



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES URBANAS PARA
POBLACIONES ENTRE 20 Y 25 MIL
HABITANTES**

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TÉRMICA Y FLUIDOS

AUTOR: ROCÍO DOMÍNGUEZ OLLERO

TUTOR: JAVIER VILLA BRIONGOS

Leganés, Julio 2015

Resumen

El presente proyecto define el diseño de una estación depuradora de aguas residuales de una sola etapa. Se parte de una población cualquiera de mediano tamaño en España, y se toman datos de contaminación estándar acordes. Dadas estas condiciones iniciales, se expone un sistema de fangos activados con oxidación prolongada que prescinde de la decantación primaria y la digestión de fangos.

Las instalaciones incluidas en este proyecto son aquellas que permiten un tratamiento de las aguas residuales urbanas, con el fin de llegar a un tratamiento completo de todos los vertidos producidos, de forma que se consiga el grado de depuración necesario, hasta cumplir los límites que fija la Directiva 91/271/CEE, sobre Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas.

Inicialmente se expone la configuración típica de una EDAR, y se propone, dado el tamaño de la planta, suprimir el tratamiento primario y la digestión de fangos.

Se adoptan unos datos de partida a partir de un estudio de estaciones depuradoras de similar tamaño en España. Se establecen las características finales del agua depurada, de acuerdo a la normativa citada anteriormente, y se establecen las características del fango.

Posteriormente se plantean varias configuraciones tradicionales de EDARs posibles, con las que se comparará la solución propuesta. Estas alternativas tradicionales tendrán gran parte del proceso en común y solo se diferenciarán en el tratamiento secundario y el tipo de digestión de fangos. Seguidamente se explica la solución propuesta, sus características y funcionamiento.

Se realiza un informe donde se comparan estas configuraciones tradicionales y la solución propuesta, tanto medioambiental como económicamente. Con este estudio se pretende mostrar las ventajas de un sistema de fangos activados con oxidación prolongada, y seleccionar el tipo de aireación idónea para la planta.

Finalmente, para comprobar la validez técnica de la planta, se realiza tanto ingeniería básica, que incluye el diagrama de procesos de la planta; como ingeniería de detalle de los equipos principales. La ingeniería de detalle se expone en la hoja de especificaciones que se adjunta con la memoria, incluye el diseño y dimensionamiento de la estación siguiendo la Norma ATV-Estándar A131.

Abstract

This project exposes the design of a wastewater treatment plant in a single step. Standard pollution data are taken from similar plants with populations around 20-25 thousand in Spain. According to these initial conditions, it is exposed an activated sludge system with prolonged oxidation that dispenses primary settling and sludge digestion.

The installations included in this project are those that allow the treatment of urban wastewater, in order to reach a complete treatment of all discharges produced. The objective is to achieve the degree of purification needed to meet the limits set by the Directive 91/271 / EEC, on Urban Waste Water Treatment.

Initially, the typical configuration of a WWTP is exposed, and it is suggested to remove the primary treatment and sludge digestion due to the size of the plant.

Some initial data are taken from a study of wastewater treatment plants of similar size in Spain. The final characteristics of the treated water are established (according to the regulations cited above) and sludge characteristics are established.

Subsequently, several traditional configurations of WWTPs are exposed, with which the proposed solution will be compared. These traditional alternatives have most of the processes in common and they differ only in the secondary treatment and the type of sludge digestion. Then the proposed solution is explained, including its features and its operation.

These traditional configurations are compared with the proposed solution, both in an environmentally and economically way. This study aims to show the advantages of an activated sludge system with prolonged oxidation, and to select the suitable type of aeration to the plant.

Finally, to check the technical validity of the plant, both basic engineering (including the process diagram of the plant); and detailed engineering of the main equipment are done. The detailed engineering is disclosed in the specification sheet that is delivered with the report, it includes the design and dimensioning of the station following the Standard ATV-Standard A131.

Índice de figuras

Figura 1. Línea de agua de una EDAR.

Figura 2. Línea de fango de una EDAR.

Figura 3. Línea de agua de la SP.

Figura 4. Línea de fango de la SP.

Figura 5. Pozo de gruesos. Adaptación [20].

Figura 6. Desarenador-desengrasador.

Figura 7. Lechos bacterianos.

Figura 8. Esquema de ingeniería básica de la solución propuesta. Anexo G.

Figura 9. Esquema de la EDAR de la SPB.

Figura 10. Reactor biológico tipo flujo pistón.

Figura 11. Ensayo V30'.

Figura 12. Espesador.

Figura 13. Agitación en la digestión anaerobia

Índice de tablas

Tabla 1. Caudales de partida.

Tabla 2. Contaminantes de partida.

Tabla 3. Parámetros de contaminación permisibles del agua depurada.

Tabla 4. Alternativas planteadas.

Tabla 5. Resumen de los elementos de la solución propuesta y de las alternativas.

Tabla 6. Puntuación del proceso y adecuación a las circunstancias locales

Tabla 7. Amortización de la solución propuesta y las alternativas.

Tabla 8. Valoración final de la solución propuesta y las alternativas.

Tabla 9. Especificaciones del pozo de gruesos.

Tabla 10. Especificaciones del bombeo de agua bruta.

Tabla 11. Especificaciones del dimensionamiento del desarenador-desengrasador.

Tabla 12. Especificaciones del sistema de extracción de arena.

Tabla 13. Especificaciones de los datos de partida del reactor biológico.

Tabla 14. Especificaciones de las dimensiones del reactor biológico.

Tabla 15. Especificaciones de los parámetros de funcionamiento del reactor biológico.

Tabla 16. Especificaciones de la edad del fango necesaria para la nitrificación-desnitrificación.

Tabla 17. Especificaciones del cálculo de N_a

Tabla 18. Especificaciones del balance de nitrógeno.

Tabla 19. Especificaciones del cálculo de la desnitrificación y del nitrógeno total.

Tabla 20. Especificaciones de la recirculación externa.

Tabla 21. Especificaciones de la recirculación interna.

Tabla 22. Especificaciones de la eliminación del fósforo.

Tabla 23. Especificaciones de los parámetros de la decantación secundaria.

Tabla 24. Especificaciones de los tiempos de contacto de la desinfección.

Tabla 25. Especificaciones de la producción de fangos en exceso y bombeo.

Tabla 26. Especificaciones de las dimensiones del espesador.

Tabla 27. Especificaciones de los parámetros de funcionamiento del espesador.

Tabla 28. Especificaciones de la deshidratación.

Índice de tablas

- Tabla 29. Especificaciones del almacenamiento de fangos.
- Table 30. Alternatives.
- Tabla 31. Contaminantes de EDARs en España.
- Tabla 32. Inversión inicial. Obra civil SPA
- Tabla 33. Inversión inicial. Equipos mecánicos SPA
- Tabla 34. Inversión inicial. Equipos eléctricos SPA
- Tabla 35. Inversión inicial. Obra civil SPB
- Tabla 36. Inversión inicial. Equipos mecánicos SPB
- Tabla 37. Inversión inicial. Equipos eléctricos SPB
- Tabla 38. Inversión inicial. Obra civil Alternativa 1A
- Tabla 39. Inversión inicial. Equipos mecánicos Alternativa 1A
- Tabla 40. Inversión inicial. Equipos eléctricos Alternativa 1A
- Tabla 41. Inversión inicial. Obra civil Alternativa 1B
- Tabla 42. Inversión inicial. Equipos mecánicos Alternativa 1B
- Tabla 43. Inversión inicial. Equipos eléctricos Alternativa 1B
- Tabla 44. Inversión inicial. Obra civil Alternativa 3
- Tabla 45. Inversión inicial. Equipos mecánicos Alternativa 3
- Tabla 46. Inversión inicial. Equipos eléctricos Alternativa 3
- Tabla 47. POYM. Personal SPA.
- Tabla 48. POYM. Conservación SPA.
- Tabla 49. POYM. Reactivos SPA.
- Tabla 50. POYM. Coste total SPA.
- Tabla 51. POYM. Personal SPB.
- Tabla 52. POYM. Conservación SPB.
- Tabla 53. POYM. Reactivos SPB.
- Tabla 54. POYM. Coste total SPB.
- Tabla 55. POYM. Personal Alternativa 1A.
- Tabla 56. POYM. Conservación Alternativa 1A.
- Tabla 57. POYM. Reactivos Alternativa 1A.
-

Índice de tablas

Tabla 58. POYM. Coste total Alternativa 1A.

Tabla 59. POYM. Personal Alternativa 1B.

Tabla 60. POYM. Conservación Alternativa 1B.

Tabla 61. POYM. Reactivos Alternativa 1B.

Tabla 62. POYM. Coste total Alternativa 1B.

Tabla 63. POYM. Personal Alternativa 3.

Tabla 64. POYM. Conservación Alternativa 3.

Tabla 65. POYM. Reactivos Alternativa 3.

Tabla 66. POYM. Coste total Alternativa 3.

Tabla 67. Valoraciones.

Índice

Resumen.....	i
Abstract.....	ii
Índice de tablas.....	iii
Índice de figuras.....	iv
Índice.....	vii
Nomenclatura.....	ix
1. Objetivo y alcance del proyecto.....	1
2. Introducción.....	3
3. Configuración general de una EDAR.....	4
4. Datos	6
4.1 Datos de partida.....	6
4.2 Características del agua depurada.....	8
4.3 Características del fango.....	9
5. Posibles configuraciones tradicionales.....	10
5.1 Elementos comunes a todas las alternativas.....	12
5.1.1 Línea de agua.....	12
5.1.1.1 Pretratamiento.....	12
5.1.1.2 Decantación secundaria.....	13
5.1.1.3 Desinfección.....	14
5.1.2 Línea de fango.....	15
5.1.2.1 Espesamiento de fangos por gravedad.....	15
5.1.2.2 Deshidratación de fangos.....	15
5.1.2.3 Almacenamiento de fangos deshidratados.....	15
5.2 Alternativas estudiadas.....	16
5.2.1 Fangos activados a media carga con estabilización aerobia de fangos (Alternativa 1).....	16
5.2.2 Procesos de película fija. Lechos bacterianos (Alternativa 3)....	17
6. Solución Propuesta.....	19
6.1 Esquema de ingeniería básica.....	20
7. Resumen de los elementos de la solución propuesta y de las alternativas.....	21
8. Discusión de la solución propuesta y de las alternativas.....	22
8.1 Proceso y adecuación a las circunstancias locales.....	23
8.1.1 Fiabilidad del proceso propuesto para la línea de agua.....	23
8.1.2 Fiabilidad del proceso propuesto para la línea de fango.....	23

Índice

8.1.3	Simplicidad de explotación y mantenimiento.....	23
8.1.4	Afección ambiental.....	24
8.1.5	Puntuación.....	24
8.2	Estudio de la amortización de las alternativas y explotación.....	25
8.3	Valoración final.....	26
8.4	Conclusiones.....	27
9.	Viabilidad técnica de la solución propuesta.....	28
9.1	Línea de agua.....	30
9.1.1	Pretratamiento.....	30
9.1.1.1	Pozo de desbaste de gruesos.....	30
9.1.1.2	Bombeo de agua bruta.....	30
9.1.1.3	Canales de desbaste fino.....	31
9.1.1.4	Desarenado-desengrase.....	31
9.1.2	Reactor biológico.....	33
9.1.2.1	Parámetros de funcionamiento del reactor.....	34
9.1.2.2	Nitrificación-desnitrificación.....	36
9.1.2.3	Recirculación de fangos.....	39
9.1.2.4	Eliminación de fósforo.....	40
9.1.2.5	Cálculo de la oxigenación.....	40
9.1.2.6	Calidad del agua a la salida.....	42
9.1.3	Decantación secundaria.....	44
9.1.4	Desinfección del agua tratada.....	45
9.2	Línea de fango.....	46
9.2.1	Producción de fangos en exceso y bombeo.....	46
9.2.2	Espesamiento de fangos biológicos en exceso.....	47
9.2.3	Deshidratación.....	49
9.2.4	Almacenamiento de fangos.....	50
10.	Conclusiones.....	51
	Summary.....	52
	Anexos.....	60
	Anexo A: Estudio de estaciones depuradoras de aguas residuales en España.....	60
	Anexo B: Directiva comunitaria relativa a la depuración de aguas residuales.....	61
	Anexo C: Tipos de digestión.....	63
	Anexo D: Inversión inicial.....	65
	Anexo E: Plan de operación y mantenimiento.....	80
	Anexo F: Valoraciones.....	92
	Anexo G: Dimensionamiento.....	93
	Anexo H: Norma ATV - Standard A131.....	94
	Referencias.....	95

Nomenclatura.

α	Factor de corrección en función de la intensidad de mezclado y geometría del tanque
β	Factor de corrección en función de las características del agua.
θ_C	Edad del fango la Norma ATV - Standard A131(días).
A	Área (m ²)
AOTR	Capacidad de transferencia de campo en condiciones de funcionamiento reales (kg O ₂ /h)
<i>b_{nt}</i>	Coefficiente de decrecimiento de las bacterias nitrificantes para respiración endógena
BOD	Biological Oxygen Demand
C_{DBO_5}	DBO ₅ de entrada a aireación (kg/día)
$C_{DBO_5,ER}$	DBO ₅ de entrada a aireación (mg/l)
C_L	Concentración de oxígeno de funcionamiento (mg/l)
C_m	Carga másica, carga volúmica respecto a la concentración de MLSS (KgDBO/KgMLSS*día)
$C_{s,20}$	Concentración de saturación de oxígeno del agua limpia (mg/l)
$C_{s,T,H}$	Concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua limpia a temperatura T, altitud H (mg/l)
C_v	Carga volúmica, kg al día de DBO ₅ respecto al volumen del reactor (KgDBO ₅ *m ³ *día)
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
Dd	Dotación, cantidad de agua residual por habitante por unidad de tiempo (l/hab/día)
DQO	Demanda química de oxígeno (mg/l)
E	Edad del fango (días)
EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales
FE	Producción de fangos en exceso según la Norma ATV - Standard A131(KgMS/día)
F_T	Factor de temperatura para respiración endógena
f_x	Fracción de anoxia, relación entre volumen de la zona anóxica y el volumen total del reactor
H	Habitantes
HE	Habitantes Equivalentes
<i>K_{nt}</i>	Coefficiente de saturación para nitrificación (mg N-NH ₃ /l)
L	Longitud (m)
M	Masa de fangos en cuba (Kg)
MLSS	Mixed Liquor Suspended Solids. Sólidos en suspensión en el licor mezcla (g/m ³)
MS	Masa sólida

Nomenclatura

Na	Fracción de nitrógeno amoniacal no nitrificable (mg/l)
NTK	Nitrógeno Kjeldahl
N_{total}	Nitrógeno total
OC_{C,DBO_5}	Consumo de oxígeno de la fracción carbonada OC_{C,DBO_5} (kgO ₂ /kg DBO ₅)
P_i	Puntuación del estudio del proceso y adecuación a las circunstancias locales
POYM	Plan de Operación y Mantenimiento
P_{total}	Fosforo total
$R(\%)$	Porcentaje de recirculación de fangos necesario
SF	Factor de seguridad al calcular la edad del fango necesaria en la nitrificación
$S_{NO_3,D}$	Nitratos a desnitrificar a 12 °C (mg/l)
SOTR	Capacidad de transferencia en condiciones estándar de oxígeno disuelto (kg O ₂ /h)
SP	Solución Propuesta (fangos activados con oxidación prolongada)
SPA	Solución Propuesta con sistema de aireación mediante soplantes y difusores.
SPB	Solución Propuesta con sistema de aireación superficial
SST	Sólidos en Suspensión Totales
SVI	Índice de saturación volumétrica (ml/g)
T	Temperatura en el reactor biológico (°C)
t_{ret}	Tiempo de retención del fango en e espesamiento (días)
$Umnt$	Coefficiente de crecimiento de las bacterias nitrificantes (1/día)
Q_{ext}	Caudal de recirculación externa (m ³ /h)
Q_{med}	Caudal medio (m ³ /h)
Q_{max}	Caudal máximo (m ³ /h)
V_e	Valoración económica
Vol.	Volumen
V_{FINAL}	Valoración final resultado de la media ponderada de V_e y V
V_p	Valoración los factores de proceso y adecuación a circunstancias locales
WWTP	Waste Water Treatment Plant

1. Objetivo y alcance del proyecto

Objetivo.

Estudiar las ventajas económico-ambientales y la viabilidad técnica de una EDAR que prescinda del tratamiento primario y la digestión de fangos convencionales. Dado el mediano tamaño de la población estudiada, y con el fin de simplificar el proceso de depuración, se propone un sistema de fangos activados con oxidación prolongada cuyas características permiten suprimir estas dos etapas del tratamiento tradicional de aguas.

Para alcanzar el objetivo final de este proyecto y conseguir que la planta planteada emita, de la forma más limpia y económica posible, un agua depurada que cumpla la normativa vigente en España y pueda reutilizarse, se siguen una serie de objetivos:

- Estudio de la configuración tradicional de las EDARs.
- Establecimiento de los niveles de caudal y contaminantes del agua de entrada. Establecimiento de las características del agua depurada y el fango a la salida.
- Estudio de varias configuraciones tradicionales posibles de estaciones depuradoras. Análisis del proceso común a todas las alternativas que se compararán, y de los diferentes tratamientos secundarios y tipos de digestión que las diferencian.
- Análisis de la solución propuesta y estudio de los posibles modelos de aireación del reactor biológico. Ingeniería básica de la planta donde se incluye el diagrama de procesos de la misma.
- Comparativa de las alternativas tradicionales y la estación propuesta, teniendo en cuenta el proceso y adecuación a las circunstancias locales y el estudio económico.
- Estudio de la viabilidad técnica de la solución propuesta a través del desarrollo de la ingeniería de detalle de los elementos principales de la estación. La ingeniería de detalle incluye la elección de los equipos y el dimensionamiento de las distintas etapas.

Alcance del proyecto.

Tras una introducción sobre la necesidad de las estaciones depuradoras de aguas residuales y la situación del tratamiento de aguas residuales en España, se expone la configuración estándar de una EDAR, se explican los procesos que sigue tanto la línea de agua como la de fango. Se plantea una configuración diferente, dado el tamaño medio de la población, se propone eliminar la decantación primaria y evitar la necesidad de una digestión de fangos imponiendo estabilización de los fangos en el reactor biológico.

Inicialmente se establecen los niveles de caudal y contaminantes del agua bruta, partiendo del tamaño de población y de un estudio sobre diferentes estaciones depuradoras españolas. Se exponen los objetivos finales de contaminación del agua de salida y las características del fango.

Una vez establecidos estos parámetros, se proponen varias alternativas de diseño tradicionales con el objetivo de compararlas con la solución planteada. Todas estas alternativas con las que se comparará la planta propuesta tendrán muchas etapas del proceso en común. Con respecto a la línea del agua, el pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento terciario serán comunes en todos los casos, por lo que se profundizará en el tratamiento secundario. Al tratarse de aguas residuales urbanas de tamaño medio, el tratamiento terciario pasa a un segundo plano y solo se estudiará el proceso de

1. Objetivo y alcance del proyecto

desinfección. En la línea del fango se estudiará con detalle la influencia del proceso de la digestión, ya que el espesamiento y deshidratación no varían de una alternativa a otra.

Se estudian las etapas y características de la solución propuesta, y se plantean dos modelos de aireación para el reactor biológico. Se expone un esquema de la ingeniería básica de la planta que incluye los caudales y concentraciones a la entrada y salida de los elementos principales de la planta.

La discusión de las alternativas y de la solución propuesta tiene en cuenta las circunstancias locales y el estudio de la amortización económica. Dentro del estudio del proceso y adecuación a las circunstancias locales, se analiza la fiabilidad para la línea de agua, para la línea de fangos, la simplicidad de explotación y mantenimiento, y la afección ambiental. Relativo al estudio de la amortización y explotación, se calculan los costes de inversión y los de mantenimiento y explotación, que se amortizan teniendo en cuenta un periodo de 25 años. Tras considerar que ambos estudios tienen la misma importancia a la hora de seleccionar la EDAR, se confirma que un proceso de fangos activados con oxidación prolongada y sistemas de aireación superficial es la solución más adecuada para medianas poblaciones en España.

El diseño de la solución final, sistema de fangos activados con oxidación prolongada, incluye la ingeniería de detalle de los elementos principales de la estación (hoja de especificaciones). Se determinan las medidas de cada equipo, los criterios de selección adoptados, los parámetros de funcionamiento y los niveles de contaminación, tanto a la entrada como a la salida de cada etapa.

2. Introducción

Sin agua no hay vida, el agua es esencial para cualquier forma de vida, los ecosistemas naturales y la regulación del clima. Aunque el agua total presente en el planeta permanece relativamente constante a lo largo de los años, su disponibilidad varía en función al cambio climático.

La contaminación del agua y su escasez plantean amenazas para la salud y la calidad de vida, pero su incidencia ecológica es más general. La escasez de agua de buena calidad perjudica al medio acuático, húmedo y terrestre, a la flora y la fauna. Sin un adecuado tratamiento de las aguas contaminadas, la descomposición de la materia orgánica y compuestos amoniacales del agua residual, produciría el consumo de oxígeno disuelto. Se producirían malos olores, habría un elevado número de patógenos y se produciría la eutrofización de las aguas causado por los altos contenidos de fósforo y nitrógeno.

Desde la antigüedad se ha admitido la importancia de la calidad del agua para abastecimiento urbano, pero no ha sido hasta el siglo XIX cuando se puso de manifiesto la necesidad de una adecuada gestión del agua residual como medio de protección de la salud pública. En las últimas dos décadas se han realizado grandes esfuerzos en todo el mundo para incrementar el porcentaje de población con acceso a servicios de saneamiento básicos. Sin embargo, en la actualidad todavía más de un tercio de la población mundial no dispone de acceso al saneamiento.

En España el tratamiento de aguas residuales (aguas fecales, de lavado doméstico, de limpieza pública y riego, y aguas de lluvia) ha evolucionado de forma muy positiva en los últimos años, gracias a la concienciación y el dinero invertido en este tipo de estaciones, el volumen de agua residual tratada ha aumentado considerablemente, y ya existen 2.533 EDAR en territorio nacional que generan un caudal de 3.375 hm³ de agua depurada al año (de acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino).

Actualmente, este tipo de tratamientos están regulado por la Directiva Europea 91/271/CE, que obliga a disponer de sistemas colectores y a aplicar tratamientos primarios y secundarios a municipios con más de 2.000 habitantes equivalentes. Con el fin de satisfacer el cumplimiento de dicha legislación, se está llevando a cabo el Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y Depuración, 2007-2015. Este Plan tiene como propósito final la protección de las aguas superficiales frente a los vertidos provenientes de las zonas urbanas.

En el presente proyecto se aborda el diseño de una estación depuradora con sistema de fangos activados con oxidación prolongada que seguirá dicha Directiva Europea. Se parte de unas características del agua acordes con la población estudiada y el país en el que se establece la planta. Siguiendo el modelo general de EDARs en España y teniendo en cuenta los procesos más usados, se establecen una serie de alternativas tradicionales, que se comparan medio ambiental y económicamente con la estación propuesta.

Finalmente, se procede a un estudio de la viabilidad de una estación depuradora con sistema de fangos activados con oxidación prolongada. Se lleva a cabo el diseño y dimensionamiento de la planta para comprobar su viabilidad técnica.

3. Configuración general de una EDAR

Una vez establecida la necesidad de las estaciones depuradoras de aguas residuales, y definida la evolución de la gestión del agua residual y la situación actual en España, se presenta el esquema básico general de una estación depuradora de aguas residuales, donde se diferencian las diferentes etapas tanto en la línea de agua como en la de fango:

- Línea de agua:

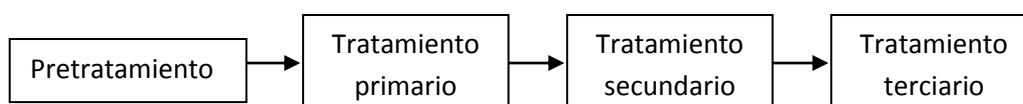


Figura 1. Línea de agua de una EDAR convencional.

Referente a la línea de agua, partiendo de un agua bruta contaminada, a través de los procesos reflejados en la figura anterior, se obtiene un efluente depurado que puede volver a ser reutilizado. El pretratamiento tiene como función acondicionar las aguas para evitar problemas en posteriores tratamientos de las mismas. El tratamiento primario permite el asentamiento de sólidos, generalmente a través de una decantación primaria. En el secundario se transforma la materia orgánica en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente. Finalmente el tratamiento terciario comprende procesos adicionales, pero al tratarse de aguas residuales de mediano tamaño solo se estudiará la desinfección.

- Línea de fango:

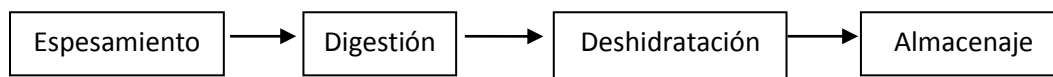


Figura 2. Línea de fango de una EDAR convencional.

