



ESCUELA UNIVERSITARIA DE  
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL  
DE ZARAGOZA



---

## PROYECTO FIN DE CARRERA

# **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SOFTWARE INFORMÁTICO DESASS 1.1 ®**

Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del  
Medio Ambiente

Autor: Jorge Muñoz Martín

Directora: Rosa Mosteo Abad

Especialidad: Química Industrial

Convocatoria: Marzo 2011

## ÍNDICE

<b>Índice .....</b>	<b>2</b>
<b>Capítulo 0: Introducción.....</b>	<b>7</b>
1. Alcance y objetivos .....	7
2. Contenido del proyecto .....	8
<b>Capítulo 1: Fundamento teórico .....</b>	<b>10</b>
1. Características generales de las aguas residuales.....	10
1.1. Introducción .....	10
1.2. Constituyentes de las aguas residuales.....	10
1.3. Características físicas.....	13
1.4. Características químicas.....	16
1.4.1. Materia orgánica .....	16
1.4.1.1. Medida del contenido orgánico .....	20
1.4.2. Materia inorgánica .....	22
1.5. Características biológicas .....	26
1.6. Composición de las aguas residuales.....	27
2. Fundamento teórico del tratamiento principal de una E.D.A.R.: los procesos biológicos aerobios.....	29
2.1. Introducción .....	29
2.2. Fundamentos de la oxidación biológica.....	30
2.2.1. Factores que intervienen en la oxidación biológica.....	31
2.3. Los procesos de Nitrificación - Desnitrificación.....	33

2.4. El proceso de fangos activados .....	35
2.4.1. Principios de funcionamiento .....	35
2.4.2. Parámetros operacionales en el sistema de fangos activos .....	36
2.4.3. Parámetros de control en el sistema de fangos activos.....	38
2.4.4. Tipos de procesos de fangos activos.....	40
2.4.4.1. Procesos convencionales .....	40
2.5. Descripción de las instalaciones de fangos activos .....	42
2.5.1. Reactor de fangos.....	42
2.5.2. Decantadores secundarios o clarificadores .....	43
3. Legislación aplicable.....	45
3.1. Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.....	45
3.1.1. Resumen de la directiva .....	45
3.1.2. Criterios de conformidad: Requisitos de los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas ....	48
3.2. Decreto 38/2004 sobre los vertidos de aguas residuales a las redes municipales de alcantarillado. ....	50
3.2.1. Resumen del decreto.....	50
3.2.2. Capítulo 3: prohibiciones y limitaciones generales de los vertidos.....	51
<b>Capítulo 2: La E.D.A.R. de Cariñena.....</b>	<b>58</b>
1. Datos técnicos adoptados en el diseño de la planta.....	58
2. Descripción funcional.....	61

2.1. Línea de aguas .....	61
2.1.1. Desbaste de sólidos.....	62
2.1.2. Desarenado – desengrasado.....	63
2.1.3. Lavador de arenas .....	64
2.1.4. Concentrador de grasas .....	65
2.1.5. Balsa de homogenización.....	65
2.1.6. Cámaras de mezcla y floculación .....	66
2.1.7. Decantador primario .....	67
2.1.8. Tanques de aireación .....	68
2.1.9. Decantador secundario.....	74
2.2. Línea de fangos .....	75
2.2.1. Bombeo de fangos primarios .....	76
2.2.2. Bombeo de fangos secundarios .....	77
2.2.3. Espesador de fangos .....	77
2.2.4. Equipo de secado .....	79
2.3. Instalación de reactivos .....	81
2.3.1. Instalación del cloruro férrico .....	81
2.3.2. Instalación del polielectrolito .....	82
2.3.3. Instalación de dosificación de cal .....	82
3. Ampliación de la E.D.A.R. de Cariñena .....	84
3.1. Antecedentes administrativos.....	84

3.2. Descripción de la ampliación .....	84
<b>Capítulo 3: Estudio de la E.D.A.R. de Cariñena con DESASS</b>	
<b>1.1 ®.....</b>	<b>87</b>
1. Programa DESASS 1.1 para el diseño y simulación de plantas de fangos activados. .....	87
1.1. Breve descripción .....	87
1.2. Características importantes .....	88
1.3. Modelos utilizados .....	89
1.3.1. Modelo Biológico.....	89
1.3.2. Modelo de sedimentación .....	90
1.4. Aplicaciones.....	91
2. Modelo biológico de DESASS 1.1 ®.....	93
2.1. Introducción .....	93
2.2. Componentes del modelo .....	95
3. Diseño con DESASS .....	100
3.1. Introducción .....	100
3.2. Limitaciones halladas en el programa DESASS 1.1 ® .....	100
3.3. Diseño del modelo .....	102
3.3.1. Linea de aguas .....	105
3.3.1.1. Corriente inicial de entrada a la planta.....	105
3.3.1.2. Desbaste de sólidos.....	106
3.3.1.3. Desarenado – desengrasado.....	108

