificia de Comillas. Madrid 2018.
- [MACH17] Jaime Machés Rueda. “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.
- [PERE12] Begoña Perea Mora. “Estudio de la tratabilidad de agua residual de industria textil a escala laboratorio”. Proyecto fin de grado. Universidad de Cantabria. Septiembre, 2012.

Resultados y conclusiones

A continuación, se muestran los resultados obtenidos tras el paso del agua residual a través de cada una de las etapas de la EDAR, así como los valores de los contaminantes en la entrada y los valores cumpliendo la legislación a la salida. Se muestra en cada etapa el porcentaje de reducción de cada uno de los parámetros contaminantes.

Eliminación Contaminantes											
Contaminantes		Pretratamiento								Tratamiento Primario	
		Desbaste		Tamizado		Desengrasado		Balsa de Homogeneización		Decantación primaria	
	Entrada	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
DBO	1610	5	1529,5	5	1453,03	5	1380,37	5	1311,36	50	655,68
DQO	2100	5	1995	5	1895,25	5	1800,49	5	1710,46	30	1197,32
SS	134	10	120,6	15	102,51	0	102,51	0	102,51	60	41
N	40	0	40	0	40	0	40	0	40	15	34
P	45	0	45	0	45	0	45	0	45	15	38,25

Eliminación Contaminantes								
Contaminantes	Tratamiento Secundario						Tratamiento Avanzado	
	Tratamiento Biológico Aerobio		Nitrificación - Desnitrificación		Decantación secundaria		Cloruro Férrico	
	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
DBO	93	45,90	0	45,90	50	22,95	0	22,95
DQO	90	119,73	0	119,73	30	83,81	0	83,81
SS	90	4,10	0	4,10	60	1,64	0	1,64
N	0	34	95	1,7	0	1,7	0	1,70
P	0	38,25	0	13,39	0	13,39	95	1,91

WWTP (WASTE WATER TREATMENT PLANT) DESIGN FOR THE TEXTILE INDUSTRY

Author: Torre Aguilar, Álvaro de la

Director: Morales Polo, Carlos

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

Introduction

It is well known that water is the essential resource for life in our planet, it is absolutely necessary for the development of all living beings that inhabit it. With the evolution of the human being, the industry has been increasing throughout history, becoming increasingly complex and with new and complicated processes within it. It is estimated that in the twentieth century the population has doubled and with it the use of water has increased considerably. Not only for domestic consumption but also industrially. 25% of fresh water is used in industrial processes. After these processes, the resulting wastewater contains numerous pollutants that prevent its use and pose a serious threat to the ecosystems where it is discharged. It is therefore necessary to incorporate wastewater treatment plants that allow the required properties to be returned for reuse, thus generating the least possible impact on nature and allowing water consumption to be reduced. Legally, the government has imposed measures that require the different industries that use water in their processes to install a treatment plant in order to reduce their ecological footprint. The law in charge of regulating the characteristics that the discharged water must have, as well as demanding the obligatory nature of the purification is the directive law *91/271/CEE*.

This project will develop the design of a WWTP to treat wastewater from the textile industry. This industry uses water in practically all the processes it develops and, in turn, generates wastewater with a high concentration of chemical and biological products. At the same time, the textile industry is considered the second most polluting on the planet, which justifies the need to include a treatment plant that is responsible for reducing the pollutants generated and allowing water to be reused again in the processes of the textile industry.

In order to carry out the purification, in a WWTP different physical-chemical processes are carried out that allow to eliminate the solid residues that are in the residual water, to eliminate the harmful chemical content for the environment and, in short, to return as far as possible the original characteristics in the different measurement parameters such as BOD, COD, suspended solids and different elements such as phosphorus or nitrogen. In general, the pre-treatment and primary treatment of a WWTP is usually common to all and depending on the characteristics of the wastewater, one process or another must be

used in the rest of the treatment plant. In the case of the textile industry, wastewater has a high concentration of phosphorus and nitrogen as well as a high quotient of BOD between COD. This quotient will determine the secondary treatment to be carried out, in which some WWTPs are generally differentiated from others. Finally, the high concentration of phosphorus at the outlet of the secondary treatment will condition the advanced treatment to be carried out.

Methodology

The project has been divided into the following stages for its realization:

- Study and analysis of the textile industry, as well as the contaminating contents of the wastewater produced.
- Choice of the most suitable treatments and processes according to the characteristics of the wastewater.
- Dimensioning and calculation of each of the treatments carried out in the WWTP.
- Study of the environmental impact of the construction of the WWTP.
- Annexes containing the specifications and the general budget.

As indicated in the stages of the project, firstly, the wastewater produced in a textile factory is analyzed, obtaining the values of the main contaminating parameters according to which the WWTP will be sized.

In the case of this project, generic values have been taken from a textile factory. The values with which the WWTP has been designed are the following:

	Maximum	Minimum	Average/Design
BDO	2500	720	1610
COD	2800	1400	2100
SS	150	118	134
N	50	30	40
P	51	49,9	50,4

Taking into account these contaminating parameters, as indicated, all the treatments and stages of which the WWTP to be designed will be constituted will be chosen. The main objective is to ensure that the treated water once it leaves the treatment plant complies with the regulations of directive 91/271/EEC. The table below shows the maximum values that these contaminating parameters can have:

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

Once the contaminating parameters of the residual water are known and the maximum values that we can have, the WWTP has to be designed. Firstly, the treatments contained in the water line will be chosen, including pre-treatment, primary treatment, secondary treatment and advanced treatment. This is where the pollutants in the wastewater will be reduced and compliance will be achieved. During this process sludge is generated which has to be treated for safe handling. This treatment of the sludge is produced in the sludge line that has the stages of thickening, stabilization and dehydration.

Knowing the stages that are going to be included in the WWTP, the next step will be to dimension and calculate all the necessary parameters of each of the treatments that are carried out. In order to carry out this dimensioning, Excel tables will be used following the methodology of the book *“Proyectos de plantas de tratamientos de aguas”* written by Ricardo Isla. The input parameters of each of the stages will be indicated according to the flows and pollutants present and through these calculations the characteristics of each stage will be obtained.

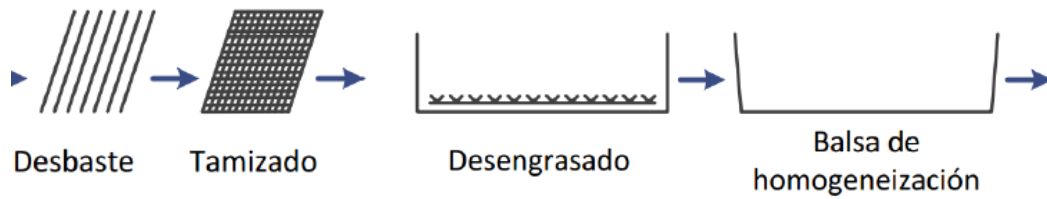
Once the WWTP has been designed and sized, an analysis of the environmental impact of this project will be carried out, as well as a series of measures to be carried out both to prevent and correct future errors.

Finally, a general budget is presented for both the execution of the work and the machinery necessary for the WWTP of the textile industry.

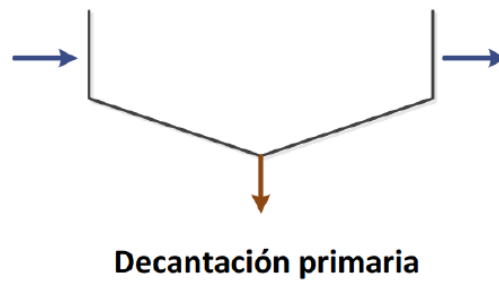
Deployed solution

- Water line

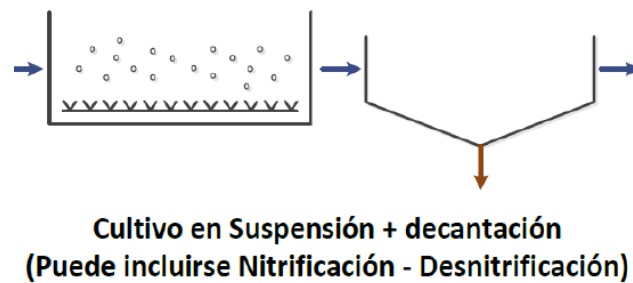
Pre-treatment



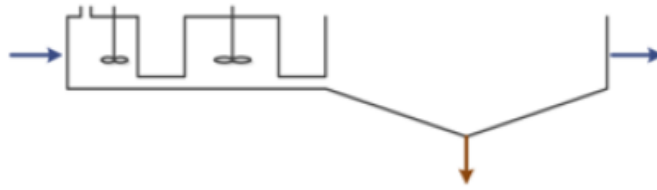
Primary treatment



Secondary treatment

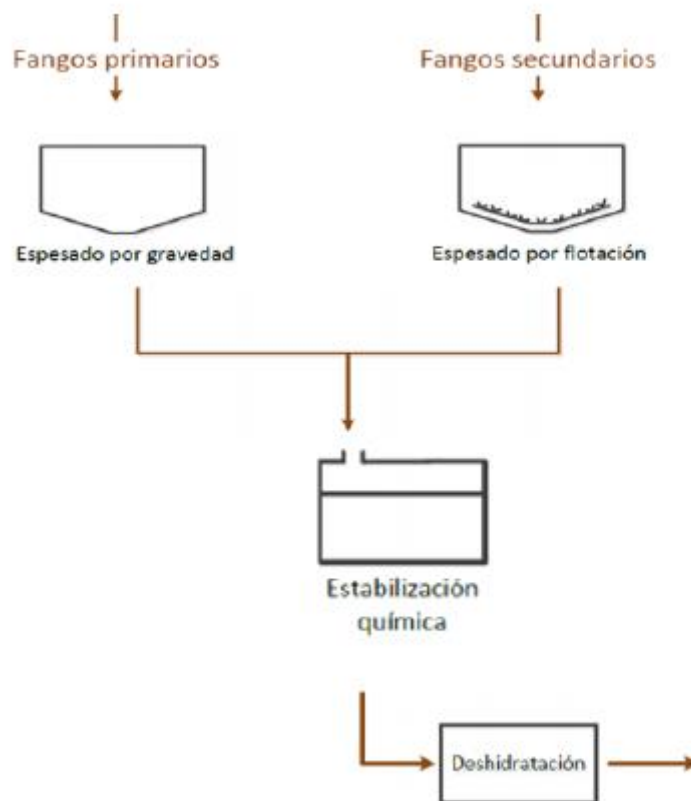


Advanced treatment



Cloruro Férrico (FeCl_3)

- Sludge line



Bibliography

- [CLED18] María del Mar Cledera Castro. Apuntes de Ingeniería y desarrollo sostenible, Tecnología Medioambiental, Contaminación agua. Universidad Pontificia de Comillas. Madrid 2018.
- [MACH17] Jaime Machés Rueda. “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.
- [PERE12] Begoña Perea Mora. “Estudio de la tratabilidad de agua residual de industria textil a escala laboratorio”. Proyecto fin de grado. Universidad de Cantabria. Septiembre, 2012.

Conclusions

The results obtained after the passage of wastewater through each of the stages of the WWTP are shown below, as well as the values of the pollutants at the entrance and the values complying with the legislation at the exit. The percentage of reduction of each of the contaminating parameters is shown in each stage.

Contaminant Removal											
Contaminant		Pretreatment								Primary Treatment	
		Rough Down		Sieve		Degreasing		Homogenization Raft		Primary decantation	
	Entrance	Efficiency (%)	Exit (mg/l)	Efficiency (%)	Exit (mg/l)	Efficiency (%)	Exit (mg/l)	Efficiency (%)	Exit (mg/l)	Efficiency (%)	Exit (mg/l)
BDO	1610	5	1529,5	5	1453,03	5	1380,37	5	1311,36	50	655,68
COD	2100	5	1995	5	1895,25	5	1800,49	5	1710,46	30	1197,32
SS	134	10	120,6	15	102,51	0	102,51	0	102,51	60	41
N	40	0	40	0	40	0	40	0	40	15	34
P	45	0	45	0	45	0	45	0	45	15	38,25

Contaminant Removal								
Contaminant	Secondary Treatment						Advanced Treatment	
	Biological Aerobic Treatment		Nitrification - Denitrification		Secondary decantation		FeCl ₃	
	Efficiency (%)	Exit (mg/l)	Efficiency (%)	Exit (mg/l)	Efficiency (%)	Exit (mg/l)	Efficiency (%)	Exit (mg/l)
BDO	93	45,90	0	45,90	50	22,95	0	22,95
COD	90	119,73	0	119,73	30	83,81	0	83,81
SS	90	4,10	0	4,10	60	1,64	0	1,64
N	0	34	95	1,7	0	1,7	0	1,70
P	0	38,25	0	13,39	0	13,39	95	1,91

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

CAPÍTULO I MEMORIA	31
1. Introducción	33
2. Objetivos	35
3. Contaminación en la industria textil	36
3.1 Introducción	36
3.2 Procesos que hay en la industria	37
3.3 Impacto ambiental industria textil	39
3.4 Consumo de las aguas	40
3.5 Características de los vertidos	41
4. Procesos de depuración	43
4.1 Línea de aguas	46
4.2 Línea de fangos	59
4.3 Descripción de la solución adoptada	62
5. Bibliografía	72
CAPÍTULO II CÁLCULOS	75
1. Introducción	77
2. Línea de aguas	78
2.1 Pretratamiento	78
2.2 Tratamiento primario	87
2.3 Tratamiento secundario	88
2.4 Tratamiento avanzado	102
3. Línea de fangos	104
3.1 Espesamiento	104
3.2 Estabilización	107
3.3 Deshidratación	110
4. Contaminantes	111
5. Bibliografía	114
CAPÍTULO III IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	117
1. Introducción	119
2. Valoración de Impactos	124
3. Medidas preventivas y correctoras	126
5. Bibliografía	127
CAPÍTULO IV ANEXOS	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución agua en el planeta. Fuente: [EDUCALABX].....	34
Figura 2 Calidad exigida a los efluentes depurados según Dir. 91/271/CEE. Fuente: [CLED18].....	43
Figura 3 Esquema general de una depuradora. Fuente: [CLED18].....	46
Figura 4 Esquema pretratamiento EDAR. Fuente: [CLED18].	47
Figura 5 Tratamiento primario EDAR. Fuente: [CLED18].....	49
Figura 6 Decantador circular. Fuente: [CLED18].	50
Figura 7 Decantador rectangular. Fuente: [CLED18].	51
Figura 8 Decantador Lamelar. Fuente: [CLED18].	51
Figura 9 Esquema fangos activos. Fuente: [CLED18]	52
Figura 10 Lechos fijos. Fuente: [TECD13].	53
Figura 11 Biodiscos. Fuente: [CLED18].	54
Figura 12 Fases de crecimiento de los microorganismos. Fuente: [CLED18].	54
Figura 13 Proceso de reacción anaerobia. Fuente: [CLED18].	55
Figura 14 Reactor de mezcla completa sin recirculación. Fuente: [IDAE07]	56
Figura 15 Filtrado de agua. Fuente [CLED18].	58
Figura 16 Reja de finos. Fuente [DEAGUAX].....	62
Figura 17 Esquema del funcionamiento de un tamiz rotativo. Fuente: [GEDARX].....	63
Figura 18 Curva Fango vs Degradación DBO. Fuente: [CLED18].....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales contaminantes agua. Fuente: [Elaboración propia]	42
Tabla 2 Método de medida de referencia de los contaminantes presentes en el agua. Fuente: [MAGR91].....	44
Tabla 3 Porcentaje de M volátil eliminada en función del tr. Fuente: [CLED18].....	60

CAPÍTULO I **MEMORIA**

1. Introducción

Como dijo uno de los filósofos más relevante de la civilización china antigua y escritor de la obra esencial del taoísmo, Lao Tse, *“El agua lo vence todo porque se adapta a todo”*. Sin embargo, parece ser que el ser humano está ganando hasta ahora la guerra con el agua. Y es que cada vez se requiere de un mayor consumo de agua por las características actuales de la sociedad global sin tener en cuenta que el agua es un bien limitado, haciéndose necesaria tanto la buena utilización como la reutilización de la misma. Para realizar esta recuperación de las propiedades del agua contaminada o agua ya utilizada en algún tipo de proceso industrial necesitaremos estaciones depuradoras que, mediante una serie de etapas y procesos químicos variantes según las características particulares de la industria en cuestión y del agua contaminada, nos proporcionarán un agua de mayor o menor calidad dependiendo del ajuste que se haya conseguido realizar entre las características del agua y las etapas y procesos aplicados.

Se prevé que para 2050, el consumo de agua en nuestro planeta haya aumentado en un 44%, dato que nos confirma la necesidad de encontrar maneras de aprovechar la eficacia en los procesos que requieren de la utilización de agua, así como encontrar el modo de reutilizar el agua intentando recuperar al máximo sus propiedades iniciales.

Datos que nos aporta la experta Gema González en base a informes de la Environmental Justice Foundation, como por ejemplo que de media se necesitan 2900 litros de agua para producir una camiseta o 16000 litros para la elaboración de un pantalón vaquero nos demuestran el elevado consumo de agua que requiere la industria textil. Son datos alarmantes y más aún en zonas donde la disponibilidad de agua es baja y que casualmente, son las zonas con mayor número de fábricas textiles debido a su bajo coste de producción y mantenimiento.

La industria textil es uno de los sectores más antiguos dentro de las industrias manufactureras y es una industria que nunca va a desaparecer. El ser humano históricamente ha ido aumentando el consumo en esta industria debido al aumento del poder adquisitivo de la sociedad, las necesidades psicológicas de verse bien vestido y la aparición de nuevas tecnologías que simplifican el acceso y compra de nuevos productos textiles.

Como se muestra en la siguiente imagen, el agua supone un importante porcentaje de la superficie del planeta Tierra. Sin embargo, más del 97% del agua es salada, inutilizable para las necesidades básicas del ser humano ni para procesos industriales ya que la sal contenida destrozaría la maquinaria en un breve periodo de tiempo, haciendo insostenible los costes de mantenimiento.

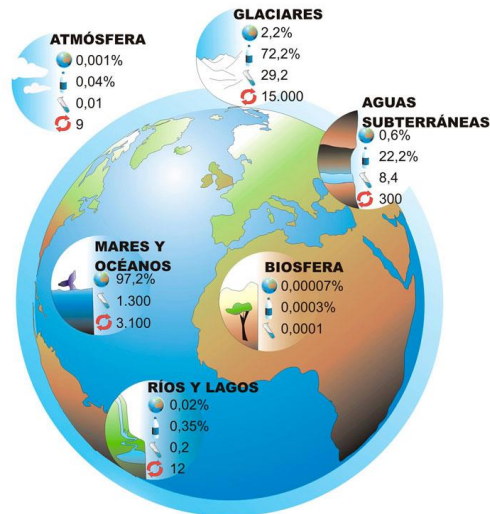


Figura 1 Distribución agua en el planeta. Fuente: [EDUCALABX]

Estos datos aportados demuestran que, pese a la opinión de una parte de la población, el agua es un recurso limitado y sin embargo extremadamente necesario para el ser humano, tanto para necesidades básicas de higiene e hidratación, como para necesidades industriales de agricultura, ganadería o industria textil entre otras. Es por ello por lo que se hace estrictamente esencial el cuidado y aprovechamiento de esta puesto que es un recurso limitado.

Antiguamente, el agua utilizada en las industrias era directamente vertida a los ríos y éstos, gracias a su capacidad de autodepuración, devolvían las características originales al agua residual. Pero debido al aumento exponencial que ha habido en la industria, especialmente desde la Revolución Industrial, y sumado a la alta presencia de compuestos químicos, hace que haya surgido una legislación bastante restrictiva al respecto. Para el cumplimiento de esta legislación, aparecen las estaciones depuradoras que mediante procesos físico-químicos devuelven al agua sus propiedades originales tanto para ser reutilizadas, como para ser vertidas de nuevo a los ríos sin peligros contaminantes y de manera sostenible para el medio ambiente.