Los fangos producidos en el tratamiento primario y secundario de la línea de agua poseen una gran cantidad de agua (ocupan un gran volumen y son difícil de manipular), por lo que se requiere un espesamiento que reduzca esta cantidad de agua. Los fangos poseen también mucha materia orgánica (entran fácilmente en descomposición produciendo malos olores), por lo que al espesamiento le sigue un proceso de digestión de esta materia orgánica, que puede ser aerobio o anaerobio. Tras la digestión se deshidratan los fangos, para reducir al máximo posible su volumen y hacerlos manejables.[4,12]

Una vez se almacenan los fangos, pueden tener usos agrícolas, ser depositados en vertederos o incinerados. Según datos del Registro Nacional de Lodos en España ha primado como destino final su utilización agrícola (aproximadamente el 80% de los generados). Se ha logrado reducir en gran medida el depósito en vertedero (aproximadamente el 8% actualmente), y la incineración va creciendo (en torno a un 4%). Otro destino de menor importancia cuantitativa es el uso de los lodos en suelos no agrícolas.

Dado el mediano tamaño de la población estudiada, se plantea la posibilidad de salirse de este esquema general, de simplificar el proceso con fines medio ambientales y económicos.

Configuración propuesta.

Se plantean dos novedades respecto a la configuración general de una EDAR. Eliminar el tratamiento primario y la digestión de fangos. Así pues la línea de agua y de fango seguirían el siguiente esquema respectivamente:

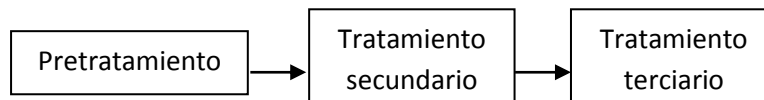


Figura 3. Línea de agua de la SP.

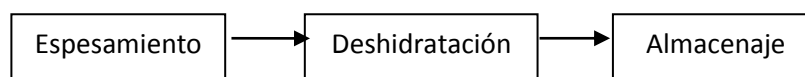


Figura 4. Línea de fango de la SP.

Se propone eliminar el tratamiento primario, que como se ha expuesto anteriormente, suele constar de una decantación primaria. Esta innovación facilita los procesos en la línea de fangos, ya que solo se producen fangos secundarios, procedentes del decantador secundario.

Estos fangos secundarios, gracias a la instalación de un reactor biológico con oxidación prolongada, no precisan de una posterior digestión, ya que en ellos se consiguen estabilizar los fangos.

La oxidación prolongada es un proceso de baja carga, lo que significa que la relación entre los kg de DBO5 y los kg de MLSS en el reactor biológico al día es menor a 0,1. Esto conlleva edades del fango altas (entre 14 y 20 días). La edad del fango es la relación entre los kg de fangos activos en el reactor y los kg de fangos en exceso. Para asegurar la estabilización de los fangos se impondrá una edad del fango de al menos 18 días, por lo que se podrá suprimir sin ningún problema la digestión de fangos.

Así pues, al eliminar el tratamiento primario, no tenemos fangos primarios, los cuales, dado a su alto porcentaje en materia volátil requerirían una posterior digestión. Gracias a la elección del reactor, se pueden estabilizar los fangos secundarios. Estas simplificaciones tendrán ventajas tanto medio ambientales como económicas.

Adicionalmente, la eliminación del tratamiento primario hará que la estación desprenda menos olores, ya que se pasa directamente del pretratamiento al reactor biológico, donde se produce la aireación. Gracias a la eliminación de la digestión se ahorra en costes de inversión y energéticos, aunque hay que tener en cuenta que se requiere un reactor biológico más exigente (más volumen, mayores tiempos de retención) para conseguir la estabilización.

De esta forma, estas modificaciones darán lugar a una EDAR más limpia y económica, tal y como se comprobará más adelante gracias al estudio medio ambiental y económico de la solución propuesta y de varias alternativas que siguen la configuración tradicional de una estación depuradora de aguas residuales.

La viabilidad técnica de la solución propuesta será puesta a prueba a través del dimensionamiento y diseño de la planta, donde se analizarán los principales equipos y se medirá si los niveles de contaminantes del agua depurada cumplen la normativa establecida.

Antes de estudiar en detalle esta propuesta y plantear diferentes alternativas tradicionales con las que compararla, se deben establecer unos datos de partida del agua bruta y unos objetivos finales referentes al efluente y al fango.

4. Datos de partida

Antes de diseñar una estación depuradora de aguas residuales se debe definir las características que tiene el agua bruta de entrada, tanto su caudal como sus niveles de contaminación; y se deben establecer unos objetivos finales, tanto para la línea de agua como para la de fango.

4.1 Características del agua bruta de entrada.

Partiendo del tamaño de la población estudiada y teniendo en cuenta que la estación se situará en España, podemos establecer un caudal medio orientativo de entrada. Con respecto a la carga contaminante del agua, se realiza un estudio de estaciones de similar tamaño en España y se toman unos valores aproximados de DQO, DBO₅ y SST.

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la contaminación del agua a través de la cantidad de oxígeno necesario para oxidar por medios químicos la materia orgánica. La demanda biológica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos presentes en el agua para degradar las sustancias orgánicas. Este análisis se realiza generalmente durante cinco días (DBO₅). Los SST son los sólidos no disueltos superiores a 1,2 micras [13].

Caudal de partida.

Para establecer un caudal medio de entrada se aplica la siguiente ecuación, que da un valor aproximado del caudal medio atendiendo a la dotación en España y la población estudiada:

$$Q_{med} = \frac{H * Dd}{86.400} = \frac{25.000 * 250}{86.400} \approx 75 \text{ l/s} \quad [1]$$

Donde:

H= Habitantes (20.000-25.000).

Dd= Dotación en España varía entre 200 y 250 (l/hab/día).

En el Plan Hidrológico Nacional, que abarca la configuración hidrográfica española define como calcular el caudal máximo usado en pretratamiento (considera las posibles lluvias, que se sumarán al agua residual que circula por el colector) y el caudal máximo en tiempo seco (el que entra al reactor biológico) dependiendo de la situación de la EDAR.

En concreto, los Planes Generales de Cuenca definen estos coeficientes para los diversos ríos españoles. En este proyecto se tomará como referencia el río Duero, en cuya normativa se recomienda un coeficiente de pretratamiento de 5 y un coeficiente de tiempo seco de entre 1,5 y 2 (en este caso tomaremos 2). Así pues, los caudales de agua bruta son:

	CAUDALES (l/s)
Caudal medio	75
Caudal máximo en pretratamiento	375
Caudal máximo en tiempo seco	150

Tabla 1. Caudales de partida.

4. Datos de partida

De esta forma, se situarían dos aliviaderos, uno al inicio de la estación, que permitiría una entrada máxima de cinco veces el caudal medio, y otro a la salida del pretratamiento, que limitaría el caudal de paso al tratamiento secundario a dos veces el caudal medio. Esta gran reducción del caudal antes del tratamiento secundario se lleva a cabo para evitar el lavado de la biomasa de fangos activados. Ambos aliviaderos irían precedidos de medidores de caudal.

Niveles de contaminación de partida

Para establecer los niveles de contaminantes del agua de entrada a la estación se realiza un estudio de estaciones de similar tamaño en España (Anexo A) y se toman unos valores aproximados de DQO, DBO₅ y SST, que aparecen en la tabla siguiente. Para la determinación de las concentraciones de nitrógeno y fósforo, se ha supuesto una producción de 9 y 1,5 g respectivamente por habitante equivalente y día [9].

	<i>DBO₅</i>	<i>DQO</i>	<i>SST</i>	<i>N</i>	<i>P</i>
Concentración (mg/l)	300	600	350	45	7,5

Tabla 2. Contaminantes de partida.

Aceptando por definición de habitante equivalente, la carga orgánica biodegradable con una demanda biológica de oxígeno (DBO₅) de 60 g de O₂ por día, resulta una población equivalente de 32.417.

4.2 Características del agua depurada

Antes de diseñar la estación es necesario establecer unos niveles máximos de DBO₅, DQO, SST, nitrógeno y fósforo del agua depurada. Para fijar estos niveles de contaminación máximos del agua depurada se sigue la directiva comunitaria relativa al tratamiento de aguas residuales, la Directiva 91/271/CEE.

Tal y como refleja el Anexo B, donde se expone dicha normativa, y teniendo en cuenta que el agua depurada será vertida en una zona sensible, se pueden considerar los siguientes límites máximos permisibles:

Parámetros (mg/l)	Límite máximo permisible (mg/l)	Reducción mínima (%)
<i>DBO₅</i>	25	70-90
<i>DQO</i>	125	75
<i>SST</i>	35	90
<i>N</i>	15	70-80
<i>P</i>	2	80

Tabla 3. Parámetros de contaminación permisibles del agua depurada.

4.3 Características del fango

En la línea de agua, tanto del decantador primario como secundario, se obtienen fangos, que están formados por los sólidos decantados del agua bruta.

Aunque no existe una normativa que exija el cumplimiento de unas condiciones determinadas para el fango producido en las plantas de tratamiento de aguas residuales, se ha tenido en cuenta en el diseño de los procesos, que los fangos generados tengan un cierto grado de estabilización (mineralización o reducción de materia volátil).

En plantas pequeñas y de tamaño medio, como la estudiada, se opta por tratamientos en oxidación prolongada, que conlleva la estabilización de fangos considerando reducciones de volátiles del 27 al 37%. En las plantas grandes, la estabilización se realiza con digestión anaerobia, considerado una reducción de volátiles del 45 %.

La sequedad del fango deshidratado (contenido en materia seca) se ha considerado del 22 % en volumen.

5. Posibles configuraciones tradicionales

Una vez establecidos los datos de partida y los objetivos de depuración, se procede al planteamiento de diferentes procesos tradicionales de tratamiento de aguas residuales. Como ya se ha comentado anteriormente, las alternativas propuestas serán diferentes por su tratamiento secundario y tipo de digestión: aerobia o anaerobia, por lo que la mayor parte del proceso, tanto en la línea de agua como en la línea de fango será común.

Con respecto al tratamiento secundario, su función principal es reducir la DBO mediante la transformación de la materia orgánica presente en el agua en sus compuestos minerales (que serán seguidamente separados por decantación).

En el tratamiento biológico (o secundario) también se resuelve el problema de la eutrofización del agua por su enriquecimiento con nutrientes. Si hay un exceso de nutrientes, esencialmente de nitrógeno y fósforo, tiene lugar el crecimiento excesivo de varios organismos, que al morir se pudren. Esta putrefacción consume gran parte del oxígeno disuelto en el agua, ocasiona malos olores y disminuye la calidad del agua. Esto hace que la EDAR necesite un proceso de disminución del nitrógeno y fósforo presente en el agua, este proceso se lleva a cabo en el tratamiento biológico.

El tratamiento biológico consta de un reactor biológico y un decantador secundario. Los procesos más utilizados en el reactor biológico son los siguientes [10]:

- Fangos activados (biomasa suspendida): consiste en mantener un cultivo biológico formado por diversos tipos de microorganismos y el agua residual a tratar. Estos microorganismos se alimentarán de las sustancias que lleva el agua residual para generar más microorganismos y en el proceso se forman unas partículas fácilmente decantables que se denominan flóculos y que en conjunto constituyen los denominados fangos activos o biológicos.
- Procesos de película fija (biomasa soportada): consiste en facilitar el crecimiento de los microorganismos en la superficie de un sólido, donde se formará una biopelícula. Existen varios tipos de procesos de película fija: lechos bacterianos, contactores biológicos rotativos, biofiltros.

La digestión de fangos tiene como objetivo la estabilización del lodo, se trata de reducir el porcentaje de organismos patógenos y materia orgánica, ya que su descomposición da lugar a olores desagradables. La digestión puede tener lugar con o sin presencia de oxígeno (Anexo C):

- Digestión aerobia, consiste en mantener la fase endógena de los cultivos biológicos lo que hace que estos pongan en funcionamiento sus reservas y se produzca el consumo de una parte considerable de la materia orgánica global.
- Digestión anaerobia, la materia orgánica del fango, situado en un reactor herméticamente cerrado, se convierte en metano y dióxido de carbono. Este tipo de digestión es común en estaciones de gran tamaño, ya que requiere una gran inversión inicial, altos costes de mantenimiento, y para medianas y pequeñas poblaciones está fuera de escala. En este proceso se produce biogás que puede ser usado para producir energía eléctrica.

A continuación se presentan las diferentes alternativas tradicionales (aquellas que siguen el esquema general de una EDAR, visto en las figuras 1 y 2).

5. Posibles configuraciones tradicionales

BIOMASA	DIGESTIÓN	AIREACIÓN	ALTERNATIVA
SUSPENDIDA	AEROBIA	SUMERGIDA	1A
		SUPERFICIAL	1B
	ANAEROBIA	NO APLICA	2
SOPORTADA	AEROBIO	NATURAL	3

Tabla 4. Alternativas planteadas.

La alternativa 1, dependiendo del tipo de aireación usada, se dividirá en alternativa 1A y 1B. La **alternativa 2** no es apropiada para el tamaño de estación depuradora de aguas residuales estudiada, por lo que **queda descartada**.

A continuación se detallan las características y el funcionamiento de las alternativas, que todas ellas finalizarán el tratamiento biológico con una decantación secundaria. Primero se definirán las etapas comunes a todas las alternativas, distinguiendo la línea de agua y la de fango.

5.1 Elementos comunes a todas las alternativas.

Una vez presentadas las alternativas, se procede a la elección de las fases y de los equipos de cada etapa común [4].

5.1.1 Línea de agua.

Tal y como muestra la figura 1, las etapas por las que pasa el agua son pretratamiento, tratamiento primario, secundario y digestión. En este apartado se detallan todas ellas a excepción del tratamiento secundario, que no es común y se estudiará dentro de cada alternativa.

5.1.1.1 Pretratamiento

Tiene como finalidad separar las materias de mayor tamaño, las arenas y las grasas, evitando:

- Obstrucciones en bombas o tuberías.
- Desgaste de equipos por el efecto abrasivo de las arenas.
- Reducción de la eficiencia del proceso biológico por exceso de materias grasas.

Estará compuesto por un pozo de gruesos, bombeo de agua bruta, desbaste fino y desarenado-desengrasado.

Pozo de gruesos

Para la eliminación de sólidos muy gruesos y para la protección del bombeo posterior se ha previsto la construcción de un pozo de gruesos, con una sección troncopiramidal con las paredes inclinadas, para evitar acumulación de sólidos y arenas en los laterales y esquinas, y poder extraer de manera efectiva la mayor cantidad de residuos. El pozo de gruesos estará equipado con una cuchara bivalva para la extracción de los residuos, y un contenedor de residuos.

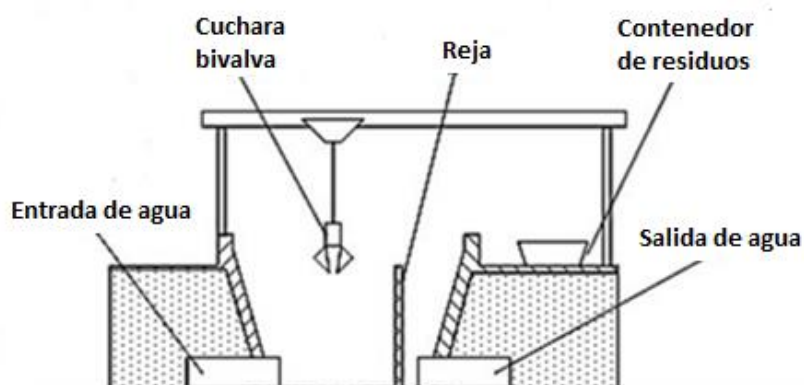


Figura 5. Pozo de gruesos. Adaptación [20].

Bombeo de agua bruta

Cuando el colector de llegada del agua residual circula a una cota inferior a la necesaria es necesario instalar un sistema de elevación a la entrada de la EDAR, para que, una vez canalizada el agua por toda la línea de tratamiento, pueda verterse por gravedad.

5. Posibles configuraciones tradicionales

Desbaste fino

Esta operación consiste en hacer pasar el agua residual a través de una reja de entre 3-12 mm.

Sus objetivos son los mismos que se pretenden con el desbaste del pozo de gruesos, eliminar materia que por su tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores.

Desarenado-desengrase

Tras el desbaste, el agua residual se somete a un proceso para la eliminación de las arenas y grasas que transporta.

El desarenado tiene como objetivo eliminar partículas más pesadas que el agua, que no se hayan retenido en el desbaste. De este modo, se consiguen proteger los equipos de procesos posteriores ante la abrasión, atascos y sobrecargas.

Con el desengrasado se eliminan grasas, aceites, espumas y materias flotantes más ligeras que el agua; evitando así posibles interferencias en procesos posteriores:

- en los decantadores forman una capa superficial que dificulta la sedimentación al atraer hacia la superficie pequeñas partículas de materia orgánica.
- en el reactor biológico empeoran la correcta aireación, disminuyendo el coeficiente de transferencia, y favorecen la aparición de organismos filamentosos en los sistemas biológicos, participando en la producción de bulking.
- perturban el proceso de digestión de lodos.
- la DQO se incrementa en un 20 a un 30% por las grasas contenidas en los vertidos.

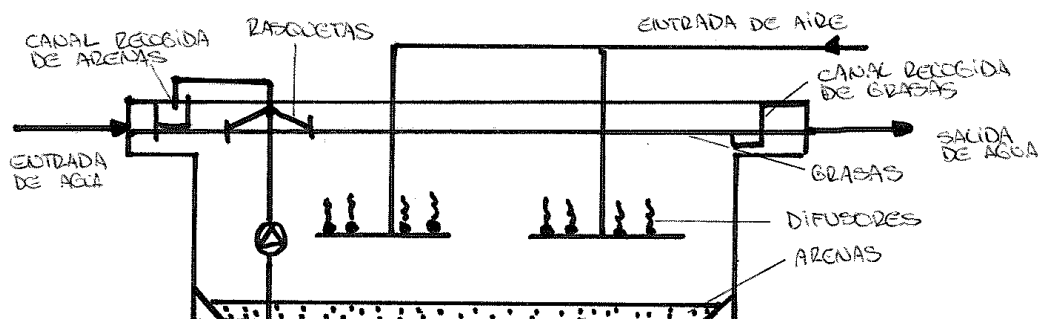


Figura 6. Desarenador-desengrasador.

5.1.1.2 Tratamiento primario

El tratamiento primario tiene como función es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Este se llevará a cabo a través de una decantación primaria.

El objetivo fundamental de este proceso es continuar eliminando sustancias insolubles (sólidos en suspensión) por métodos puramente físicos, es decir por acción de la fuerza de la gravedad. Generalmente en este proceso se consiguen reducciones del 60, 30, 25 y 15% de SS, DBO5, P y N.

En el diseño de los decantadores se tiene en cuenta que la velocidad ascensional a caudal máximo no supere 1,5 m/h, que es una medida conservadora.

5. Posibles configuraciones tradicionales

Se ha optado por decantadores de forma circular, con fondo ligeramente inclinado hacia el centro y provistos de rasquetas que barren el fondo con el fin de conseguir una concentración en los fangos. El agua, una vez tratada, se recoge por medio de vertederos periféricos desde donde pasa a al tratamiento biológico. Además, el decantador cuenta con recogida de flotantes en superficie.

5.1.1.3 Desinfección

Como ya se ha comentado anteriormente, al tratarse de aguas residuales, el tratamiento terciario solo abarcará la desinfección.

A la salida del decantador secundario, el agua pasará por un canal de cloración para su desinfección, es decir, para destruir cualquier organismo patógeno que pudiera haber sobrevivido al proceso de tratamiento, protegiendo así la salud pública. La desinfección del agua residual toma gran importancia cuando el efluente secundario es usado para nadar o para el consumo humano.

Los tres grandes grupos de patógenos de origen entérico que causan la mayor parte de los problemas de salud pública relacionada con enfermedades gastrointestinales son: bacterias, virus y protozoos.

Entre estos protozoos, los más reconocidos son los quistes de ameba. Otro organismo patógeno que debe controlarse permanentemente en las aguas y en los lodos tratados de las depuradoras, son los huevos de helminto.

Para la desinfección de las aguas residuales tratadas en la depuradora, pueden emplearse los siguientes oxidantes: cloro gaseoso, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, dióxido de cloro, cloruro de bromo, ozono, radiación UV (disminuye su eficiencia con la presencia de sólidos en suspensión).

Estas sustancias son altamente tóxicas para los microorganismos, destruyen su pared celular, causando su muerte, y/o inhiben su actividad enzimática, inactivándolos. Cualquier desinfectante que se use debe considerar la inactivación o destrucción de los patógenos en el menor tiempo posible, empleando dosis bajas y sin que promueva la aparición de subproductos que puedan ser dañinos para los ecosistemas hídricos receptores.

El oxidante más empleado en el mundo, por su bajo costo, su facilidad de manejo, su estabilidad y su solubilidad, es el cloro en todas sus formas, seguido por la radiación ultravioleta (UV), muy practicada en Europa.

No obstante, la desinfección con rayos UV puede llegar a ser ineficiente, en aguas efluentes que contengan sólidos suspendidos, debido a que los patógenos se resguardan bajo estas partículas, del efecto desinfectante de la radiación.

Para desinfección de aguas residuales, la forma de cloro más empleada es el hipoclorito de sodio (líquido). Éste se aplica al efluente de la depuradora en una cámara de contacto para dispersar el oxidante de manera homogénea en toda la masa del vertido que será desinfectado.

Se recomienda el empleo del hipoclorito en concentraciones entre el 10 y el 20% de cloro libre disponible en solución. Las dosis aplicadas de hipoclorito de sodio son usualmente inferiores a 10 mg/L, con tiempos de contacto entre 5 y 15 minutos.

Para la desinfección del efluente se ha previsto la dosificación de cloro libre, utilizando hipoclorito comercial. El depósito para almacenar el reactivo, se diseñará con una autonomía superior a 30 días.

5.1.2 Línea de fango.

Tal y como muestra la figura 2, las etapas por las que pasa el fango son espesamiento, digestión, deshidratación y almacenaje. En este apartado se detallan todas ellas a excepción de la digestión, que se detalla en el Anexo C.

5.1.2.1 Espesamiento de fangos.

El espesamiento de fangos se lleva a cabo por el fenómeno físico de la gravedad, debido al peso, las partículas sólidas se depositan en el fondo del espesador, consiguiendo así aumentar la fracción sólida del fango. Estos lodos depositados en el fondo bombean a los digestores.

A la hora de diseñar el espesador se han tomado como criterios [9]:

- el tiempo de retención del fango a caudal medio será superior a 2 días.
- el espesador trabajará a una carga de sólidos inferior a 45 Kg MS/m²/día .

5.1.2.2 Deshidratación de fangos

Los fangos pueden ser deshidratados gracias a la acción de medios filtrantes (filtros banda y los filtros prensa) o mediante centrífugas. La deshidratación estudiada en este proyecto se llevara a cabo por centrifugación, que presenta un rendimiento medio entre estos dos tipos de filtros. Se instalarán dos centrífugas, donde los fangos se separarán en dos fases (sólida y líquida) gracias a la fuerza centrífuga y la adición de un polímero que garantice una correcta separación de las fases.

Para acondicionamiento químico a la deshidratación se empleará polielectrolito. La sequedad prevista tras la deshidratación es superior al 22% en volumen.

5.1.2.3 Almacenamiento de fangos deshidratados.

Como criterio de diseño se ha optado por una capacidad de almacenamiento a caudal medio de al menos dos días, por lo que se instalará una tolva de 25 m³ de capacidad.

5.2 Alternativas estudiadas.

Una vez definidos los elementos comunes, se presentan las diferentes alternativas que se compararán posteriormente con la estación depuradora de aguas residuales propuesta. Una vez descartada la alternativa 2 (fangos activados con estabilización anaerobia de fangos) dado el tamaño de la población, se presentan las dos alternativas restantes. Ambas alternativas finalizarán el tratamiento biológico con una decantación secundaria.

Para la decantación secundaria se ha previsto la instalación de decantadores circulares de rasquetas. Se ha optado por este diseño porque, aunque ocupan bastante espacio, el rendimiento y el funcionamiento hidráulico son más adecuados que en otros tipos de decantadores.

5.2.1 Fangos activados a media carga con estabilización aerobia de fangos (Alternativa 1)

El reactor biológico se diseña a la carga necesaria, media carga (valores generalmente entre 0,2 y 0,4) para cumplir con los requerimientos de vertido, sin tener en cuenta la estabilización del fango. Esto da como resultado edades del fango entre 10 y 14 días, por ello, posteriormente se precisa de una estabilización del fango producido (fango primario más fango en exceso).

Para cumplir con la normativa expuesta anteriormente, se diseña un tratamiento de fangos activos flujo pistón. En el reactor de flujo pistón trabaja en estado estacionario no existen gradientes radiales y no hay ningún tipo de mezcla axial. Para asegurar esto se exigen relaciones de L/A superiores a 3,5[14].

El reactor constará de una zona anóxica a la entrada, y de una zona aireada. La zona anóxica tendrá situados unos agitadores que mantendrán la biomasa en suspensión, y la zona aireada (óxica) dispondrá de sistemas de aireación que permitirán la eliminación de la materia orgánica. Para llevar a cabo la nitrificación-desnitrificación será necesaria una recirculación interna desde la zona aireada, donde se produce la nitrificación, a la zona anóxica, donde se produce la desnitrificación; tal y como se explicará más adelante.

Actualmente en España, solo se usan dos métodos de aporte de aire al reactor, los sumergidos y los superficiales. Los criterios de diseño del tratamiento son independientes del tipo de aireación utilizada, por lo que la única diferencia entre las alternativas 1A y 1 B estará en el cálculo de la oxigenación.