3.3.1.4. Corriente de entrada al tratamiento primario y condiciones de salida .....	109
3.3.1.5. Nudos .....	113
3.3.1.6. Decantador primario .....	114
3.3.1.7. Proceso de coagulación – floculación (añadir reactivos) .....	120
3.3.1.8. Reactores de fangos activados.....	122
3.3.1.9. Soplante.....	132
3.3.1.10. Decantador secundario.....	133
3.3.2. Línea de fangos .....	139
3.3.2.1. Espesador.....	141
3.3.2.2. Deshidratación mecánica.....	145
<b>Capítulo 4: Conclusiones .....</b>	<b>150</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>153</b>

## **CAPÍTULO 0: INTRODUCCIÓN**

### **1. Alcance y objetivos**

En la actualidad, y referente a la recogida y vertido de aguas residuales urbanas, está vigente la Directiva 91/271/CEE. Así, en su artículo 4, establece que los Estados miembros velarán por que las aguas residuales urbanas que entren en los sistemas colectores sean objeto, antes de verterse, de un proceso de depuración que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria, u otro proceso equivalente.

En Cariñena, debido al alto volumen de aguas residuales generadas por su principal actividad industrial (la industria de elaboración de vinos), y con objeto de cumplir la Directiva 91/271/CEE, se construyó la Estación Depuradora de Aguas Residuales, que incluye un tratamiento biológico por canales de oxidación y un proceso de decantación secundaria, según lo dispuesto en dicha Directiva.

El objetivo de este proyecto es realizar un estudio de diseño y explotación basado en la citada E.D.A.R., por medio del software informático

DESASS 1.1 ® ® (cedido por la Universidad de Zaragoza). Mediante la utilización de dicho programa, se llevarán a cabo las siguientes acciones:

- Establecer un esquema básico de funcionamiento basado en la E.D.A.R. de Cariñena.
- Elaborar un diseño de las distintas unidades del proceso de depuración, dando para ello la máxima libertad posible al programa.
- En base a ese diseño, simular las condiciones de depuración para verificar si los vertidos cumplen la normativa 91/271/CEE.

Asimismo, recalcar que un objetivo añadido del presente proyecto ha sido el descubrimiento y aprendizaje en el manejo de un nuevo software informático para el diseño de procesos de depuración de aguas residuales: DESASS1.1. A ese respecto, señalar que el enfoque del presente proyecto ha estado constantemente supeditado a las posibilidades que dicho programa iba ofreciendo.

Este proyecto fin de carrera se enmarca dentro del Proyecto de Investigación titulado “Regeneración de aguas depuradas mediante procesos de oxidación avanzada”, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, el Gobierno de Aragón y la Fundación La Caixa.

## **2. Contenido del proyecto**

El proyecto está estructurado en 4 capítulos y 1 anexo explicativo, cuyo principal contenido es:

- Capítulo 1: en este capítulo se realiza un estudio del fundamento teórico sobre el que sienta sus bases el presente proyecto. Incluye un estudio de las características generales de las aguas residuales urbanas y del tratamiento principal de una E.D.A.R.: los procesos

biológicos aerobios. Además, incluye un breve resumen de la legislación aplicable en materia de aguas.

- Capítulo 2: en este segundo capítulo, se realiza una descripción de las instalaciones de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Cariñena, según lo contemplado en su proyecto de construcción, realizado por Proyex S.A. para el Gobierno de Aragón.
- Capítulo 3: este capítulo recoge todo lo referente al programa DESASS 1.1 ®. En primer lugar, una pequeña descripción del programa a nivel general, y en segundo lugar el estudio de diseño y explotación de la planta de depuración realizado con él. Contiene también una breve explicación del modelo biológico adoptado por el programa DESASS 1.1 ®, en el que se incluye un listado de cada uno de sus 27 componentes (13 solubles y 14 particulados), objeto de estudio en el análisis de las corrientes en el programa.
- Capítulo 4: en este último capítulo se analizan las conclusiones obtenidas a partir del estudio realizado en el capítulo anterior y en base a la experiencia obtenida en el manejo del programa DESASS 1.1 ®.

## **CAPÍTULO 1: FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **1. Características generales de las aguas residuales urbanas**

#### **1.1. Introducción**

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental de cara al proyecto y explotación de las estaciones depuradoras de aguas residuales, así como para la gestión de la calidad medioambiental. Para facilitar este conocimiento, se describirán brevemente las características generales de dichas aguas: los constituyentes físicos, químicos y biológicos; y los contaminantes más importantes. Más adelante, se profundizará en las más importantes, o que requieran más atención por parte del diseñador. Finalmente, se hará un resumen global de la composición de las aguas residuales.

#### **1.2. Constituyentes de las aguas residuales**

A continuación se muestran las principales propiedades físicas de agua residual, así como sus principales constituyentes químicos y biológicos, y su procedencia.