En particular, este proyecto está enfocado al agua residual que obtenemos en los procesos de la industria textil. Son numerosos los procesos en dicha industria en los que se necesita la utilización de agua como puede ser el desgrasado de la lana, el acabado del textil o el tinte de la ropa. Por ello se hace necesario plantearnos la viabilidad de utilizar una estación depuradora de agua residual, de aquí en adelante EDAR, para la recuperación del agua consumida y su posterior utilización en diferentes industrias o procesos.

Los datos obtenidos tras investigar el sector de la industria textil reflejan que es interesante la utilización de una EDAR para recuperar el agua utilizada puesto que se pueden recuperar la gran mayoría de las propiedades necesarias para su posterior utilización ya sea como agua reutilizada en la propia industria textil o en cualquier otro tipo de industria.

2. Objetivos

El principal objetivo en la realización de este proyecto es el diseño de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) para la industria textil. Por las características de la industria que se explicarán a continuación, la utilización del agua es altamente necesaria y como consecuencia de ello, los caudales de agua residual muy elevados. Es por ello que se justifica la utilización de una estación depuradora para lograr un impacto insignificante y sostenible de los vertidos al medio ambiente, así como promover la reutilización del agua una vez depurada en los procesos industriales. Resultando así una medida tanto sostenible como beneficiosa económicamente para la industria textil.

Derivado de los diferentes procesos realizados en la industria textil, tendremos un agua residual con unas propiedades y características diferentes al resto de industrias. Por tanto, se hace necesario particularizar el diseño de la EDAR ajustando las etapas y procesos físicos y químicos que mejor apliquen y que nos permitan obtener unos mejores resultados en cuanto al cumplimiento de la legislación de aguas residuales.

Se deberá realizar el dimensionamiento final de las etapas elegidas para la estación depuradora en función de las características contaminantes particulares que presentan los procesos industriales textiles. Para la realización de este dimensionamiento se seguirán los pasos que se muestran en el libro *“Proyectos de plantas de tratamiento de aguas”*, de Ricardo Isla de Juana [ISLA05].

Lógicamente, la construcción de una EDAR cercano a la fábrica textil conllevará un impacto ambiental y económico que habrá que analizar.

Económicamente, comparando con otras EDAR utilizadas en diferentes industrias, se prevé que el impacto sea positivo en ahorro de agua al permitir su reutilización en la propia fábrica y reduciendo con ello la entrada de nueva agua en la fábrica.

Por otro lado, el impacto ambiental se presupone también positivo al aumentar la sostenibilidad de la fábrica y por ende de la industria. Sin embargo, puede tener otro tipo de impactos negativos como el vertido de productos químicos y de residuos posteriores al tratamiento de depuración.

3. Contaminación en la industria textil

3.1 Introducción

El sector de la industria textil es uno de los sectores más antiguos que se han dado en la industria. Se dan numerosos procesos y subsectores que unidos constituyen lo que conocemos como industria textil, una de las cadenas industriales más complejas, largas y complicadas. Es un sector muy dividido en el que predominan las empresas de tamaño medio, pero fuertemente marcado por grandes multinacionales como es el caso de INDITEX. Los tres usos principales que se dan en esta industria son la confección, la ropa de hogar y las aplicaciones industriales.

Este sector incluye numerosos subsectores que llegan a la producción de las materias primas que posteriormente se utilizarán, incluyendo productos semiprocesados y productos finales. En este proyecto nos centraremos en los procesos que requieren de la utilización de agua para su realización explicándolos y aportando los datos de parámetros contaminantes en el agua una vez acabado.

El principal impacto ambiental que presenta esta industria es el agua residual que se genera al realizar los procesos industriales y la elevada carga química que contienen, sumado al elevado consumo de agua. Ambos hechos hacen que sea muy necesario y rentable la utilización de estaciones depuradoras tanto para permitir el vertido del agua sin crear problemas ambientales como para poder reutilizar el agua de nuevo en los procesos industriales. Algún otro problema que presenta esta industria que son importantes, aunque en menor medida son las emisiones atmosféricas, los residuos sólidos y los malos olores.

Generalmente, las emisiones atmosféricas se recogen en el punto en el que se producen. Sin embargo, no ocurre lo mismo con el agua residual. Los flujos que se derivan de los distintos procesos se mezclan y se produce un efluente final cuyas características son consecuencia de la combinación de los factores que influyen en cada uno de los procesos industriales, como los tipos de materia prima utilizados, las técnicas o los productos químicos implicados.

Uno de los factores que complican mucho la caracterización de esta industria es la división en subsectores que se comentaba anteriormente, así como las numerosas materias primas utilizadas en los procesos industriales y la diversidad de procesos de producción. Podemos establecer los siguientes subsectores:

- Hilo y fibra
- Tejido
- Acabados
- Tejidos industriales
- Tinturas
- Estampación
- Desgrasado de la lana

3.2 Procesos que hay en la industria

Los principales procesos en los que centrar el estudio debido a sus niveles contaminantes y a que son los que más volumen presentan son el desgrasado de la lana, acabados, la tintura de fibra e hilos, la tintura y acabados de tejidos en lana y algodón y la estampación.

- Desgrasado de la lana

El objetivo de este proceso es eliminar las impurezas naturales que aparecen en las fibras de lana de forma natural, así como las adicionales que se añaden de su tratamiento como el polvo y la suciedad.

El lavado se realiza con soluciones detergentes de jabón o detergentes sintéticos y carbonato sódico en agua rectificada. Se deben usar jabones blandos que impidan la fijación de este en parte de la lana dándole un tacto áspero.

El agua utilizada en el proceso de desgrasado de la lana debe ser rectificada para evitar que los jabones que se utilizan precipiten y se formen jabones cálcicos o magnésicos. En cuanto a los jabones, pueden ser de tipo sintético iónico o no iónico. El detergente no iónico es el método de mayor interés ya que puede realizarse tanto en medio alcalino como en medio neutro.

En general, las condiciones más importantes que se tienen que dar para el buen funcionamiento del proceso son utilizar soluciones alcalinas, la utilización de agua blanda, productos que sean capaces de aportar carga negativa al tejido para que repela las impurezas y mantener la tensión superficial adecuada en la solución detergente.

- Acabados

Los acabados textiles son procesos que se dan en la industria textil sobre cualquier tipo de fibra, hilo, tela o prenda para modificar cualquiera de sus características. Se pueden modificar características como la apariencia física, el tacto del material o el comportamiento de este ante una situación determinada como temperatura, resistencia, dureza...

Los diferentes tipos de acabado se pueden clasificar según la característica que se modifique del material, la duración que suponga este acabado sobre el material o el tipo de proceso que se lleve para la realización del acabado (físico o químico).

Algunos de los ejemplos de acabado pueden ser el anti-snagging, suavizado, rigidización o estabilización dimensional.

- Tintura de fibra e hilos

El colorante para el tinte es el producto que se utiliza para dar color a la fibra textil. Es el proceso en el que un material textil es puesto en contacto con una solución colorante. El material absorbe de manera que habiéndose teñido ofrece resistencia a devolver el colorante al baño y el proceso molecular tintóreo es lo que llamamos cinética tintórea la cual se desarrolla bajo dos principios fundamentales que son:

- Compenetración entre colorante y fibra
- Proceso tintóreo a nivel molecular

- Tintura y acabados en lana y algodón

La tintura de lana puede efectuarse en floca, peinado, hilo, tejido o en prenda. Cuanto más preliminar sea la etapa en la que se realiza la tintura, menos crítico es el compromiso entre igualación y solidez.

Si nos referimos a la tintura en tejido, la elección de los colorantes y el método de tintura dependerán de los siguientes factores:

- Proceso de preparación en particular si la lana ha sido carbonizada, sometida a algún tratamiento inencogible, o el tejido ha sido batanado.
- Solidez requerida para operaciones posteriores o uso final.
- Maquinaria disponible.

Si la lana ha sido catonizada debe haberse eliminado el exceso de ácido por un lavado neutralizado. Si se prevé que la neutralización puede ser poco uniforme (la uniformidad puede ser difícil de conseguir) deberán utilizarse colorantes y proceso apropiados.

En tejidos uniformemente carbonizados pueden utilizarse colorantes ácidos de buena igualación y colorantes premetalizados, que tiñen a bajo pH, sin neutralizado previo. Sin embargo, para la mayoría de los colorantes es necesario llevar al tejido al pH apropiado antes de la tintura. Se consigue el mínimo dañado de la lana si la tintura se efectúa en un pH próximo al punto isoeléctrico de la lana (4,2 - 4,8).

Es importante que el tejido tenga la humectación adecuada antes de la tintura y para conseguir igualación en las tinturas de la lana debe controlarse muy bien el pH y la temperatura del baño tintóreo.

- Estampación

Este proceso se lleva a cabo para la aplicación de color a un sustrato. La diferencia es que, en lugar de aplicar el color a la totalidad del sustrato, el color se aplica únicamente en unas zonas determinadas. Debido a esta particularidad, se deben utilizar técnicas y maquinaria distintas, aunque los procesos físicos y químicos son exactamente iguales que en los procesos de tintura. Habitualmente se sigue el siguiente proceso en la estampación:

- Preparación de la pasta de color.
- Estampación.
- Fijación del colorante o pigmento.
- Tratamiento final de lavado y secado del tejido.

3.3 Impacto ambiental industria textil

Hablando más allá del precio que se muestra en las etiquetas, es conocido por todos que las condiciones laborales bajo las trabajan aquellos que fabrican las prendas de vestir que portamos en este momento son en muchas ocasiones inhumanas. Numerosas industrias en Bangladesh, la India o China son productoras a gran escala y precios muy bajos, principalmente a causa de las pésimas condiciones laborales. Pero pese a que este problema es de los más conocidos por la sociedad, la industria textil presenta además el problema de ser una de las más contaminantes para el medio ambiente.

Según nos indica un informe de UNECE, la comisión económica para Europa de Naciones Unidas se han mostrado algunas cifras importantes. Para empezar, se sabe que la industria de la moda es la segunda emisora de CO₂, alrededor del 20% de las aguas residuales o contaminadas provienen de esta, así mismo genera más de 21,000 millones de residuos y basura cada año. La mayoría del impacto se concentra en el continente asiático.

Para ponerlo en un contexto de la vida diaria, las camisetas de algodón, que podemos encontrar en cualquier armario, han costado 2,700 litros de agua, esto es equivalente a todo lo que un humano promedio podría consumir durante dos años y medio. Debemos mencionar que elaborar la camiseta no requiere de esta cantidad de agua, pero el mantener los cultivos que sostienen el voraz ritmo de producción acelerada en la industria sí.

Toda esta agua residual termina vertiéndose en ríos, y lagos, y una gran cantidad de ecosistemas que resultan gravemente dañados, en lugares como Bangladesh esto se convertido en un problema de grandes dimensiones.

El principal problema es que cada día compramos más ropa, esto a causa de que se produce en mayor cantidad y a un menor precio, además, la demanda se ha incrementado. En el lapso del año 2000 al 2014, el volumen de ropa producida se duplicó a causa de nuevos hábitos de compra en occidente y se espera que durante estos años el fenómeno se repita, pero a mayor escala.

Pero ¿cómo podemos reducir el impacto de esta industria? Principalmente comprando menos, actualmente las prendas de vestir tienen una vida útil 50% menor que hace 14 años. Aproximadamente la mitad de los productos en tiendas son desechados por la misma industria o por los consumidores al paso de un año. Otra medida que podría tomarse por parte de la industria es la reducción en el uso de químicos.

Hay que entender que esta problemática no sólo llega al agua, al final termina en nuestra atmósfera. El uso del poliéster, que es un derivado del petróleo, se ha incrementado durante los años recientes y producirlo es sin duda uno de los contribuyentes al calentamiento global: tan sólo durante el año 2015 emitió unos 700,000 kilos de CO₂ a la atmósfera. Si no se modera esto, para el año 2050 los recursos consumidos por la industria de la moda se habrán triplicado y por consecuencia el daño a nuestro planeta también.

3.4 Consumo de las aguas

Para el desarrollo de este proyecto, en cuanto al consumo de agua se ha extrapolado la cantidad de agua utilizada por una fábrica en México con datos de 2014. Son datos mensuales para dicho año en cuestión, por lo que se ha extrapolado este consumo a un día normal de trabajo.

Los datos utilizados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Consumo de agua en 2014 (cortesía de Hilatex)

Mes	Agua de Proceso (m ³ /mes)	Agua de Caldera (m ³ /mes)	Total (m ³ /día)
Enero	2 315	384	90
Febrero	2 363	432	93
Marzo	3 004	480	116
Abril	3 858	672	151
Mayo	2 716	432	105
Junio	1 098	192	43
Julio	269	96	12
Agosto	2 908	528	115
Septiembre	4 159	768	164
Octubre	2 342	576	97
Noviembre	4 578	816	180
Diciembre	4 492	864	179
PROMEDIO	2 842	520	112
Max	4 578	864	180
Min	269	96	12
DE	1 313,2	236,8	51,5

Figura 2 Consumo de agua en 2014 fábrica textil. Fuente: [HILAX]

3.5 Características de los vertidos

Como se ha dicho anteriormente, dentro de la industria textil se dan numerosos procesos industriales. En la siguiente tabla se muestra un cuadro resumen con los principales parámetros contaminantes atendiendo al tipo de proceso industrial al que se refiere:

Parámetros	Categorías						
	Descrudado de lana	Manufactura de hilo y tejido	Acabado de lana	Acabado de tejido de hilo	Acabado de tejido de punto	Manufactura de alfombras	Tintado y acabado hilos
DBO ₅ /DQO	0.2	0.29	0.35	0.54	0.35	0.3	0.31
DBO ₅ (mg/l)	6000	300	350	650	350	300	250
SST (mg/l)	8000	130	200	300	300	120	75
DQO (mg/l)	30000	1040	1000	1200	1000	1000	800
Aceites y grasas (mg/l)	5500	-	-	14	53	-	-
Cromo total (mg/l)	0.05	4	0.014	0.04	0.05	0.42	0.27
Fenol (mg/l)	1.5	0.5	-	0.04	0.24	0.13	0.12
Sulfuros (mg/l)	0.2	0.1	8.0	3.0	0.2	0.14	0.09
Color (ADMI)	2000	1000	-	325	400	600	600
pH	8.0	7.0	10	10	8.0	8.0	11
Temperatura (°C)	28	62	21	37	39	20	38
Uso agua (l/kg)	36	33	13	113	150	69	150

Figura 3 Actividades industriales y sus efluentes característicos. Fuente: [PERE12]

Teniendo esto claro, para el diseño de esta EDAR se han tomado datos medios de los principales parámetros contaminantes obteniéndose los siguientes resultados:

	Máximo	Mínimo	Medio / Diseño
DBO	2500	720	1610
DQO	2800	1400	2100
SS	150	118	134
N	50	30	40
P	51	49,9	50,4

Tabla 1 Principales contaminantes agua. Fuente: [Elaboración propia]

Una vez se tienen claro cuáles son los principales contaminantes que presenta el agua residual de esta industria y cuáles son sus valores de diseño, se procederá en los siguientes apartados a explicar las diferentes partes y procesos de los que puede constar una estación depuradora, la elección de aquellos que mejor se adapten a las características del agua residual en cuestión y al dimensionamiento de cada una de las etapas incluidas.

4. Procesos de depuración

A continuación, en el apartado que sigue se van a detallar todas las etapas de manera general que pueden constituir una EDAR con sus correspondientes características y procesos. Estas etapas se elegirán en función de las características particulares que muestre el vertido en cuestión que se quiera tratar. Una vez realicemos esta explicación general, se detallarán las etapas y procesos a realizar para el tratamiento del agua residual en la industria textil.

El tratamiento del agua residual se realiza con el objetivo de devolver en la medida de lo posible las propiedades originales del agua antes de ser utilizada en el proceso industrial y poder así devolverla al medio ambiente sin suponer un riesgo para el mismo o poder reutilizarla en la industria. Como es de esperar, el agua depurada debe respetar unos márgenes determinados por ley, en concreto la **Directiva 91/271/CEE** que indica los parámetros que se deben tratar, el porcentaje necesario de reducción y la concentración final máxima que pueden presentar dichos parámetros, como se muestra en la siguiente tabla:

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 4 Calidad exigida a los efluentes depurados según Dir. 91/271/CEE. Fuente: [CLED18].

Teniendo en cuenta estos datos será como se decidirán las etapas a incluir en la depuración de un vertido en concreto, teniendo en cuenta los datos de los parámetros a la entrada de la depuradora y sabiendo la concentración máxima en mg/l que puede presentar el efluente.

Por otra parte, el MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) es el encargado de explicar el método por el que se miden los parámetros que se necesitan controlar del agua vertida. Los parámetros por controlar son la DBO, DQO, Sólidos en suspensión, Fósforo y Nitrógeno. En la siguiente tabla se puede observar el método de medida de referencia a seguir para obtener la concentración de dichos parámetros.

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

Tabla 2 Método de medida de referencia de los contaminantes presentes en el agua.
Fuente: [MAGR91]

Una vez explicados los parámetros a controlar en la depuración y el método a seguir para su medida, se continuará con la explicación de los objetivos generales para los que se utilizan las EDAR. Previsiblemente, la misión principal de una EDAR es la depuración de las aguas residuales procedentes tanto de residuos urbanos como industriales consiguiendo con ello:

- Reducción de la DBO y DQO.
- Reducción de los sólidos en suspensión.
- Reducción de la concentración de fósforo y nitrógeno presentes en el agua.
- Estabilización y tratamiento de los fangos aparecidos durante el proceso de depuración para su gestión de forma segura.
- Reducción de los coliformes totales.

Una EDAR cuenta siempre con una línea de aguas y una línea de fangos. Excepcionalmente, puede incluir además una línea de gas. A continuación, se explica de manera genérica cada una de estas líneas y todas las etapas y procesos que se incluyen en cada una de ellas. Posteriormente se elegirán aquellos que mejor se adapten a las características del agua residual de la industria textil.

- Línea de aguas:

Es la parte de la EDAR que hace referencia a la depuración del agua residual. En esta línea se debe tener en cuenta principalmente las características contaminantes de los parámetros a tratar a la entrada de la EDAR y el porcentaje de depuración que se desea

lograr para así diseñar las etapas de depuración a incluir. Teniendo en cuenta estos dos requisitos imprescindibles, las fases que pueden aparecer dentro de la línea de agua son los siguientes:

- Pretratamiento.
- Tratamiento primario.
- Tratamiento secundario.
- Tratamiento terciario o avanzado.

- Línea de fangos:

La línea de fangos se hace necesaria como consecuencia de la depuración del agua. Los vertidos que se producen en la línea de aguas tienen que ser tratados posteriormente en la línea de fangos para su gestión de forma segura. Los residuos que pueden aparecer tras la depuración del agua son sólidos gruesos o fangos y lodos. Mediante la línea de fangos lo que se pretende es recuperar las propiedades de estos fangos para su posterior utilización o simplemente hacerlos desaparecer mediante la deshidratación. Teniendo en cuenta estos requisitos, las fases que pueden aparecer dentro de la línea de fangos son los siguientes:

- Espesador.
- Digestor.
- Deshidratación.

- Línea de gas:

Esta línea únicamente se utiliza cuando en el tratamiento secundario de la línea de aguas, se utiliza un proceso anaerobio. Este gas producido en este proceso se almacena en un depósito de membrana para ser posteriormente utilizado en la estabilización de la temperatura durante la digestión.