Los métodos sumergidos más usados en estaciones depuradoras de aguas residuales son los difusores (Alternativa 1A), que utilizan el aire proveniente de una soplante y producen burbujas muy finas.

Dentro de los superficiales podemos encontrar turbinas y rotores (Alternativa 1B). Las turbinas consisten en una hélice que bate el agua provocando una agitación superficial del agua que provoca olas y proyección de partículas que hacen que aumente la superficie en contacto con el aire, por lo que aumenta la transferencia de oxígeno del aire al agua. Los rotores superficiales están formados por un cilindro en el que están fijados unos elementos de agitación constituidos por paletas que al girar van golpeando el agua agitando su superficie y proyectando partículas al mismo tiempo que provocan el desplazamiento horizontal de toda la masa de agua [17].

5.2.2 Procesos de película fija. Lechos bacterianos (Alternativa 3).

En este proyecto únicamente se ha planteado la opción de instalar lechos bacterianos, como proceso de película fija, por las siguientes razones:

- los contactores rotativos, se consideran más efectivos en pequeñas poblaciones (en la EDAR objeto de estudio sería necesario instalar un elevado número de elementos, lo que complicaría mucho la explotación frente a otro tipo de procesos).
- los biofiltros están sujetos a patentes de casas comerciales lo que dificulta su implantación en la zona.
- se consideran más adecuados para EDARs en las que exista poco espacio disponible para su implantación, y por lo tanto necesiten soluciones de tamaño reducido, o bien deban cumplir unas condiciones ambientales estrictas y deban ser cubiertas para evitar la dispersión de olores.

El proceso de los lechos bacterianos, consiste en hacer caer el agua sobre un material natural (cantos) o artificial (plástico) de gran superficie específica que sirve de soporte a los microorganismos depuradores, los cuales forman sobre ellos una película (biopelícula) de espesor variable.

La aireación se efectúa por tiro natural y el agua a tratar se distribuye uniformemente en forma de lluvia por la parte superior del filtro. El soporte es fijo y el agua residual es la que se desplaza. El soporte permite el crecimiento biológico de los microorganismos.

El agua residual se aplica de arriba abajo (percola) sobre el medio a una tasa o caudal específico controlado. Esto provoca un íntimo contacto entre la materia orgánica del agua residual, los microorganismos del medio y el oxígeno contenido en el aire, que asciende o desciende (depende del gradiente térmico) a través del medio [18].

A la salida del lecho se recoge el agua depurada junto a un fango húmico que se separa del medio y organismos que pueden volver al sistema por la recirculación. Necesitan un sistema de decantación posterior para separar el agua de los restos de biopelícula desprendidos [16].

Las características principales a tener en cuenta son fundamentalmente la recirculación y la ventilación adecuada del lecho. Un buen funcionamiento del mismo puede llevar los vertidos urbanos a rendimientos elevados ($DBO_5 > 90\%$, $SS > 95\%$).

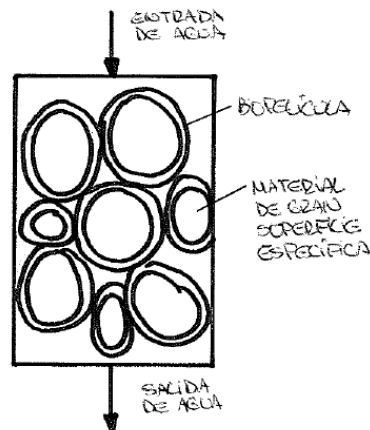


Figura 7. Lechos bacterianos.

5. Posibles configuraciones tradicionales

Para mantener la premisa adoptada en el diseño general de los tratamientos biológicos, según la cual se busca obtener una cierta nitrificación, y teniendo en cuenta las concentraciones de DBO del agua bruta, es necesario diseñar los lechos bacterianos en dos etapas.

Cuando el ratio DBO/NTK es elevado, una gran proporción del relleno está cubierta por bacterias heterótrofas, que inhiben la nitrificación, por lo tanto, es necesario realizar una eliminación previa de DBO carbonosa, que se llevará a cabo en la primera fase, para pasar a la segunda fase con un menor contenido en DBO, facilitando así la nitrificación.

Para el cálculo de los lechos bacterianos se sigue el criterio de Metcalf y Eddy [9]. Los principales condicionantes de diseño que habrá que tener en cuenta para definir los filtros son las cargas volúmica e hidráulica y el grado de tratamiento necesario.

6. Solución propuesta

Teniendo en cuenta el tamaño de la población estudiada, con el fin de simplificar la planta, abaratar costes y reducir las repercusiones medio ambientales, se propone una estación depuradora de aguas residuales con fangos activados en oxidación prolongada. Esta configuración no precisa de un tratamiento primario ni de una digestión de fangos.

La oxidación prolongada se caracteriza por ser un proceso de baja carga másica, que como ya se ha explicado anteriormente, es la relación entre los kg de DBO₅ al día y los kg de MLSS. Al ser un proceso de baja carga, la edad del fango es alta. La edad del fango es la relación entre los kg de MLSS y los kg de fangos en exceso producidos al día. Esto nos da como resultado unos fangos estabilizados que no requieren una digestión posterior.

Dado el tamaño de la planta, para simplificar el proceso, se prescinde del tratamiento primario. La decantación primaria produciría fangos primarios, que contienen alrededor de un 70% de materia volátil generalmente, es decir, requerirían una digestión posterior. Además de simplificar el proceso y evitar la necesidad de una digestión posterior, eliminar la decantación primaria conllevaría una reducción considerable de los malos olores.

Lo que diferencia por tanto, esta propuesta del resto de alternativas tradicionales es que es un proceso de fangos activos en oxidación prolongada que presenta las siguientes características fundamentales:

- Produce un efluente de muy buena calidad, con el máximo grado de nitrificación-desnitrificación.
- Se obtienen los fangos en exceso estabilizados, ya que la oxidación prolongada te permite obtener altas edades del fango. Por lo que no se necesita una posterior digestión del fango.
- Es un proceso muy flexible en cuanto a las condiciones de operación, lo que ofrece mejores garantías de obtener la calidad exigida en el efluente en cualquier época del año.

Este proceso requiere cargas bajas, alta edades de fango y tiempos de aireación prolongados. El proceso es flexible frente a variaciones de carga.

El reactor biológico será del mismo tipo explicado en la Alternativa 1, tipo flujo pistón. El reactor constará de una zona anóxica a la entrada, y de una zona óxica. Para llevar a cabo la nitrificación-desnitrificación será necesaria una recirculación interna desde la zona aireada a la zona anóxica, tal y como se explicará más adelante en el dimensionamiento de la planta.

La diferencia fundamental es que en esta propuesta permite alcanzar altas edades de fango, no solo la estrictamente necesaria para que se produzca la nitrificación-desnitrificación, por lo que este se estabilizará en el tratamiento secundario y se podrá prescindir de la digestión de fangos. Lo que permite alcanzar estas edades del fango son los altos tiempos de retención gracias al gran volumen del reactor biológico.

Así mismo, al igual que en la Alternativa 1, en esta propuesta se plantean dos tipos de aireación, con soplantes y difusores (SPA), o con aireación superficial (SPB). Estos procesos están explicados en el apartado 5.2.1.

6. Solución propuesta

El resto de las etapas de esta configuración son comunes a las alternativas estudiadas: el pretratamiento, decantación secundaria y desinfección en la línea del agua; y el espesamiento, deshidratación y almacenamiento de fangos en la línea del fango.

6.1 Esquema de ingeniería básica.

A continuación se muestra la ingeniería básica de la estación depuradora propuesta. Los datos numéricos han sido sacados del dimensionamiento (Anexo G). La línea de agua está marcada en azul y la de fango en blanco.

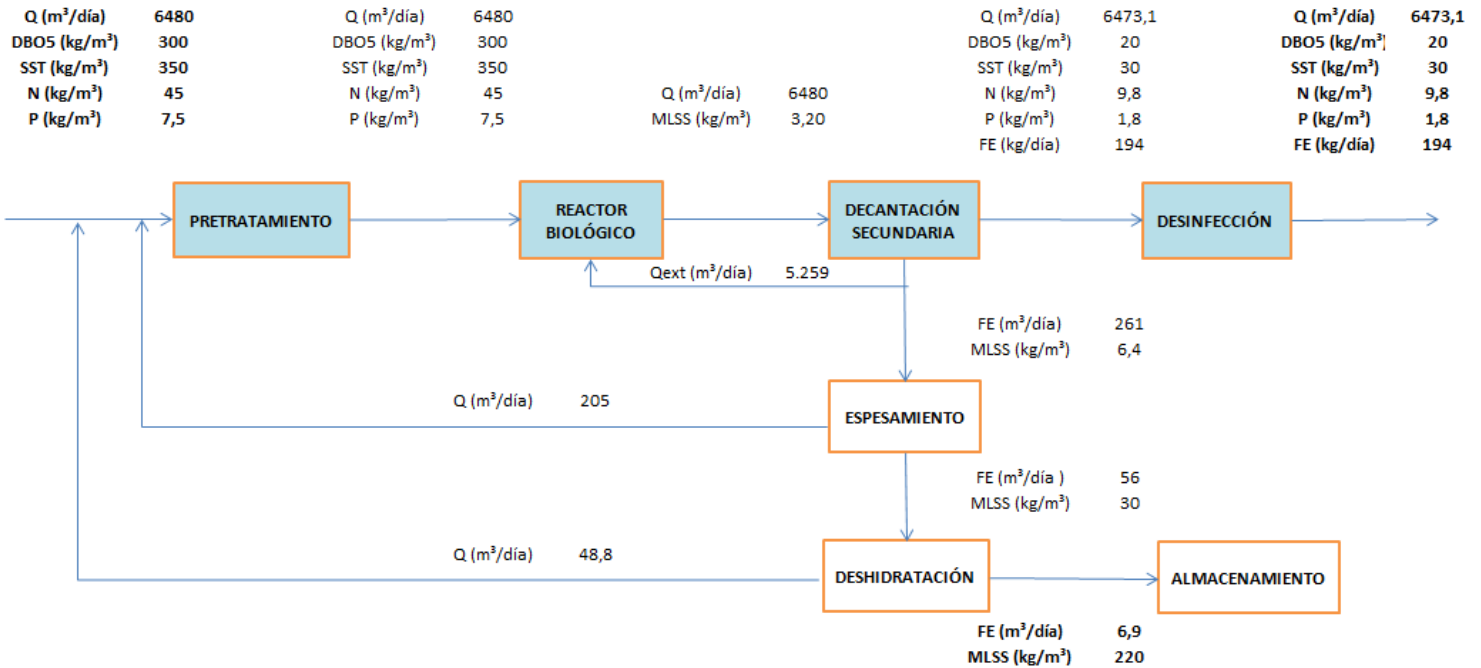


Figura 8. Esquema de ingeniería básica de la solución propuesta. Anexo G.

En este esquema se supone que los retornos de espesamiento y deshidratación tienen similares características que el agua bruta de entrada. Al ser tan pequeños comparado con el caudal medio de entrada a la planta, se han considera despreciables a la hora del dimensionamiento final de la planta.

El origen de este esquema se encuentra en la hoja Excel de especificaciones, donde encontramos tanto el dimensionamiento (ingeniería de detalle), como este esquema de funcionamiento de la planta (ingeniería básica).

7. Resumen de los elementos de la solución propuesta y de las alternativas

Puesto que hay partes del proceso que son comunes, se resumen a continuación los procesos que contiene la solución propuesta y las alternativas:

	SOLUCIÓN PROPUESTA	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 3
	OXIDACIÓN PROLONGADA	FANGOS ACTIVADOS MEDIA CARGA + ESTABILIZACIÓN AEROBIA DE FANGOS	PROCESOS DE PELÍCULA FIJA – LECHOS BACTERIANOS
PRETRATAMIENTO	POZO DE GRUESOS BOMBEO AG. BRUTA DESBASTE DESARENADO – DESENGRASE	POZO DE GRUESOS BOMBEO AG. BRUTA DESBASTE DESARENADO – DESENGRASE	POZO DE GRUESOS BOMBEO AG. BRUTA DESBASTE DESARENADO – DESENGRASE
DECANTACIÓN PRIMARIA		DECANTADOR CIRCULAR RASQUETAS	DECANTADOR CIRCULAR RASQUETAS
REACTOR BIOLÓGICO	AIREACIÓN CON SOPLANTES Y DIFUSORES (SPA)	AIREACIÓN CON SOPLANTES Y DIFUSORES (1A)	LECHO BACTERIANO
	AIREADORES SUPERFICIALES (SPB)	AIREADORES SUPERFICIALES (1B)	
DECANTACIÓN SECUNDARIA	DECANTADOR CIRCULAR RASQUETAS	DECANTADOR CIRCULAR RASQUETAS	DECANTADOR CIRCULAR RASQUETAS
DESINFECCIÓN	CANAL DE CLORACIÓN	CANAL DE CLORACIÓN	CANAL DE CLORACIÓN
DIGESTIÓN AEROBIA		AIREACIÓN CON SOPLANTES Y DIFUSORES (1A)	AIREACIÓN CON SOPLANTES Y DIFUSORES
		AIREADORES SUPERFICIALES (1B)	
ESPEZAMIENTO DE FANGOS EN EXCESO	ESPEZADOR GRAVEDAD	ESPEZADOR GRAVEDAD	ESPEZADOR GRAVEDAD
SECADO DE FANGOS Y ALMACENAMIENTO	CENTRÍFUGAS + TOLVA	CENTRÍFUGAS + TOLVA	CENTRÍFUGAS + TOLVA

Tabla 5. Resumen de los elementos de la solución propuesta y de las alternativas.

8. Discusión de la solución propuesta y las alternativas

Una vez estudiada la solución propuesta y las diferentes alternativas tradicionales, en el presente capítulo se analiza que configuración es más adecuada, atendiendo a factores derivados del proceso y adecuación a las circunstancias locales, y factores derivados de la valoración económica.

Para cuantificar las diferencias entre las diferentes alternativas y la solución propuesta, se dará una puntuación a cada uno de estos factores, de forma que se establezca un orden que permita conocer qué configuración es más adecuada. Se ha distinguido entre dos tipos de factores:

- Factores derivados del proceso y adecuación a las circunstancias locales: dentro del estudio del proceso y adecuación a las circunstancias locales, se analiza la fiabilidad para la línea de agua, para la línea de fangos, la simplicidad de explotación y mantenimiento, y la afección ambiental [3,8].
- Factores derivados de la valoración económica: se calculan los costes aproximados de inversión y los de mantenimiento y explotación. Posteriormente se amortizan estos costes, teniendo en cuenta un periodo de 25 años [2,12].

8.1 Proceso y adecuación a las circunstancias locales.

Para cada alternativa propuesta se analizarán los siguientes factores:

- Fiabilidad del proceso propuesto para la línea de agua.
- Fiabilidad del proceso propuesto para la línea de fangos.
- Simplicidad de explotación y mantenimiento.
- Afección ambiental.

8.1.1 Fiabilidad del proceso propuesto para la línea de agua

Se valorarán mejor aquellos sistemas que tengan una mayor flexibilidad frente a variaciones de caudal y carga contaminante, manteniendo la mejor calidad del efluente posible en forma permanente.

Los procesos de fangos activados (SP y Alternativa 1) se comportan bastante bien en este aspecto, aumentando su fiabilidad con el aumento de la Edad del fango (SP), por lo que las oxidaciones prolongadas son más fiables.

Puede considerarse que la alternativa 3 (Lechos bacterianos) presenta una fiabilidad menor que las demás, por la necesidad de mantener en buen estado la película biológica en los lechos, además de que el proceso puede verse afectado por variaciones en la carga contaminante y variaciones de la temperatura del agua y del aire. Con respecto a esto último cabe destacar que en los lechos bacterianos la aeración se produce por tiro natural de aire creado por la diferencia de temperaturas entre el interior del lecho (Temperatura del agua), y el exterior del lecho (Temperatura del aire). Cuando este gradiente es muy pequeño, no circula prácticamente el aire a través del lecho y consiguientemente afecta negativamente a la calidad del agua y a la estabilidad del proceso.

8.1.2 Fiabilidad del proceso propuesto para la línea de fangos

Dentro de las configuraciones de fangos activados (SP y Alternativa 1), es más fácil garantizar la estabilización de los fangos en las alternativas con oxidación prolongada (SP), en las que se consigue la estabilización manteniendo una edad del fango adecuada, que en la Alternativa 1, que requiere una estabilización aerobia posterior.

Si comparamos el sistema de aireación, son más fiables los sistemas de aireación superficial (SPB y Alternativa 1B), puesto que se evitan posibles problemas de atascamiento de los difusores con el fango, o con el licor mezcla.

8.1.3 Simplicidad de explotación y mantenimiento

Es importante considerar la mayor o menor dificultad que conlleva la explotación diaria de la estación, así como su conservación y mantenimiento, pues en principio es probable que las labores ordinarias sean llevadas a cabo por personal de la propia zona, y conviene facilitar estas tareas dentro de lo posible. De esta forma, es conveniente, dar prioridad a los procesos más sencillos y que requieran menor tiempo operación.

En este sentido, los sistemas de aireación superficial (SPB y Alternativa 1B) presentan cierta ventaja sobre las alternativas con soplantes y difusores (SPA y Alternativa 1A), puesto que en los sistemas de difusores se deben reponer estos cada 7-8 años, y además el mantenimiento de los rotores o turbinas es más sencillo, ya que no ocasionan problemas de atascamiento y las posibles reparaciones de los

8. Discusión de la solución propuesta y las alternativas

equipos son más sencillas. Por supuesto las soplantes consumen menos energía que los aireadores superficiales, pero este hecho se refleja en los factores económicos.

La explotación de las soluciones propuestas será más sencilla que las alternativas expuestas, ya que el tratamiento biológico es el único proceso que hay que controlar, ya que no hay estabilización posterior del fango.

La alternativa 3 sería la más complicada de explotar, por la necesidad de mantener en buen estado la película biológica necesaria para el proceso ya comentada, y porque requiere un control constante de las bombas de recirculación, para mantener la carga hidráulica.

8.1.4 Afección ambiental

La instalación de la planta puede ocasionar problemas a la población cercana, debido a la producción de ruidos, olores, presencia de insectos y a la posibilidad de riesgos sanitarios entre otros, y también al entorno circundante, tanto en cuanto a su integración en él como respecto del suelo, por lo que se valorarán positivamente aquellas alternativas en las que estos impactos sean menores.

En este sentido, las alternativas con soplantes y difusores (SPA y Alternativa 1A) presentan cierta ventaja sobre las alternativas con sistemas de aireación superficial (SPB y Alternativa 1B), ya que, en estos últimos, se produce una mayor generación de aerosoles en la aireación.

Puede considerarse que la alternativa 3 conlleva una afección ambiental mayor que las demás, por los siguientes motivos:

- Mayor generación de olores por la entrada en funcionamiento preferente de las bacterias anaerobias o facultativas por falta de aireación
- Proliferación de moscas por un excesivo crecimiento de sus larvas en el interior del lecho.

8.1.5 Puntuación

Se ha asignado un valor entre 1 y 5 (donde 1 es la calificación más baja y 5 la más alta) para cada uno de los factores considerados en cada una de las alternativas planteadas, obteniendo los siguientes resultados:

	SPA	SPB	1A	1B	3
FIABILIDAD DEL PROCESO PARA LA LÍNEA DE AGUA	5	5	4	4	3
FIABILIDAD DEL PROCESO PARA LA LÍNEA DE FANGOS	4	5	3	4	3
SIMPLICIDAD DE EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO	4	5	3	4	3
AFECCIÓN AMBIENTAL	5	4	4	3	2
TOTAL	18	19	14	15	11

Tabla 6. Puntuación del proceso y adecuación a las circunstancias locales.

8.2 Estudio de la amortización de las alternativas y explotación

Se ha realizado una valoración de la inversión inicial (Anexo D), así como estudios económicos de explotación y mantenimiento para determinar el costo anual (Anexo E).

Con estos datos se ha procedido a realizar un estudio de amortización de la inversión y de la explotación, considerando un periodo de 25 años (Anexo F). Se supondrá una tasa de interés activa del 8,2%. Para la actualización anual de la explotación se ha utilizado un IPC del 5%.

En este estudio de amortización, se ha considerado que la inversión inicial se amortiza (capital + intereses) año a año con una cantidad igual (anualidad equivalente). A esta cantidad se le suma el costo anual de la explotación.

Al final de los 25 años la alternativa “más económica” será la que sume una cantidad acumulada en los 25 años (Inversión + Explotación) menor.

En este caso, el estudio de amortización arroja el siguiente resultado:

ALTERNATIVA	Capital acumulado en 25 años.
SOLUCIÓN PROPUESTA A	15.349.323 €
SOLUCIÓN PROPUESTA B	15.409.818 €
ALTERNATIVA 1A	16.287.949 €
ALTERNATIVA 1B	16.529.529 €
ALTERNATIVA 3	16.865.912 €

Tabla 7. Amortización de la solución propuesta y las alternativas.

8.3 Valoración final

La valoración final se hará dando la misma importancia tanto el proceso y adecuación a las circunstancias locales, como el estudio de la amortización de las alternativas y explotación. Dependiendo de la región escogida dentro de España, uno de los factores podría tener más incidencia que el otro, pero este proyecto supone un diseño general para todo el país, por lo que se supondrá que ambos factores tienen la misma relevancia.

La valoración económica (V_e) se hará dando 100 puntos a la alternativa “más económica”, y 0 puntos a la más cara, interpolando linealmente entre ambas el resto (Anexo F).

La valoración de los factores de proceso y adecuación a circunstancias locales (V_p) se hará dando 100 puntos a la máxima puntuación (20 puntos), calculando:

$$V_p = P_i \cdot \frac{100}{20} \quad [2]$$

Donde P_i será la puntuación obtenida en el estudio del proceso y adecuación a las circunstancias locales.

La valoración final, como ya se ha comentado, será la resultante de aplicar un peso específico del 50% a ambos factores.

$$V_{FINAL} = 0,5 \cdot V_e + 0,5 \cdot V_p \quad [3]$$

8.4 Conclusiones

De la valoración establecida en el apartado anterior de la discusión de alternativas, se obtienen los siguientes resultados:

ALTERNATIVA	V_e	V_p	V_{FINAL}
SOLUCIÓN PROPUESTA A	100	90	95
SOLUCIÓN PROPUESTA B	96	95	95,5
ALTERNATIVA 1A	38	70	54
ALTERNATIVA 1B	22	75	48,5
ALTERNATIVA 3	0	55	27,5

Tabla 8. Valoración final de la solución propuesta y las alternativas.

Se concluye que para la población estudiada, los datos de partida tomados y las características asumidas a lo largo del informe, la configuración que ha obtenido una puntuación más alta es la solución propuesta B, que consistente en un proceso de fangos activados de baja carga másica en oxidación prolongada con sistemas de aireación superficial.

Tras este detallado estudio, se confirma que la solución propuesta, presenta ventajas tanto económicas como medio ambientales frente a los métodos tradicionales cuando consideramos poblaciones de moderado tamaño. Este estudio también indica el tipo de aireación más adecuada para la configuración propuesta, que es un sistema de aireación superficial.

9. Viabilidad técnica de la solución propuesta.

Una vez expuestas las ventajas medio ambientales y económicas de la solución propuesta, se procede a comprobar su viabilidad técnica a través del diseño y dimensionamiento de las etapas principales de la planta.

El diseño de la estación depuradora de aguas residuales con fangos activados con oxidación prolongada y sistemas de aireación superficial seguirá el siguiente esquema, donde se representa tanto la línea de agua (flechas azules), como la de fango (flechas marrones):

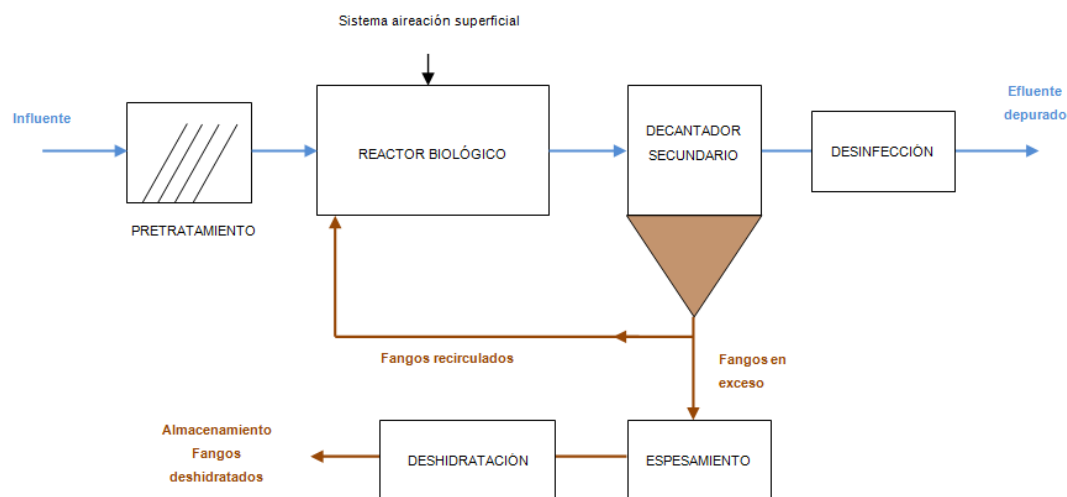


Figura 9. Esquema de la SPB.