Se muestra a continuación un esquema en el que se muestran las fases de las que consta tanto la línea de agua como la línea de fangos, siendo así un esquema general de una EDAR:

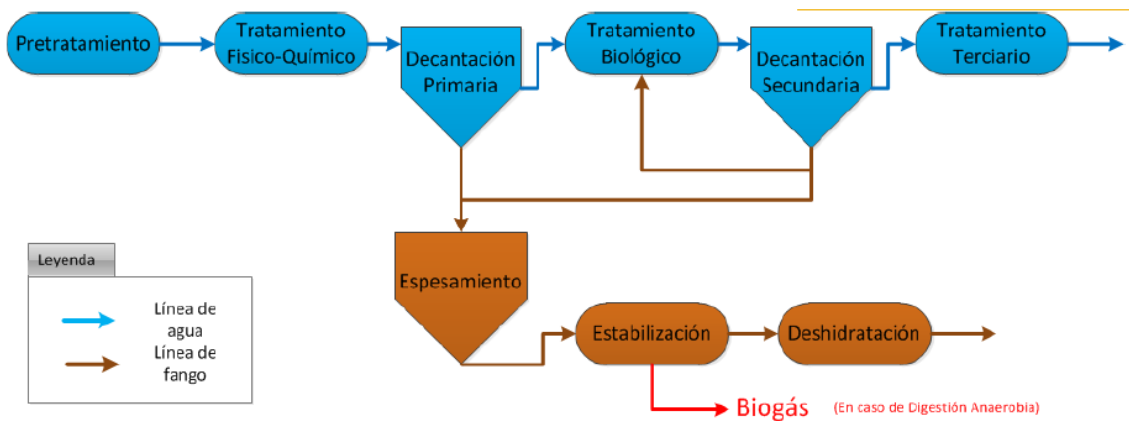


Figura 5 Esquema general de una depuradora. Fuente: [CLED18].

4.1 Línea de aguas

La línea de aguas consta de las siguientes fases o tratamientos:

1. **Pretratamiento:** es el primer proceso que sufre el agua residual al empezar su tratamiento de depuración. En este primer proceso mediante rejillas, tamices o cribas entre otros se busca eliminar los residuos sólidos de mayor tamaño, arenas y grasas. Esta etapa se realiza para comenzar la depuración y la reducción de DBO y Sólidos en suspensión, pero principalmente para preparar el vertido para las siguientes fases del tratamiento y evitar que se dañen las máquinas con los restos presentes en el agua. Mediante este tratamiento se puede llegar a reducir hasta en un 30% la DBO y los SS.
2. **Tratamiento primario:** mediante este proceso se busca eliminar aquellos residuos sólidos que no ha sido posible eliminar mediante el pretratamiento. Esta eliminación se realiza mediante procesos físicos o físico-químicos en el decantador primario. Con dicho tratamiento y el pretratamiento, se consigue una eliminación conjunta del 50% tanto en la DBO como en los SS.
3. **Tratamiento secundario:** este proceso es el principal proceso que se produce dentro de una estación depuradora. En él se reducen prácticamente en su totalidad los SS y lograr el nivel requerido de DBO. De no conseguirse este porcentaje requerido de reducción en la DBO, se requerirá realizar un tratamiento terciario avanzado con el objetivo de cumplir con el nivel máximo permitido por ley. En función de las características de los parámetros una vez el agua haya sufrido el pretratamiento y el tratamiento primario, se elegirá el mejor tipo de proceso. Se consigue una reducción entre el 80-95% tanto en la DBO como en los SS.

4. Tratamiento terciario o avanzado: es un proceso que no siempre aparece en todas las estaciones depuradoras. Únicamente será necesario si a la salida del tratamiento secundario, el efluente aún muestra valores que superan los valores máximos permitidos por la legislación. Generalmente se incluye cuando la zona de vertido es una zona considerada sensible. Para conseguir esta reducción extra, se utilizan procesos físicos y químicos como por ejemplo cloración, ozono o rayos ultravioletas.

4.1.1 Pretratamiento

Primera etapa por la que pasa el agua residual al entrar en la estación depuradora. Como se dijo anteriormente, el principal objetivo de esta etapa es la eliminación de los residuos sólidos de mayor tamaño, así como las arenas y grasas que pueden dañar la maquinaria en los posteriores procesos de depuración. A la entrada de la EDAR aparecerán una obra de llegada, un aliviadero, un bypass y un retorno. Posteriormente el afluente será dirigido a las etapas de las que consta la estación depuradora, dependiendo de las características de los parámetros del agua residual.



Figura 6 Esquema pretratamiento EDAR. Fuente: [CLED18].

El pretratamiento puede incluir las siguientes fases en función de los contaminantes:

- Obra de llegada: Esta fase hace referencia a la obra civil como tal por la que entra el agua residual a la depuradora.
- Aliviadero o Bypass: Consiste en un mecanismo de seguridad por el cual el agua residual que no puede tratarse en la EDAR en ese momento por problemas de capacidad, rebosa y es redirigida para su tratamiento posterior.
- Retorno: Es el circuito por el que el agua que se elimina en algunos procesos y fases de la estación depuradora se devuelve a la entrada para ser tratada.
- Pozo de gruesos: Una vez el agua ha pasado por las fases anteriormente mencionadas, el agua se recoge en un pozo en el cual mediante una cuchara bivalva se retiran los sólidos de mayor tamaño. Para evitar la sedimentación de sólidos, el tiempo de retención del agua en esta fase será pequeño.

- Elevación de agua bruta: Es el método utilizado para evitar el posterior uso de bombas y aprovechar la gravedad para la circulación del agua a través de toda la EDAR. Generalmente el método más utilizado son los tornillos de Arquímedes.
- Desbaste: Sistema de rejas por el cual se busca eliminar sólidos en suspensión para eludir posteriores depósitos, evitar obstrucciones y aumentar la eficacia del tratamiento posterior. Se suelen utilizar dos rejillas, una para gruesos ($> 6\text{mm}$) y posteriormente una rejilla para sólidos más finos ($1,5 - 6\text{mm}$).
- Tamizado: Misma fase que la anterior pero utilizada cuando los sólidos que se quieren eliminar son de un tamaño muy pequeño. Se utilizan rejillas extrafinas ($0,2 - 1,5\text{mm}$) y microtamices ($0,001 - 0,3\text{mm}$). También mejora la eficacia del tratamiento posterior.
- Desarenado: En esta fase se busca eliminar la arena y la gravilla (1mm) en un depósito mediante sedimentación por gravedad. Se utilizan canales de flujo horizontal ($v = 0,3 \text{ m/s}$ y $t_r = 1 \text{ min}$) y canales de flujo helicoidal ($t_r = 3 \text{ min}$ y $d > 0,15 \text{ mm}$).
- Desengrasado: Mediante este proceso se separan grasas, aceites y pequeñas partículas por medio de la flotación. Al igual que en la fase anterior, tenemos diferentes métodos para realizar esta separación de grasa/agua. Por flotación, mediante el cual las grasas suben por diferencia de densidades, por electroflotación, generando burbujas mediante descargas eléctricas que ayudan a subir a las grasas y por flotación por aire disuelto, en el que se dispone de un depósito a presión en el que se añade la mezcla de agua y aceite y al devolverlo a presión atmosférica hace que se creen unas burbujas que al ascender arrastran las grasas y pequeñas partículas a la superficie.
- Tratamiento químico (opcional)
- Homogeneización: Proceso necesario cuando se tienen diferentes efluentes del pretratamiento. Se utiliza para homogeneizar y equilibrar el caudal, la carga orgánica, el pH y los nutrientes. Así, posteriormente tendremos un único efluente con propiedades comunes y será más fácil diseñar el resto de tratamientos de la EDAR. Se recomienda utilizar cuando:

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

4.1.2 Tratamiento primario

Este tratamiento busca eliminar los restos sólidos que no ha sido posible eliminar mediante el pretratamiento y que se hace necesario eliminar por necesidad de las condiciones de salida de la EDAR y por proteger la maquinaria de los tratamientos secundario y avanzado. En función de si el tratamiento realizado es físico o físico-químico las fases se denominarán decantación primaria o CFD (coagulación, floculación y decantación).

Generalmente se suele utilizar únicamente la decantación, pero en algunas ocasiones, cuando los sólidos son demasiado pequeños para decantarlos por su propio peso (se puede realizar, pero requeriría demasiado tiempo) se utilizan los floculantes que se adhieren a los sólidos en suspensión, formando partículas de mayor tamaño con su correspondiente aumento de peso y favoreciendo el proceso de sedimentación. El único inconveniente de añadir el proceso de floculación y por lo que no se realiza siempre es que los fangos obtenidos tras este proceso de decantación son más difíciles de deshidratar.

También podemos mejorar el tratamiento físicamente incluyendo en el proceso agitadores internos en el decantador que harán que las partículas sólidas choquen y floculen debido al impacto.

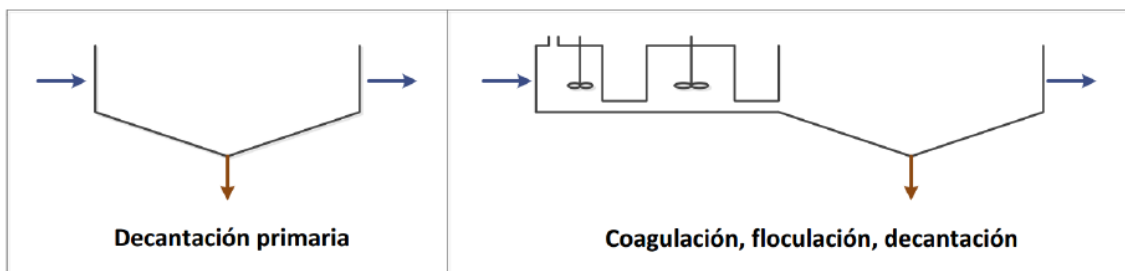


Figura 7 Tratamiento primario EDAR. Fuente: [CLED18]

La decantación es un proceso de clarificación mediante el que el agua residual se deja reposar en un decantador, el tiempo de retención que se haya calculado dependiendo de las características del vertido, para que los sólidos en suspensión sedimenten en el fondo por gravedad. El tiempo de retención puede variar desde los 20 minutos a las 3 horas siendo 2 horas el tiempo medio que se suele utilizar. El tanque o decantador puede ser cuadrado, rectangular o circular y con una profundidad de entre 2,5 y 5 metros.

Mediante la decantación se consigue que, junto con el pretratamiento la DBO y los SS se vean reducidos en un 50% en conjunto, así como homogeneizar caudales si la EDAR diseñada no presentara balsa de homogeneización, separación del resto de materia flotante y reducción de fangos activados.

Dependiendo de la forma del decantador y de su modo de funcionamiento podemos encontrar los siguientes:

- Decantador primario circular: En este tipo de decantadores, el agua entra por el centro del decantador y es recogida en las paredes exteriores del mismo. La salida del agua se realiza a través de un vertedero triangular, que sin ser el óptimo para el reparto del agua, es el que mejor funciona teniendo en cuenta las numerosas variaciones de caudal. Los fangos acumulados en el proceso se almacenan en pocetas cubicadas en la solera del decantador y se purgan automáticamente temporizando regularmente los tiempos de funcionamiento y parada. Para los sólidos flotantes, el decantador cuenta con un sistema de rasquetas que disponen de barredoras superficiales arrastrando los sólidos al punto de extracción.

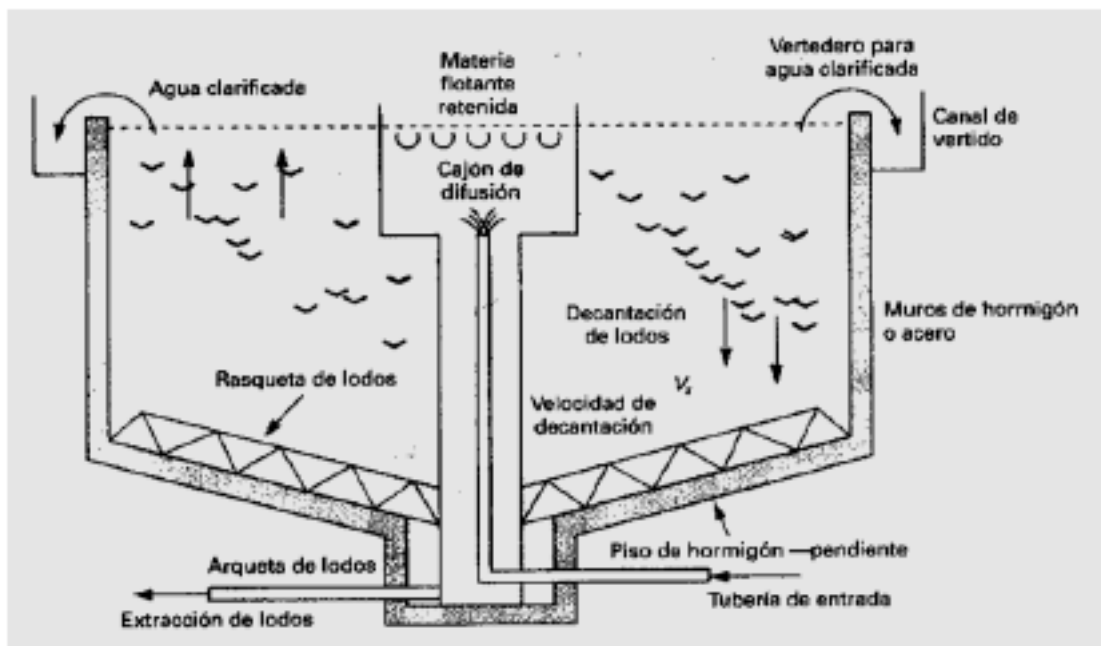


Figura 8 Decantador circular. Fuente: [CLED18].

- Decantador primario rectangular: En estos decantadores la alimentación por lo general es por uno de los lados más estrechos, saliendo el efluente por el lado opuesto y también a través de un vertedero triangular. También se acumulan los fangos por gravedad y por rasquetas que recorren el decantador a lo largo y una vez barren el fondo, se elevan y recorren el largo del decantador, favoreciendo así la acumulación de flotantes. Por lo general, los decantadores circulares obtienen mejores rendimientos pese a tener mejor rendimiento hidráulico.

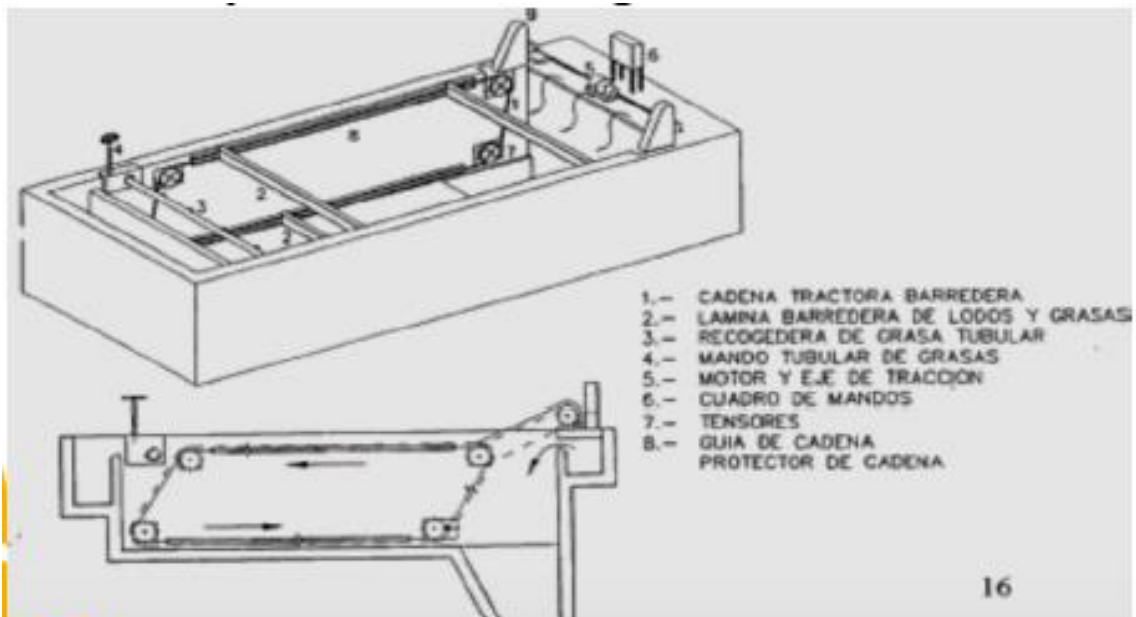


Figura 9 Decantador rectangular. Fuente: [CLED18].

- Decantador Lamelar: El decantador Lamelar mejora el rendimiento hasta el 60% de DBO debido a la menor distancia de decantación. El inconveniente que presenta este tipo de decantador, es que la excesiva reducción de DBO puede llegar a dar problemas en el reactor biológico si fuera necesaria la reducción de nutrientes. El agua entra en el decantador y al entrar en contacto con las lamelas hace que los sólidos en suspensión resbalen y sedimenten en el fondo.

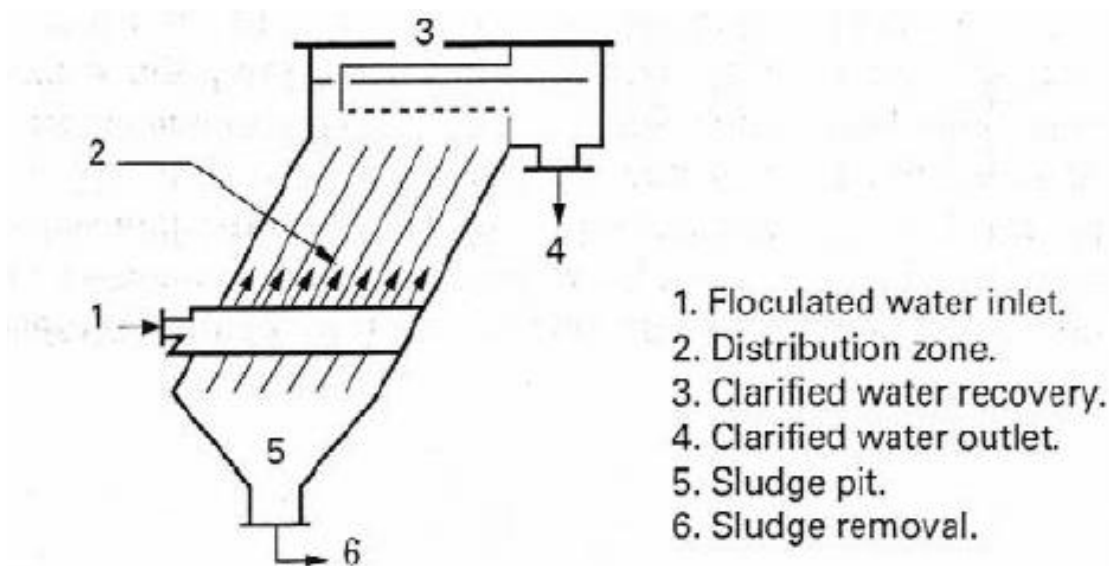


Figura 10 Decantador Lamelar. Fuente: [CLED18].

Por último, cabe destacar que en esta fase del tratamiento se generan los fangos primarios, que posteriormente serán tratados en la línea de fangos.

4.1.3 Tratamiento secundario

Por lo general, en el tratamiento secundario es donde más se suelen diferenciar unas estaciones depuradoras de otras. Este será el tratamiento que habrá que diseñar con mayor rigor para lograr alcanzar las condiciones deseadas a la salida.

A este tratamiento se le conoce como tratamiento biológico pese a que no siempre es así, en numerosas ocasiones la EDAR puede tener un tratamiento secundario químico. A este tratamiento hay que añadir siempre otro físico de decantación secundaria a la salida.

Mediante este tratamiento el objetivo será disminuir la DBO por biodegradación de la materia orgánica en productos no contaminantes.

El tratamiento secundario puede estar formado por alguna de las siguientes etapas:

1. Reactor biológico: El agua procedente del tratamiento primario es retenida durante 6 – 8 horas mezclándola y aireándola. Al realizar este proceso se forman flóculos bacterianos, la materia orgánica pasa a formar parte de la biomasa bacteriana que posteriormente se eliminará por decantación en el decantador secundario. Este proceso es bastante lento, pero se puede acelerar aproximadamente en un 20% mediante la recirculación de fangos activos. Existen varios tipos de reactores:
 - a. Reactor biológico aerobio mediante cultivo en suspensión: Por lo general es el tipo de reactor más utilizado. Se basa en un proceso de utilización de fangos activos. Los microorganismos se encuentran en suspensión y son aireados hacia la superficie por turbinas superficiales o difusores de aire sumergidos arrastrando consigo los microorganismos suspendidos. Este tipo de reactor se utiliza cuando el cociente entre la DBO y la DQO es mayor que 0,4. Pueden ser de tres tipos, de mezcla completa, de flujo de pistón o un reactor secuencial discontinuo (SBR).