A continuación se presenta el dimensionamiento de los distintos elementos de la estación. Para el cálculo de los parámetros del diseño a detalle de los equipos se ha usado la Norma ATV-Estándar A131 (Anexo H), la cual es válida para estaciones de una etapa. La aplicación de esta normativa exige la comprobación previa de las normas A-122 y A-126 Y DIN 4261. Dado el tamaño medio de la planta y puesto que este proyecto aborda un diseño general, se supone el cumplimiento de estas normas adicionales. Así pues, se sigue la normativa citada, que se explica en el diseño de cada equipo. La aplicación de la Norma ATV-Estándar A131 a la estación depuradora propuesta se muestra en el Anexo G*, que incluye una hoja Excel con todos los cálculos aplicados sobre los principales equipos de la planta [1, 5, 7].

El dimensionamiento se desarrolla a partir de los datos de partida estimados anteriormente (con el caudal y los contaminantes vistos en el apartado 4.1).

De acuerdo a la figura 9, inicialmente se va a resolver la línea de agua, y después la de fango. Por tanto se presenta primero el pretratamiento, que incluye un pozo de gruesos, su respectivo bombeo de agua, un canal de desbaste y un desarenador-desengrasador.

Seguidamente se estudia el reactor biológico, que es la pieza clave de este proyecto, gracias a la oxidación prolongada presente en el reactor se puede simplificar la planta suprimiendo la decantación primaria y la digestión de fangos. Se analizan sus parámetros característicos, la nitrificación-desnitrificación, la recirculación, la eliminación de fósforo y la oxigenación que tienen lugar en él.

* Los valores en rojo son datos de partida, los azules relativos a los criterio de diseño y los que están en negrita son los dato de salida relevantes.

9. Viabilidad técnica de la solución propuesta

Una vez queda definido el reactor biológico, que es el elemento que distingue la propuesta planteada en este trabajo del tratamiento convencional de aguas residuales, se dimensiona un decantador secundario. Por último, y solo en caso de circunstancias especiales, el agua pasará por un canal de cloración.

Una vez comprobado que el agua cumple la normativa correspondiente se procede al estudio de la línea de fango. En la configuración propuesta, a diferencia que en el esquema tradicional de una EDAR, los fangos solo se originan en el decantador secundario. Desde aquí, son bombeados hasta un espesador. Posteriormente tiene lugar la deshidratación mediante centrifugas, y una vez secados los fangos se almacenarán en una tolva.

Con este estudio de la viabilidad técnica se persigue cumplir la normativa relativa al tratamiento de aguas residuales, que fija la Directiva 91/271/CEE. A su vez, se persigue conseguir una estabilización y un volumen adecuado de los fangos resultantes.

9.1 Línea de agua

La línea del agua estudia las distintas etapas que debe experimentar el agua bruta de entrada para transformarse en un agua depurada que cumpla la normativa expuesta y pueda reutilizarse. Las etapas que comprende se explicarán por orden a continuación y son las expuestas en la figura 3.

9.1.1 Pretratamiento

9.1.1.1 Pozo de desbaste de gruesos

El pozo de gruesos se ha diseñado estableciendo un tiempo de retención hidráulico mínimo de 120 segundos a caudal máximo, para asegurar la decantación de los sólidos gruesos y las arenas. También se exige como criterio de diseño una velocidad ascensional a caudal máximo inferior a 100 m/s.

Se procede a la iteración de las dimensiones del pozo hasta que se cumplen estos requisitos. Así pues, el pozo de grueso tendrá un volumen de 47 m³ y está dotado de cuchara bivalva de 250 litros para la extracción de los residuos. El mantenimiento de los equipos del edificio de pretratamiento, se realiza con un puente grúa. El detritus de la cuchara se deposita en un contenedor de almacenamiento.

El pozo de gruesos, mostrado anteriormente en la figura tres, queda definido en la siguiente tabla:

-Profundidad parte recta (m)	1,5
-Profundidad parte inclinada (m)	1,1
-Anchura inferior (m)	2,5
-Longitud inferior (m)	2,5
-Anchura superior (m)	4,7
-Longitud superior (m)	4,7
-Volumen adoptado unitario (m ³)	47
-Velocidad ascensional a Q máximo (m ³ /m ² /h) < 100	61
-Tiempo de retención a Q máximo (segundos) > 120	126

Tabla 9. Especificaciones del pozo de gruesos.

A la salida de cada pozo de gruesos, se ha previsto una reja manual, con un paso de 70 mm., para protección de las bombas de agua bruta.

9.1.1.2 Bombeo de agua bruta

El bombeo tiene capacidad suficiente para bombear el caudal máximo de entrada a planta. El bombeo de agua bruta se realiza mediante tres bombas que tienen una capacidad de 460 m³/h a 10 m.c.a.

-Caudal máximo a bombear (m ³ /h)	1.350
-Caudal medio (m ³ /h)	270
-Nº de bombas en servicio	3
-Caudal unitario necesario (m ³ /h)	450
-Caudal unitario adoptado (m ³ /h)	460

9. Viabilidad técnica de la solución propuesta

-Capacidad máxima de bombeo (m ³ /h)	1.380
-------------------------------------------------	-------

Tabla 10. Especificaciones del bombeo de agua bruta.

9.1.1.3 Canales de desbaste fino

Se han previsto dos líneas de desbaste en obra civil, una equipada un tamiz de 3 mm de paso, de limpieza automática. La otra con reja de limpieza manual de 10 mm de paso. La línea manual de emergencia solo entrará en funcionamiento cuando esté fuera de servicio el tamiz automático.

Los desechos recogidos en los tamices son conducidos a un contenedor abierto mediante un tornillo transportador-compactador.

9.1.1.4 Desarenado-desengrase

El desarenado se refiere normalmente a partículas superiores a 200 micras. Una granulometría inferior corresponde a los procesos de predecantación o decantación. (Manual de Degremont, pag. 119).

El estudio teórico del desarenado está relacionado con el de los fenómenos de sedimentación en caída libre (Manual de Degremont, pag. 66), y en él intervienen las formulas de Stokes (en régimen laminar), de Newton (en régimen turbulento) y de Allen (aplicable a un régimen transitorio).

Estos cálculos derivan en los parámetros de diseño que se han tenido en cuenta para el desarenado-desengrase son:

- Velocidad ascensional real a $Q_{max} < 30$ m/h
- Tiempo de retención a $Q_{max} > 5$ min

Se ha previsto un desengrasado conjunto con el desarenador aireado, que presenta las siguientes ventajas:

- Las velocidades de sedimentación de las arenas y de flotación de las partículas de grasa no se modifican prácticamente por realizar el desarenado y la desemulsión de grasas en el mismo depósito lo cual es lógico si se considera la diferencia de densidades entre las partículas de arena y grasa.
- El aire comprimido añadido para la desemulsión ayuda a impedir la sedimentación de las partículas de fango, poco densas, por lo que la arena depositada en el fondo del desarenador es más limpia.
- Las partículas de arena, al sedimentar, deceleran las velocidades ascensionales de las partículas de grasa. Disponen así éstas de más tiempo para ponerse en contacto entre sí durante su recorrido hacia la superficie, aumentándose el rendimiento de la flotación de grasas.

En el sistema conjunto, en el mismo tanque de desarenado se crea una zona de tranquilización donde se acumulan las grasas en la superficie, evacuándose por vertedero o por barrido superficial.

En este proyecto se conducirá todo el caudal máximo hasta el desarenado-desengrase, que está formado por una línea de 4,0 m de ancho por 12,0 m de longitud, trabajando a una velocidad ascensional de 28,13 m/h a caudal máximo y de 5,63 m/h a caudal medio. Estas dimensiones son el resultado de iterar las diferentes longitudes hasta cumplir los parámetros de diseño citados.

9. Viabilidad técnica de la solución propuesta

-Caudal máximo en desarenado (m ³ /h)	1.350
-Caudal medio en desarenado (m ³ /h)	270
-Ancho del desarenador (m)	4,00
-Longitud del desarenador (m)	12,00
-Altura del desarenador (m)	3,00
-Superficie del desarenador (m ²)	48,00
-Velocidad ascensional real a Q max (m/h) < 30	28,13
-Velocidad ascensional real a Q medio (m/h)	5,63
-Seccion transversal (m ²)	12,00
-Volumen unitario desarenador (m ³)	144,00
-Tiempo de retención a Q max (min) > 5	6,40
-Tiempo de retención a Q med (min)	32,00

Tabla 11. Especificaciones del dimensionamiento del desarenador-desengrasador.

El sistema de aeración en desarenado está formado por una soplante, el aire aportado por la soplante se distribuye por medio de múltiples difusores.

El desarenador – desengrasador está dotado de un puente que discurre longitudinalmente a lo largo de todo el canal, a bordo del cual se sitúa la bomba de extracción de arenas. Esta bomba aspira la arena del fondo del desarenador y la impulsa hacia un canal lateral que conduce la mezcla agua – arena hacia un clasificador, el cual evacua las arenas en un contenedor.

El caudal de la bomba de arena que va situada a bordo del puente es de 25 m³/h, suficiente como para garantizar que no se produzcan deposiciones de arena en el fondo del desarenador, con una producción media de agua-arena de 40 l/m³ de agua residual y 12 horas de bombeo al día.

-Producción agua-arena a caudal medio (l/m ³ agua residual)	40
-Producción diaria a caudal medio (m ³ /día)	259
-Nº de horas de bombeo de agua-arena a caudal medio	12
-Capacidad necesaria de la bomba de arenas a caudal medio (m ³ /h)	21,6
-Capacidad adoptada de la bomba de arenas (m ³ /h)	25,0

Tabla 12. Especificaciones del sistema de extracción de arena.

La recogida de grasas se efectúa mediante un sistema de rasquetas de superficie, que empujan las grasas almacenadas en la parte lateral del desarenador – desengrasador, hacia un canal de recogida situado en la parte posterior del mismo. Para garantizar esta recogida de grasas, el puente del desarenador – desengrasador va dotado de un mecanismo para el accionamiento de las rasquetas de recogida de grasas, de manera que las rasquetas van sobre la superficie en el camino de ida del desarenador, levantándose al llegar al final de carrera situado en la parte posterior, y realizar el viaje de vuelta levantadas al objeto de no arrastrar las grasas hacia la parte anterior del desarenador. Las grasas y flotantes se conducen desde el canal de grasas hacia el concentrador de grasas.

9.1.2 Reactor biológico

Una vez realizado el estudio del pretratamiento y teniendo en cuenta los datos de partida adoptados y explicados con anterioridad, podemos establecer las características del agua a la entrada del biológico.

-Caudal medio diario (m ³ /día)	6.480
-Caudal medio horario (m ³ /h)	270
-Caudal máximo (m ³ /h)	540
-DBO5 entrada $C_{DBO_5,ER}$ (mg/l)	300
-DBO5 entrada C_{DBO_5} (kg/día)	1.945
-B (S.S./DBO5)	1,17
-Temperatura del proceso (°C)	20,0

Tabla 13. Especificaciones de los datos de partida del reactor biológico.

Se proyecta un tratamiento secundario con un reactor biológico de fangos activos a baja carga en flujo pistón para mejorar el proceso de nitrificación-desnitrificación, y un decantador secundario. El reactor biológico seguirá el siguiente esquema:

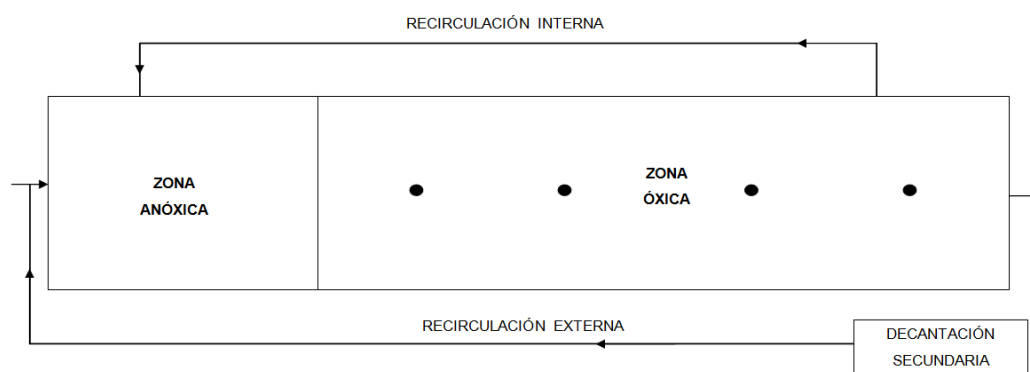


Figura 10. Reactor biológico tipo flujo pistón.

En el reactor de flujo pistón se trabaja en estado estacionario, no existen gradientes radiales, y no hay ningún tipo de mezcla axial. Para asegurar esto se exigen relaciones de L/A superiores a 3 o 3,5.

Dado el caudal de la planta y con el objetivo de alcanzar una edad del fango superior a 18 días para garantizar su estabilización, serán necesarias **dos** líneas de funcionamiento en el reactor biológico. Estas dos líneas permitirán una gran flexibilidad en cuanto a operación y prepara a la estación ante posibles cambios de condiciones en el caudal o los contaminantes en el futuro.

Las dimensiones por líneas se han ido iterando hasta que el volumen de las dos líneas establecidas ha sido suficiente como para garantizar una edad del fango superior a 18 días.

Zona anóxica	
-Longitud (m)	22,0
-Ancho (m)	14,0
-Superficie total (m ²)	308
-Altura de agua (m)	4,5

9. Viabilidad técnica de la solución propuesta

-Volumen total por línea (m ³)	1.386
Zona aireada	
-Longitud (m)	56,0
-Ancho (m)	14,0
-Relación L/A>3,5	4,0
-Superficie total (m ²)	784
-Altura de agua (m)	4,5
-Volumen total por línea (m ³)	3.528
Volúmenes totales	
-Volumen por línea (m ³)	4.914
-Volumen total (m ³)	9.828

Tabla 14. Especificaciones de las dimensiones del reactor biológico.

9.1.2.1 Parámetros de funcionamiento del reactor.

El objetivo es calcular los fangos en exceso producidos y establecer la edad del fango, que debe ser lo suficientemente alta como para garantizar la estabilización del fango.

También se calculan parámetros característicos del reactor como la carga volúmica (Cv), la carga másica (Cm) y los tiempos de retención hidráulica. Los tiempos de retención se calculan dividiendo el volumen del reactor entre los caudales medios y máximos.

La carga volúmica son los kg al día de DBO₅ con respecto al volumen del reactor y la carga másica hace referencia a la carga volúmica respecto a la concentración de MLSS. Se supone una concentración MLSS de 3,2 (kg/m³), ya que los valores estándar varían entre 3 y 3,5; y se calcula la carga volúmica y la carga másica serán:

$$Cargavolúmica(Cv) = \frac{DBO_5 \text{ entrada} \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right)}{Volumen \text{ reactor} (m^3)} = 0,20 \text{ Kg DBO}_5 \times m^3 \times \text{día} \quad [4]$$

$$Cargamásica(Cm) = \frac{DBO_5 \text{ entrada} \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right)}{Masafangosencuba (KgMLSS)} = 0,062 \frac{Kg DBO_5}{Kg MLSS} \times \text{día} \quad [5]$$

Para establecer la edad del fango se ha seguido un sistema de iteración. Se ha supuesto inicialmente una edad del fango de 18 días. Con esta suposición y siguiendo Norma ATV - Standard A131 (Alemania), se ha calculado la producción de fangos en exceso correspondiente [ecuación 6]. Esta normativa considera que los fangos en exceso son aquellos que no se recirculan, es decir, los fangos en exceso que se tratan en la línea de fangos más los que no se consiguen eliminar del agua.

Dado el tipo de reactor usado, se considera una concentración de 30 mg/l de los SST en el agua a la salida del decantador secundario. Con esta concentración y el caudal estudiado se calculan los fangos que no se han conseguido eliminar (llamados fangos en el efluente).

Una vez calculados los fangos en exceso que se tratarán en la línea de fangos (en la hoja de especificaciones aparecen como producción de fangos en exceso adoptada), se calcula la edad real del

9. Viabilidad técnica de la solución propuesta

fango con la ecuación 8. A continuación tiene lugar el proceso de iteración, se va variando la edad del fango inicialmente supuesta, hasta que coincide con este último valor calculado en la ecuación 8. Si las dimensiones del reactor son adecuadas, esta edad final debe ser superior a 18 días, en caso contrario se debe aumentar el volumen del mismo.

La Norma ATV - Standard A131 (Anexo H), define la producción de fangos en exceso como:

$$FE = C_{DBO_5} * \left(0,75 + 0,6 * \frac{SS}{DBO_5} - \frac{(1 - 0,2) * 0,17 * 0,75 * \theta_C * F_T}{1 + 0,17 * \theta_C * F_T} \right) \quad [6]$$

Donde,

FE Producción de fangos en exceso (kg MS/día).

C_{DBO_5} DBO₅ de entrada a aireación (kg/día).

θ_C Edad del fango (días).

F_T Factor de temperatura para respiración endógena:

$$F_T = 1,072^{(T-15)} \quad [7]$$

Considerando que el proceso se da a 20°C, el factor de temperatura para respiración endógena es 1,42.

La edad del fango se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\text{Masadefangosencuba (Kg)}}{\text{Produccióndefangosenexceso adoptada(KgMLSS/día)}} \quad [8]$$

Donde la masa de fangos en cuba es:

$$M = \text{Vol. adoptado (m}^3\text{)} \times \text{Concentración MLSS (Kg/m}^3\text{)} = 9.828 \times 3,2 = 31.450 \text{ Kg} \quad [9]$$

Así pues, una vez realizada la iteración explicada, los valores resultantes son los siguientes:

-Ft. Factor de temperatura para respiración endógena	1,42
-Concentración MLSS (kg/m ³)	3,20
-Carga másica (kgDBO5/kgmlssxdía)	0,062
-Carga volúmica (kgDBO5/m ³ xdía)	0,20
-Producción de fangos en exceso según A131 (kg M.S./kg DBO5 .)	0,96
-Producción de fangos en exceso según A131 (kgMLSS/día)	1.865
-Fangos en el efluente (kg /día)	194
-Producción de fangos en exceso adoptada (kgMLSS/día)	1.670
-Masa fangos en cuba (kg)	31.450
-Edad del fango (días)>18	18,83
	18,83
-Tiempo de retención hidráulico a Q medio (h)	36,40
-Tiempo de retención hidráulico a Q máximo (h)	18,20

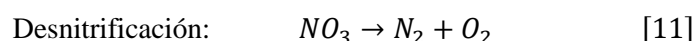
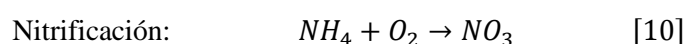
Tabla 15. Especificaciones de los parámetros de funcionamiento del reactor biológico.

A partir de una concentración de MLSS, una temperatura de proceso y el establecimiento de una edad mínima del fango, se ha obtenido los parámetros básicos del reactor, la producción de fangos en exceso y la edad del fango.

9.1.2.2 Nitrificación-desnitrificación

Como se ha indicado anteriormente, el reactor biológico incluye la eliminación de nitratos. El proceso de nitrificación-desnitrificación tiene como objetivo reducir el nitrógeno amoniacal del agua por debajo de 15 mg/l. La nitrificación consiste en transformar el amoníaco, gracias a la aportación de oxígeno en nitrato. La desnitrificación es disociar este nitrato en ausencia de oxígeno en nitrógeno y oxígeno.

El proceso simplificado se resume en las siguientes reacciones sin ajustar:



En el reactor biológico este proceso está invertido (primero se desnitrifica y luego se nitrifica), ya que el agua al entrar pasa por la zona anaerobia, donde gracias a la recirculación interna, se encuentran los nitratos, que en ausencia de oxígeno se desnitrifican. Posteriormente se encuentra la zona aerobia, donde gracias a la aireación se produce la nitrificación, y también se elimina la materia orgánica.

Por tanto, la nitrificación-desnitrificación se lleva a cabo gracias a la recirculación interna del fango, que permite la desnitrificación en la zona anóxica gracias a la recirculación de nitratos provenientes de la zona aireada, donde tiene lugar la nitrificación.

Edad del fango necesaria para la nitrificación-desnitrificación.

Se procede a calcular la edad del fango mínima para que se produzca la nitrificación-desnitrificación. El objetivo es comprobar que la edad del fango adoptada en los parámetros del reactor es superior a la necesaria para eliminar el fósforo.

La edad del fango se calculará mediante la normativa ATV – Standard A131 (Alemania), que relaciona la edad del fango necesaria para producir nitrificación, y la temperatura, por la expresión:

$$\text{Edad del fango nitrificación} = SF \times 3,4 \times 1,103^{(15-T)} \quad [12]$$

Donde,

SF Factor de seguridad (1,45-2), se adopta un valor de 1,45.

T Temperatura (°C), considerada de 20° C.

Según esta normativa, la edad del fango para producir la nitrificación-desnitrificación es:

$$\text{Edad del fango nitrificación – desnitrificación} = \frac{\text{Edad del fango nitrificación}}{1 - f_x} \quad [13]$$

Donde,

9. Viabilidad técnica de la solución propuesta

f_x Fracción de anoxia, relación entre el volumen de la zona anóxica y el total.

Estas edades calculadas, tanto para nitrificación como para la nitrificación-desnitrificación son mucho menores que la restricción inicial de 18 días.

-Coeficiente de seguridad SF	1,45
-Edad del fango necesaria para nitrificación (días)	3,02
-Edad del fango necesaria para nitrificación-denitrificación (días)	4,21

Tabla 16. Especificaciones de la edad del fango necesaria para la nitrificación-desnitrificación.

Cálculo de la nitrificación-desnitrificación

Una vez comprobada que la edad del fango adoptada permite la nitrificación-desnitrificación, se procede al cálculo de este proceso. Inicialmente se definen una serie de parámetros:

- Nitrógeno Kjeldahl (NTK), compuesto por nitrógeno orgánico y amónico.
- Nitrógeno total (N-Ntotal de salida), es la suma del NTK en el efluente y el NO₃ que no se ha podido desnitrificar (N_a); su suma debe ser inferior a 15 mg/l.

De acuerdo a las experiencias de Van Haaendel, Dold y Marais de la Universidad de Cape Town (Sudáfrica), existe una fracción de nitrógeno amoniacal que no se nitrifica (N_a), y que viene dada por la siguiente expresión:

$$N_a \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{Knt * \left(bnT * \frac{1}{E} \right)}{Umnt * (1 - f_x) - \left(bnT + \frac{1}{E} \right)} \quad [14]$$

Siendo:

Knt Coeficiente de saturación para nitrificación (mg. N-NH₃/l).

$$Knt = 1,123^{(T-20)} = 1 \quad [15]$$

bnT Coeficiente de decrecimiento de las bacterias nitrificantes para respiración endógena.

$$bnT = 0,04 * 1,029^{(T-20)} = 0,04 \quad [16]$$

$Umnt$ Coeficiente de crecimiento de las bacterias nitrificantes(1/día).

$$Umnt = U(20) * 1,123^{(T-20)} = 0,5 \quad [17]$$

Siendo $U(20) = 0,5$ en condiciones normales(0,4 en condiciones más desfavorables).

E Edad del fango.

-fx Fracción de anoxia	28,2%
-E Edad del fango adoptada (días)	18,83
-Nitrógeno amoniacal no nitrificable N_a (mg/l)	0,35

9. Viabilidad técnica de la solución propuesta

Tabla 17. Especificaciones del cálculo de N_a

En nuestro caso $N_a = 0,35$ mg/l. para una temperatura de 20° C.

A continuación se realiza el balance del ciclo del nitrógeno:

NTK en el agua bruta = 45,02 mg/l.

Nitrógeno orgánico soluble no biodegradable = 2,0 % NTK agua bruta = 0,9 mg/l.

Nitrógeno orgánico soluble biodegradable no amonizable = 2,0 % NTK agua bruta = 0,9 mg/l.

NTK eliminado en los fangos biológicos (5 % de la DBO₅ de entrada al biológico) = 15,01 mg/l.

NTK en los S.S. de salida (6% MLSS salida) = 1,80 mg/l.

Nitrógeno amoniacal que no se nitrifica (N_a) = 0,35 mg/l.

Así pues, tendremos un máximo NTK a oxidar de 27,86 mg/l, que será el resultado de restar al NTK del agua bruta, el nitrógeno orgánico soluble no biodegradable, el orgánico soluble biodegradable no amonizable, el NTK eliminado en los fangos biológicos y el nitrógeno amoniacal que no nitrifica.

El NTK en el agua de salida es de 3,95 mg/l, obtenido como resultado de la suma del nitrógeno orgánico soluble no biodegradable, el orgánico soluble biodegradable no amonizable, el NTK de los S.S. de salida y el nitrógeno amoniacal que no nitrifica.

-NTK agua de entrada al biológico (mg/l).N1	45,02
-Nitrógeno orgánico soluble no biodegradable (2,0% de N1)(mg/l)	0,90
-Nitrógeno orgánico soluble biodegradable no amonizable (2,0% de N1)(mg/l)	0,90
-NTK en fangos biológicos (5% de la DBO ₅ de entrada al biológico)(mg/l)	15,01
-NTK en S.S. de salida (6% de lo S.S.)(mg/l)	1,80
-Nitrógeno amoniacal que no se nitrifica (mg/l)	0,35
-NTK a oxidar (mg/l)	27,86
-NTK en efluente (mg/l)	3,95

Tabla 18. Especificaciones del balance de nitrógeno.

Con respecto a la desnitrificación, de acuerdo a la normativa ATV - Standard A131 (Alemania), la formula que determina el cálculo del valor teórico de la desnitrificación es:

$$\frac{S_{NO3,D}}{C_{DBO5,ER}} = \frac{0,75 * OC_{C,DBO5}}{2,9} * f_x \quad [18]$$

Donde,

$S_{NO3,D}$ Nitratos desnitrificado a 12 °C (mg/l)

$C_{DBO5,ER}$ Concentración de la DBO₅ en la entrada (mg/l)

$OC_{C,DBO5}$ Consumo de oxígeno de la fracción carbonada $OC_{C,DBO5}$ (kgO₂/kg DBO₅)

Aplicando esta fórmula, se calculará el factor de nitrógeno desnitrificado a 12 °C, y para temperaturas mayores de 12 °C se ha considerado que la capacidad de desnitrificación aumenta un 1% por cada °C.

9. Viabilidad técnica de la solución propuesta

Se obtiene un factor de nitrógeno desnitrificado de 0,1 (mg N/ mg DBO₅), que multiplicado por la concentración de entrada en DBO₅, obtenemos un valor máximo teórico en desnitrificación, de 29,32 mg N/l. Dado un rendimiento del proceso del 75%, el NTK a oxidar, conseguiríamos oxidar 22 mg/l.

El nitrato no desnitrificado sería la resta del NTK a oxidar menos el nitrógeno que se ha conseguido desnitrificar, es decir, 5,87 mg/l.

-Nitrógeno desnitrificado a 12°C $S_{NO3,D} / C_{DBO5,ER}$ (mgN/mg DBO5)	0,09
-Nitrógeno desnitrificado a temperatura de cálculo (mgN/mg DBO5)	0,10
-Nitrógeno desnitrificado teórico a temperatura de cálculo (mgN/l)	29,32
-Rendimiento real de desnitrificación	75%
-Nitrógeno desnitrificado real a temperatura de cálculo (mgN/l)	22,0
-N-NO3 real de salida (mg/l)	5,87

-Ntotal de salida (mg/l)	9,82
--------------------------	------

Tabla 19. Especificaciones del cálculo de la desnitrificación y del nitrógeno total

Así pues, lo que no se consigue desnitrificar (N-NO3 real de salida) más el NTK del efluente, es de 9,82 mg/l, inferior a 15 mg/l, por lo que cumple los requisitos establecidos en los datos de partida.

9.1.2.3 Recirculación de fangos

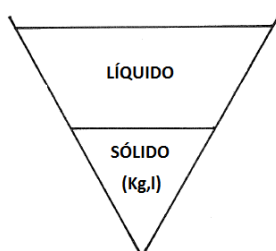
Será necesaria una recirculación externa y una interna de fangos. La recirculación externa se hace desde el decantador secundario hasta la entrada del reactor biológico y tiene como objetivo mantener la concentración de microorganismos del reactor constante. La recirculación interna parte de la zona aireada del reactor y finaliza en la anóxica para que se produzca correctamente el proceso de nitrificación-desnitrificación ya citado.

La expresión que da el grado de recirculación total necesaria es la siguiente:

$$R(\%) = \frac{N. NTK \text{ a oxidar}}{N. NO3 \text{ real de salida} - 1} * 100 = 374 \quad [19]$$

Recirculación externa.

Para estudiar la recirculación externa se toma un índice de saturación volumétrica de 140 ml/g. Este índice se calcula a través del ensayo V30'.



El ensayo V30' consiste en depositar los fangos durante 30 minutos en un depósito en forma de cuña. Una vez pasado el tiempo el fango se habrá separado en sus fases líquida y sólida. Este ISV es la división entre el volumen de los fangos compactados en el fondo (parte sólida) entre su peso. Cuanto menor sea este índice, también llamado índice

9. Viabilidad técnica de la solución propuesta

de Mohlman, mejor, más compacto será el fango.

Figura 11. Ensayo V30'.

El caudal necesario de recirculación externa a caudal medio necesario para mantener la concentración de fangos activados será:

$$Q_{ext} = \frac{\text{ConcentraciónMLSS} * \text{SVI}}{1000 - (\text{ConcentraciónMLSS} * \text{SVI})} * Q_{med} = 219 \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \quad [20]$$

Para la recirculación externa se han dispuesto dos bombas, con un caudal unitario de 150 m³/h. Esto supone una recirculación sobre el caudal medio, del 111%, que se calcula como la suma del caudal de las bombas entre el caudal medio.

-Índice de Mohlman o Índice de saturación volumétrica (SVI) (ml/g)	140
-Porcentaje necesario sobre Q medio (%)	81
-Caudal total de recirculación externa Q_{ext} (m ³ /h)	219
-Nº de bombas en servicio	2
-Caudal unitario necesario (m ³ /h)	110
-Caudal adoptado unitario (m ³ /h)	150
-Porcentaje sobre Q medio (%) > 100 %	111

Tabla 20. Especificaciones de la recirculación externa.

Como se observa la recirculación externa no es suficiente, por lo que se hace necesario recirculación interna (111<374), que permitirá la desnitrificación.

Recirculación interna.

Se calcula como la diferencia entre la recirculación necesaria y la recirculación externa, y es igual al 263%, que al multiplicarlo por el caudal medio nos da el caudal de recirculación interna necesario, 711 m³/h. Se instalan dos bombas con un caudal unitario de 370 m³/h, y una altura manométrica de 1 m.c.a.

-Recirculación por desnitrificación con el mínimo N-N03 (%)	374
-Deducción recirculación externa (%)	-111
-Recirculación interna necesaria (%)	263
-Caudal total de recirculación interna necesario (m ³ /h)	711
-Nº de bombas en servicio	2
-Caudal unitario necesario (m ³ /h)	355
-Caudal adoptado unitario (m ³ /h)	370
-Porcentaje sobre Q medio (%) > 100 %	274

Tabla 21. Especificaciones de la recirculación interna.

Cuando sea necesario conseguir una mayor desnitrificación se podrán parar los equipos de aeración un número de horas al día, aumentando así la anoxia en determinados momentos en la cuba.

9.1.2.4 Eliminación de fósforo

Una parte del fósforo del agua bruta es incorporado dentro de la biomasa y eliminado a través del fango. Dado que las bacterias sólo emplean el fósforo necesario para satisfacer sus necesidades básicas, la cantidad de P eliminado sería la estrictamente necesaria para el mantenimiento y síntesis celular.

Para el diseño se ha considerado que los fangos en exceso tienen un porcentaje aproximado de fósforo del 2,2%. La concentración de fósforo eliminada se calcula como la producción de fangos en exceso adoptada por este porcentaje de fósforo de los fangos en exceso, dividido por el caudal medio, que da como resultado 5,7 mg/l. Como se partía de una concentración de fósforo de 8, el agua tratada tendrá solamente 1,8 mg/l.

Es decir, se obtendrían valores de fósforo en el agua tratada inferiores a 2 mg/l, por lo que no se precisa una eliminación adicional del fósforo, ya que cumple la normativa. Si no fuera suficiente con la eliminación biológica del fósforo para cumplir la normativa, se podría dosificar cloruro férrico.

-Porcentaje de fosforo en los fangos en exceso	2,2%
-Cantidad fósforo elim. vía biológica (kg/día)	37
-Concentración de fósforo eliminado por vía biológica (mg/l)	5,7
-Fósforo en el agua de entrada al biológico (mg/l)	7,5
-Fósforo en el agua tratada (mg/l)	1,8

Tabla 22. Especificaciones de la eliminación del fósforo.

9.1.2.5 Cálculo de la oxigenación

La oxigenación es imprescindible tanto para transformar la materia orgánica y poder reducir la DBO, como la el proceso de nitrificación-desnitrificación. Por lo que se instala un sistema de aireación superficial (tal y como ha determinado el estudio económico-medio ambiental) en la zona óxica del reactor biológico.

El dimensionamiento se realiza utilizando turbinas de eje vertical, por considerarse que es la solución que mejor se adapta a la geometría del reactor flujo pistón, pero con cualquier otro tipo de aireador se obtendrían resultados similares.

Dadas las dimensiones del reactor, por la relación L/A de cuatro establecida en el flujo pistón, se decide instalar cuatro turbinas, cada una actuará sobre un cuadrante de la zona aireada.

El cálculo de las necesidades de oxígeno se ha realizado por simplicidad, suponiendo que el agua desbastada entra directamente en el reactor biológico sin ningún tipo de reducción contaminante previa.

Teniendo en cuenta las características del agua a la entrada del biológico y estimando ciertas características de la oxidación se calcula la capacidad de transferencia de oxígeno disuelto en condiciones estándar (Anexo H):

$$SOTR = AOTR \left[\frac{C_{s,20}}{\alpha * (\beta * C_{s,T,H} - C_L)} \right] * (1,024^{20-T}) \quad [21]$$

Siendo:

- SOTR = capacidad de transferencia en condiciones estándar de oxígeno disuelto, kg O₂/h.
 AOTR = capacidad de transferencia de campo en condiciones de funcionamiento reales, kg O₂/h.
 C_{s,20} = concentración de saturación de oxígeno del agua limpia a 20 ° C, mg/l.
 α = factor de corrección en función de la intensidad de mezclado y la geometría del tanque (0,85 para aeradores).
 β = factor de corrección en función de las características del agua (0,95 para aguas residuales).
 C_{s,T,H} = concentración de saturación de oxígeno disuelto del agua limpia a temperatura T y altitud H, mg/l.
 C_L = concentración de oxígeno de funcionamiento, mg/l.
 T = temperatura de funcionamiento, °C.

Aplicando los coeficientes necesarios, obtenemos un SOTR de 203 KgO₂/h para necesidades medias, y 214 KgO₂/h para necesidades máximas, tomando unas concentraciones de oxígeno en la cuba de 2,0 y 1,5 mg/l respectivamente (Anexo G).

La distribución de aire por toda la cuba se realiza por medio de aeradores tipo turbina. La capacidad de transferencia de oxígeno de los sistemas de aireación superficial está entre 1,8 y 2 KgO₂/KWh, dependiendo del tipo de aireador utilizado. Puede considerarse que el uso de un tipo de aireador u otro no creará unas diferencias significativas en cuanto a los rendimientos de depuración esperados en el agua tratada, al igual que no representan una gran variación en cuanto a costes de implantación o gasto energético, por lo que a nivel de este estudio se realizará un único cálculo de proceso para sistemas de aireación superficial, tomando como valor medio para la capacidad de transferencia de 1,85 KgO₂/KWh.

Las necesidades de oxigenación son de 203 KgO₂/h, por lo que la potencia absorbida necesaria es de 109,7 KW. Para cubrir estas necesidades se instalan 4 aireadores por línea de 15KW de potencia instalada por unidad, con un rendimiento del 95%, lo que supone una potencia total instalada de 120 KW, suficiente para cubrir las necesidades de oxigenación de los reactores.

9.1.2.6 Calidad del agua a la salida

De esta manera, la calidad del agua tratada a la salida del tratamiento biológico será:

- DBO₅ = 20 mg/l.
- S.S.T. = 30,00 mg/l.
- N_{total} = 9, 8 mg/l.
- P_{total} = 1,8 mg/l.

9. Viabilidad técnica de la solución propuesta

Si se comparan estos resultados con los objetivos de depuración que se plantearon al inicio del proyecto para cumplir con los límites establecidos con la Directiva 91/271/CEE, se puede comprobar que todos los valores de contaminación se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles.

La normativa que se ha aplicado a la hora de dimensionar la planta, Norma ATV-Estándar A131, solo considera en los cálculos los niveles de DBO₅ y SST. Las dos razones por la que no se ha hecho referencia a la DQO y por la que se considera que cumple la normativa son las siguientes:

- La DBO se encuentra dentro de la DQO, por lo que al reducir la primera necesariamente reducirá la segunda.
- La relación de entrada DQO/DBO₅ es de 2, y por regla general en estaciones depuradoras de aguas residuales, la relación de salida no suele superar los 3 puntos. Así pues, una demanda biológica de oxígeno de 20 mg/l conllevaría a lo sumo una demanda química de oxígeno de 60 mg/l, que es mucho menor que los 125 mg/l admisibles.

Solo habría problemas con los niveles de DQO en caso de aguas industriales, con altos niveles de DQO no biodegradable, y no es el caso que se plantea.

9.1.3 Decantación secundaria

Tras salir del reactor biológico, el agua experimentará una decantación secundaria. Se ha optado por decantadores de forma circular, con fondo ligeramente inclinado hacia el centro y provistos de rasquetas que barren el fondo.

A partir de unas dimensiones de decantador iniciales supuestas, se comprobará que el decantador cumple una serie de parámetros de diseño.

Para el diseño de los decantadores se ha tenido en cuenta los siguientes criterios [3,10]:

- que la velocidad ascensional a caudal máximo no supere 1 m/h.
- que la carga a vertedero a caudal máximo no supere los 6 m³/h/m

Así pues, se diseñan dos decantadores secundarios de rasquetas, de 20 m de diámetro y 4,0 m de altura lateral en el vertedero. Por lo que el volumen total será de 1.256 m³.

Dado el volumen y el caudal medio y máximo a la entrada del biológico, se calculan los tiempos de retención. Para calcular la carga de vertedero se divide el caudal entre la longitud de las dos líneas. Al dividir el caudal (m³/h) entre la superficie, se obtienen las velocidades reales en el decantador.

-Tiempo de retención a Q _{máximo} (h)	4,7
-Tiempo de retención a Q _{medio} (h)	9,3
-Carga de vertedero a Q max. (m ³ /h/m) < 6	4,3
-Carga de vertedero a Q medio (m ³ /h/m)	2,1
-Velocidad real a Q máx. (m/h) <1	0,86
-Velocidad real a Q med. (m/h)	0,43

Tabla 23. Especificaciones de los parámetros de la decantación secundaria.

Como se puede observar en la tabla, las dimensiones de los decantadores cumplen los criterios de diseño adecuadamente dadas las dimensiones de los decantadores escogidas. Así pues no sería necesario añadir floculantes o coagulantes para facilitar el proceso de decantación.

Dado que la recirculación externa consta de 2 bombas de 150 m³/h, cada decantador tendrá dicho caudal de recirculación.

Los flotantes de los decantadores salen por gravedad al pozo de flotantes y se bombean hasta el concentrador de grasas del pretratamiento, almacenándose en el mismo contenedor de las grasas. El agua sale del decantador hasta el canal de cloración.

9.1.4 Desinfección de agua tratada

La última etapa de la línea del agua es la desinfección. El agua de salida de los decantadores secundarios es conducida a un canal de desinfección mediante la adición de cloro.

La desinfección de un agua residual es distinta a la de un agua potable, ya que no se considera apta para consumo, aun con desinfección. Por estos motivos, nunca se utiliza la desinfección con ozono en aguas residuales, debido al elevado coste de inversión y mantenimiento de un agua que se va a depositar en un cauce público.

El otro sistema susceptible de estudio es la desinfección con rayos ultravioleta. Este tratamiento solo se emplea cuando hay reutilización del agua residual (riego de parques, jardines, etc.), que no es nuestro caso. Este tratamiento también es caro en inversión y explotación porque demanda una filtración previa de 10 -20 micras para que los rayos UV sean efectivos posteriormente.

Se ha optado por hipoclorito sódico, debido a su bajo coste de inversión y mantenimiento, facilidad de uso, y que esta instalación **no va a funcionar en condiciones normales**, siendo su uso solo en casos de emergencia. Ladosis que se aportara en caso necesario será de 6 ppm.

Se diseña el canal de cloración de modo que el tiempo de contacto a caudal medio sea de al menos 15 minutos. El tiempo medio se calcula dividiendo el volumen del canal entre el caudal medio de la estación. Se parte de unas dimensiones iniciales que se van aumentando hasta cumplir este requisito, estas dimensiones quedan reflejadas en la hoja Excel de especificaciones adjunta (Anexo G). Así pues, para un volumen de 74 m³, el tiempo de contacto a caudal medio es de 16,3 minutos, por lo que el volumen del canal de cloración cumple el criterio de diseño.

-Tiempo de contacto a caudal medio (min)> 15	16,3
-Tiempo de contacto a caudal máximo (min)	8,2

Tabla 24. Especificaciones de los tiempos de contacto de la desinfección

9.2 Línea de fango

La línea del fango estudia las diferentes etapas que experimenta el fango en exceso producido en la estación. El objetivo principal de esta línea en la solución propuesta es eliminar el mayor porcentaje de agua de los mismos para hacerlos más manejables y facilitar su transporte. Tras salir del decantador secundario los fangos serán bombeados para seguir con el esquema presentado en la figura 4.

9.2.1 Producción de fangos en exceso y bombeo

Los fangos en exceso serán bombeados al espesador a través de una bomba al salir del decantador secundario. Como criterios de diseño de la bomba se exige que las horas de purga al día sean inferiores a diez.

La producción de fangos en exceso se ha deducido en el cálculo del reactor biológico, explicado anteriormente. La concentración del fango a la salida del decantador secundario se considera aproximadamente el doble que la concentración MLSS en el reactor biológico, es decir, de 6,40 g/l.

El volumen diario de fangos se calcula como el cociente entre los fangos producidos y su concentración estimada, y es igual a 261m³/día. Si se instala una bomba de 30 m³/h, las horas de purga diarias necesarias serán 8,7, por lo que cumple los requisitos establecidos.

-Producción total de fangos (kg/día)	1.670
-Concentración fango (g/l)	6,40
-Volumen diario de fango a caudal medio (m ³ /día)	261
-Caudal bomba adoptado (m ³ /h)	30
-Horas purga al día (horas/día) < 10	8,7

Tabla 25. Especificaciones de la producción de fangos en exceso y bombeo.

9.2.2 Espesamiento de fangos biológicos en exceso

El espesamiento se lleva a cabo en un espesador de gravedad, adecuado para estaciones con oxidación prolongada. Consiste básicamente en una cuba cilíndrica de hormigón dotada en un equipo de espesamiento mecánico de accionamiento central.

El cabezal de arrastre se encuentra suspendido en una viga diametral y se apoya en los muros del espesador.

Para el espesamiento de fangos por gravedad se han tomado como bases de diseño [7,10]:

- el tiempo de retención del fango a caudal medio será superior a 2 días.
- el espesador trabajará a una carga de sólidos inferior a 45 Kg MS/m²/día
- la carga hidráulica a caudal medio será inferior a 0,45 m³/h*m²

Se considera un espesador de 10 m. de diámetro y 3,6 m. de altura, con una altura de la parte inclinada de 0,4 m, lo que implica un volumen total del espesador de 293 m³.

-Producción total de fangos a caudal medio (kg/día)	1.670
-Volumen diario de fango a caudal medio (m ³ /día)	261
-Concentración media entrada (kg/m ³)	6,4
-Concentración media para tiempo de retención (kg/m ³)	18,2
-Altura en borde (m)	3,6
-Diámetro adoptado (m)	10,0
-Superficie unitaria adoptada (m ²)	79
-Altura de la parte inclinada (m)	0,4
-Volumen del cono inferior (m ³)	10
-Volumen adoptado unitario (m ³)	293

Tabla 26. Especificaciones de las dimensiones del espesador.

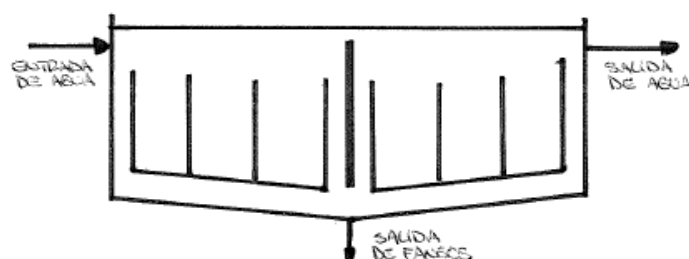


Figura 12. Espesador.

Una vez definido el espesador, se comprueba si el volumen obtenido permite que se cumplan los criterios de diseño establecidos. La concentración del fango de entrada es la considerada en el apartado anterior, 6,4 kg/m³; suponiendo una concentración de los fangos espesados de 30 g/l, la concentración media durante el espesamiento será de 18,2kg/m³. El tiempo de retención del fango se define como:

9. Viabilidad técnica de la solución propuesta

$$t_{ret}(días) = \frac{Volumen\ espesador(m^3) * Concentración\ media\ en\ espesador\left(\frac{kg}{m^3}\right)}{Producción\ de\ fangos\left(\frac{kg}{día}\right)} = 3,19 \quad [22]$$

La carga real de trabajo a caudal medio debe ser inferior a 35 kg/m²xdía y se calcula como la producción total de fangos a caudal medio en kg/día dividida por la superficie del espesador, y es igual a 21,27kg/m²xdía.

A su vez la carga hidráulica hace referencia al volumen de fangos (m³/h) por unidad de superficie del espesador, y su valor es de 0,14 m³/m²xh

Una vez supuesta una concentración de 30 g/l, sabiendo la producción de fangos al día, se obtiene un volumen diario de fangos espesados de 56 m³/día.

Todos los cálculos explicados correspondientes a los parámetros de funcionamiento del espesador se resumen en la siguiente tabla:

-Tiempo de retención del fango a caudal medio t_{ret} (días) > 2	3,19
-Carga real de trabajo a caudal medio (kg/m ² xdía) < 35	21,27
-Carga hidráulica a caudal medio (m ³ /m ² xh) < 0,45	0,14
-Concentración de fangos espesados (g/l)	30
-Volumen diario de fangos espesados (m ³ /día)	56

Tabla 27. Especificaciones de los parámetros de funcionamiento del espesador.

Como se puede comprobar en la tabla 27, con las dimensiones adoptadas en la tabla 26 se cumplen holgadamente todos los criterios de diseño.

9.2.3 Deshidratación

Con la deshidratación se trata eliminar los fangos producidos de la manera más práctica y menos costosa posible, aumentando el porcentaje de materia seca para reducir el volumen al máximo

En el diseño del sistema de deshidratación se ha desestimado la opción de los filtros banda por la escasa capacidad de tratamiento frente a las centrifugas, lo que implica tener que colocar un mayor número de equipos, además de la necesidad de personal de explotación en continuo para los filtros banda debido al menor grado de automatismo que las centrifugas. Adicionalmente, los filtros banda son equipos abiertos o semiabiertos, que producen más olores, humedades y aerosoles que las centrifugas, que están totalmente cerradas y encapsuladas.

Teniendo en cuenta estos condicionantes, se ha optado por realizar la deshidratación mediante centrifugas.

Consiste esencialmente en un tambor cilíndrico-cónico que gira sobre un eje horizontal a gran velocidad. El fango a deshidratar se introduce en la cuba a través de la conexión de entrada por medio de la alimentación. En el interior del tambor, debido a la fuerza centrífuga producida por el giro de éste, la parte más pesada de la mezcla se deposita en el interior, donde es arrastrada a la salida de los sólidos por un tornillo helicoidal que gira a distinta velocidad que el tambor.

La parte cilíndrica del tambor está destinada a la sedimentación de las partículas sólidas, mientras que la parte cónica produce un escurrido progresivo de las mismas, hasta llegar a la salida exenta de líquido libre.

La deshidratación de fangos se realizará 5 días a la semana y 8 horas diarias, suponiendo un turno normal de trabajo. La entrada de fangos por día de secado será mayor que en la decantación, ya que solo se seca el fango cinco días a la semana:

$$Carga\ de\ fangos\ espesador(kg/(día\ sec.)) = Producción\ total\ de\ fangos\left(\frac{kg}{día}\right) * \frac{7}{5} = 2.338$$

Teniendo en cuenta que trabaja 8 horas al día, la carga horaria será de 292 kg/h. Con esta carga horaria y teniendo en cuenta la concentración los fangos espesados supuesta anteriormente, 30 g/l, se obtiene un caudal de fangos de 9,7 m³/h, que se repartirá en dos centrifugas con caudal 6, que permiten por lo tanto hasta 12 m³/h.

-Días semanales de secado	5
-Horas diarias de secado	8
-Carga diaria de fangos a caudal medio (kg/día secado)	2.338
-Carga horaria a caudal medio (kg/h)	292
-Volumen horario a caudal medio (m ³ /h)	9,7
-Nº de centrifugas en funcionamiento	2
-Caudal unitario de la centrifuga necesario a caudal medio (m ³ /h)	4,9
-Caudal unitario de la centrifuga adoptado (m ³ /h)	6,0

Tabla 28. Especificaciones de la deshidratación.

9.2.4 Almacenamiento de fangos

El alcance de este proyecto no abarca que se hace con los fangos almacenados, por lo que la última etapa considerada en la línea de fango es el almacenamiento de los mismos. Los fangos se almacenan en una tolva, para calcular el volumen necesario de la misma se considera una densidad del fango de 1,1 kg/l y se establece que la capacidad de almacenamiento de la tolva sea al menos de dos días.

Así pues, considerando una concentración del fango deshidratado del 22%, tal y como se estimó en los datos de partida la producción prevista de fangos deshidratados será:

$$\text{Vol. fangos secos diario} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día sec}} \right) = \frac{\text{Carga de fangos espesador}(\text{kg}/(\text{día sec.}))}{0,22 * \text{densidad del fango} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} = 9,7 \quad [23]$$

El volumen de la tolva debe ser superior a dos veces este valor, por lo que se adopta una tolva de 25 m³, para tener cierto margen de seguridad.