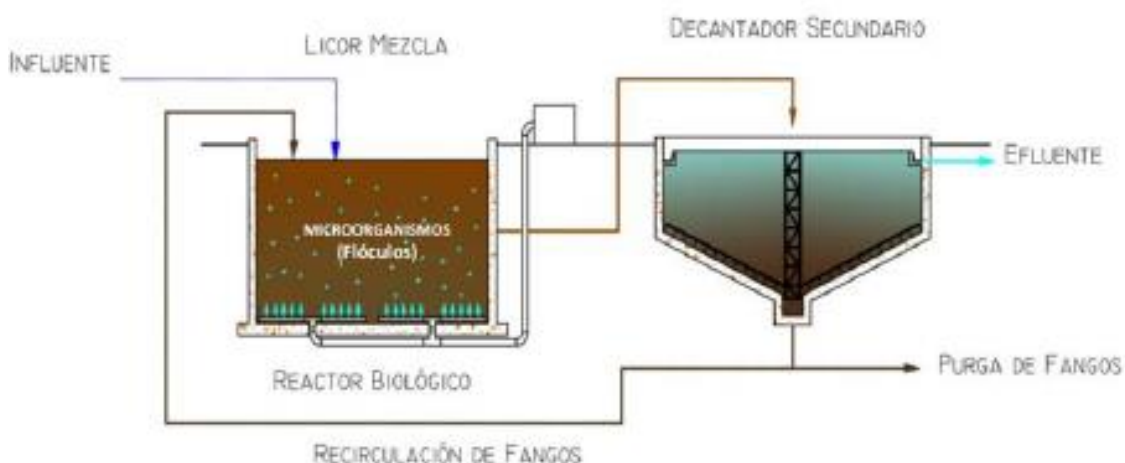


Figura 11 Esquema fangos activos. Fuente: [CLED18]

- b. Reactor biológico de lechos bacterianos o cultivos fijos: En esta ocasión, en este reactor los cultivos aparecen mediante la creación de una capa bacteriana en la superficie de un medio o soporte aireado. Para este procedimiento se necesita un tanque de hormigón o acero relleno de piedras (a 1 metro de profundidad) o plástico (a 6 metros de profundidad) sobre el cual se formará la capa bacteriana. El agua residual que depurar es regada por aspersión sobre el lecho bacteriano, reduciéndose así la DBO e iniciándose el proceso de nitrificación. Este reactor se utiliza para aguas residuales de baja carga orgánica cuando el cociente entre DBO y DQO está dentro del intervalo 0,2 – 0,4.

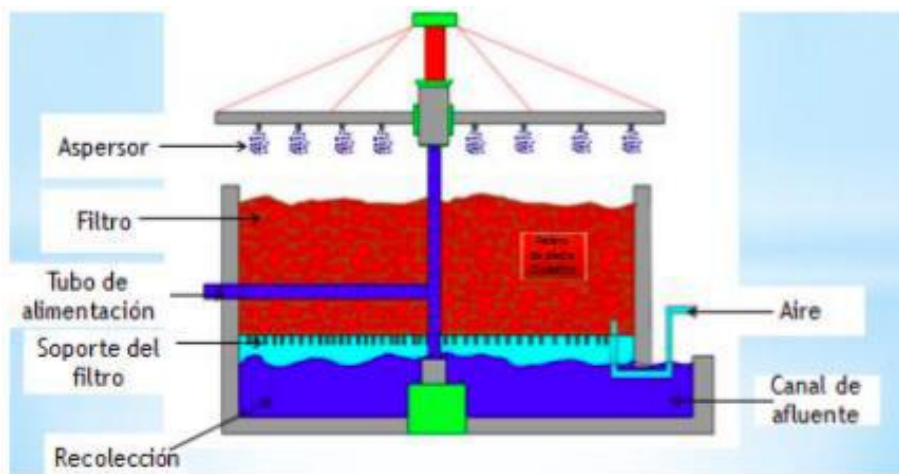


Figura 12 Lechos fijos. Fuente: [TECD13].

- c. Reactor biológico de lechos bacterianos de biodiscos: Este reactor estará formado por un tanque de agua residual de forma semicircular en el que gira un material plástico. Sobre la superficie plástica se creará una capa bacteriana que se aireará y mojará con el agua residual alternativamente al girar el cilindro. Al igual que el reactor anterior, se utiliza cuando el cociente entre DBO y DQO se encuentra dentro del intervalo 0,2 – 0,4. No es un reactor muy utilizado puesto que puede presentar problemas por acumulación de biomasa.

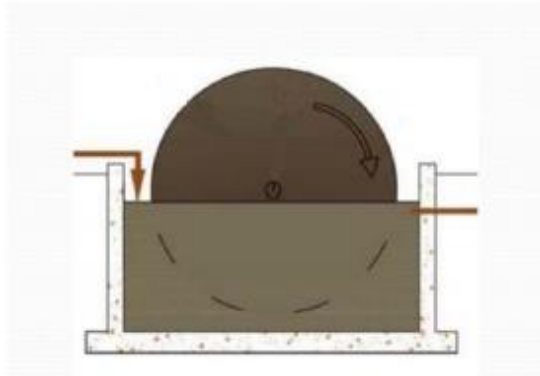


Figura 13 Biodiscos. Fuente: [CLED18].

Los tipos de reactores descritos anteriormente funcionan mediante reacciones aerobias, en presencia de oxígeno. Los propios microorganismos presentes en el agua residual son los encargados de biodegradar la materia orgánica. Es imprescindible que durante este proceso se mantengan la proporción de nutrientes determinada, con la cantidad necesaria de oxígeno, una temperatura estable, pH entre 6,5 y 8,5, y una salinidad inferior a 3 g/l. La relación de nutrientes habitual es la siguiente:

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

El crecimiento de los microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica se da en cuatro fases:

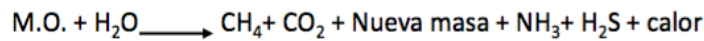
- 1) Fase de retardo o aclimatación.
- 2) Fase de crecimiento estable.
- 3) Fase estacionaria.
- 4) Fase de mortandad.



Figura 14 Fases de crecimiento de los microorganismos. Fuente: [CLED18].

En la depuradora se debe mantener las condiciones de fase estacionaria ajustando el número de microorganismos con la recirculación de fangos activos y la eliminación del exceso de fangos activos.

- d. Reactor biológico anaerobio: Este tipo de reactores se utiliza cuando la concentración de DBO es muy elevada, concretamente mayor de 1500 mg/l, generalmente asociado a aguas residuales industriales. En este proceso se elimina el exceso de DBO en un tanque cerrado para provocar la ausencia de oxígeno.



A veces, este reactor se utiliza como tratamiento primario en condiciones de muy alta concentración de DBO y posteriormente se utiliza un tratamiento secundario aerobio. La gran desventaja que presenta este tipo de reactores es la aparición de numerosos gases de los cuales únicamente el metano es aprovechable.

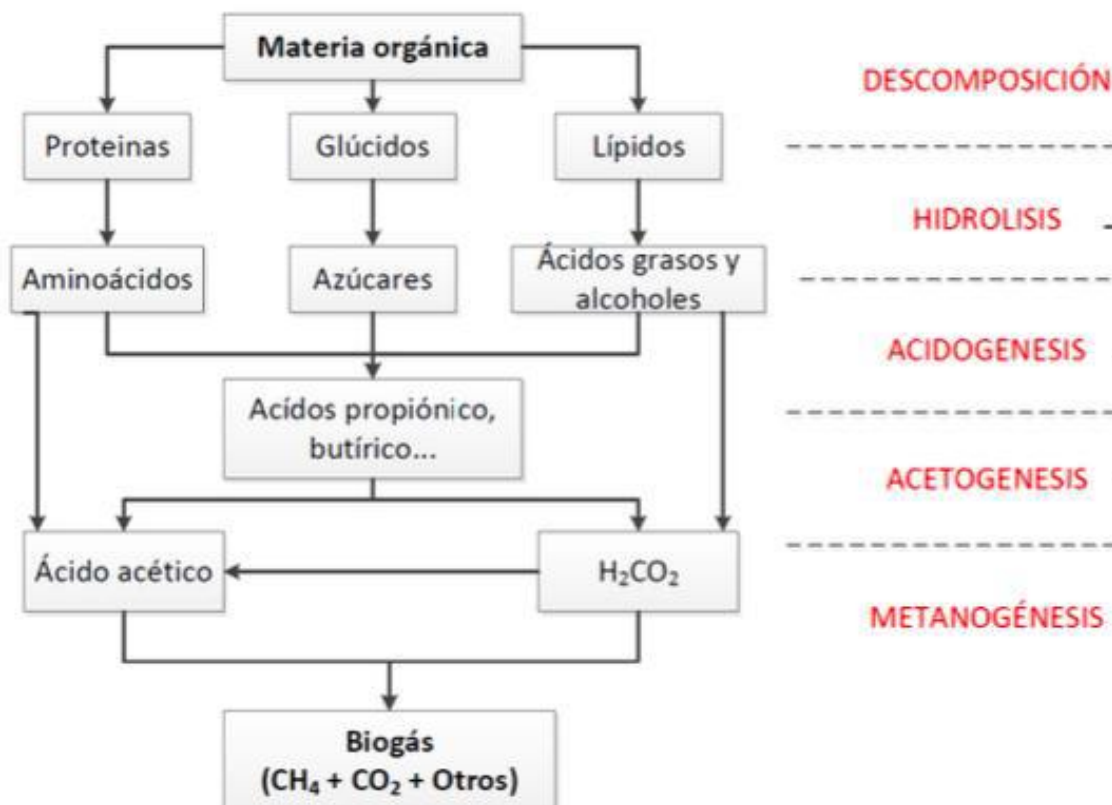


Figura 15 Proceso de reacción anaerobia. Fuente: [CLED18].

El digester más utilizado es el reactor de mezcla completa (RMC) sin recirculación. Este está formado por un tanque cilíndrico y una cúpula semiesférica en la que se acumulan los gases desprendidos en la digestión. Con este reactor se mantiene constante la concentración de microorganismos mediante agitación.

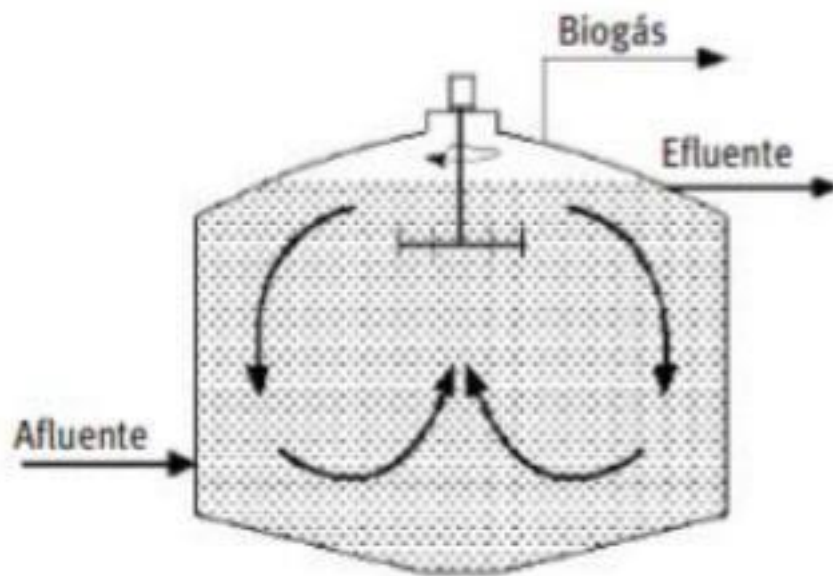


Figura 16 Reactor de mezcla completa sin recirculación. Fuente: [IDAE07]

2. Tratamiento químico: Este tratamiento se utiliza cuando el cociente entre la DBO y la DQO es menor de 0,2. Es un tratamiento mucho más caro por lo que únicamente se utiliza si es imprescindible porque no se pueda biodegradar la materia orgánica.

Al final del tratamiento secundario siempre se situará un decantador secundario con un tiempo de retención aproximado de 2 horas y de tamaño generalmente mayor que el decantador primario (4 metros de altura y un máximo de 48 metros de diámetro).

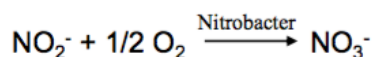
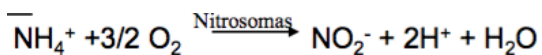
4.1.4 Tratamiento terciario o avanzado

Este tratamiento únicamente se realiza cuando el vertido se realiza sobre una zona que se considera sensible y se necesitan concentraciones más bajas de:

- DBO < 25 mg/l
- SS < 35 mg/l
- Eliminación de compuestos tóxicos
- Reducción de nutrientes

Estos tratamientos adicionales que se pueden realizar en esta fase son los siguientes:

- Eliminación de nitrógeno: Este tratamiento se realiza dentro del tratamiento secundario, entre la decantación secundaria y el reactor biológico. Se consiguen reducir los niveles de nitrógeno hasta en un 90% mediante un proceso de nitrificación-desnitrificación. El número total de nitrógeno que se desea eliminar es el siguiente: $NTK = N \text{ org.} + N \text{ inorg.} + N \text{ nitrito} + N \text{ nitrato}$
En primer lugar, se realiza en condiciones aerobias la nitrificación:



Posteriormente, y en condiciones anóxicas (en ausencia de O_2) y presencia de carbono se realiza la desnitrificación. Se pueden dar en el mismo reactor si es en momentos diferentes o en reactores diferentes. Generalmente se realizan en el sistema conocido como carrusel donde en el mismo tanque se alternan zonas óxicas y anóxicas haciendo girar el agua de forma circular.

- Eliminación de fósforo: Generalmente la presencia de una elevada concentración de fósforo en el agua residual viene provocada por la utilización de detergentes, fertilizantes, aditivos, residuos humanos y de alimentos. Para lograr su eliminación se utilizan procesos químicos, como la adición de sales (FeCl_3), o procesos biológicos, basados en forzar a los microorganismos a retener más fósforo del que necesitan para su crecimiento (fangos activados).
- Filtración en medio granular: Este proceso se utiliza cuando por las características necesarias del efluente se necesita una concentración de SS < 10 mg/l. Para ello se utilizan filtros bicapa basados compuestos de antracita y arena y filtros multicapa compuestos de antracita, arena y una capa de granate.

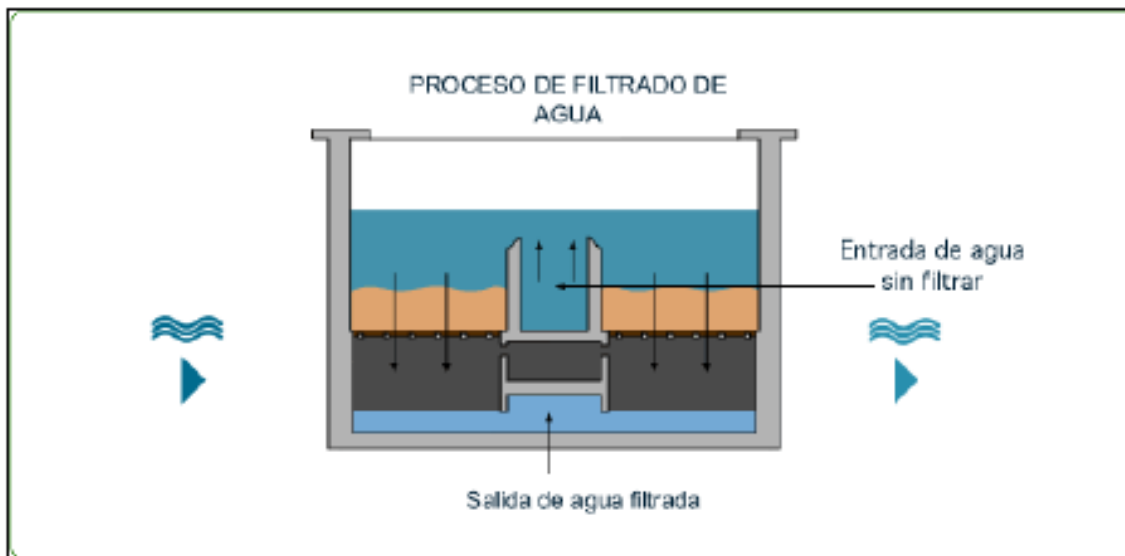


Figura 17 Filtrado de agua. Fuente [CLED18].

- Adsorción de carbón activado: En esta ocasión, utilizamos esta técnica para eliminar el olor y el sabor del agua residual. Dicho olor proviene de la presencia de compuestos orgánicos industriales y se utiliza la limpieza mediante retrolavado.
- Tratamiento químico: Este tratamiento químico adicional se utiliza para lograr un pH determinado, reducir los olores y conseguir una reducción del fósforo mediante precipitación química.
- Eliminación de amoníaco: Para lograr eliminar el amoníaco presente en el agua residual utilizamos aire a pH 10,8 – 11,5 o cloro para formar cloraminas.
- Desinfección: Este proceso lo utilizamos cuando el efluente de la estación depuradora es vertido a aguas de baño, aguas de cría de marisco o aguas de captación para consumo humano. Se desinfecta utilizando cloro.

4.2 Línea de fangos

La línea de fangos se hace necesaria como consecuencia de la depuración del agua. Los vertidos que se producen en la línea de aguas tienen que ser tratados posteriormente en la línea de fangos para su gestión de forma segura. Los residuos que pueden aparecer tras la depuración del agua son sólidos gruesos o fangos y lodos. Mediante la línea de fangos lo que se pretende es recuperar las propiedades de estos fangos para su posterior utilización o simplemente hacerlos desaparecer mediante la deshidratación.

Dentro de la línea de fangos podemos destacar los siguientes tratamientos:

1. Espesamiento de los fangos
2. Estabilización de los fangos
3. Deshidratación de los fangos

4.2.1 Espesamiento de los fangos

Los fangos provienen directamente de la línea de aguas por lo que, como es lógico, presentan una gran cantidad de agua. Por ello necesitamos reducir dicha cantidad de agua para ser capaces de disminuir así su volumen.

Existen dos tipos de espesadores, por gravedad y por flotación:

- Espesador por gravedad: Se utiliza para los fangos provenientes del decantador primario. Consiste en un tanque parecido al decantador primario, pero de tamaño menor que, con un peine, abre canales entre el fango separando así el agua del lodo. Se necesita que la pendiente que tenga el fondo del decantador sea al menos del 10% haciendo discurrir el agua por ella y llevándola de nuevo a la cabecera de la estación depuradora para ser tratada. El tiempo de retención es mayor a las 24 horas por lo que es un proceso lento.
- Espesador por flotación: Se utiliza para fangos provenientes del decantador secundario. Estos fangos son más ligeros puesto que la gran mayoría de los sólidos en suspensión ya han sido eliminados tanto en el pretratamiento como en el tratamiento primario. El proceso consiste en introducir agua presurizada en el tanque para provocar la aparición de burbujas y que éstas transporten los flóculos hasta la superficie que serán posteriormente retirados.

4.2.2 Estabilización de los fangos

Esta parte del tratamiento de la línea de fangos nos permitirá otorgarles a los fangos la seguridad necesaria para su posterior manipulación y transporte. Los objetivos principales que se buscan con este proceso son la disminución de la materia volátil, la mineralización de la materia orgánica, la neutralización de bacterias y virus y la concentración de lodos.

Se pueden dar tres tipos de estabilización que dependerá del proceso y el contaminante que se haya realizado en la línea de aguas.

- **Estabilización aerobia:** Proceso biológico en el cual se descompone la materia orgánica en presencia de oxígeno. El digester trabaja en la fase de mortandad de los microorganismos provocando así la aparición del fango digerido, dióxido de carbono, agua y calor.

Este proceso puede llevarse a cabo en un sistema intermitente o en un sistema en continuo en el que el digester y el espesador están juntos.

Utilizar la digestión aerobia tiene las ventajas de que no da olores, reduce la DBO y el calor que se produce puede utilizarse para autocalentar el digester y acelerar el proceso.

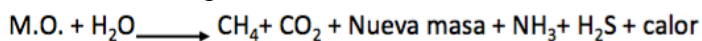
Sin embargo, presenta algunos inconvenientes como son una deshidratación posterior más compleja, mayores costes de mantenimiento y límite de población en 20.000 habitantes.

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

Tabla 3 Porcentaje de M volátil eliminada en función del tr. Fuente: [CLED18].

- **Estabilización anaerobia:** Este proceso se utiliza cuando hay una gran concentración de DBO. Se realiza en ausencia de oxígeno y consta de las siguientes fases:

- Descomposición
- Hidrólisis
- Acidogénesis y acetogénesis
- Metanogénesis



Como ventajas de este proceso hay que destacar que mejora la capacidad de deshidratación posterior, se puede reutilizar el biogás obtenido, presenta también ausencia de olores y además se eliminan muchos patógenos.

Como inconvenientes presenta una instalación más cara, equilibrio entre bacterias acidogénicas y metanogénicas (muy sensibles a temperatura, pH y metales) y un tiempo de retención mucho mayor que en la aerobia, en torno a los 20 días.

- **Estabilización química:** Se utiliza para eliminar microorganismos que no son biodegradables. Presenta un bajo coste de inversión y un buen rendimiento en cuanto a la eliminación de patógenos. Podemos encontrar tres tipos diferentes: Oxidación por cloro, Estabilización por ácidos o por cal.

4.2.3 Deshidratación de los fangos

Por último, la última fase de la que consta la línea de fangos es la deshidratación. Mediante este proceso se busca eliminar toda el agua que siga presente en los fangos para facilitar su posterior transporte y manipulación. Esta deshidratación puede realizarse de manera mecánica, térmica o natural.

- **Mecánica:** al utilizar la energía favorece al proceso. Existen varios métodos para realizar la deshidratación mecánica:
 - **Filtración al vacío:** Consiste en la utilización de un tambor cilíndrico con fango en el exterior y succión en el interior. Requiere un gran consumo energético.
 - **Filtros de banda:** Consiste en dos telas entre las que se pone el lodo y al pasar por unos rodillos es prensado. No se obtienen buenos resultados con lodos grasientos.
 - **Filtros de prensa:** Funciona como un acordeón que separa las lacas filtrantes dejando pasar el lodo, después las une prensándolo y formando la torta de lodos. Es muy costoso tanto de instalación como de mantenimiento.
 - **Tornillos compactadores:** El fango asciende por acción del tornillo y el agua se va filtrando por el contorno. A mayor longitud de tornillo mayor grado de sequedad.
 - **Centrifugación:** El agua atraviesa las paredes del centrifugador y el fango se retira posteriormente con un tornillo giratorio. Es un proceso similar al tornillo compactador, pero a mayor velocidad

- **Térmica:** Se requieren elevadas temperaturas, entre 350 y 600 grados. El producto final es seco y sin patógenos.

- **Natural:** Se puede realizar tanto en eras de secado como en estanques de lodos. Generalmente, por tema de tiempos de retención, se utilizan eras de secado. Son tanques rellenos de arena que hacen de filtro separador entre el lodo y el agua.

4.3 Descripción de la solución adoptada

En este apartado se detallarán las etapas elegidas para la estación depuradora aplicada a la industria textil. Estas etapas y procesos se elegirán en función de las características que presentan las aguas residuales provenientes de una fábrica textil. Se desarrollarán tanto para la línea de aguas como para la línea de fangos. Únicamente se decidirán las etapas y se justificará el porqué de la elección, posteriormente en el apartado de cálculos se darán las especificaciones técnicas de cada una de las etapas y procesos elegidos.

4.3.1 Línea de aguas

4.3.1.1 Pretratamiento

En esta primera fase de la EDAR serán 4 los procesos necesarios que se incluirán según las características del afluente de agua residual, desbaste, tamizado, desengrasado y por último una balsa de homogeneización.

1. Desbaste:

Esta será la primera etapa de la estación depuradora. En ella, se busca separar los sólidos de mayor tamaño que se encuentren en el agua residual para facilitar así su posterior depuración y evitar posibles daños y obstrucciones en los equipos de los procesos posteriores.

Estos sólidos provienen del proceso industrial de la fabricación textil y pueden incluir trozos de tela de tamaño medio, botones, etiquetas o cualquier otro resto derivado de la fabricación de textiles.

Para realizar esta separación, se situarán unas rejillas de acero en los canales de alimentación orientadas en disposición vertical o diagonal que permitan el paso del agua residual entre ellas y a su vez retengan cualquier sólido en suspensión que tenga un tamaño mayor de 1,5 milímetros. Para lograr este objetivo, la rejilla elegida será una rejilla de finos que permite atrapar y separar sólidos de un tamaño entre 1,5 y 6 milímetros.

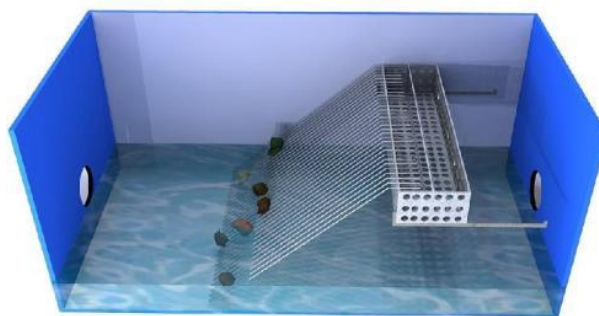


Figura 18 Reja de finos. Fuente [DEAGUAX]

2. Tamizado:

Tras la realización de la operación de desbaste y haber conseguido eliminar los sólidos de mayor tamaño, se hace necesaria un proceso de tamizado en el que se terminarán de eliminar los sólidos en suspensión que no haya sido posible retener mediante el desbaste pero que sin embargo tienen un tamaño considerable y pueden también obstruir y dañar la maquinaria posterior. En el caso de la industria textil seguirá habiendo rastro de pequeños hilos y trozos de tela que se hace imposible retener con la operación de desbaste.

Para el diseño de esta EDAR se utilizará un tamiz rotativo de acero inoxidable puesto que presenta numerosas ventajas con respecto al tamiz estático. Algunas de esas ventajas son la capacidad de autolimpiado, el tiempo elevado de funcionamiento y el mejor resultado a la hora de realizar el filtrado. El funcionamiento de estos tamices consiste en la entrada del agua residual a filtrar a un tambor cilíndrico que está en rotación constante a baja velocidad y permitiendo así el filtrado del agua residual y su posterior salida por las paredes del tambor hacia el siguiente proceso de la EDAR. Los restos sólidos retenidos son posteriormente recogidos por una serie de rasquetas y almacenados.



Figura 19 Esquema del funcionamiento de un tamiz rotativo. Fuente: [GEDARX]

3. Desengrasado:

Por las características particulares del agua residual procedente de la industria textil, se hace necesario incluir la operación de desengrasado dentro de la etapa del pretratamiento. Uno de los procesos realizados en esta industria es la tintura de tejidos y el desengrasado de la lana, utilizando sustancias como tintes, aceites o grasas que necesitan ser eliminados del agua residual para lograr su depuración. El objetivo de realizar esta operación antes de comenzar los tratamientos de decantación o biológicos es evitar la interferencia de las

grasas y aceites en el correcto funcionamiento de estos tratamientos.

En este caso concreto utilizaremos un desengrasador de tipo API por las ventajas que ofrece respecto a otras opciones.

Gracias a la operación de desengrasado conseguiremos eliminar prácticamente la totalidad de las grasas y aceites presentes en el agua residual y a su vez reducir la DBO existente.

4. Balsa de homogeneización:

Por último, en esta etapa de pretratamiento, incluiremos una balsa de homogeneización puesto que, dentro de la industria textil, como se habló en anteriores apartados, existen 5 procesos básicos y cada uno de ellos presenta caudales y características en cuanto a los parámetros contaminantes diferentes. Es por ello por lo que necesitamos la balsa de homogeneización para estabilizar tanto el caudal como los parámetros contaminantes que van a entrar en el resto de los procesos de la estación depuradora y facilitar así su diseño.

Consiguiendo regular el caudal y homogeneizar los parámetros contaminantes toda la planta trabajará bajo las mismas condiciones con el ahorro en diseño que eso supone al no tener que disponer de 5 estaciones depuradoras diferentes para cada uno de los procesos realizados en la industria textil.

Para regular el caudal y homogeneizar los parámetros contaminantes utilizaremos la misma balsa.

4.3.1.2 Tratamiento primario

Una vez realizado el pretratamiento y regulado el caudal para tener las mismas condiciones en el resto de la estación depuradora, el agua residual pasa al tratamiento primario. En esta etapa el principal objetivo es terminar de eliminar aquellos restos sólidos que no ha sido posible eliminar en el pretratamiento debido a su pequeño tamaño y a su vez reducir en parte la DBO. Un resultado que obtendremos de esta etapa serán los fangos primarios que posteriormente se explicará su proceso en el apartado de línea de fangos.

Como se explicó en el anterior apartado, existen varias formas de diseñar este decantador primario, la opción elegida para esta estación depuradora es la de un decantador primario circular y mecanizado que contará con una serie de rasquetas encargadas de recoger y trasladar los lodos del fondo del tanque.

El agua residual se dejará reposar en dicho tanque para que los sólidos en suspensión que aún están presentes en ella decanten. Además, en la superficie del tanque decantador se formarán grasas que no haya sido posible eliminar mediante el proceso de desengrasado que serán retiradas mediante rastrillos que realizan un barrido continuo. Posteriormente, en el apartado de cálculos, se darán los detalles técnicos de dicho decantador tales como sus dimensiones y tiempo de retención del agua residual en él.

Gracias a esta etapa conseguiremos reducir los sólidos en suspensión aproximadamente

en un 60% y a su vez reducir también la DBO en un 30%. También, aunque no es la etapa diseñada para esto, contaminantes como el fósforo o el nitrógeno se ven reducidos en un 10% aproximadamente.

4.3.1.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario es la etapa más importante de la EDAR, será en la que se diferencien unas de otras y la más delicada de diseñar en cuanto a que tiene que reunir las características necesarias para reducir los parámetros contaminantes en la cantidad necesaria para que el efluente sea seguro. El principal contaminante que se reduce en esta etapa es la DBO biodegradando la materia orgánica. También se consigue reducir en menor medida el nitrógeno y el fósforo.

El proceso que realizar en esta etapa va a depender de la biodegradabilidad, también entendido como el cociente entre la DBO y la DQO.

En el caso de la EDAR a diseñar para la industria textil obtenemos un cociente de 0,767, es por eso por lo que se opta por un tratamiento biológico aerobio de fangos activos basado en la nitrificación-desnitrificación debido al elevado contenido de nitrógeno del agua residual.

La utilización de lodos activos en esta etapa se justifica con la necesidad de asimilar la materia orgánica disuelta en el agua residual por las bacterias presentes en dichos lodos. Por esta razón pondremos en contacto estas bacterias con la materia orgánica suministrando el oxígeno necesario para que suceda este proceso.

Esta etapa contará con el reactor biológico donde se producirá este proceso antes explicado y posteriormente un decantador secundario para terminar de decantar los lodos producidos en el reactor. Los fangos producidos en este proceso serán de mayor tamaño que los del decantador primario puesto que los lodos decantan de forma más lenta. En el decantador también se espesarán los fangos producidos y se clarificará el agua residual.

Los principales factores a tener en cuenta en este proceso son:

- La temperatura a la que se desarrolla puesto que afecta a la velocidad y a la transferencia de oxígeno.
- El oxígeno disuelto, ya que aumenta la velocidad de reacción al aumentar su concentración.
- Es necesario que el balance de nutrientes sea adecuado para asegurar así un fango que sedimente bien. La relación habitual es la siguiente:

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

- La presencia de componentes tóxicos que pueden destruir sistemas de lodos activos, aunque estén funcionando correctamente.

Además de este proceso, se hace necesario incluir la nitrificación-desnitrificación para reducir el nivel de nitrógeno presente en el agua residual. Para realizar este proceso se dispone de cuatro balsas en las que sucede lo siguiente:

1. 1ª balsa denominada de desnitrificación previa, es de tipo anóxico y en ella se mezclan el agua residual, el fango recirculado y el licor mixto recirculado de la salida de la balsa de nitrificación. En la balsa de desnitrificación previa se produce la mayor parte de la desnitrificación.
2. 2ª balsa denominada de nitrificación (se utilizará el propio reactor biológico como balsa de nitrificación), es de tipo aerobio y en ella se produce la oxidación de la materia carbonosa y del amoníaco a nitratos. El licor mixto de esta balsa es recirculado a la balsa anóxica inicial para su desnitrificación.
3. 3ª balsa denominada de desnitrificación posterior, funciona en condiciones anóxicas y en ella se reducen a nitrógeno los nitratos que han escapado de la segunda balsa por no ser la recirculación infinita. En esta las bacterias utilizan su carbono endógeno como fuente de carbono a oxidar; por esta razón su capacidad de desnitrificación es muy limitada.
4. 4ª balsa denominada de reaireación, es un pequeño reactor de tipo aerobio con poco tiempo de residencia que mejora la sedimentabilidad del fango.

Analizado esto, se puede concluir que tras el tratamiento biológico los valores alcanzados de DBO y N entran dentro de los valores admisibles. La DBO se reduce en un 93% al encontrarse en la zona de media carga y el nitrógeno se reduce en un 90%.

Sin embargo, siguen apareciendo altos niveles de fósforo que hacen necesario que el tratamiento avanzado los elimine. Para su eliminación se opta por una precipitación química con adición de cloruro férrico a la salida del tratamiento secundario. Gracias a ello se reduce el fósforo aproximadamente en un 95%.

4.3.1.4 Tratamiento avanzado

Este tratamiento se hace necesario tanto si no se ha conseguido llegar a los márgenes mínimos que marca la ley en alguno de los parámetros contaminantes del agua residual, como si el vertido se realiza a una zona sensible que exige mejores cualidades del efluente.

En el caso de esta estación depuradora, se cumple con los márgenes de todos los

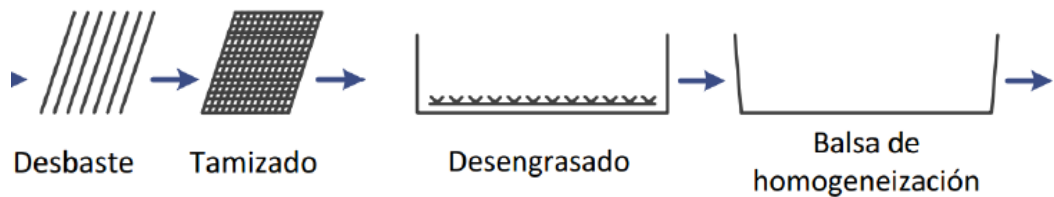
contaminantes salvo por la presencia de un exceso de fósforo. Es por ello que se deberá realizar un tratamiento químico que permita conseguir la reducción de este elemento y así poder cumplir con la legislación vigente.

Para lograr esta labor se ha decidido en realizar un tratamiento químico en lugar de uno biológico que consiste en provocar la precipitación del fósforo a través de la adición de sales como el cloruro férrico (FeCl_3). Con este tratamiento químico logramos eliminar en torno al 85% del fósforo presente en el efluente obteniendo un resultado final de fósforo en el agua depurada de 2 mg/l.

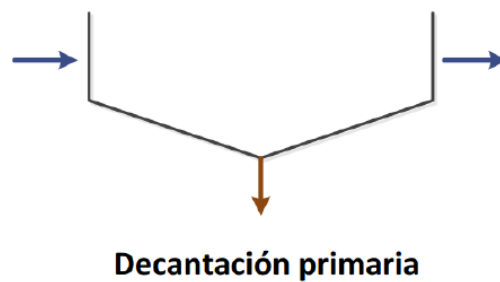
Una vez realizado este último tratamiento, el agua residual habrá sido totalmente depurada, cumple con todos los límites impuestos y está lista para ser reutilizada o vertida al río sin ningún riesgo contaminante.

4.3.1.5 Esquema línea de aguas

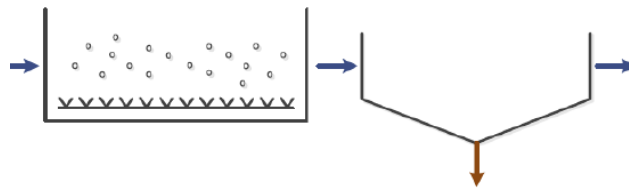
Pretratamiento



Tratamiento primario

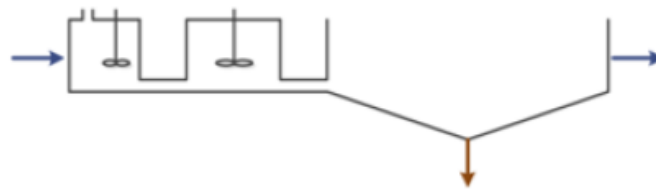


Tratamiento secundario



Cultivo en Suspensión + decantación
(Puede incluirse Nitrificación - Desnitrificación)

Tratamiento avanzado



Cloruro Férrico (FeCl_3)

4.3.2 Línea de fangos

Por otro lado, en adición a la línea de aguas se debe también diseñar la línea de fangos para tratar los lodos y fangos provenientes tanto del tratamiento primario como del secundario. En función de los tratamientos realizados en la línea de aguas obtendremos un diseño de la línea de fangos u otro.

La línea de fangos se hace necesario para recoger estos residuos y tratarlos de forma que se puedan reutilizar, eliminarlos o simplemente transportarlos de forma segura y con los contaminantes eliminados.

Los tres tratamientos que tiene la línea de fangos por lo general son espesado, estabilización y deshidratación. A continuación, se explicará cómo diseñaremos estos tres tratamientos para nuestra estación depuradora.

4.3.2.1 Espesado

El objetivo principal de la etapa de espesado es eliminar la mayor parte del agua que presentan los fangos para no comprometer la siguiente fase de estabilización.

Como hemos dicho anteriormente, los fangos provienen tanto del tratamiento primario como del tratamiento secundario de la línea de aguas y, al realizarse procesos diferentes en cada uno de ellos, los fangos no serán iguales. Por ello, dependiendo del tipo de fangos, el espesado se realizará de manera diferente. Existen dos métodos de realización del espesado, por gravedad y por flotación.

Los fangos provenientes del tratamiento primario son mucho más densos debido a que todavía no se ha reducido la carga orgánica de los mismos. Es por ello que el método de espesado más adecuado es el de espesado por flotación.

Por su parte, los fangos que provienen del tratamiento secundario sí que son mucho más ligeros por lo que aparece la posibilidad de que se pueda utilizar el método de espesado por flotación. Este método consiste en la utilización de agua presurizada que se introduce en el tanque provocando burbujas que al ascender a la superficie arrastrarán consigo los flóculos. Una vez en la superficie, se retirará utilizando rasquetas.

Para diseñar el espesado debemos tener en cuenta los siguientes tres factores:

- Concentraciones a la salida
- Carga de los solidos
- Tiempo de retención

4.3.2.2 Estabilización

Una vez realizado el proceso de espesado, tanto los fangos provenientes del tratamiento primario como los del secundario son transportados al proceso de estabilización. Es el proceso más importante porque es el encargado de eliminar los contaminantes, virus y bacterias que provocarían la putrefacción de los fangos.

En el caso del diseño de esta estación depuradora, se ha decidido optar por una

estabilización aerobia ya que el agua residual tratada presenta un alto carácter orgánico. Otra de las ventajas de la estabilización aerobia respecto de la anaerobia es la facilidad a la hora de realizar el proceso.