-Densidad de la torta (kg/l)	1,1
-Concentración fango deshidratado (%)	22
-Volumen de fangos secos diario a caudal medio (m ³ /día secado)	9,7
-Capacidad de almacenamiento a caudal medio (días)	2
-Volumen necesario de almacenamiento a caudal medio (m ³)	19,4
-Volumen adoptado (m ³)	25,0

Tabla 29. Especificaciones del almacenamiento de fangos.

10. Conclusiones

Dado el aumento de la necesidad de las estaciones depuradoras de aguas residuales en el mundo y específicamente en España, se ha procedido al estudio de las mismas. Se ha considerado una población moderada, entre 20 y 25 mil habitantes y se ha apostado por una planta simplificada, que requiera los procesos necesarios para cumplir la normativa y no tenga grandes impactos medio ambientales y económicos. Así pues, se ha expuesto una estación depuradora de aguas residuales con oxidación prolongada que prescinde de decantación primaria y digestión de fangos.

Para comprobar las ventajas de esta estación depuradora, se han expuesto varias alternativas tradicionales con los que compararla económico y medio ambientalmente. En este análisis, además de comparar la SP con las alternativas, también se ha estudiado el tipo de aireación más adecuado para el reactor biológico, mediante soplantes y difusores, donde se inyecta oxígeno en el agua, o mediante turbinas, donde se lleva a cabo una aireación superficial.

Este estudio ha definido de forma clara que la configuración propuesta presenta ventajas económico-ambientales con respecto a los procesos que siguen la configuración general de una estación depuradora. Aunque la solución propuesta precisa de un reactor biológico más exigente, la supresión de la decantación primaria y la digestión de fangos conllevan un gran ahorro económico. En términos medio ambientales, el reactor biológico con oxidación prolongada expuesto presenta gran flexibilidad ante cambios de caudal y contaminantes, además la supresión del tratamiento primario hace que se disminuya en gran medida los malos olores de la planta.

La decisión relativa al sistema de aireación más adecuado no ha sido tan evidente. Mientras que el sistema por soplantes es más económico desde un punto de vista energético, su inversión inicial y sus costes de mantenimiento han hecho que las turbinas hayan sido consideradas el sistema de aireación más adecuado para el tipo de planta estudiada.

Por lo tanto, se ha determinado que el sistema de fangos activados con oxidación prolongada y sistemas de aireación superficial puede ser la solución idónea para una estación depuradora para poblaciones entre 20 y 25 mil habitantes.

Finalmente, se ha estudiado la viabilidad técnica de la planta, para asegurar que esta propuesta que se sale de la configuración general de las EDARs, es capaz de cumplir con la normativa relativa al tratamiento de aguas residuales. Este estudio demuestra que los niveles de contaminación del efluente de salida cumplen de forma adecuada todas las especificaciones que exige la Directiva 91/271/CEE.

La clave para alcanzar este objetivo ha sido el reactor biológico, que ha sido dimensionado de forma adecuada para reducir adecuadamente los contaminantes y estabilizar el fango. La instalación de dos líneas en el tratamiento secundario hace que se disponga de un alto grado de flexibilidad. Así mismo, el canal de cloración ha sido instalado con vistas al futuro, no siendo necesaria su utilización en condiciones normales de operación.

Los equipos principales de la estación, tanto en la línea de agua como en la de fango, han sido dimensionados con criterios de diseño conservadores y con cierto margen de operación, por lo que la planta está preparada para posibles cambios de caudal o contaminantes de entrada.

En conclusión, para poblaciones de moderado tamaño en España donde las aguas residuales tienen unas concentraciones de contaminantes estándar, la estación depuradora más adecuada, valorando de igual forma factores medio ambientales y económicos, es aquella que posee un sistema de fangos activados con oxidación prolongada y sistemas de aireación superficial, que prescinde del tratamiento primario tradicional y de la digestión de fangos.

Summary

Chapter 1: Introduction and objectives

No water, no life. Although the total water in the planet remains relatively constant over the years, its availability varies according to climate change.

Water pollution and scarcity, are threats to health and quality of life. Without the proper treatment of polluted water, the decomposition of organic matter and ammonia compounds from wastewater, would produce dissolved oxygen consumption. Odors and eutrophication of the water (caused by high levels of phosphorus and nitrogen) would occur, there would be a large number of pathogens.

Since ancient times it has been recognized the importance of water quality for urban supply, but it was not until the nineteenth century when it was considered as a way of protecting the public health. In the last two decades, great efforts around the world have been made to increase the percentage of population with access to basic sanitation. However, now even more than a third of the world population does not have access to sanitation.

In Spain the treatment of wastewater has developed very positively in recent years, thanks to the awareness and money invested in these types of plants. The volume of treated wastewater has increased considerably in this country, and there are 2,533 WWTP that generate a flow of 3,375 hm³ of purified water per year (according to the Ministry of Environment and Rural and Marine Affairs).

Currently, such treatments are covered by the European Directive 91/271 / EC, which requires the availability of collection systems and to implement primary and secondary treatments to municipalities with more than 2,000 equivalent inhabitants.

In this project it is exposed the design of a wastewater treatment plant with an activated sludge system with prolonged oxidation that dispenses primary settling and sludge digestion.

Objectives.

Study, both economic and environmental benefits, and the technical feasibility of a WWTP which dispenses of the conventional primary treatment and sludge digestion. Given the medium size of the population studied, and in order to simplify the debugging process, it is exposed a wastewater treatment plant with an activated sludge system with prolonged oxidation, which characteristics allow to remove two stages of traditional water treatment.

To achieve the ultimate goal of this project and reach a WWTP that meets current regulations in Spain as clean and economical as possible, these steps are followed:

- Study of the traditional configuration of WWTP.
- Study of several possible configurations of traditional wastewater treatment plants.
- Analysis of the proposed solution.
- Comparison of the traditional alternatives and the proposed plant, taking into account environmental and economic factors.
- Study of the technical feasibility of the proposed solution through the development of detailed engineering of the main elements of the station (legislation ATV-A131).

Chapter 2: General configuration of a WWTP

Once it has been established the need of the wastewater treatment plants, and it has been defined the evolution and the current situation in Spain, the general configuration of an industrial water treatment is presented.

Regarding the water line, it would turn polluted water into clean water that could be reused. The different stages followed by the water are: pretreatment and primary, secondary and tertiary treatments.

The function of pretreatment is to set up the water to avoid problems in subsequent treatments. Primary treatment gets rid of the heaviest solids, generally through a primary settling. In secondary treatment, organic material are transformed into suspended solids that are easily removed. Finally, tertiary treatment covers additional processes. This last process will just include a disinfection process because this project will study WWTP for medium size population.

Secondary treatment is the most important stage in the water line; its main function is to reduce the BOD by transforming the organic matter into mineral compounds (that would be separated by decanting). Another function of this stage is to low the contents of nitrogen and phosphorus from the water to prevent eutrophication. The biological treatment consists on a biological reactor and a secondary decanter.

Regarding the sludge line, it comes from the primary and secondary decanters. Sludge has a large amount of water (it has a large volume and it's difficult to handle), so it is required a thickening, to reduce this amount of water. The sludge also possess a lot of organic matter (its decomposition produces odors), therefore the thickening process is followed by a digestion process of this organic matter. After that sludge is dehydrated to minimize its volume and make them manageable. [4]

Sludge digestion aims to stabilize the sludge, it is reducing the percentage of pathogenic organisms and organic matter, because its decomposition leads to unpleasant odors. Digestion can take place with or without the presence of oxygen (Annex C)

Once the sludge is stored, they may have agricultural uses, or they can be land filled or incinerated. According to the National Register of sludge in Spain, most of them have an agricultural use (approximately 80%). It has managed to greatly reduce the landfill (about 8% currently), and incineration is growing (around 4%).

To simplify the process with environmental and economic goals and given the medium size of the population studied, it is a possibility of getting out of this general configuration. The primary treatment and sludge digestion could be avoided. Before going into detail in this configuration, several traditional alternatives are exposed; these alternatives will be compared with the treatment plant presented in this project.

Chapter 3: Possible traditional configurations

This chapter explores different traditional configurations of WWTP suitable for medium populations. The objective is to compare these alternatives with the proposed solution. All these alternatives will follow all the steps explained in the previous section and differ only by their secondary treatment and type of digestion: aerobic or anaerobic.

Therefore the water line will be the same in all the configurations, except the secondary treatment, where there can be found different types of biological reactors (the secondary decanting would be common). The most widely processes used in the biological reactor are [10]:

- Activated sludge (suspended biomass),it consist on maintaining a biological culture, formed by various types of microorganisms, and the wastewater to be treated. These microorganisms will be fed by substances carried in the wastewater to generate more microorganisms. This process produces easily settleable particles called flocs, and everything together constitutes the active sludge.
- Fixed film processes (supported biomass),it consists on facilitating the growth of microorganisms on the surface of a solid, where a biofilm is formed. There are several types of fixed-film processes: biological filters, rotating biological contactors, biofilters.

Concerning the sludge line, the only difference between the traditional alternatives is the type of digestion. Sludge digestion can take place with or without the presence of oxygen (aerobic or anaerobic). For aerobic digestion, aeration mode is studied.

It is assumed that other processes in the water and sludge lines (explained in the general configuration of a WWTP) will be common to the alternatives studied. Thus, the proposed alternatives are:

BIOMASS	DIGESTION	VENTILATION	ALTERNATIVE
SUSPENDED	AEROBIC	SUMERGED	1A
		SUPERFICIAL	1B
	ANAEROBIC	NOT APPLICABLE	2
SUPPORTED	AEROBIC	NATURAL	3

Table 30. Alternatives.

Alternative 2 is not appropriate for the population size studied, so it is discarded. Then the remaining alternatives (1A, 1B and 3) are listed.

Medium load activated sludge with aerobic sludge stabilization (Alternative 1)

The bioreactor is designed with the necessary load, average load, to meet discharge requirements, regardless of the sludge stabilization. This leads sludge ages between 10 and 14 days, therefore it is required a stabilization of sludge produced in the sludge line.

To fulfill the rules set by Directive 91/271 / EEC, it is designed a plug flow reactor. It works at steady state, there are no radial gradients and there is no axial mixing. To ensure this, the relationship L / A must be bigger than 3.5 [14].

Currently in Spain, only two reactor air supply methods are used :submerged and surface. The most widely submerged systems used in WWTP are diffusers (Alternative 1A), which use air from a blower and produce very fine bubbles.

The surface method sare turbines and rotors (Alternative 1B). The turbines consist on a propeller churning water and causing agitation of the water surface. Surface rotors are formed by a cylinder in which there are fixed stirring elements (blades), that spin around hitting the water [17].

Fixed film processes. Bacterial beds (Alternative 3).

This project has only raised the option of installing biological filters, as fixed film process. The process of biological filters consist on dropping water on a natural (songs) or artificial (plastic) material, with large specific surface, that supports the micro-organisms, which form a film on them (biofilm) with variable thick.

Aeration is accomplished by natural draft and the water which is going to be treated is evenly distributed in the form of rain at the top of the filter. The support is fixed and the wastewater is moving. The support allows the biological growth of microorganisms.

The residual water is applied from top to bottom (percolates) at a specific flow rate. This causes intimate contact between the organic matter of the wastewater, the microorganisms and the oxygen in the air, that runs up or down (depending on the thermal gradient) [18].

At the exit of the bacterial bed, the “clean” water, next to wet mud, can be collected. It needs a decantation system to detach the water from the remains biofilm parts[16].

Chapter 4: Proposed solution

Given the size of the population studied, in order to simplify the plant, reduce cost and its environmental impact, it is proposed a wastewater treatment plant with an activated sludge system with prolonged oxidation that dispenses primary settling and sludge digestion.

The removal of the primary treatment, which usually consists on a decantation, facilitates the processes in the sludge line, as only secondary sludge is produced (from the secondary clarifier). Thanks to the biological reactor with prolonged oxidation these secondary sludge will be stabilized, so they will not require a subsequent digestion.

The prolonged oxidation is a low load process, which means that the relation between BOD kg and MLSS kg and in the biological reactor per day is less than 0.1. This leads into high sludge ages (between 14 and 20 days). Sludge age is the relation between kg of activated sludge in the reactor and the excess sludge kg. To ensure the stabilization of the sludge(so a subsequent sludge digestion process would not be needed), the sludge age must be at least 18 days.

The biological reactor would be the same as the one explained in Alternative 1, a plug flow reactor. The reactor comprises an anoxic zone to the inlet, and an oxic zone. To perform nitrification-denitrification will require an internal recirculation from the aerated region to the anoxic zone.

The main difference is that this proposal achieves high sludge ages, not just the strictly necessary for nitrification-denitrification occurs, therefore sludge digestion can be dispensed. The large volume of the reactor leads in high retention times, so the sludge age is also high and the stabilization is reached.

Also, as in Alternative 1, this proposal could have two types of aeration, with blowers and diffusers or with surface aeration. These processes are explained above.

The remaining phases of this configuration are common to the alternatives studied: pretreatment, secondary sedimentation and disinfection in the water line; and thickening, dewatering and storage of sludge in the mud line.

Chapter 5: Comparative study

Once the proposed solution and traditional alternatives have been explained, we proceed to their comparison both from the environmental and economical point of view. This study aims to verify, according to the population studied, the activated sludge system with prolonged oxidation has great advantages over traditional most used settings. It is also decided the most appropriate ventilation for the studied case.

Finally, the technical feasibility of the proposed solution would be proved throughout the development of detailed engineering of the main elements of the station.

Factors related to local circumstances.

It is going to be analyzed each configuration according to: the reliability of the water line process, the reliability of the sludge line, the simplicity of operation and maintenance process and the environmental consequences.

In the water line, those systems with greater flexibility to variations in flow and pollution load are prioritized, maintaining the best possible quality of effluent permanently. Activated sludge processes behave quite well in this regard, increasing reliability with increasing with the sludge age growth, so prolonged oxidation process are more reliable. Alternative 3 (bacterial beds) has a lower reliability due to the need to keep healthy biofilm in the beds.

In the sludge line, the process that ensures the stabilization of the sludge is the proposed solution, as it does not require subsequent sludge digestion. Compared with the aeration system, surface aeration systems are more reliable, since they avoid problems of clogging of nozzles.

It is important to consider the simplicity of operation and maintenance. Thus, it is appropriate, give priority to the simplest processes that require less operation time. In this regard, surface aeration systems have an advantage over the alternatives with diffusers, since diffusers systems must be replenished these every 7-8 years (further maintaining the rotors or turbines is easier).

The operation for the proposed solution will be easier than for the exposed alternatives, as the biological treatment is the only process to be controlled and there is no subsequent stabilization of sludge. Alternative 3 would be more difficult to exploit, due the need of good biofilm condition maintenance.

The installation of the plant can cause problems to the nearby population, due to the production of noise, odor, presence of insects and the possibility of health risks among others, and also to the surrounding environment. Thus, those configurations that lead lower impactare favorable.

Concerning this, blowers and diffusers have an advantage over surface aeration systems, since surface aeration systems produced higher amounts of aerosol. Specifically, the proposed solution has fewer odors due to the leak of primary sedimentation. Alternative 3 can be considered the less environmental friendly due to its odor generation.

Economical factors.

It has been made an assessment of the initial investment, as well as economic exploitation and maintenance studies to determine the annual cost (Appendices D and E). With these data we proceeded to conduct a study of return on investment and exploitation, considering a period of 25 years (Appendix F).

This study shows the significant economic advantage of the proposed solution. It also proves that the

diffuser aeration system is slightly cheaper than the surface aeration. The most expensive configuration is Alternative 3.

Final assessment

The economic and environmental study shows clearly that the proposed solution is the most suitable. What is less clear is the most advantageous ventilation system.

Considering both factors equally relevant in the rating system, the surface aeration is slightly more advantageous.

In conclusion, after a study of the proposed solution and several traditional alternatives to the WWTP studied, the cleaner and more economical system configuration is activated sludge with prolonged oxidation and sludge surface aeration systems.

Once the benefits of the proposed plant have been showed, a technical feasibility report of the station is done. The design and dimensioning of the main elements of the plant follow the German legislation ATV-A131. Pollution levels at the input and output of each element analyzed. This study prove that the requirements demanded by the European Directive 91/271 / EC are met by the proposal solution.

Chapter 6: Conclusions

Because of the increasing need of wastewater treatment plants in the world and specifically in Spain, this report proceeded to study them. It was considered a medium population between 20 and 25 thousand inhabitants. The proposed plant simplifies the traditional configuration, meet the legislation limits and doesn't have big environmental and economic impacts. A wastewater plant with active sludge with prolonged oxidation that dispenses primary sedimentation and sludge digestion drives to these profits.

To prove the benefits of this treatment plant it have been exposed several traditional alternatives to compare with, in an economical and environmental way . In this analysis, in addition to comparing the proposed solution with the alternatives, it has been studied the most suitable type of aeration for the biological reactor, using blowers and diffusers, where oxygen is injected into the water, or using turbines (surface aeration).

This study has defined clearly that the proposed configuration presents economic and environmental advantages over the processes that follow the general configuration of a wastewater treatment plant. Although the proposed solution requires a more demanding biological reactor, the removal of the primary settling and sludge digestion carry great economic savings. In environmental terms, the biological reactor with prolonged oxidation presents great flexibility to changes in flow and contaminants. Moreover, the suppression of the primary treatment leads in a considerable decrease of the odor of the plant.

Concerning the most suitable ventilation system, there is not a clear main solution While the blowing system is more economical from an energy point of view, its initial investment and maintenance costs have made the turbines the most suitable ventilation system for the type of plant studied.

Therefore, it is determined that the activated sludge system with prolonged oxidation and surface aeration systems can be the ideal solution for a wastewater treatment plant for zones with 20 or 25 thousand inhabitants in Spain.

Finally, it is studied the technical feasibility of the plant, to ensure that this proposal, out of the general configuration of the WWTP, is able to comply with the rules on sewage treatment. This technical study shows that the pollution levels of the effluent output adequately meet all specifications required by the Directive 91/271 / EEC.

The key to achieve this objective has been the bioreactor, which has been properly sized to adequately reduce pollutants and stabilize the sludge. The installation of two lines in the secondary treatment makes available a high degree of flexibility. Likewise, the channel chlorination has been installed for the future, it use is not necessary under normal operating conditions.

The main equipment of the station, both in the water and sludge line, have been dimensioned with conservative design criteria and with a margin of operation, so that the plant is prepared for possible changes in flow or pollutant inputs.

In conclusion, for medium population sizes in Spain, where wastewater has standard concentrations of contaminants, the most suitable treatment plant, considering environmental and economic factors equally relevant, it is one that has an activated sludge system of prolonged oxidation and surface aeration systems that dispenses primary treatment and sludge digestion.

Anexos

Anexo A: Estudio de estaciones depuradoras de aguas residuales en España

Con el objetivo de establecer unas características contaminantes del agua bruta de entrada a la estación depuradora de aguas residuales, se seleccionan varias estaciones españolas y se comparan sus niveles de polución en relación a sus habitantes equivalentes.

Por norma general, los habitantes equivalentes suelen ser mayores que la población existente, por lo que las EDARs estudiadas tienen una media de H.E de entre 30 y 35 mil. Se estudian los niveles de DBO5, DQO y SST, y los ratios DQO/DBO5 y SST/DBO5.

Población	H.E	DBO5 (mg/l)	S.S.T (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO/DBO5	S.S.T/DBO5
Vegadeo (Asturias)	18.000	300	350	660	2,2	1,2
Villamartín (Cádiz)	16.000	340	380	640	1,9	1,1
Santa Eulelia (Ibiza)	30.000	250	350	600	2,4	1,4
Nerja (Málaga)	50.000	300	300	500	1,7	1,0
La Barrosa (Cádiz)	27.000	330	300	680	2,1	0,9
Ribeira (Galicia)	32.000	320	350	640	2,0	1,1
Tarifa (Cádiz)	30.000	240	260	640	2,7	1,1
Loeches (Madrid)	60.000	240	360	500	2,1	1,5
La Bañeza (León)	23.000	250	300	500	2,0	1,2
Llanes (Asturias)	34.000	260	300	400	1,5	1,2
Peñíscola (Valencia)	39.000	290	350	620	2,1	1,2
Media total	32.636	284	327	580	2,0	1,2

Tabla 31. Contaminantes de EDARs en España.

Dada esta distribución, tomando valores aproximados a la alta, y manteniendo las relaciones DQO/DBO5 y SST/DBO5, se establecen los siguientes datos de partida:

- **DBO5 (mg/l): 300**
- **S.S.T (mg/l): 350**
- **DQO (mg/l): 600**

Aceptando por definición de habitante equivalente, la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de 60 g de O₂ por día, resulta una población equivalente de 32.417.

Los datos expresados en la tabla son en su mayoría estaciones depuradoras que salieron a estudio a través del ministerio, gestionadas por el Canal de Isabel II o proyectos lanzados por las propias comunidades autónomas [15].

Anexo B: Directiva comunitaria relativa a la depuración de aguas residuales. Anexo B: Directiva comunitaria relativa a la depuración de aguas residuales.

Glosario de Términos

- "**heq (equivalente habitante)**": la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO 5) de 60g de oxígeno por día.
- "**Tratamiento primario**": el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico y/o químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión u otros procesos en los que la DBO 5 de las aguas residuales que entren se reduzca por lo menos un 20% antes del vertido y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca por lo menos un 50%.
- "**Tratamiento secundario**": el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluye, por lo general, un tratamiento biológico con sedimentación secundaria, u otro proceso en el que se respalden los requisitos exigidos en la Directiva.
- "**Tratamiento adecuado**": el tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante cualquier proceso y/o sistema de eliminación en virtud del cual, después del vertido de dichas aguas, las aguas receptoras cumplan los objetivos de calidad pertinentes y las disposiciones pertinentes de la presente y de las restantes Directivas Comunitarias.

Zonas Sensibles

Se considerará que un medio acuático es zona sensible si puede inducirse en uno de los siguientes grupos:

- Lagos de agua dulce naturales, otros medios de agua dulce, estuarios y aguas costeras que sean eurótricos o que podrían llegar a ser eurótricos en un futuro próximo si no se adoptan medidas de protección.
- Aguas dulces de superficies destinadas a la obtención de agua potable que podrían contener una concentración de nitratos superior a la que establecen las disposiciones pertinentes de la Directiva 75/440/CEE.

Zonas Interiores Sensibles

Un medio o zona de agua marina podrá catalogarse como zona menos sensible cuando el vertido de aguas residuales no tenga efectos negativos sobre el medio ambiente debido a la morfología, hidrología o condiciones hidráulicas específicas existentes en esa zona.

Disposiciones y Normativas en relación con la Calidad del Agua

DIRECTIVA 75/440/CEE, relativa a la calidad requerida para las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable en los Estados miembros.

DIRECTIVA 76/160/CEE, relativa a la calidad de las aguas de baño.

DIRECTIVA 78/659/CEE, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.

DIRECTIVA 80/778/CEE, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.

DIRECTIVA 91/271/CEE, relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas (30.5.91).

DIRECTIVA [PARCO] 76/464/CEE, de 4.3.1976, relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad.

DIRECTIVA 80/068/CEE, relativa a la protección de aguas subterráneas contra sustancias peligrosas.

Legislación Española

LEY 29/85 de 2.8.1985, de Aguas [Dir: 76/464/CEE] (BOE 8.8.1985) REAL DECRETO 849/86 de 11.4.1986, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos Preliminar, I, V, VI, VII de la Ley 29/85 de 2.8.1985, de Aguas [Dir: 76/464/CEE] (BOE 30.4.1986).

ORDEN de 11.5.1988, sobre características básicas que deben ser mantenidas en las corrientes de aguas superficiales cuando sean destinadas a la producción de agua potable [Dir: 75/440/CEE] (BOE 24.5.1988).

REAL DECRETO 927/88 de 29.7.1988, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Fiancación Hidrológica, en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas [Dir: 75/440/CEE, Dir: 76/160/CEE, Dir: 78/659/CEE, Dir: 79/923/CEE] (BOE 31.8.1988).

ORDEN de 15.10.1990, por la que se modifica la ORDEN de 11.5.1988, sobre características básicas que deben ser mantenidas en las corrientes de aguas superficiales cuando sean destinadas a la producción de agua potable [Dir: 75/440/CEE] (BOE 23.10.1990).

REAL DECRETO 1310/90 de 29.10.1990, por el que se regula la utilización de los lagos de depuración en el sector agrario [Dir: 86/278/CEE] (BOE 11.11.1990).

N.º P. O. - 163-93-019-2

DIN IMPRESSORES



DIRECTIVA COMUNITARIA RELATIVA A LA DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES

Datos de Interés

MOPPT

Ministerio de Obras Públicas y Transportes
Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente
Dirección General de Calidad de las Aguas

Fechas límite de interés

Transposición de Directiva: 30-Junio-1993

Programa Nacional de Aplicación: 31-Diciembre-1993

Determinación Zonas Sensibles y menos Sensibles: 31-Diciembre-1993

Construcción Colectores:

Zonas Sensibles: Más de 10.000 h-eq. - 31-Diciembre-1998

Zonas Normales y menos Sensibles:

Más de 15.000 h-eq. - 31-Diciembre-2000

Entre 2.000 y 15.000 h-eq. - 31-Diciembre-2005

Construcción Depuradoras:

Agua dulce y Estuarios:

Más de 15.000 h-eq. - 31-Diciembre-2000

Entre 2.000 y 15.000 h-eq. - 31-Diciembre-2005

Agua Costeras:

Más de 15.000 h-eq. - 31-Diciembre-2000

Entre 10.000 y 15.000 h-eq. - 31-Diciembre-2005

Depuración Zonas Sensibles: Más de 10.000 h-eq. - 31-Diciembre-1998

Depuración Zonas menos Sensibles: Tratamiento primario.