En este tipo de estabilización el digestor trabaja en la fase de mortandad de los microorganismos, obteniéndose como resultados del proceso fangos digeridos, agua y dióxido de carbono.

Otra de las ventajas que presenta este proceso es la ausencia de olores y la bajada de la DBO del sobredenante. Por otro lado, hay que tener en cuenta que la deshidratación posteriormente será más compleja.

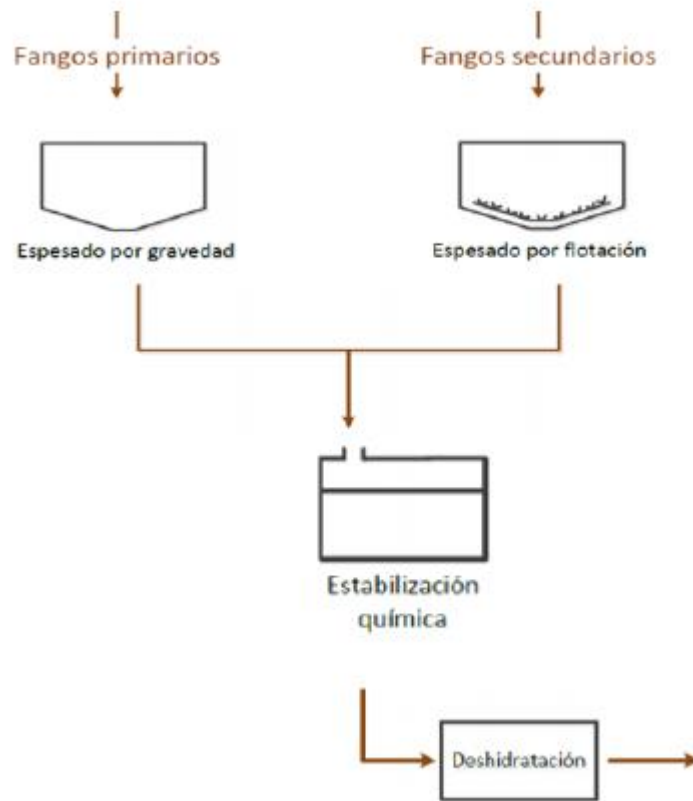
4.3.2.3 Deshidratación

Para finalizar con el proceso de la línea de fangos, se procederá a realizar la etapa de la deshidratación, eliminando toda el agua que no se ha retirado en las dos etapas anteriores.

Por rapidez y eficacia, se elegirá la deshidratación mecánica a partir de centrifugación en la que el agua atraviesa las paredes del centrifugador y el fango se retira posteriormente con un tornillo giratorio. Es un proceso similar al tornillo compactador, pero a mayor velocidad.

Posteriormente las tres etapas de la línea de fangos se diseñarán técnicamente en el apartado de cálculos.

4.3.2.4 Esquema línea de fangos



5. Bibliografía

- [CLED18] María del Mar Cledera Castro. Apuntes de Ingeniería y desarrollo sostenible, Tecnología Medioambiental, Contaminación agua. Universidad Pontificia de Comillas. I.C.A.I. Madrid 2018.
- [MACH17] Jaime Machés Rueda. “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.
- [PERE12] Begoña Perea Mora. “Estudio de la tratabilidad de agua residual de industria textil a escala laboratorio”. Proyecto fin de grado. Universidad de Cantabria. Septiembre, 2012.
- [GARC16] Gonzalo García-Monsalve Olábarri. “Diseño de una EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) para la industria vitivinícola”. Proyecto de fin de grado, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Junio 2016.
- [BLAN15] Carmen Blanes Morell. “Diseño de una EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) para la industria de los lácteos”. Proyecto de fin de grado, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Mayo 2015.
- [MAGR91] Directiva 91/271/CEE, sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA).
- [MMAM04] Guía de Mejoras Técnicas Disponibles en España del sector textil. Ministerio de Medio Ambiente. 2004.

CAPÍTULO II **CÁLCULOS**

1. Introducción

Una vez realizado el análisis teórico de la EDAR a diseñar para la industria textil y elegidas las etapas que se van a incluir, en este capítulo se procederá a la descripción de los cálculos.

El principal objetivo que se busca conseguir con esta estación depuradora es conseguir alcanzar los valores requeridos por ley en el afluente. Es por ello por lo que se deberá dimensionar cada una de las diferentes etapas para lograr este objetivo.

El programa utilizado para la realización de los cálculos es Excel, en el cual se ajustarán los datos de partida para la entrada de cada una de las etapas de la EDAR y obtendremos las características de dimensionamiento de estas. Los resultados se obtienen mediante el método de cálculo del libro *“Proyectos de plantas de tratamiento de aguas”*, de Ricardo Isla de Juana [ISLA05].

Diseñaremos todas las etapas tanto de la línea de aguas como de la línea de fangos incluyendo el pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento avanzado y las etapas de espesado, estabilización y deshidratación.

2. Línea de aguas

Como se ha explicado anteriormente, la EDAR se dividirá en dos líneas principales de tratamiento que habrá que dimensionar. En esta primera parte de los cálculos se dimensionarán las etapas referentes a la línea de aguas: Pretratamiento, Tratamiento Primario, Tratamiento Secundario y Tratamiento Avanzado.

Los datos iniciales denominados parámetros de partida en las tablas que siguen a continuación han sido obtenidos de las características particulares de la industria textil y del método explicado en el libro “*Proyectos de plantas de tratamiento de aguas*”, de Ricardo Isla de Juana [ISLA05].

Al final de este capítulo se muestra una tabla con la disminución de cada parámetro contaminante en cada etapa y los resultados finales del agua depurada.

2.1 Pretratamiento

A continuación, se muestran las tablas con los datos de partida de cada proceso del pretratamiento y los resultados obtenidos posteriormente.

2.1.1 Desbaste

REJAS DE FINOS: PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	112,00
Caudal máximo(m ³ /h)	420,00
Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja sucia (m/s)	0,90
Número de líneas de desbaste	1,00
Espesor de los barrotes (mm)	6,00
Distancia entre barrotes (Luz) (mm)	10,00
Resguardo del canal (m)	0,30
Ángulo de inclinación de los barrotes (grados)	60,00
Máxima colmatación entre dos limpiezas (%)	30,00
Relación profundidad útil/anchura del canal	1,00

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de diseño por línea (m ³ /h)	112,000
Caudal máximo por línea (m ³ /h)	420,000
Superficie útil del canal (m ²)	0,068
Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia (m/s)	0,630
Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja limpia (m/s)	2,363
Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja colmatada (m/s)	3,375
Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño (m/s)	0,455
Velocidad de aproximación por el canal a caudal mínimo (m/s)	0,455
Anchura del canal (m)	0,262
Profundidad útil del canal (m)	0,262
Profundidad total del canal (m)	0,562

Debido a la relación impuesta entre la anchura y la altura del canal de uno a uno, obtenemos el mismo valor de 0,262 m en las dimensiones del canal en el que se realizará el desbaste. La superficie útil que se obtiene en el canal es de 0,068 m² y una profundidad total del canal de 0,562 m.

2.1.2 Tamizado

TAMIZ ROTATIVO: PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	112,000
Número de líneas	1,000
Sólidos en suspensión en el agua a tratar (mg/l)	134,000
Eliminación de sólidos en suspensión (%)	25,000
Distancia entre barras (Luz del tamiz) (mm)	1,500
Diámetro del tambor (m)	0,700

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de diseño por línea (m ³ /h)	112,000
Carga hidráulica a caudal máximo (m ³ /m ² de tambor.h)	168,402
Longitud del tambor filtrante (m)	0,302
Superficie del tambor filtrante (m ²)	0,665
Diámetro del tambor filtrante (m)	0,700
Potencia mínima del motor del tamiz (Kw)	0,550
Superficie en planta aproximada ocupada por un tamiz (m ²)	1,101
Peso aproximado del tamiz en vacío (kg)	224,340
Peso aproximado del tamiz funcionando (kg)	336,328
Caudal de agua de lavado total a 4 kg/cm ² (m ³ /h)	2,240
Potencia mínima de la bomba de lavado (Kw)	0,488
Producción de fangos en tamices (kg/d de sólidos)	90,048
Carga hidráulica a caudal de diseño (m ³ /m ² de tambor.h)	168,402

Como se ha comentado en el apartado de la solución adoptada para la EDAR de la industria textil, el tamiz utilizado es un tamiz rotativo de acero inoxidable por su capacidad de autolimpiado, el tiempo elevado de funcionamiento y el mejor resultado a la hora de realizar el filtrado. En el dimensionamiento del tambor, se obtiene una longitud de 0,302 m y un diámetro de 0,7 m. Así, obtenemos una superficie útil del tambor filtrante de 0,665 m². Es relevante que, en vacío, obtenemos un peso del tamiz de 224,34 kg mientras que en funcionamiento prácticamente se dobla su peso alcanzando los 436,328 kg.

Realizando esta etapa del pretratamiento se reduce la DBO en un 5% y los SS en un 15%.

2.1.3 Desengrasado

Para realizar el desengrasado se han utilizado separadores de aceite tipo API.

SEPARADORES DE ACEITE: PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	112,000
Número de líneas	1,000
Densidad del agua a la temperatura de diseño (kg/l)	0,992
Densidad del aceite a la temperatura de diseño (kg/l)	0,974
Viscosidad del agua a la temperatura de diseño (cp)	0,650
Relación profundidad anchura	0,500
Diámetro mínimo de las partículas a separar (cm)	0,015

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de diseño unitario (m ³ /h)	112,000
Velocidad ascensional del aceite (m/h)	1,221
Velocidad transversal del agua (m/h)	18,317
Factor de turbulencia y cortocircuito	1,627
Anchura del API (m)	3,497
Profundidad útil del API (m)	1,749
Longitud del API sin entradas y salidas (m)	42,670

Por las características que presenta la industria textil, utilizando gran cantidad de tintes y aceites en las telas, se hace necesario incluir la etapa de desengrasado en el pretratamiento.

En esta ocasión se ha optado por la utilización de separadores de aceite tipo API.

Como se puede observar en la tabla de resultados, se obtiene una anchura de 3,497 m y una profundidad de 1,749 m. La velocidad de paso transversal del agua a través del separador de aceite es de 18,317 m/h, valor muy superior a la velocidad ascensional del

aceite entre las placas que es de 1,221 m/h. Esto es un resultado lógico debido a la dirección de movimiento del fluido y a la diferencia en el coeficiente de viscosidad de ambos fluidos.

Gracias a esta etapa del pretratamiento se consigue eliminar prácticamente la totalidad de los aceites y grasas presentes en el agua residual. A su vez, conseguimos reducir en un 5% la DBO presente en el agua residual.

2.1.4 Balsa de homogeneización

BALSA DE HOMOGENEIZACIÓN: PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de 0 a 1 horas (m3/h)	0
Caudal de 1 a 2 horas (m3/h)	0
Caudal de 2 a 3 horas (m3/h)	0
Caudal de 3 a 4 horas (m3/h)	0
Caudal de 4 a 5 horas (m3/h)	30
Caudal de 5 a 6 horas (m3/h)	67
Caudal de 6 a 7 horas (m3/h)	90
Caudal de 7 a 8 horas (m3/h)	93
Caudal de 8 a 9 horas (m3/h)	116
Caudal de 9 a 10 horas (m3/h)	151
Caudal de 10 a 11 horas (m3/h)	105
Caudal de 11 a 12 horas (m3/h)	101
Caudal de 12 a 13 horas (m3/h)	120
Caudal de 13 a 14 horas (m3/h)	115
Caudal de 14 a 15 horas (m3/h)	164
Caudal de 15 a 16 horas (m3/h)	97
Caudal de 16 a 17 horas (m3/h)	189
Caudal de 17 a 18 horas (m3/h)	179
Caudal de 18 a 19 horas (m3/h)	180
Caudal de 19 a 20 horas (m3/h)	177
Caudal de 20 a 21 horas (m3/h)	162
Caudal de 21 a 22 horas (m3/h)	153
Caudal de 22 a 23 horas (m3/h)	110
Caudal de 23 a 24 horas (m3/h)	99

Volumen mínimo de fluido en balsa (m3)	100
Número de unidades	1
Profundidad útil (m)	2,5
Relación longitud/anchura	2
Potencia específica de mezcla (vatios/m3)	6
Aporte específico de aire para evitar septicidad (m3aire/h.m3balsa)	0,75

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal efluente coincidente con caudal medio (m3/h)	104,083
Volumen acumulado cuando $Q_{entrada} > Q_{medio}$ (m3)	-104,083
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-208,167
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-312,250
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-416,333
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-490,417
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-527,500
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-541,583
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-552,667
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-540,750
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-493,833
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-492,917
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-496,000
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-480,083
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-469,167
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-409,250
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-416,333
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-331,417

Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-256,500
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-180,583
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-107,667
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-49,750
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	-0,833
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	5,083
Volumen acumulado en la hora siguiente (m3)	0,000
Volumen de balsa/s de regulación y homogeneización (m3)	105,083
Potencia de mezcla de la/s balsa/s (CV)	0,857
Caudal total de aire necesario para evitar septicidad (m3/h)	78,813
Volumen unitario útil (m3)	105,083
Longitud de cada balsa (m)	9,169
Anchura de cada balsa (m)	4,584

Con los valores calculados aproximadamente del caudal aportado desde la fábrica a la EDAR cada hora, se obtiene que el volumen unitario útil de la balsa de homogeneización es de 105,083 m³ y sus dimensiones son 9,169 m de largo y 4,584 m de ancho.

Para el cálculo del caudal aportado cada hora se han extrapolado datos del consumo mensual de agua de una fábrica textil en México.

2.2 Tratamiento primario

A continuación, se muestran las tablas con los datos de partida de la etapa de tratamiento primario. En esta etapa únicamente se procede al diseño del decantador primario.

DECANTADOR PRIMARIO: PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	104,0833
Velocidad ascensional a caudal de diseño (m ³ /m ² *h)	1,3
Tiempo medio de residencia a caudal de diseño (h)	2,5
Número de líneas	2
Distancia desde el vertedero a la pared interna de la cuba (m)	0,5

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de diseño por línea (m ³ /h)	52,042
Superficie del decantador (m ²)	40,032
Diámetro interno (m)	11,214
Volumen cilíndrico útil (m ³)	130,104
Profundidad cilíndrica útil (m)	3,250
Longitud de vertedero por decantador (m)	32,090

Los parámetros principales en el dimensionamiento del decantador primario son el diámetro interno, para el que se obtiene un valor de 15,86 m, la profundidad útil del decantador, que en este caso es de 3,25 m. Así, se obtienen un volumen cilíndrico de 260,208 m³ y una superficie de decantación de 80,064 m². El tiempo que deberá permanecer el agua residual para su decantación, será aproximadamente de media hora.

Gracias a esta etapa, conseguimos reducir en un 50% la DBO, en un 30% la DQO, en un 60% la materia sólida en suspensión y un 15% contaminantes como el nitrógeno y el fósforo presentes en el agua residual.

2.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario es el que caracteriza la EDAR. Se elige en función del cociente entre la DBO y la DQO a la salida del tratamiento primario. En el caso de la industria textil, este cociente es elevado, por lo que se hace necesario que el tratamiento a seguir sea un tratamiento biológico. La decisión de incorporar una etapa de nitrificación–desnitrificación se debe al elevado contenido en nitrógeno del agua residual.

2.3.1 Reactor biológico

REACTOR BIOLÓGICO: PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	104,083
Número de líneas	1,000
Concentración de SS en la salida del biológico (mg/l)	4,100
Concentración de DBO en la salida del biológico (mg/l)	45,895
Concentración de SS en la entrada del biológico (mg/l)	41,004
Concentración de DBO en la entrada del biológico (mg/l)	655,678
Sólidos en suspensión en balsa (MLSS) (mg/l)	4000,000
Relación alimento/microorganismos ((kg DBO alimentados/d)/(kg MLSS en balsas)) Valor recomendado < 6,787-0,0718*(Rendimiento eliminación de DBO en %)	0,400
Profundidad útil (m)	4,000
Relación longitud/anchura de la balsa	3,000
Concentración de SS en la recirculación (mg/l)	8000,000

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Rendimiento esperado de SS (%)	90,000
Rendimiento esperado de DBO (%)	93,000
kilos de DBO alimentados por día al biológico	1637,882
Kilos de MLSS en balsa de lodos activos	4094,706
Volumen total útil de balsa/s de nitrificación(m3)	1023,677
Volumen unitario útil por balsa (m3)	1023,677
Superficie unitaria de cada balsa (m2)	255,919
Anchura de cada balsa (m)	9,236
Longitud de cada balsa (m)	27,708
Tiempo de retención hidráulico a caudal de diseño (h)	9,835
Carga volumétrica a caudal de diseño (kg de DBO/m3.d)	1,600
Caudal teórico de recirculación (m3/h)	104,083
Caudal de recirculación recomendado (m3/h)	104,083
Producción de fangos en exceso (kg/d de SS a purgar)	1071,207
Caudal de fango en exceso a purgar de la recirculación (m3/h)	5,579
Caudal de fango en exceso a purgar del licor mixto (m3/h)	11,158

Con los datos de partida aportados tanto de caudal como de concentración de los contaminantes, se obtiene un reactor biológico con 9,236 m de ancho, 27,708 m de largo, lo que implica que la superficie de cada balsa es de 255,919 m² y presenta un volumen unitario de 1023,677 m³.

Durante esta parte del tratamiento se producen fangos en exceso, en concreto 1071,207 kg/d que deberán ser recirculados a la línea de fangos para su posterior tratamiento. Estos kilogramos de sólidos en suspensión han de ser purgados para poder mantener estable la concentración de MLSS (sólidos en suspensión del licor mixto). En la balsa de nitrificación se obtiene una cantidad de 4094,706 kg de MLSS.

Otro de los datos que aparecen reflejados en los resultados son tanto el caudal de fango a purgar de la recirculación como del licor mixto, 5,579 y 11,158 m³/h respectivamente. Ambos sirven para poder mantener estable la concentración de MLSS en la balsa.

Los rendimientos que obtenemos de eliminación de contaminantes son del 90% para los SS (sólidos en suspensión) y del 93% para la DBO.

Para poder realizar el proceso de nitrificación-desnitrificación deberemos trabajar en la parte de baja carga del reactor como se puede observar en el siguiente gráfico.

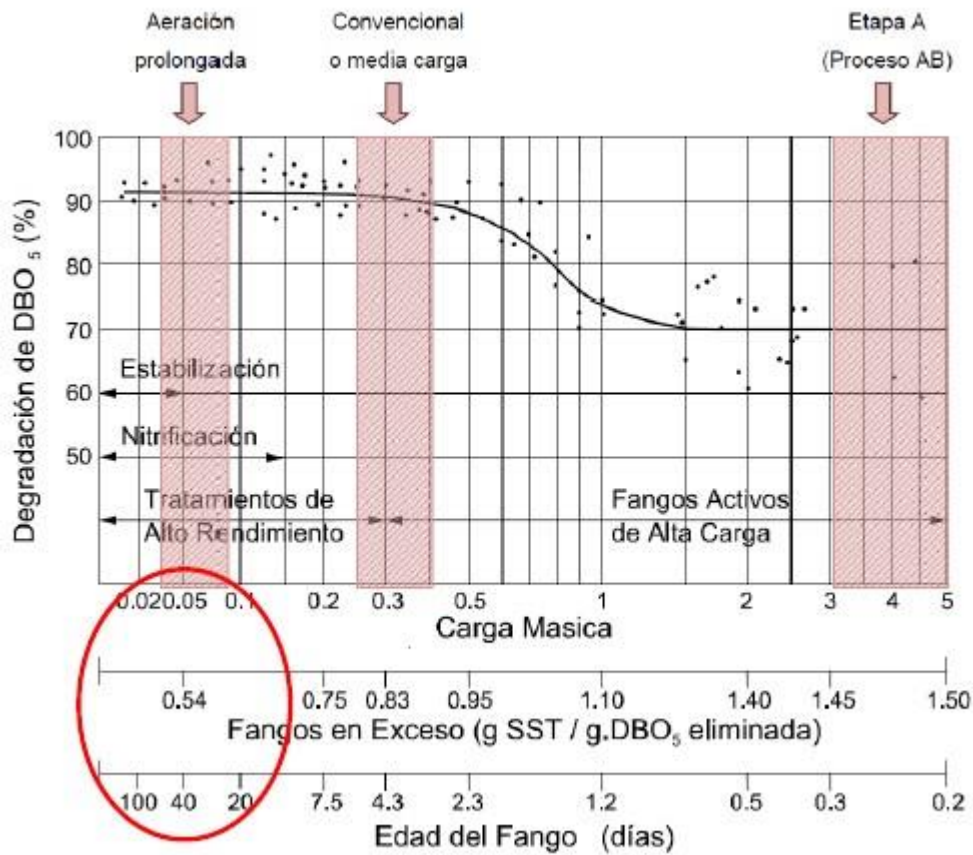


Figura 20 Curva Fango vs Degradación DBO. Fuente: [CLED18]

2.3.2 Necesidades de oxígeno para la nitrificación

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

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Oxígeno teórico requerido para síntesis celular (kg/h)	3,302
Oxígeno teórico requerido para respiración celular (kg/h)	4,575
Oxígeno teórico requerido para nitrificación(kg/h)	4,371
Oxígeno teórico medio requerido (kg/d)	293,941
Oxígeno teórico requerido en condiciones punta (kg/h)	18,386
Oxígeno real requerido en condiciones medias de operación (kg/d) (turbinas)	439,154
Oxígeno real requerido en condiciones punta de operación (kg/h) (turbinas)	27,469
Oxígeno real requerido en condiciones medias de operación (kg/d) (difusores)	627,362
Oxígeno real requerido en condiciones punta de operación (kg/h) (difusores)	39,241

2.3.3 Equipos de aireación para la nitrificación

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

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Potencia total requerida de las turbinas (CV)	21,826
Potencia unitaria mínima requerida por turbina (CV)	10,913
Potencia mínima de agitación (W/m ³) (turbinas)	18,081
Potencia de agitación instalada (W/m ³) (turbinas)	15,692
Caudal punta de aire con difusores (Nm ³ /h)	1360,763
Potencia total requerida por las soplantes (CV)	49,765

2.3.4 Balsa anóxica previa

BALSA ANÓXICA PREVIA: PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	104,083
Número de líneas	1,000
Concentración de NO ₃ -N en salida de balsa anóxica previa (mg/l)	2,700
Concentración de SS en entrada al biológico con el agua a tratar (mg/l)	45,000
Porcentaje de recirculación del licor mixto (%)	400,000
Profundidad útil (m)	3,000
Relación longitud/anchura de la balsa	3,000
Coefficiente de producción máxima de bacterias (kg MLVSS/kg NO ₃ -N)	0,800
Coefficiente de descomposición celular (kg/kg.d)	0,040
Concentración de NO ₃ -N en entrada al biológico con el agua a tratar (mg/l)	34,000

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Kilos de NO ₃ -N alimentados por día a balsa anóxica previa	145,452
Concentración de NO ₃ -N en entrada de balsa anóxica previa (mg/l)	58,228
Coefficiente de producción de pseudomonas etc. (kg/kg.d)	0,030
Tiempo de residencia celular mínimo (edad del fango) (d)	33,652
Tiempo de residencia celular diseño (edad del fango) (d)	67,304
Relación alimento/microorganismos método americano	0,069
Volumen total útil de balsa/s anóxicas previas (m ³)	632,123
Volumen unitario útil por balsa (m ³)	632,123
Superficie unitaria de cada balsa (m ²)	210,708
Anchura de cada balsa (m)	8,381
Longitud de cada balsa (m)	25,142
Tiempo de retención hidráulico a caudal de diseño (h)	6,073
Carga volumétrica a caudal de diseño (kg de NO ₃ -N/m ³ .d)	0,230
Kilos de MLSS en balsas anóxicas previas	2528,492
Relación alimento/microorganismos (kg NO ₃ -N/d/kg MLSS)	0,058
Rendimiento de eliminación de NO ₃ -N en balsa anóxica previa (%)	95,345

Como se puede observar en la tabla de resultados, para la balsa anóxica previa se obtienen unas dimensiones de 8,381 m de ancho y 25,142 m de largo. Con estos datos y la profundidad de la balsa aportada como dato previo, se obtiene una superficie de balsa de 210,708 m² y un volumen de 632,123 m³.

2.3.5 Balsa anóxica posterior

BALSA ANÓXICA POSTERIOR: PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	104,083
Número de líneas	1,000
Concentración de NO ₃ -N en salida de balsa anóxica posterior (mg/l)	1,200
Profundidad útil (m)	3,000
Relación longitud/anchura de la balsa	1,000
Coefficiente de producción máxima de bacterias (kg MLVSS/kg NO ₃ -N)	0,800
Coefficiente de descomposición celular (kg/kg.d)	0,040

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Kilos de NO ₃ -N alimentados por día a balsa anóxica posterior	33,242
Concentración de NO ₃ -N en entrada de balsa anóxica posterior (mg/l)	13,307
Coefficiente de producción de pseudomonas etc. (kg/kg.d)	0,015
Tiempo de residencia celular mínimo (edad del fango) (d)	65,578
Tiempo de residencia celular diseño (edad del fango) (d)	131,155
Relación alimento/microorganismos método americano	0,060
Volumen total útil de balsa/s anóxicas posteriores (m ³)	158,763
Volumen unitario útil por balsa (m ³)	158,763
Superficie unitaria de cada balsa (m ²)	52,921
Anchura de cada balsa (m)	7,275
Longitud de cada balsa (m)	7,275
Tiempo de retención hidráulico a caudal de diseño (h)	1,525
Carga volumétrica a caudal de diseño (kg de NO ₃ -N/m ³ .d)	0,209
Kilos de MLSS en balsas anóxicas posteriores	635,053
Relación alimento/microorganismos (kg NO ₃ -N/d/kg MLSS)	0,052
Rendimiento de eliminación de NO ₃ -N en balsa anóxica posterior (%)	90,429

Como se puede observar en la tabla de resultados, para la balsa anóxica posterior se obtienen unas dimensiones de 7,275 m tanto de ancho como de largo. Con estos datos y la profundidad de la balsa aportada como dato previo, se obtiene una superficie de balsa de 52,921 m² y un volumen de 158,763 m³.

2.3.6 Balsa de reaireación final

BALSA DE REAIREACIÓN FINAL: PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	112,000
Número de líneas	2,000
Tiempo de retención hidráulico a caudal de diseño (h)	0,500
Profundidad útil (m)	3,000
Relación longitud/anchura de la balsa	1,000

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Volumen total útil de balsa/s de reaireación final (m ³)	56,000
Volumen unitario útil por balsa (m ³)	28,000
Superficie unitaria de cada balsa (m ²)	9,333
Anchura de cada balsa (m)	3,055
Longitud de cada balsa (m)	3,055
Kilos de MLSS en balsas de reaireación final	224,000

Se obtienen un volumen de 28 m³ para cada una de las balsas de reaireación. Con una anchura y una longitud de 3,055 m.

2.3.7 Necesidades de oxígeno y equipos de reaeración para balsas de reaeración

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

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Oxígeno teórico requerido (kg/h)	2,053
Oxígeno real requerido (kg/h) (turbinas)	3,137
Oxígeno real requerido (kg/h) (difusores)	4,482
Potencia total requerida de las turbinas (CV)	2,493
Potencia unitaria mínima requerida por turbina (CV)	1,246
Potencia mínima de agitación necesaria (W/m ³) (turbinas)	18,081
Potencia de agitación instalada (W/m ³) (turbinas)	32,763
Caudal de aire con difusores (Nm ³ /h)	155,420
Potencia total requerida por los soplantes (CV)	4,773

2.3.8 Resumen y balance de alcalinidad

RESUMEN Y BALANCE DE ALCALINIDAD	
Volumen total útil de balsas de nitrificación (m ³)	1023,677
Volumen total útil de balsas anóxicas previas (m ³)	632,123
Volumen total útil de balsas anóxicas posteriores (m ³)	158,763
Volumen total útil de balsas de reireación final (m ³)	56,000
Volumen total útil de todas las balsas (m ³)	1870,563
Tiempo de retención hidráulico global a caudal de diseño (h)	17,934
Kilos de MLSS en todas las balsas	7482,251
Potencia total requerida en las turbinas (CV)	24,318
Caudal punta total de aire con difusores (Nm ³ /h)	1516,183
Concentración de TKN en la salida del biológico (mg/l)	1,700
Concentración de NO ₃ -N en la salida del biológico (mg/l)	1,200
Nitrógeno total en el efluente (mg/l)	2,900
Rendimiento total eliminación de N (%)	95,7
Alcalinidad necesaria como CO ₃ Ca en el influente (mg/l)	291,569

En este cuadro final se muestra un resumen de todas las balsas y tratamientos realizados en esta etapa de la EDAR. Cabe destacar que el volumen total de las balsas es 1870,563 m³. Por su parte, los MLSS contenidos en todas las balsas alcanzan un valor de 7482,251 kg. El rendimiento final de eliminación de nitrógeno será superior al 95%.

2.3.9 Decantador secundario

Para finalizar el tratamiento secundario, se procede a una etapa de decantación secundaria para terminar de eliminar materia en suspensión y continuar reduciendo la DBO.

DECANTADOR SECUNDARIO: PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m ³ /h)	104,083
Caudal máximo (m ³ /h)	104,083
Velocidad ascensional a caudal de diseño (m ³ /m ² *h)	0,800
Tiempo medio de residencia a caudal de diseño (h)	5,000
Número de líneas	2
Distancia desde el vertedero a la pared interna de la cuba (m)	0,500

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de diseño por línea (m ³ /h)	52,042
Caudal máximo por línea (m ³ /h)	52,042
Superficie del decantador (m ²)	65,052
Diámetro interno (m)	14,296
Volumen cilíndrico útil (m ³)	260,208
Profundidad cilíndrica útil (m)	4,000
Velocidad ascensional a caudal máximo (m ³ /m ² *h)	0,800
Tiempo medio de residencia a caudal máximo (h)	5,000
Longitud de vertedero por decantador (m)	41,770
Carga máxima sobre vertedero (m ³ /m*h)	1,246

A la hora de dimensionar el decantador secundario, nos fijaremos en los mismos parámetros que para el decantador primario. Se obtiene un diámetro interno de 20,217 m y una profundidad de 4 m. Con estos dos datos se obtiene una superficie de decantación de 130,104 m² y un volumen útil de decantación de 520,417 m³. Son valores altos debido al elevado caudal de agua residual a depurar. Esto se debe únicamente a las características de la industria textil y la necesidad de utilización de agua en prácticamente la totalidad de los procesos de fabricación que se dan en dicha industria.

Como se puede observar, la decantación secundaria es un proceso más lento que la decantación primaria. En esta ocasión, el tiempo que deberá permanecer el agua residual para su decantación es de 5 horas, frente a la media hora del decantador primario.

2.4 Tratamiento avanzado

Como se ve tras realizar todas las etapas de depuración, no obtenemos los resultados necesarios según la legislación en términos de contenido en fósforo. Es por ello que debemos realizar un tratamiento avanzado que se centre en la reducción de este contaminante y a su vez terminar de reducir tanto el resto de parámetros para cumplir con los márgenes demandados.

Para ello utilizamos un tratamiento avanzado con cloruro férrico (Cl_3Fe) para así provocar que el fósforo precipite y por tanto su reducción.

Eliminación del fósforo

COLORURO FÉRRICO ($\text{Cl}_3\text{-Fe}$): PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de diseño (m^3/h)	104,083
Caudal máximo (m^3/h)	104,083
Dosis de coagulante (mg/l)	20,000
Concentración del reactivo comercial (kg/ton)	400,000
Densidad del reactivo comercial (kg/l)	1,417
Autonomía de almacenamiento (días)	15,000
Concentración de dosificación (kg/ton) (Reactivo diluido)	50,000
Horas dosificación al día	8,000

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Consumo de reactivo puro a caudal de diseño (kg/h)	2,082
Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño (kg/h)	5,204
Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño (l/h)	3,673
Consumo de reactivo diluido a caudal de diseño (kg/h)	41,633
Consumo aproximado de reactivo diluido a Q de diseño (l/h)	40,102
Densidad aproximada del reactivo diluido (kg/l)	1,038
Consumo de reactivo puro a caudal máximo (kg/h)	2,082
Consumo de reactivo comercial a caudal máximo (kg/h)	5,204
Consumo de reactivo comercial a caudal máximo (l/h)	3,673
Consumo del reactivo diluido a caudal máxima (kg/h)	41,633
Consumo aproximado de reactivo diluido a caudal máxima (l/h)	40,102
Consumo aproximado de reactivo diluido a caudal de diseño (l/h)	0,625

Para el caudal que circula por la EDAR y una dosis de coagulante de 20 mg/l, se obtiene un consumo de reactivo de 2,082 kg/h.

3. Línea de fangos

Al igual que se ha realizado con la línea de aguas, también se deben dimensionar las etapas de la línea de fangos: espesamiento, estabilización y deshidratación.

3.1 Espesamiento

3.1.1 Espesamiento por gravedad

Este proceso se utiliza para tratar los fangos provenientes del decantador primario.

ESPEAMIENTO POR GRAVEDAD: PARÁMETROS DE PARTIDA	
Carga de sólidos (kg/m ² .h)	55
Tiempo de residencia hidráulico (h)	24
Número de unidades	1
Concentración de salida de los fangos espesados (kg/m ³)	33,33
Sólidos contenidos en los fangos del decantador primario (kg/d)	153,642
Sólidos contenidos en los fangos del decantador secundario (kg/d)	0
Concentración de los fangos primarios (kg/m ³)	15
Concentración de los fangos secundarios (kg/l)	30

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal fangos primarios (m ³ /h)	0,427
Caudal fangos secundarios (m ³ /h)	0,000
Sólidos contenidos en fangos primarios y secundarios (kg/d)	153,642
Caudal fangos primarios y secundarios (m ³ /h)	0,427
Concentración fangos mixtos (kg/m ³)	15,000
Superficie unitaria espesador (m ²)	2,793
Diámetro interno (m)	1,886
Volumen cilíndrico útil unitario (m ³)	10,243
Profundidad cilíndrica útil (m)	3,667
Caudal salida de fangos (m ³ /h)	0,192
Velocidad ascensional (m ³ /m ² *h)	0,153

Tras calcular la producción de fangos que se generan en el decantador primario, se obtienen las dimensiones necesarias del espesador por gravedad. El volumen cilíndrico que tendrá el espesador es de $10,243 \text{ m}^3$ con una profundidad de $3,667 \text{ m}$ y un diámetro interno de $1,886 \text{ m}$.

3.1.2 Espesamiento por flotación

Este proceso se realiza para tratar los fangos que provienen del decantador secundario. Las concentraciones de fangos biológicos y contenidos en dichos fangos provienen de los cálculos del reactor biológico.

ESPESAMIENTO POR FLOTACIÓN: PARÁMETROS DE PARTIDA	
Carga de sólidos (kg/m ² .h)	3
Tiempo de residencia hidráulico (h)	6
Número de unidades	1
Concentración de salida de los fangos espesados (kg/m ³)	30
Sólidos contenidos en los fangos biológicos (kg/d)	1071,2
Concentración de los fangos biológicos (kg/l)	2,6667

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de fangos biológicos (m ³ /h)	167,38
Superficie unitaria del espesador (m ²)	14,878
Diámetro interno (m)	4,3524
Volumen cilíndrico útil unitario (m ³)	1004,26
Profundidad cilíndrica útil (m)	6,750
Caudal de salida de fangos (m ³ /h)	1,4878
Velocidad ascensional sin recirculación(m ³ /m ² .h)	1125
Necesidades de aire para presurización (m ³ /h)	2,228
Caudal de recirculación mínimo (m ³ /h)	11,158

En cuanto al espesador por flotación, se obtiene un valor del volumen cilíndrico de 1004,26 m³, una profundidad de 6,75 m y un diámetro interno de 4,35 m.

Los fangos que será capaz de espesar este espesador por flotación es de 167,38 m³/h.

3.2 Estabilización

3.2.1 Digestión aerobia

DIGESTIÓN AEROBIA: DIMENSIONAMIENTO DEL DIGESTOR	
Tiempo de retención hidráulica (d)	12
Profundidad útil del digestor (m)	3
Número de unidades	1
Relación longitud/anchura del digestor	1
Sólidos volátiles contenidos en el fango sin digerir (%)	55
Reducción de volátiles esperada en el fango digerido (%)	45
Sólidos contenidos en los fangos a digerir (kg/d)	4094,7
Concentración de los fangos a digerir (kg/m ³)	25
Incremento concentración del fango en digestor por purga de sobrenadantes (kg/m ³)	5

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de fangos a digerir (m ³ /h)	6,8245
Sólidos contenidos en los fangos digeridos (kg/d)	3081,3
Concentración de fango alcanzada en el digestor (kg/m ³)	23,813
Caudal de fangos digeridos (m ³ /h)	5,3915
Volumen total útil de digestión (m ³)	1965,5
Volumen unitario (m ³)	1965,5
Longitud unitaria (m)	25,596
Anchura unitaria (m)	25,596
Tiempo de retención de sólidos (d)	15,189

Debido a las características del fango producido, como se explicó en el apartado de solución adoptada, el tipo de digestión por el que se ha optado es la aerobia. Las dimensiones que se obtienen para el reactor son $1965,5 \text{ m}^3$ para el volumen y $25,296 \text{ m}$ para la longitud y la anchura.

Este reactor será capaz de digerir un caudal de fangos de $5,3915 \text{ m}^3/\text{h}$.

3.2.2 Necesidades de oxígeno

NECESIDADES DE OXÍGENO	
Temperatura del digestor (°C)	20
Necesidades de oxígeno (kg de oxígeno/ kg sólido volátil eliminado)	2
Concentración de saturación de oxígeno a la temperatura del fango (mg/l)	9,17
Coefficiente de impurezas	0,95
Concentración de oxígeno a mantener en el fango (mg/l)	2
Coefficiente de temperatura	1,07
Presión atmosférica a la altitud de la depuradora (mm de Hg)	720
Coefficiente de intercambio entre fango y agua pura (turbinas)	0,9
Coefficiente de intercambio entre fango y agua pura (difusores)	0,6

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Oxígeno teórico requerido (kg/d)	2026,9
Oxígeno real requerido en condiciones de operación (kg/d) (turbinas)	137,61
Oxígeno real requerido en condiciones de operación (kg/d) (difusores)	206,42

3.3 Deshidratación

3.3.1 Bombas centrífugas

BOMBAS CENTRÍFUGAS: PARÁMETROS DE PARTIDA	
Caudal de fango a secar (m ³ /d)	129,4
Días funcionamiento por semana	5
Horas funcionamiento por día	6
Número centrífugas	1
Concentración de sólidos en el fango alimentado (kg/m ³)	25
Concentración de sólidos en el fango seco(kg/m ³)	200
Densidad sólidos contenidos en el fango (kg/l)	1,5
Capacidad específica de la centrífuga	60
Relación longitud/diámetro del rotor	3
Dosis de polielectrolito (kg/Ton materia seca)	5

RESULTADOS DE CÁLCULO	
Caudal de fango a filtrar (m ³ /h)	30,193
Caudal fangos alimentados por centrífuga (m ³ /h)	30,193
Sólidos alimentados por centrífuga (kg/h)	754,82
Caudal másico de fangos alimentado por centrífuga (Ton/h)	30,444
Densidad del fango alimentado a la centrífuga [kg/l]	1,0083
Densidad del fango deshidratado [kg/l]	1,0667
Volumen del fango deshidratado por hora laborable [m ³ /h]	3,7741
Volumen del fango deshidratado semanal [m ³ /semana]	113,22
Diámetro del rotor [m]	0,3528
Longitud del rotor [m]	1,0585
Potencia unitaria aproximada del motor [CV]	13,479
Consumo del polielectrolito por centrífuga [kg/h laborable]	3,7741
Consumo del polielectrolito por centrífuga [kg/h semana]	113,22

4. Contaminantes

Gracias a las etapas y procesos desarrollados en la EDAR, se consigue adecuar el efluente de agua depurada para que cumpla con la legislación y no suponga una amenaza para la sostenibilidad del medioambiente.