Estuarios: Entre 2.000 y 10.000 h-eq. - 31-Diciembre-2005

Costeras:

Entre 15.000 y 150.000 h-eq. - 31-Diciembre-2000

Entre 10.000 y 15.000 h-eq. - 31-Diciembre-2005

Propuesta Requisito Vertidos Industriales Biodegradables:

31 - Diciembre - 1993.

Depuración Aguas Residuales Industriales Biodegradables:

Más de 4.000 h-eq. - 31-Diciembre-2000.

Niveles de Tratamiento

Zonas Peninsulares

PARAMETRO	TRATAMIENTO SECUNDARIO *	
	CONCENTRACION	% REDUCCION
DBO ₅ mg / l de O ₂	25	70-90
DDO mg / l de O ₂	125	75
Sólido Suspensión mg / l (optativo)	35	90

Zonas Sensibles (tratamiento secundario + el siguiente cuadro)

PARAMETRO	ELIMINACION DE N Y P	
	CONCENTRACION	% REDUCCION
Fósforo total mg / l de P	2 entre 10.000 y 100.000 h-eq. 1 para más de 100.000 h-eq.	80
Nitrógeno total mg / l de N	15 entre 10.000 y 100.000 h-eq. 10 para más de 100.000 h-eq.	70 - 80

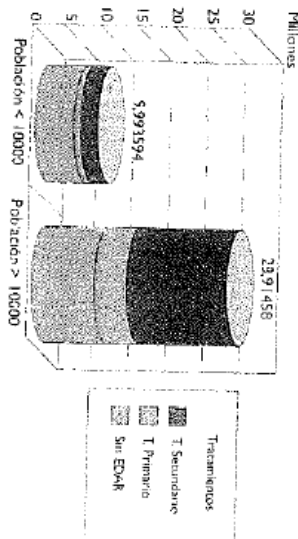
Zonas menos Sensibles

PARAMETRO	TRATAMIENTO PRIMARIO	
		% REDUCCION
DBO ₅ mg / l de O ₂		20
Sólido Suspensión mg / l		50

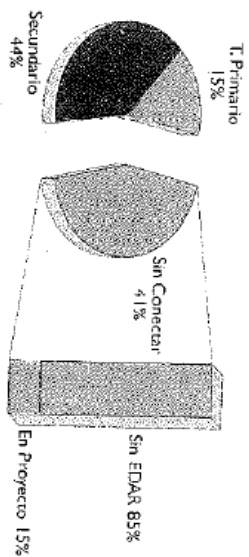
* Se incluyen consideraciones especiales para ruidos de alta montaña, así como para vertidos procedentes de un sistema de laguna.

Situación de la Depuración en España

(Datos año 1997)



Situación General Aproximada



En Construcción 3.620.512

En Construcción: Población que cuenta en el momento actual con un sistema de depuración en fase de construcción

En Proyecto: Población que cuenta en el momento actual con un sistema de depuración en fase de proyecto.

SIN EDAR: Población no conectada a ningún sistema de depuración.

Anexo C: Tipos de digestión

La digestión tiene como objetivo la estabilización del lodo, se trata de reducir el porcentaje de organismos patógenos y materia orgánica, ya que su descomposición da lugar a olores desagradables. Existen otros métodos alternativos a la digestión como son la estabilización con cal; el tratamiento térmico; y, el compostaje. Este trabajo se centrará en la estabilización por digestión, analizándola tanto en presencia como en ausencia de oxígeno.

Digestión aerobia.

La estabilización aerobia consiste en mantener la fase endógena de los cultivos biológicos lo que hace que estos pongan en funcionamiento sus reservas y se produzca el consumo de una parte considerable de la materia orgánica global.

El fango en exceso se conduce, bien sólo o bien mezclado con los fangos primarios, al proceso de estabilización. El fango biológico tiene una gran cantidad de materia orgánica en forma de células y microorganismos que han estado oxidando la materia orgánica en el tratamiento secundario y que después de éste se encuentra en pequeña proporción. En la estabilización lo que se pretende es continuar la oxidación de la materia orgánica que, en este caso, es celular.

Cuando los fangos (que son básicamente células) llegan a la estabilización aerobia se desarrolla fundamentalmente la fase de respiración endógena, para completar así la oxidación total de la materia orgánica que entró en la planta.

Los tanques de digestión aerobia van provistos de equipos de aireación para mantener las condiciones aerobias. Tras un tiempo de retención determinado, se procede a la deshidratación del fango estabilizado.

Con respecto a la digestión anaerobia, a pesar de tener un mayor costo debido a la necesidad de suministrar oxígeno, este proceso presenta ciertas ventajas:

- menores concentraciones de DBO en el líquido sobrenadante
- la inversión inicial suele ser menor
- se obtiene un producto final biológicamente estable, sin olores

Digestión anaerobia.

La estabilización anaerobia consiste en mantener unas condiciones de ausencia total de oxígeno en el cultivo, lo que potencia el crecimiento de microorganismos anaerobios facultativos. La materia orgánica contenida en la mezcla de lodos primarios y secundarios, se convierte, principalmente, en metano y dióxido de carbono .

En un tanque de digestión anaerobia, el reactor está completamente cerrado, los sólidos orgánicos procedentes de las aguas residuales se descomponen (el volumen de sólidos totales se reduce, por tanto) en ausencia de oxígeno. Esto es llevado a cabo por la acción de al menos dos grupos diferentes de bacterias que viven juntas en el mismo medio. Estos grupos bacterianos son:

- Las bacterias formadoras de ácidos, que convierten los sólidos complejos en sólidos más simples (llamados ácidos orgánicos), anhídrido carbónico (CO₂) y agua (H₂O), fundamentalmente.
- Las bacterias formadoras de metano, que convierten los ácidos en metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) principalmente.

En general, en un digestor anaerobio, la reducción de sólidos orgánicos (volátiles) en el fango de salida está entre un 40 y un 60 % del existente en el fango de entrada.

Este proceso permite la reducción de la cantidad de fangos, al tiempo que se produce energía en forma de biogás. Esta energía se utiliza principalmente para calentar los fangos del proceso, y, además, se puede emplear para producir energía eléctrica o térmica, que no es el caso de esta instalación.

La mezcla de fangos en el digestor estará permanentemente homogeneizada por un sistema de agitación por gas y a una temperatura suficiente (35°C) por una recirculación constante de fangos en un intercambiador de calor externo.

La agitación se efectúa por dos acciones complementarias:

- De una parte, se crea un flujo líquido entre la introducción de fangos en la parte central de la obra y la extracción, flujo que se ve aumentado por la recirculación de fangos recalentados.
- Por otro lado, la inyección del biogás, producido en el propio proceso, permite realizar un flujo espiral: El biogás introducido a presión retorna hacia la superficie, generando un movimiento ascendente de los fangos, que induce a un movimiento tórico.

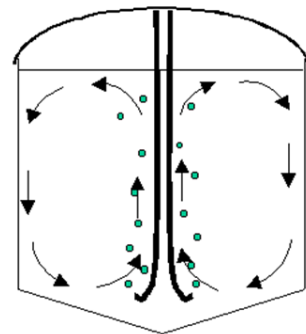


Figura 13. Agitación en la digestión anaerobia

La introducción de gas en el digestor se ve asegurada por la utilización de un compresor.

Una buena agitación permanente es fundamental para la eficacia de la digestión. La agitación por biogás presenta muchas ventajas:

- No hay equipos mecánicos en el interior del digestor;
- No se forman costras flotantes que de producirse retornarían a cabeza de la instalación ocasionando dificultades de explotación.

El digestor funciona a nivel constante (en mezcla integral permanente), es decir que el volumen de fangos frescos entrante es igual al volumen de fangos digeridos que sale.

Anexo D: Inversión Inicial

A continuación se realizan unos presupuestos orientativos de la inversión inicial necesaria para llevar a cabo la solución propuesta y las alternativas, incluyendo los diferentes sistemas de aireación en cada caso [11,15,18].

- Fangos activados en oxidación prolongada, aireación con soplantes y difusores (SPA).

-Obra civil.

1. Movimiento de tierras	47.500
2. Pozo de gruesos	4.400
3. Bombeo de agua bruta	3.500
4. Canales de desbaste	3.900
5. Desarenado-Desengrasado	12.000
6. Reactor biológico	500.000
7. Decantación secundaria	100.000
8. Canales de desinfección	25.000
9. Espesamiento de fangos	32.000
10. Almacenamiento de fangos secos	1.200
11. Edificio de pretratamiento	187.500
12. Edificio de aire	56.250
13. Edificio de bombeo de fangos en exceso y recirculación	18.750
14. Edificio de deshidratación de fangos	67.500
15. Edificio de control	135.000
TOTAL (€)	1.194.000

Tabla 32. Inversión inicial. Obra civil SPA

En el movimiento de tierras se consideran gastos de desmonte y terraplén suponiendo un área de 5.000 m^3 y unos costes de 5,5 €/m³ y 4 €/m³ respectivamente.

Del punto 2 al 10 se consideran gastos de excavación, relleno, hormigón, acero y encofrado, 6 €/m³, 4 €/m³, 100€/m³, 1 €/Kg y 12 €/m². El coste total de cada fase se ha calculado tomando valores aproximados teniendo en cuenta las características de la EDAR que se desea construir.

Del 11 al 15 el precio vendrá definido por la superficie, 750 €/m². Las superficies consideradas son 250, 75, 25, 90 y 180 m²[11,17].

Anexos

-Equipos mecánicos

Obra de llegada y pozo de gruesos	65.000
Bombeo de agua bruta	80.000
Pretratamiento	200.000
Tratamiento biológico-soplantes	320.000
Decantación secundaria	180.000
Canal de cloración	50.000
Bombeo de fangos	130.000
Espesamiento de fangos	38.000
Deshidratación de fangos	360.000
TOTAL (€)	1.423.000

Tabla 33. Inversión inicial. Equipos mecánicos SPA

-Equipos eléctricos

Equipo	Número	Precio (€)
Puente grúa	1	5.000
Cuchara bivalva	1	2.000
Bombas agua bruta	2	20.300
Tamices de finos	2	1.200
Tornillo transportador prensa	1	600
Motorreductor desarenador	1	150
Soplantes desarenado	1	7.000
Bombas de arena	1	1.300
Clasificador de arenas	1	200
Separador de grasas	1	200
Soplantes biológico	2	100.000
Bombas de recirculación interna	2	6.000
Bombas de recirculación externa	2	6.000

Anexos

Bombas de fangos en exceso	1	4.000
Motorreductores decantación secundaria	2	600
Bombas dosificadoras de hipoclorito sódico	1	150
Bombas de flotantes decantadores secundarios	1	3.000
Motorreductor espesador	1	300
Centrifugas	2	27.000
Bombas fangos a deshidratación	3	4.000
Equipo compacto de polielectrolito	1	1.300
Bombas polielectrolito	3	600
Tolva	2	900
Bomba de carga a tolva	2	7.200
Instalaciones Eléctricas Varias	-	150.000
TOTAL(€)		349.000

Tabla 34. Inversión inicial. Equipos eléctricos SPA

Inversión inicial SPA: 2.986.000 €

- Fangos activados en oxidación prolongada con aireadores superficiales (SPB).

Con respecto a la configuración anterior, en obra civil solo varían los costes en el edificio de aire, ya que en este caso con una superficie menor será suficiente. Mecánica y eléctricamente, el tratamiento biológico con turbinas tiene un presupuesto menor.

-Obra civil

1. Movimiento de tierras	47.500
2. Pozo de gruesos	4.400
3. Bombeo de agua bruta	3.500
4. Canales de desbaste	3.900
5. Desarenado-Desengrasado	12.000
6. Reactor biológico	500.000
7. Decantación secundaria	100.000
8. Canales de desinfección	25.000
9. Espesamiento de fangos	32.000
10. Almacenamiento de fangos secos	1.200
11. Edificio de pretratamiento	187.500
12. Edificio de aire	41.250
13. Edificio de bombeo de fangos en exceso y recirculación	18.750
14. Edificio de deshidratación de fangos	67.500
15. Edificio de control	135.000
TOTAL (€)	1.179.500

Tabla 35. Inversión inicial. Obra civil SPB

En el movimiento de tierras se consideran gastos de desmonte y terraplén suponiendo un área de 5.000 m^3 y unos costes de 5,5 €/m³ y 4 €/m³ respectivamente.

Del punto 2 al 10 se consideran gastos de excavación, relleno, hormigón, acero y encofrado, 6 €/m³, 4 €/m³, 100€/m³, 1 €/Kg y 12 €/m². El coste total de cada fase se ha calculado tomando valores aproximados teniendo en cuenta las características de la EDAR que se desea construir.

Del 11 al 15 el precio vendrá definido por la superficie, 750 €/m². Las superficies consideradas son 250, 55, 25, 90 y 180 m².

Anexos

-Equipos mecánicos

Obra de llegada y pozo de gruesos	65.000
Bombeo de agua bruta	80.000
Pretratamiento	200.000
Tratamiento biológico-turbinas	100.000
Decantación secundaria	180.000
Canal de cloración	50.000
Bombeo de fangos	130.000
Espesamiento de fangos	38.000
Deshidratación de fangos	360.000
TOTAL (€)	1.203.000

Tabla 36. Inversión inicial. Equipos mecánicos SPB

-Equipos eléctricos

Equipo	Número	Precio (€)
Puente grúa	1	5.000
Cuchara bivalva	1	2.000
Bombas agua bruta	2	20.300
Tamices de finos	2	1.200
Tornillo transportador prensa	1	600
Motorreductor desarenador	1	150
Soplantes desarenado	1	7.000
Bombas de arena	1	1.300
Clasificador de arenas	1	200
Separador de grasas	1	200
Turbinas de aireación	4	90.000
Bombas de recirculación interna	2	3.000
Bombas de recirculación externa	2	6.000

Anexos

Bombas de fangos en exceso	1	4.000
Motorreductores decantación secundaria	2	600
Bombas dosificadoras de hipoclorito sódico	1	150
Bombas de flotantes decantadores secundarios	1	3.000
Motorreductor espesador	1	300
Centrifugas	2	27.000
Bombas fangos a deshidratación	3	4.000
Equipo compacto de polielectrolito	1	1.300
Bombas polielectrolito	3	600
Tolva	2	900
Bomba de carga a tolva	2	7.200
Instalaciones Eléctricas Varias	-	150.000
TOTAL(€)		339.000

Tabla 37. Inversión inicial. Equipos eléctricos SPB

Inversión inicial SPB: 2.721.500 €

- Fangos activados a media carga con estabilización aerobia de fangos con soplantes y difusores (Alternativa 1A).

Los fangos activados a media carga requieren decantación primaria y digestión aerobia, lo que incrementará el área del movimiento de tierras en obra civil. Gracias a estas innovaciones el tratamiento biológico será menos exigente.

-Obra civil

1. Movimiento de tierras	57.000
2. Pozo de gruesos	4.400
3. Bombeo de agua bruta	3.500
4. Canales de desbaste	3.900
5. Desarenado-Desengrasado	12.000
6. Decantación primaria	70.000
7. Reactor biológico	200.000
8. Decantación secundaria	100.000
9. Canales de desinfección	25.000
10. Digestión aerobia	100.000
11. Espesamiento de fangos	32.000
12. Almacenamiento de fangos secos	1.200
13. Edificio de pretratamiento	187.500
14. Edificio de aire	56.250
15. Edificio de bombeo de fangos en exceso y recirculación	18.750
16. Edificio de deshidratación de fangos	67.500
17. Edificio de control	135.000
TOTAL (€)	1.074.000

Tabla 38. Inversión inicial. Obra civil Alternativa 1A

En el movimiento de tierras se consideran gastos de desmonte y terraplén suponiendo un área de 6.000 m³ y unos costes de 5,5 €/m³ y 4 €/m³ respectivamente.

Del punto 2 al 12 se consideran gastos de excavación, relleno, hormigón, acero y encofrado, 6 €/m³, 4 €/m³, 100€/m³, 1 €/Kg y 12 €/m². El coste total de cada fase se ha calculado tomando valores aproximados teniendo en cuenta las características de la EDAR que se desea construir.

Anexos

Del 13 al 17 el precio vendrá definido por la superficie, 750 €/m². Las superficies consideradas son 250, 75, 25, 90 y 180 m².

-Equipos mecánicos

Obra de llegada y pozo de gruesos	65.000
Bombeo de agua bruta	80.000
Pretratamiento	200.000
Decantación primaria	100.000
Tratamiento biológico-soplantes	200.000
Decantación secundaria	180.000
Canal de cloración	50.000
Bombeo de fangos	130.000
Estabilización aerobia-soplantes	300.000
Espesamiento de fangos	38.000
Deshidratación de fangos	360.000
TOTAL (€)	1.703.000

Tabla 39. Inversión inicial. Equipos mecánicos Alternativa 1A

-Equipos eléctricos

Equipo	Número	Precio (€)
Puente grúa	1	5.000
Cuchara bivalva	1	2.000
Bombas agua bruta	2	20.300
Tamices de finos	2	1.200
Tornillo transportador prensa	1	600
Motorreductor desarenador	1	150
Soplantes desarenado	1	7.000
Bombas de arena	1	1.300
Clasificador de arenas	1	200
Separador de grasas	1	200

Anexos

Motorreductores decantación primaria	1	200
Bombas de fangos primarios	1	1.100
Soplantes biológico	2	50.000
Bombas de recirculación interna	2	3.000
Bombas de recirculación externa	2	6.000
Bombas de fangos en exceso	1	4.000
Motorreductores decantación secundaria	2	600
Bombas dosificadoras de hipoclorito sódico	1	150
Bombas de flotantes decantadores secundarios	1	3.000
Soplantes estabilización aerobia	2	75.000
Bombas de fangos a espesador	2	6.000
Motorreductor espesador	1	300
Centrifugas	3	38.000
Bombas fangos a deshidratación	3	4.000
Equipo compacto de polielectrolito	1	1.300
Bombas polielectrolito	3	600
Tolva	2	1.500
Bomba de carga a tolva	2	9.200
Instalaciones Eléctricas Varias	-	150.000
TOTAL(€)		391.900

Tabla 40. Inversión inicial. Equipos eléctricos Alternativa 1A

Inversión inicial 1A: 3.168.900 €

- Fangos activados a media carga con estabilización aerobia de fangos con aireadores superficiales (Alternativa 1B).

Con respecto a la alternativa anterior, en obra civil solo varían los costes en el edificio de aire, ya que en este caso con una superficie menor será suficiente. Mecánica y eléctricamente, el tratamiento biológico con turbinas tiene un presupuesto menor.

-Obra civil

1. Movimiento de tierras	57.000
2. Pozo de gruesos	4.400
3. Bombeo de agua bruta	3.500
4. Canales de desbaste	3.900
5. Desarenado-Desengrasado	12.000
6. Decantación primaria	70.000
7. Reactor biológico	200.000
8. Decantación secundaria	100.000
9. Canales de desinfección	25.000
10. Digestión aerobia	100.000
11. Espesamiento de fangos	32.000
12. Almacenamiento de fangos secos	1.200
13. Edificio de pretratamiento	187.500
14. Edificio de aire	41.250
15. Edificio de bombeo de fangos en exceso y recirculación	18.750
16. Edificio de deshidratación de fangos	67.500
17. Edificio de control	135.000
TOTAL (€)	1.059.000

Tabla 41. Inversión inicial. Obra civil Alternativa 1B

En el movimiento de tierras se consideran gastos de desmonte y terraplén suponiendo un área de 6.000 m^3 y unos costes de 5,5 €/m³ y 4 €/m³ respectivamente.

Del punto 2 al 12 se consideran gastos de excavación, relleno, hormigón, acero y encofrado, 6 €/m³, 4 €/m³, 100€/m³, 1 €/Kg y 12 €/m². El coste total de cada fase se ha calculado tomando valores aproximados teniendo en cuenta las características de la EDAR que se desea construir.

Anexos

Del 13 al 17 el precio vendrá definido por la superficie, 750 €/m². Las superficies consideradas son 250, 55, 25, 90 y 180 m².

-Equipos mecánicos

Obra de llegada y pozo de gruesos	65.000
Bombeo de agua bruta	80.000
Pretratamiento	200.000
Decantación primaria	100.000
Tratamiento biológico-turbinas	70.000
Decantación secundaria	180.000
Canal de cloración	50.000
Bombeo de fangos	130.000
Estabilización aerobia-turbinas	100.000
Espesamiento de fangos	38.000
Deshidratación de fangos	360.000
TOTAL (€)	1.373.000

Tabla 42. Inversión inicial. Equipos mecánicos Alternativa 1B

-Equipos eléctricos

Equipo	Número	Precio (€)
Puente grúa	1	5.000
Cuchara bivalva	1	2.000
Bombas agua bruta	2	20.300
Tamices de finos	2	1.200
Tornillo transportador prensa	1	600
Motorreductor desarenador	1	150
Soplantes desarenado	1	7.000
Bombas de arena	1	1.300
Clasificador de arenas	1	200
Separador de grasas	1	200

Anexos

Motorreductores decantación primaria	1	200
Bombas de fangos primarios	1	1.100
Turbinas biológico	4	48.000
Bombas de recirculación interna	2	3.000
Bombas de recirculación externa	2	6.000
Bombas de fangos en exceso	1	4.000
Motorreductores decantación secundaria	2	600
Bombas dosificadoras de hipoclorito sódico	1	150
Bombas de flotantes decantadores secundarios	1	3.000
Turbinas estabilización	4	100.000
Bombas de fangos a espesador	2	6.000
Motorreductor espesador	1	300
Centrifugas	3	38.000
Bombas fangos a deshidratación	3	4.000
Equipo compacto de polielectrolito	1	1.300
Bombas polielectrolito	3	600
Tolva	2	1.500
Bomba de carga a tolva	2	9.200
Instalaciones Eléctricas Varias	-	150.000
TOTAL(€)		414.900

Tabla 43. Inversión inicial. Equipos eléctricos Alternativa 1B

Inversión inicial 1B: 2.896.900 €

- Lechos bacterianos con estabilización aerobia de fangos con soplantes y difusores (Alternativa 3).

-Obra civil

1. Movimiento de tierras	57.000
2. Pozo de gruesos	4.400
3. Bombeo de agua bruta	3.500
4. Canales de desbaste	3.900
5. Desarenado-Desengrasado	12.000
6. Decantación primaria	70.000
7. Lechos 1ª etapa	80.000
8. Lechos 2ª etapa	90.000
9. Arquetas de bombeos	6.000
10. Decantación secundaria	100.000
11. Canales de desinfección	25.000
12. Digestión aerobia	100.000
13. Espesamiento de fangos	32.000
14. Almacenamiento de fangos secos	1.200
15. Edificio de pretratamiento	187.500
16. Edificio de aire	41.250
17. Edificio de bombeo de fangos en exceso y recirculación	18.750
18. Edificio de deshidratación de fangos	67.500
19. Edificio de control	135.000
TOTAL (€)	1.035.000

Tabla 44. Inversión inicial. Obra civil Alternativa 3.

En el movimiento de tierras se consideran gastos de desmonte y terraplén suponiendo un área de 6.000 €/m³ y unos costes de 5,5€/m³ y 4 €/m³ respectivamente.

Del punto 2 al 14 se consideran gastos de excavación, relleno, hormigón, acero y encofrado, 6 €/m³, 4 €/m³, 100€/m³, 1 €/Kg y 12 €/m². El coste total de cada fase se ha calculado tomando valores aproximados teniendo en cuenta las características de la EDAR que se desea construir.

Anexos

Del 15 al 19 el precio vendrá definido por la superficie, $750€/m^2$. Las superficies consideradas son 250, 55, 25, 90 y $180 m^2$.

-Equipos mecánicos

Obra de llegada y pozo de gruesos	65.000
Bombeo de agua bruta	80.000
Pretratamiento	200.000
Decantación primaria	100.000
Lechos bacterianos	500.000
Decantación secundaria	180.000
Canal de cloración	50.000
Bombeo de fangos	180.000
Estabilización aerobia-soplantes	250.000
Espesamiento de fangos	38.000
Deshidratación de fangos	360.000
TOTAL (€)	2.003.000

Tabla 45. Inversión inicial. Equipos mecánicos Alternativa 3

-Equipos eléctricos

Equipo	Número	Precio (€)
Puente grúa	1	5.000
Cuchara bivalva	1	2.000
Bombas agua bruta	2	20.300
Tamices de finos	2	1.200
Tornillo transportador prensa	1	600
Motorreductor desarenador	1	150
Soplantes desarenado	1	7.000
Bombas de arena	1	1.300
Clasificador de arenas	1	200
Separador de grasas	1	200

Anexos

Motorreductores decantación primaria	1	200
Bombas de fangos mixtos	1	1.100
Bombeo agua 1ª etapa	2	20.000
Motorreductores lechos 1ª etapa	2	600
Bombeo de recirculación 1ª etapa	1	15.000
Bombeo agua 2ª etapa	2	20.000
Motorreductores lechos 2ª etapa	2	600
Bombeo de recirculación 2ª etapa	1	7.000
Bombas de fangos en exceso	1	4.000
Motorreductores decantación secundaria	2	600
Bombas dosificadoras de hipoclorito sódico	1	150
Bombas de flotantes decantadores secundarios	1	3.000
Soplantes estabilización aerobia	2	75.000
Bombas de fangos a espesador	2	6.000
Motorreductor espesador	1	300
Centrifugas	3	38.000
Bombas fangos a deshidratación	3	4.000
Equipo compacto de polielectrolito	1	1.300
Bombas polielectrolito	3	600
Tolva	2	1.500
Bomba de carga a tolva	2	9.200
Instalaciones Eléctricas Varias	-	150.000
TOTAL(€)		396.100

Tabla 46. Inversión inicial. Equipos eléctricos Alternativa 3

Inversión inicial 3: 3.434.100 €

Anexo E: Plan de operación y mantenimiento

A continuación se realizan unos presupuestos orientativos del plan de operación y mantenimiento necesario para llevar a cabo la solución propuesta y las alternativas, incluyendo los diferentes sistemas de aireación en cada caso [11,13,18].