A continuación, se muestra un resumen con todas las etapas de las que está constituida la EDAR y el porcentaje de reducción de cada parámetro contaminante.

- Pretratamiento
 - Desbaste
 - DBO: 5%
 - DQO: 5%
 - SS: 10%
 - Tamizado
 - DBO: 5%
 - DQO: 5%
 - SS: 15%
 - Desengrasado
 - DBO: 5%
 - DQO: 5%
 - Balsa de Homogeneización
 - DBO: 5%
 - DQO: 5%
- Tratamiento primario
 - Decantación primaria
 - DBO: 50%
 - DQO: 30%
 - SS: 60%
 - N y P: 15%
- Tratamiento secundario
 - Tratamiento Biológico-Aerobio
 - DBO: 93%
 - DQO: 90%
 - SS: 90%
 - Decantación secundaria
 - DBO: 50%
 - DQO: 30%
 - SS: 60%
- Tratamiento avanzado
 - Cloruro Férrico (FeCl_3)
 - P: 85%

Diseño de una EDAR para la industria textil | Álvaro de la Torre Aguilar

A continuación, se muestra una tabla resumen con los valores de los contaminantes en cada etapa y la reducción que se da en cada una de ellas:

Eliminación Contaminantes											
Contaminantes		Pretratamiento								Tratamiento Primario	
		Desbaste		Tamizado		Desengrasado		Balsa de Homogeneización		Decantación primaria	
	Entrada	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
DBO	1610	5	1529,5	5	1453,03	5	1380,37	5	1311,36	50	655,68
DQO	2100	5	1995	5	1895,25	5	1800,49	5	1710,46	30	1197,32
SS	134	10	120,6	15	102,51	0	102,51	0	102,51	60	41
N	40	0	40	0	40	0	40	0	40	15	34
P	45	0	45	0	45	0	45	0	45	15	38,25

Diseño de una EDAR para la industria textil | Álvaro de la Torre Aguilar

Eliminación Contaminantes								
Contaminantes	Tratamiento Secundario						Tratamiento Avanzado	
	Tratamiento Biológico Aerobio		Nitrificación - Desnitrificación		Decantación secundaria		Cloruro Férrico	
	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)	Salida (mg/l)
DBO	93	45,90	0	45,90	50	22,95	0	22,95
DQO	90	119,73	0	119,73	30	83,81	0	83,81
SS	90	4,10	0	4,10	60	1,64	0	1,64
N	0	34	95	1,7	0	1,7	0	1,70
P	0	38,25	65	13,39	0	13,39	85	2,01

5. Bibliografía

- [ISLA 05] Ricardo Isla de Juana. “Proyectos de plantas de tratamiento de aguas”. 2005.
- [CADA 05] Cadagua. “Plant report. EDAR del Bajo Llobregat, con capacidad para depurar 430.000 m³/día”. Febrero 2005.
- [SUAR 07] J. Suárez, “Tratamientos avanzados de depuración”. Master de ingeniería del agua. Universidad de A Coruña. Noviembre, 2007.

CAPÍTULO III **IMPACTO** **MEDIOAMBIENTAL**

1. Introducción

Este capítulo del proyecto se centra en el estudio y análisis de los posibles impactos ambientales más relevantes que supondría la construcción de la EDAR para la industria textil, así como su posterior puesta en explotación y mantenimiento. Se pretende destacar los posibles efectos negativos que suponga dicha construcción y mantenimiento para poder atajarlos cuánto antes y buscar la mejor solución que minimice el impacto.

Este análisis se realizará siguiendo el procedimiento de la interrelación actividad-medio permitiendo identificar los impactos ambientales. Se compararán así todas las actividades y acciones que supone el desarrollo del proyecto EDAR para la industria textil y sus impactos medioambientales mediante una matriz que muestra la interacción entre ambos. El objetivo de la utilización de esta matriz es dejar claro todos los posibles impactos en el medio natural, socioeconómico y cultural que supondría la construcción, explotación y desarrollo de la estación depuradora en cuestión.

Las filas vendrán marcadas por los factores medioambientales mientras que las columnas reflejarán los aspectos medioambientales. El código de colores utilizado será el color verde para indicar si el impacto que genera es positivo y el color rojo si por el contrario el impacto que genera es negativo. Los factores que tendremos en cuenta para definir que actividades generan impacto sobre el medio ambiente son las emisiones controladas e incontroladas a la atmósfera, vertidos controlados e incontrolados en las aguas y alcantarillado, residuos sólidos de cualquier tipo, contaminación del suelo, utilización del suelo, del agua, de los combustibles, de la energía y de otros recursos naturales, emisión de energía térmica, ruidos, olores, vibración e impacto visual, repercusiones en los ecosistemas y en el entorno socioeconómico y resto de actividades derivadas del incumplimiento de la normativa ambiental vigente.

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

	Hidrología subterránea	Disminución de la calidad de las aguas																
--	------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

I	Edafología	Ocupación y pérdida irreversible de suelo																C	C	
		Contaminación y pérdida de capacidad productiva																		
		Aumentos de la erosión y la sedimentación																		
	Flora	Pérdida/afección a la cubierta vegetal																C	C	
		Destrucción directa de la fauna edáfica																	C	C

	Fauna	Destrucción y pérdida de la calidad de hábitats para la fauna	■																
	Paisaje	Alteración de la calidad paisajística	■		■		■			■								C	C
	Ruido	Incremento de los niveles sonoros	■	■		■		■			■			■		■		M	C
I	Calidad del aire	Aumento de niveles de inmisión de partículas (polvo)	■	■			■	■								■		C	
		Aumento de niveles de inmisión de gases	■	■											■	■			C
	Elementos del patrimonio cultural	Afección a elementos del patrimonio histórico- artístico																	

2. Valoración de Impactos

Con el objetivo de poder evaluar el impacto ambiental que supone la realización del proyecto, se utilizará la ecuación presentada en el método utilizado en “*Estudio ambiental de una planta de cogeneración en papelera guipuzcoana de Zicuña S.A.*” de Esther Notario. En esta ecuación intervienen todas las distintas variables que determinan la incidencia del impacto. La ecuación es la siguiente:

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

Los parámetros que intervienen en la ecuación son los siguientes:

- I: Representa la importancia del impacto que se va a valorar. Es el resultado de la ecuación, por tanto, el valor más importante.
- IN: Este valor muestra la intensidad de las acciones realizadas. Presenta la siguiente escala:
 - Afección mínima 1
 - Afección media 2
 - Afección alta 4
 - Afección muy alta 8
 - Destrucción total 12
- EX: Extensión porcentual de área ocupada por el proyecto en relación al medio en el que se produce el impacto. También presenta una escala para medirlo:
 - Puntual 1
 - Parcial 2
 - Extenso 4
 - Total 8
- MO: Es lo que se denomina como momento. Hace referencia al tiempo que transcurre entre la acción y el efecto. Se mide de la siguiente manera:
 - Largo plazo 1
 - Medio plazo 2
 - Inmediato 4
 - Crítico > 4
- PE: Son las iniciales de persistencia, cuánto durará el impacto a lo largo del tiempo.
 - Fugaz (tiempo menor a un año) 1
 - Temporal (tiempo entre 1 y 10 años) 2
 - Permanente (tiempo superior a 10 años) 4
- RV: Reversibilidad, posibilidad de poder deshacer el proyecto o el impacto provocado por el mismo.
 - Corto plazo 1
 - Medio plazo 2
 - Irreversible 4

- SI: Parámetro que hace referencia a la sinergia. Capacidad de que varias acciones puedan o no actuar sobre un mismo factor.
 - Sin sinergismo 1
 - Sinérgico 2
 - Muy sinérgico 4
- AC: Acumulación que se puede producir en un efecto. Puede o no incrementar las consecuencias del mismo.
 - Simple 1
 - Acumulativo 4
- EF: Parámetro referente al efecto y la forma que tiene de manifestarse sobre un factor determinado.
 - Indirecto 1
 - Directo 4
- PR: Periodicidad, frecuencia con la que se repite el efecto a analizar.
 - Irregular 1
 - Periódico 2
 - Continuo 4
- MC: Concepto similar al de reversibilidad. Hace referencia a la recuperabilidad del efecto causado por el proyecto ya sea total o de manera parcial.
 - Recuperable de manera inmediata 1
 - Recuperable a medio plazo 2
 - Mitigable 4
 - Irrecuperable 8
- Signo:
 - (+) Beneficioso
 - (-) Perjudicial

Tras realizar el cálculo de esta ecuación, obtenemos valores que van desde una I (Importancia del impacto) de 13 a 100. La graduación del grado de importancia sería:

- Menor de 25: compatibles.
- Entre 25 y 50: moderados.
- Entre 50 y 75: severos.
- Superior a 75: críticos.

3. Medidas preventivas y correctoras

En este apartado se desarrollarán las principales medidas para minimizar el impacto que supondría la construcción, puesta a punto, desarrollo y mantenimiento dentro de un medio determinado.

Las medidas preventivas, como su propio nombre indica hace referencia a acciones que se pueden llevar a cabo antes de la realización del proyecto para minimizar o incluso evitar los impactos que se provocarán. Requiere de un estudio previo tanto de las tareas que se van a realizar como del medio en el que se realizarán. Algunos ejemplos de medidas preventivas aplicables al proyecto de desarrollo de una estación depuradora para la industria textil podrían ser:

- Elección de la localización más alejada de núcleos urbanos en la medida de lo posible.
- Maquinaria de alta calidad que evite averías y emisiones de gases contaminantes a la atmósfera y olores.
- Buena estrategia de construcción evitando contaminar durante el transporte de maquinaria, escombros, tierra y otros productos procedentes del proceso de construcción de la EDAR.
- Tratar de evitar el exceso de ruido y vibraciones el terreno mediante un adecuado ajuste de la maquinaria a utilizar durante la instalación.

Por su parte, las medidas correctoras consisten en acciones a realizar una vez ya se ha construido y puesto en marcha el proyecto. Son acciones que actúan sobre un impacto negativo ya existente en el medio. En este caso el estudio debe ser posterior, analizando todos aquellos factores que provocan un impacto negativo y detectando la gravedad de los mismos y la manera de corregirlos. Al igual que en las medidas preventivas, se detallan algunos ejemplos de lo que podrían considerarse medidas correctoras dentro del marco de nuestro proyecto.

- Sustitución de maquinaria en términos de ahorro energético, disminución de vibraciones y ruidos o simplemente por motivo de emisiones.
- Aumento de vegetación en las proximidades del terreno edificado como disminución de la huella ecológica de la estación depuradora
- Ajuste de los procesos que se desarrollan dentro de la estación depuradora por motivo de incumplimiento de las emisiones del afluente de agua depurada.
- Utilización de productos químicos con menor impacto medioambiental.

5. Bibliografía

- [MACH17] Jaime Machés Rueda. “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.
- [NOTA07] Esther Notario, “Estudio ambiental de una planta de cogeneración en papelera guipuzcoana de Zicuña S.A.”. Novotec, 2007.

CAPÍTULO IV

ANEXOS

PLIEGO DE **CONDICIONES**

Índice

CAPÍTULO I.- OBJETIVO DEL PLIEGO.....	132
CAPÍTULO II. CAUDALES, ÍNDICES Y CONDICIONES DE DEPURACIÓN.....	133
CAPÍTULO III. ENSAYOS Y ANÁLISIS.....	134
CAPÍTULO IV. PERSONAL.....	136
CAPÍTULO V. MATERIALES, REPOSICIONES Y SUMINISTROS...	137
CAPÍTULO VI. PARADAS Y AVERÍAS.....	138
CAPÍTULO VII. MEJORAS Y AMPLIACIONES.....	139
CAPÍTULO VIII. INSPECCIÓN Y VIGILANCIA.....	139
CAPÍTULO IX. GASTOS POR CUENTA DEL CONTRATISTA.....	140
ANEXO I.....	141

CAPÍTULO I – OBJETO DEL PLIEGO

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

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

- 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 mil 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 Concello el servicio de mantenimiento de las estaciones de bombeo, fosas sépticas y mini EDAR's de titularidad municipal. Todas las fosas sépticas de titularidad municipal deberán ser revisadas cada seis meses, procediendo a su limpieza, sin coste para el Ayuntamiento, si fuese necesario.

- 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)

116,67

CAUDAL MÁXIMO DIARIO (m3/día)

10.080

VOLUMEN ANUAL (m3/año)

709.632

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

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

BASE 14^a.- El contratista 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 20^a.- 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 21^a.- 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 22^a.- 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 23^a.- El contratista vendrá obligado a la introducción de las mejoras y complementaciones que a continuación se detallan:

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

- b) Equipamiento e instrumentación del laboratorio para poder efectuar todos los análisis previstos y, en especial, los señalados en la BASE 11^a.

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

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

BASE 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.- Serán por cuenta del Ayuntamiento los siguientes suministros:

a) Los gastos derivados de aquellas pruebas o ensayos que tengan por objeto la mejora de los rendimientos, o la mejor adaptación de las instalaciones a las nuevas disposiciones legales, salvo que los mismos hubieran sido ofertados por el licitador como mejoras y, por tanto, incorporados al objeto del contrato.

b) El consumo de cloro para adicionar al efluente en aquellos casos que determine la Dirección del Ayuntamiento, que será abonado por la administración en la certificación correspondiente. Serán por cuenta del contratista los productos químicos necesarios para el funcionamiento de la planta.

BASE 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 aquellas 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, aun cuando den lugar a economías en los gastos de mantenimiento, conservación o explotación.

CAPÍTULO VIII – INSPECCIÓN Y VIGILANCIA

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

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

CAPÍTULO IX – GASTOS POR CUENTA DEL CONTRATISTA

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

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

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 600.000,00 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 600.000,00 euros.

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

BASE 35^a.- 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: 112 m³/h
- Caudal medio diario: 2688 m³/h

CONTAMINACIÓN

- Concentración media DBO: 1610 mg/l
- Concentración media sólidos en suspensión: 134 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:
 - Tamiz rotativo de 1,5 CV de potencia.
 - Malla de 0,5 mm de luz.
 - Caudal unitario 0-300 m³/h.
 - Caudal total 0-600 m³/h.
- TRATAMIENTO BIOLÓGICO
 - 4 BALSAS BIOLÓGICAS de 1.100 m³ de volumen unitario c/u.
 - 1º ZONA ANOXICA para la desnitrificación con agitador sumergible de 240 m³ de volumen.
 - 2º ZONA OXICA para la nitrificación. Aireación mediante red de difusores membrana de burbuja fina, de 760 m³ de volumen.
 - 3 ELECTROSOPLANTES para la aireación de 2.100 m³/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 22,50 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 m³/h c/u).
 - PURGA y recirculación de fangos de Licor Mezcla de (1 Bomba de 500 m³/g).
- EXTRACCIÓN DE FANGOS EN EXCESO
 - Extracción automática de fangos en exceso al espesador de (1 Bomba de 23 m³/h).
- ESPESAMIENTO
 - Espesamiento por gravedad de los fangos en exceso.
 - Tanque circular de 7 m de diámetro, con equipo barredor-concentrador por rasquetas.
 - Sobredenantes a cabecera de la planta.
- SECADO DE FANGOS
 - Deshidratación de los fangos espesados en una MÁQUINA CENTRÍFUGA de rango 9 m³/h. y motor de 30 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 m³/h c/u).
 - Drenaje de centrífuga a cabecera de la 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 m² de superficie total.
 - Edificio del C.T., soplantes para aire de proceso, deshidratación de fangos, taller y sala de C. eléctricos, de 165 m² de superficie total.
 - Edificio principal, de dos plantas, la superior para sala de control y la inferior para servicios y vestuarios, de 40,50 m² de superficie total.
 - Edificio de fangos y aire de servicio, de 27,8 m² de superficie total.

PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTOS PARCIALES

1.1. PRETRATAMIENTO

1.1.1. Desbaste

Obra civil: Movimiento de tierras y hormigonado para instalación del canal.

Además de una escalera de PRFV.

Coste: 16.700 €

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

Coste: 3.750 €

1.1.2. Tamizado

Equipos mecánicos:

Suministro e instalación del tamiz rotativo

Coste: 4.750 €

1.1.3. Desengrasador

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

Coste: 9.400 €

Equipos mecánicos.

Compuertas de entrada a separadores CPI

Paquete de placas de separadores CPI

Skimmer de separadores CPI

Bombas efluente separadores CPI

Bombas evacuación aceite de CPI

Coste: 9.300 €

1.1.4. Balsa de homogeneización

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

Coste: 57.900 €

Equipos mecánicos:

Bombas sumergibles.

Compuertas.

Agitadores sumergibles.

Instrumentación.

Coste: 16.700 €

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.

Coste 13.930 €

Equipos mecánicos:

Bombas.

Compuertas de reparto a decantador.

Puente decantador primario.

Coste: 6500 €

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.

Coste: 154.800 €

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).

Coste: 25.200 €

1.3.2. Reactor UASB

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.

Coste: 45.000 €

Equipos mecánicos:

Coste: 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.

Coste: 28.000 €

Equipos mecánicos:

Compuertas.

Puente decantador secundario.

Coste: 8.000 €

1.4. TRATAMIENTO AVANZADO

1.4.1. Cámara de floculación

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

Coste: 3.200 €

Equipos mecánicos:

Agitador lento

Cajón vertedero

Unidad de dosificación de cloruro férrico

Coste: 8.700 €

1.4.2. Decantador

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

Coste: 14.000 €

Equipos mecánicos:

Compuertas de reparto a decantadores

Puentes decantadores primarios

Bombas de fangos primarios

Coste: 6.400 €

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.

Coste: 14.100 €

Equipos mecánicos:

Mecanismos espesadores por gravedad.

Bombas de fangos espesados por gravedad

Coste: 12.350€

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.

Coste: 29.300 €

Equipos mecánicos:

Mecanismos espesadores por flotación.

Bombas de fangos espesados por flotación

Coste: 5.650 €

1.6. DIGESTIÓN DE FANGOS

1.6.1. Digestión Aerobia

Obra civil

Coste 29.000 €

Equipos mecánicos

Compuertas

Turbinas

Coste: 4.000 €

1.7. DESHIDRATACIÓN DE FANGOS

1.7.1. Eras de Secado

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

Coste: 3.000 €

Equipos mecánicos:

Bombas de fangos a eras

Bombas evacuación filtrado.

Coste: 500 €

1.8. CONDUCCIONES

1.8.1. Conducciones EDAR

Coste: 10.000 €

2. PRESUPUESTO GENERAL

PRESUPUESTO GENERAL				
Etapas	Procesos	Obra Civil (€)	Equipos Mecánicos (€)	Total (€)
Pretratamiento	Desbaste	16700	3750	20450
	Tamizado	-	4750	4750
	Desengrasado	9400	9300	18700
	Homogeneización	57900	16700	74600
Tratamiento Primario	Decantador Primario	13930	6500	20430
Tratamiento Secundario	Reactor biológico + balsas anóxicas	199800	35200	235000
	Decantador Secundario	28000	8000	36000
Tratamiento Avanzado	Cámara de floculación	3200	8700	11900
	Decantador	14000	6400	20400
Espesamiento de fangos	Espesado por gravedad	14100	12350	26450
	Espesado por flotación	29300	5650	34950
Estabilización de fangos	Digestión aerobia	29000	4000	33000
Deshidratación de fangos	Eras de secado	3000	5000	8000
Conducciones		-	-	10000
TOTAL				554630

RESULTADO TOTAL	
Total	554630
3% GG + 6% B. Industrial	49916,7
18% IVA	99833,4
Total Presupuesto	704.380