1. Objetivos

- 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 rendimientos normales y condiciones que se indican en el informe
- b) Retirar en las debidas condiciones higiénicas, transportar y verter las grasas, arenas y residuos de rejillas y tamices recogidos en las plantas. A tal fin el Adjudicatario deberá constituirse en gestor de residuos o encargar su retirada a un gestor legalmente autorizado.
- c) Desecar los lodos producidos, hasta alcanzar los contenidos de humedad indicados en el infrome, anteriormente señalado, de forma que puedan retirarse fácilmente y sin olores por el responsable de ese Servicio.
- d) Mantener adecuadamente todas las instalaciones y equipos de las plantas.Reparar dentro del programa de mantenimiento los elementos deteriorados de las instalaciones.

2. Funciones del personal

Personal de explotación y mantenimiento.

Se encargarán de los equipos mecánicos y eléctricos, de controlar su correcto funcionamiento.

Se ha considerado conveniente la designación de un personal específico dedicado al control del funcionamiento de la maquinaria y al engrase periódico, así como de las reparaciones que pueden realizarse en taller.

Jefe de planta

Es el encargado de la Dirección Técnica de la Planta, responsable de la gestión administrativa, de personal y de todo lo especificado en el epígrafe c) del presente apartado. Es el responsable ante la Administración del funcionamiento correcto de la planta. Propondrá las mejoras necesarias para la optimización del proceso de la planta y supervisará la documentación de trabajo y control.

Dado el reducido tamaño de la Estación, el Jefe de planta tomará las funciones de Jefe de laboratorio y Jefe de explotación de Líneas de Proceso (agua y fango), que son las siguientes, respectivamente:

- a) Establecerá la cuantía y metodología a seguir en los análisis, siendo el responsable de los mismos y controlando las posibles anomalías.
- b) Responsable de los trabajos de proceso, mantenimiento, conservación y seguridad y salud de la Planta. Hará una inspección diaria de todos los equipos, haciendo cumplir el mantenimiento preventivo. Elevará las propuestas necesarias de compra de materiales y herramientas. Coordinará a todo el personal de mano de obra.

3. Operaciones de explotación y mantenimiento

Operaciones de explotación

La óptima, correcta e ininterrumpida explotación de una estación de tratamiento de aguas residuales resulta de la yuxtaposición de varios factores:

1. Conocer exactamente las características del agua aportada en cada una de las fases del tratamiento.
2. Conocer los parámetros que definen el proceso en sus diferentes fases.
3. Modificar los parámetros de forma que en cada momento, se consiga la mejor calidad de agua tratada con un mayor rendimiento.
4. Que los elementos integrantes de cada una de las fases del tratamiento cumplan en cada momento el programa establecido de acuerdo a las características del agua y parámetros del proceso.

Los tres primeros puntos se cumplimentan, mediante el establecimiento de las operaciones de control del proceso. En cuanto al último se cumplimenta con el establecimiento de las operaciones de control de la estación. El conjunto de ambos controles constituye las operaciones de explotación.

La manera de llevar a cabo dichos controles es mediante el establecimiento de los Partes de Proceso y Control en los que se recogerán las diferentes operaciones a realizar.

Operaciones de mantenimiento y averías

Los objetivos que se persiguen con las operaciones de mantenimiento son los siguientes:

- Limitar el envejecimiento del material debido a su funcionamiento. Intervenir antes de que el coste de la reparación sea demasiado elevado o exista riesgo de accidente.
- Eliminar o limitar los riesgos de averías en el material imprescindible para el proceso. Disminuir el tiempo de parada de averías.
- Asegurar el buen estado de los servicios generales del agua, electricidad, calefacción..., evitando los consumos exagerados.

4. Valoraciones

Como ya se ha comentado anteriormente, en este informe no se estudiará el transporte y gestión de residuos, ya que el alcance del proyecto se limita hasta el almacenamiento de los fangos.

Fangos activados en oxidación prolongada, aireación con soplantes y difusores (SPA).

-Personal

Categoría laboral	Número	Sueldo Bruto (€)	Coste (€/año)
Personal de Explotación y Mantenimiento	2	4.000	8.000
Jefe de Planta	1	6.000	6.000
TOTAL	-	-	14.000

Tabla 47. POYM. Personal SPA.

El Personal de Operación y Mantenimiento deberá poseer conocimientos eléctricos y mecánicos. El Jefe de Planta realizará labores de analista y administración. Se consideran 8 horas de trabajo al día los 365 días al año.

-Mantenimiento conservación de la EDAR

Concepto	Coste (€/año)
Obra civil	1.500
Equipos mecánicos	2.500
Equipos eléctricos	500
TOTAL	4.500

Tabla 48. POYM. Conservación SPA.

-Reactivos

Reactivo	Consumo h. (kg/h)	Días al año	Coste (€/Kg)	Coste (€/año)
Hipoclorito sódico (desinfección)	1,6	180	0,07	484
Polielectrolito (deshidratación)	0,625	260	3,5	13.650
TOTAL	-	-	-	14.134

Tabla 49. POYM. Reactivos SPA.

El consumo medio de polielectrolito se ha considerado de 15 kg/día secado. Se considera que la deshidratación tiene lugar 5 días a la semana mientras la desinfección tiene lugar la mitad de los días.

-Energía eléctrica.

Para saber con exactitud el consumo eléctrico sería necesario un estudio detallado de todas las partes eléctricas de la estación que no será realizado en este trabajo. Para aproximar el coste que podría tener, se han tomado estaciones depuradoras de aguas residuales de similar tamaño en España y se ha considerado un consumo de 3.700 kWh/día, a un precio aproximado de 0,1 €/kWh, hace un coste total de 131.720€/año.

-Resumen costes

Personal	14.000
Mantenimiento conservación de la EDAR	4.500
Reactivos	14.134
Energía eléctrica	131.720
TOTAL	164.354€/año

Tabla 50. POYM. Coste total SPA.

Fangos activados en oxidación prolongada, aireadores superficiales (Alternativa SPB).

-Personal

Categoría laboral	Número	Sueldo Bruto (€)	Coste (€/año)
Personal de Explotación y Mantenimiento	2	4.000	8.000
Jefe de Planta	1	6.000	6.000
TOTAL	-	-	14.000

Tabla 51. POYM. Personal SPB.

El Personal de Operación y Mantenimiento deberá poseer conocimientos eléctricos y mecánicos. El Jefe de Planta realizará labores de analista y administración. Se consideran 8 horas de trabajo al día los 365 días al año.

-Mantenimiento conservación de la EDAR

Concepto	Coste (€/año)
Obra civil	1.500
Equipos mecánicos	2.000
Equipos eléctricos	500
TOTAL	4.000

Tabla 52. POYM. Conservación SPB.

-Reactivos

Reactivo	Consumo h. (kg/h)	Días al año	Coste (€/Kg)	Coste (€/año)
Hipoclorito sódico (desinfección)	1,6	180	0,07	484
Polielectrolito (deshidratación)	0,625	260	3,5	13.650
TOTAL	-	-	-	14.134

Tabla 53. POYM. Reactivos SPB

El consumo medio de polielectrolito es considerado de 15 kg/día secado. Se considera que la deshidratación tiene lugar 5 días a la semana mientras la desinfección tiene lugar la mitad de los días.

-Energía eléctrica.

Para aproximar el coste que podría tener, se han tomado estaciones depuradoras de aguas residuales de similar tamaño en España y se ha considerado un consumo de 4.000 kWh/día, a un precio aproximado de 0,1 €/kWh, hace un coste total de 146.000€/año.

-Resumen costes

Personal	14.000
Mantenimiento conservación de la EDAR	4.000
Reactivos	14.134
Energía eléctrica	146.000
TOTAL	178.134€/año

Tabla 54. POYM. Coste total SPB.

Comparando con la alternativa anterior, el coste de explotación es ligeramente mayor ya que a pesar de requerir un mantenimiento más sencillo, el consumo eléctrico requerido es considerablemente superior (en este caso hemos sustituido los difusores por las turbinas).

Fangos activados a media carga con estabilización aerobia de fangos con soplantes y difusores (Alternativa 1A).

-Personal

Categoría laboral	Número	Sueldo Bruto (€)	Coste (€/año)
Personal de Explotación y Mantenimiento	2	4.000	8.000
Jefe de Planta	1	6.000	6.000
TOTAL	-	-	14.000

Tabla 55. POYM. Personal Alternativa 1A.

El Personal de Operación y Mantenimiento deberá poseer conocimientos eléctricos y mecánicos. El Jefe de Planta realizará labores de analista y administración. Se consideran 8 horas de trabajo al día los 365 días al año.

-Mantenimiento conservación de la EDAR

Concepto	Coste (€/año)
Obra civil	2.000
Equipos mecánicos	3.000
Equipos eléctricos	700
TOTAL	5.700

Tabla 56. POYM. Conservación Alternativa 1A.

-Reactivos

Reactivo	Consumo h. (kg/h)	Días al año	Coste (€/Kg)	Coste (€/año)
Hipoclorito sódico (desinfección)	1,6	180	0,07	484
Poliectrolito (deshidratación)	0,71	260	3,5	15.506
TOTAL	-	-	-	15.990

Tabla 57. POYM. Reactivos Alternativa 1A.

El consumo medio de polielectrolito se considera ligeramente superior a en los procesos de oxidación prolongada, de 17 kg/día secado. Esto se debe a la existencia de una decantación primaria, que por lo general da lugar a mayor cantidad de fangos comparando con la solución propuesta que solo tiene decantación secundaria. Se considera que la deshidratación tiene lugar 5 días a la semana mientras la desinfección tiene lugar la mitad de los días.

-Energía eléctrica.

Para aproximar el coste que podría tener, se han tomado estaciones depuradoras de aguas residuales de similar tamaño en España y se ha considerado un consumo de 3.800 kWh/día, a un precio aproximado de 0,1 €/kWh, hace un coste total de 138.700€/año.

-Resumen costes

Personal	14.000
Mantenimiento conservación de la EDAR	5.700
Reactivos	15.990
Energía eléctrica	138.700
TOTAL	174.390€/año

Tabla 58. POYM. Coste total Alternativa 1A.

Comparando con la oxidación prolongada se han considerado unos gastos de mantenimiento mayores, ya que esta disposición requiere un mayor control. A su vez el consumo medio de polielectrolito y la electricidad requerida serán también ligeramente superiores. Todo esto es debido a la introducción de la decantación primaria y la digestión anaerobia de fangos.

Fangos activados a media carga con estabilización aerobia de fangos con aireadores superficiales (Alternativa 1B).

-Personal

Categoría laboral	Número	Sueldo Bruto (€)	Coste (€/año)
Personal de Explotación y Mantenimiento	2	4.000	8.000
Jefe de Planta	1	6.000	6.000
TOTAL	-	-	14.000

Tabla 59. POYM. Personal Alternativa 1B.

El Personal de Operación y Mantenimiento deberá poseer conocimientos eléctricos y mecánicos. El Jefe de Planta realizará labores de analista y administración. Se consideran 8 horas de trabajo al día los 365 días al año.

-Mantenimiento conservación de la EDAR

Concepto	Coste (€/año)
Obra civil	2.000
Equipos mecánicos	2.500
Equipos eléctricos	700
TOTAL	5.200

Tabla 60. POYM. Conservación Alternativa 1B.

-Reactivos

Reactivo	Consumo h. (kg/h)	Días al año	Coste (€/Kg)	Coste (€/año)
Hipoclorito sódico (desinfección)	1,6	180	0,07	484
Poliectrolito (deshidratación)	0,71	260	3,5	15.506
TOTAL	-	-	-	15.990

Tabla 61. POYM. Reactivos Alternativa 1B.

El consumo medio de polielectrolito se considera ligeramente superior a en los procesos de oxidación prolongada, de 17 kg/día secado. Se considera que la deshidratación tiene lugar 5 días a la semana mientras la desinfección tiene lugar la mitad de los días.

-Energía eléctrica.

Para aproximar el coste que podría tener, se han tomado estaciones depuradoras de aguas residuales de similar tamaño en España y se ha considerado un consumo de 4.300 kWh/día, a un precio aproximado de 0,1 €/kWh, hace un coste total de 156.950€/año.

-Resumen costes

Personal	14.000
Mantenimiento conservación de la EDAR	5.200
Reactivos	15.990
Energía eléctrica	156.950
TOTAL	192.140€/año

Tabla 62. POYM. Coste total Alternativa 1B.

Comparando con la alternativa anterior, el coste de explotación es ligeramente mayor ya que a pesar de requerir un mantenimiento más sencillo, el consumo eléctrico requerido es considerablemente superior.

Lechos bacterianos con estabilización aerobia de fangos con soplantes y difusores (Alternativa 3).

-Personal

Categoría laboral	Número	Sueldo Bruto (€)	Coste (€/año)
Personal de Explotación y Mantenimiento	2	4.000	8.000
Jefe de Planta	1	6.000	6.000
TOTAL	-	-	14.000

Tabla 63. POYM. Personal Alternativa 3.

El Personal de Operación y Mantenimiento deberá poseer conocimientos eléctricos y mecánicos. El Jefe de Planta realizará labores de analista y administración. Se consideran 8 horas de trabajo al día los 365 días al año.

-Mantenimiento conservación de la EDAR

Concepto	Coste (€/año)
Obra civil	2.000
Equipos mecánicos	3.000
Equipos eléctricos	500
TOTAL	5.500

Tabla 64. POYM. Conservación Alternativa 3.

-Reactivos

Reactivo	Consumo h. (kg/h)	Días al año	Coste (€/Kg)	Coste (€/año)
Hipoclorito sódico (desinfección)	1,6	180	0,07	484
Poliectrolito (deshidratación)	0,67	260	3,5	14.633
TOTAL	-	-	-	15.117

Tabla 65. POYM. Reactivos Alternativa 3.

El consumo medio de polielectrolito es considerado de 16 kg/día secado. Se considera que la deshidratación tiene lugar 5 días a la semana mientras la desinfección tiene lugar la mitad de los días.

-Energía eléctrica.

Para saber con exactitud el consumo eléctrico sería necesario un estudio detallado de todas las partes eléctricas de la estación que no será realizado en este trabajo. Para aproximar el coste que podría tener, se han tomado estaciones depuradoras de aguas residuales de similar tamaño en España y se ha considerado un consumo de 3.800 kWh/día, a un precio aproximado de 0,1 €/kWh, hace un coste total de 138.700€/año.

-Resumen costes

Personal	14.000
Mantenimiento conservación de la EDAR	5.500
Reactivos	15.117
Energía eléctrica	138.700
TOTAL	173.317 €/año

Tabla 66. POYM. Coste total Alternativa 3.

El mantenimiento y control de los lechos bacterianos es más exigente que el resto de alternativas. El consumo de reactivos tiene un presupuesto medio entre oxidación prolongada y media carga.

Anexo D: Valoraciones

SPA	Inversión
Explotación	164.354
Inversión	2.986.000

SPB	Inversión
Explotación	178.134
Inversión	2.721.500

1A	Inversión
Explotación	174.390
Inversión	3.168.900

1B	Inversión
Explotación	192.140
Inversión	2.896.900

3	Inversión
Explotación	173.317
Inversión	3.434.100

Año	SPA			SPB			1A			1B			3		
	Explotación	Inversión	Total	Explotación	Inversión	Total	Explotación	Inversión	Total	Explotación	Inversión	Total	Explotación	Inversión	Total
Año 1	172572	284519	457091	187041	253316	446357	183110	301947	485056	201747	276029	477776	181983	327216	509199
Año 2	181200	284519	465719	196333	253316	455709	192265	301947	494212	211834	276029	487864	191082	327216	518298
Año 3	190280	284519	474779	206212	253316	465529	20878	301947	503825	222426	276029	498455	200636	327216	527852
Año 4	199773	284519	484292	216523	253316	475839	211972	301947	513919	233547	276029	509577	210668	327216	537884
Año 5	209762	284519	494281	227349	253316	486665	222571	301947	524517	245225	276029	521254	221201	327216	548417
Año 6	220250	284519	504769	238777	253316	498033	233639	301947	535646	257486	276029	539515	232261	327216	559477
Año 7	231263	284519	515782	250852	253316	509969	245384	301947	547331	270360	276029	546389	243874	327216	571090
Año 8	242826	284519	527345	263185	253316	522501	257653	301947	559600	283878	276029	559907	256068	327216	583284
Año 9	254967	284519	539486	276344	253316	535661	270536	301947	572483	298072	276029	574101	268872	327216	596088
Año 10	267715	284519	552234	290162	253316	549478	284063	301947	586009	312976	276029	589005	282315	327216	609531
Año 11	281101	284519	565620	304670	253316	563986	298266	301947	600213	328625	276029	604654	296431	327216	623647
Año 12	295156	284519	579675	319903	253316	579219	313179	301947	615126	345056	276029	621085	311252	327216	638468
Año 13	309914	284519	594433	335896	253316	595215	328838	301947	630785	362309	276029	638338	326815	327216	654031
Año 14	325410	284519	609929	352693	253316	612009	345280	301947	647227	380445	276029	656453	343156	327216	670372
Año 15	341680	284519	626199	370328	253316	629644	362544	301947	664491	399424	276029	675474	360314	327216	687530
Año 16	358764	284519	643283	388844	253316	648161	380671	301947	682618	419418	276029	695447	378329	327216	705545
Año 17	376702	284519	661221	408286	253316	667603	399705	301947	701652	440388	276029	716418	397246	327216	724462
Año 18	395537	284519	680057	428701	253316	688017	419690	301947	721637	462408	276029	738437	417108	327216	744324
Año 19	415314	284519	699833	450136	253316	709452	440675	301947	742621	485528	276029	761557	437963	327216	765179
Año 20	436080	284519	720599	472643	253316	731959	462709	301947	764655	509805	276029	785834	459862	327216	787078
Año 21	457884	284519	742403	496275	253316	755591	485844	301947	787791	535295	276029	811324	482855	327216	810071
Año 22	480778	284519	765297	521088	253316	780405	510136	301947	812083	562080	276029	838089	506997	327216	834213
Año 23	504817	284519	789336	547143	253316	806459	535643	301947	837590	590163	276029	866192	532347	327216	859563
Año 24	530058	284519	814577	574500	253316	833816	562425	301947	864372	619161	276029	895700	558965	327216	886181
Año 25	556561	284519	841080	603225	253316	862541	590546	301947	892493	650654	276029	926663	586919	327216	914129
TOTAL (0)	8236347	7123976	15349323	8926910	6482908	15409818	8739285	7548664	16287949	9628799	6900730	16529529	8685513	8180939	166865912

Tabla 67. Valoraciones.

Anexo G: Dimensionamiento

El dimensionamiento consiste en un balance de masa en estado estacionario en condiciones normales de operación de los equipos de la estación depuradora de aguas residuales, tanto en la línea de agua como en la de fango.

En esta ingeniería de detalle se despreciarán los retornos de deshidratación y espesamiento ya que son muy pequeños y complicarían demasiado el cálculo.

El método de cálculo utilizado es el de la Norma Alemana ATV – Standard A131, expresada en el Anexo G. Para evitar problemas en la estación las velocidades en las conducciones se han impuesto inferiores a 1 m/a, a excepción de los casos de bombeo, donde la velocidad no debe superar los 2 m/s.

El esquema básico de este dimensionamiento se ha ido desarrollando a lo largo del diseño de la planta con fangos activados con oxidación prolongada y sistemas de aireación superficial. Todas las ecuaciones y criterios de diseño quedan explicados en el **Excel que se adjunta con la memoria**, dentro del apartado de ingeniería de detalle.

El índice del dimensionamiento es el siguiente:

1. Datos de partida.
 - 1.2 Características del agua bruta a la entrada.
2. Pretratamiento y bombeo de agua bruta.
 - 2.1 Pozo de gruesos.
 - 2.2 Reja de protección del bombeo en la salida del pozo de gruesos.
 - 2.3 Bombeo de agua bruta.
 - 2.4 Desbaste fino de limpieza automática.
 - 2.5 Desarenado-desengrase.
3. Tratamiento biológico
 - 4.1 Datos de partida.
 - 4.2 Dimensionamiento del reactor biológico
 - 4.3 Parámetros de funcionamiento del reactor.
 - 4.4 Estudio de la nitrificación-desnitrificación.
 - 4.5 Recirculación de fangos.
 - 4.6 Eliminación de fósforo.
 - 4.7 Calidad del agua tratada esperada en el tratamiento biológico.
 - 4.8 Cálculo de la oxigenación.
4. Decantación secundaria.
 - 4.9 Decantadores. Definición.
 - 4.10 Parámetros de funcionamiento.
5. Desinfección del agua tratada.
6. Producción de fangos en exceso y bombeo a espesador.
7. Espesamiento de fangos
 - 7.1 Definición de espesadores.
 - 7.2 Parámetros de funcionamiento.
8. Secado de fangos.
 - 8.1 Centrífugas.
 - 8.2 Instalación de polielectrolito.
9. Almacenamiento de fangos secos

Anexo H: Norma ATV - Standard A131

La Norma alemana ATV-A131 tiene validez para el dimensionamiento de plantas de una etapa como la planteada en el proyecto. A causa de las especiales características de las plantas pequeñas debe consultarse en estos casos las normas A-122 y A-126 Y DIN 4261. Dado el tamaño medio de la planta y dado que este proyecto abarca un estudio general, se asume el cumplimiento de estas normas, por lo que el diseño y dimensionamiento se ciñe exclusivamente a la Norma ATV-A131.

Con los valores de dimensionamiento recomendados se pueden cumplir los valores de salida para plantas de una etapa, a excepción de que se parta de aguas residuales industriales con alto contenido en materia orgánica difícilmente o no biodegradable, donde la DQO a la salida será muy elevada.

Como esta norma puede utilizarse fuera de Alemania y puede haber, localmente, exigencias mayores en la calidad de salida, la norma no está orientada exclusivamente a conseguir la calidad de salida exigida por la normativa alemana.

La Norma alemana ATV-A131 está adjunta junto a la memoria y junto a la hoja de especificaciones del dimensionamiento del Anexo G.

Referencias

- [1] Bauman, R.; "Control de Calidad y Tratamiento de Agua. Instituto de Administración local. 1975
- [2] Butler; Davies; "Urban Drainage"; 2010, third edition.
- [3] Castillo, A. "Reutilización aguas residuales: Criterios para la evaluación sanitaria de proyectos de reutilización directa de aguas residuales urbanas depuradas.
- [4] Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), "XV Curso sobre tratamientos de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras". Ministerio de Medio Ambiente y de Fomento, 1999
- [5] Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W.; "Hidrología aplicada"; McGraw-Hill Interamericana, S.A. 1994.
- [6] Hernández Muñoz, Aurelio.; "Abastecimiento y distribución de agua"; Colegio de Ing. de Caminos, Canales y Puertos, Madrid; 3º edición; 1993.
- [7] Lin, Shundar Lee; "Water and wastewater calculation manual"; 2007.
- [8] Mackencie Leo, Davis; "Water and wastewater engineering: design principles and practise"; 2010.
- [9] Metcalf y Eddy; "Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales"; 1985.
- [10] Metcalf y Eddy; "Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización" Mc Graw Hill. 1998
- [11] Recio Carvajal, Francisco Javier, "Proyecto de construcción de una EDAR en Hormigos", Proyecto de Fin de Carrera, 2010.
- [12] Templeton, Butler; "Introduction to Wastewater Treatment".
- [13] Spellman, Frank R.; "Handbook of water and wastewater treatment plant operations"; 2009.
- [14] Steel, E.W.; McGhee, T.; "Abastecimiento de agua y alcantarillado"; 1981
- [15] Vesilind, P. Aarne; "Wastewater Treatment Plant Design"; 2003.

Referencias complementarias.

[16] Cadagua, Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales.

http://www.cadagua.es/pdf/cadagua_edar_es.pdf

[17] Centro de Investigación y Desarrollo del Agua, “Lechos Bacterianos”

<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/lechoshernan.PDF>

[18] Desarrollo urbanístico del área de actividades canal de castilla, Valladolid, Proyecto de Urbanización.

http://www.jcyl.es/junta/cee/canal/ANEJO_12_PROYECTO_ESPECIFICO_EDAR.pdf

[19] Centro de Investigación y Desarrollo del Agua, “Lechos Bacterianos”

<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/lechoshernan.PDF>

[20] Wikibooks.org

[21] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, “Consumo energético en el sector del agua”, Estudio de Prospectiva.

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Estudio_de_prospectiva_Consumo_Energetico_en_el_sector_del_agua_2010_020f8db6.pdf