### Propiedades físicas

- Color
- Olor
- Sólidos
- Temperatura

### Constituyentes químicos orgánicos

- Carbohidratos
- Aceites y grasas
- Pesticidas
- Fenoles
- Proteínas
- Agentes tensoactivos
- Compuestos orgánicos volátiles

### Constituyentes químicos inorgánicos

- Alcalinidad / acidez (pH)
- Cloruros
- Metales pesados
- Nitrógeno
- Fósforo
- Azufre

### Gases inorgánicos

- Sulfuro de hidrógeno
- Metano
- Oxígeno

## Constituyentes biológicos

- Animales
- Plantas
- Bacterias (eubacterias y arqueobacterias)
- Virus

A continuación se describen los contaminantes de interés en el tratamiento del agua residual.

### Sólidos en suspensión

Pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.

### Materia orgánica biodegradable

Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.

### Patógenos

Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.

### Nutrientes

Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas también pueden provocar la contaminación de agua subterránea.

### Contaminantes prioritarios

Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguada conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.

### Materia orgánica refractaria

Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Los más típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.

### Metales pesados

Son frecuentemente añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar dicha agua.

### Sólidos inorgánicos disueltos

Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio, y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia de su uso doméstico y se deben eliminar para su reutilización.

Seguidamente, se profundizará en el estudio de las características físicas, químicas y biológicas más importantes del agua residual.

## **1.3. Características físicas**

### Sólidos totales

Este término engloba los sólidos en suspensión, los sólidos sedimentables, la materia coloidal y los sólidos disueltos.

Analíticamente se define como el residuo que se obtiene después de someter al agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105 °C. No se

define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor.

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhof) en el transcurso de un periodo de 60 minutos y constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.

Los sólidos totales pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. La fracción filtrable corresponde a sólidos coloidales y disueltos, La fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 0,001 y 1 micra; los sólidos disueltos, por su parte, están compuestos de moléculas orgánicas, inorgánicas e iones en disolución en el agua. No es posible eliminar la fracción coloidal por sedimentación, por lo que normalmente para eliminarla es necesaria la oxidación biológica o la coagulación complementadas con la sedimentación.

### Olores

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica: El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno, que se produce al reducirse sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

### Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y diferentes usos industriales. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo menores que ella durante los meses más calurosos de verano. En función de la situación geográfica, la temperatura media anual del agua

residual varía entre 10 y 21 °C, pudiéndose tomar 15,6 °C como valor medio representativo.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles.

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento de las velocidades en las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con la reducción de oxígeno presente en las aguas superficiales, es causa frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto durante los meses de verano. Estos efectos se ven amplificados cuando se vierten cantidades considerables de agua caliente a las aguas naturales receptoras.

Además es preciso tener en cuenta que un cambio brusco de temperatura puede conducir a un fuerte aumento de la mortandad de la vida acuática. Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y los 35 °C. Los procesos de digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando se alcanzan los 50 °C. A temperaturas de alrededor de 15 °C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, y a 5 °C las bacterias nitrificantes autótrofas también dejan de actuar. Si se alcanzan temperaturas del orden de 2 °C, incluso las bacterias quimioheterótrofas que actúan sobre la materia carbonosa dejan de actuar.

### Densidad

Se define la densidad de un agua residual como su masa partida por unidad de volumen, expresada en kg/m<sup>3</sup>. Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. La densidad de aguas residuales domésticas que no contengas

grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura. En ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual, obtenido como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua. Ambos parámetros (densidad y peso específico) dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual.

### Color

El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia ligeramente a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele calificarse como agua séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua es debido a la formación de sulfuros metálicos por la reacción del anión sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.

### Turbiedad

La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. La materia coloidal dispersa o absorbe la luz, impidiendo su transmisión y aumentando la turbiedad del agua

## **1.4. Características químicas**

### **1.4.1. Materia orgánica**

Cerca del 75% de sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables en un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como

de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados de casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro.

Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40 - 60%), los hidratos de carbono (25 – 50%) y las grasas y aceites (10%) Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina. No obstante, debido a la velocidad de descomposición de la urea, raramente está presente en las aguas residuales que no sean muy recientes.

También existen pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja (agentes tensoactivos, compuestos orgánicos volátiles, pesticidas...). En los últimos años, se ha incrementado la síntesis de moléculas orgánicas, por lo que su presencia en las aguas residuales va cada vez más en aumento. Este hecho ha complicado notablemente los procesos de tratamientos de aguas debido a la imposibilidad o a la extrema lentitud de los procesos de descomposición biológica de dichos compuestos.

### Proteínas

Son los principales componentes del organismo animal, mientras que su presencia es menos relevante en el caso de las especies vegetales. El contenido de proteínas varía mucho entre los pequeños porcentajes presentes en frutas (con altos contenidos en agua) o en los tejidos grasos de las carnes, y los porcentajes elevados que se encuentran en las alubias o carnes magras. La composición química de las proteínas es compleja e inestable, pudiendo adoptar varios mecanismos diferentes de descomposición. Algunas son solubles en agua, mientras que otras no lo son.

### Hidratos de carbono

Ampliamente distribuidos por la naturaleza, los hidratos de carbono incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, compuestos todos ellos presentes en el agua residual. Están formados por carbono, hidrógeno y oxígeno. Los hidratos de carbono más comunes contienen seis átomos de carbono por molécula (o múltiplo de seis), y oxígeno e hidrógeno en las mismas proporciones en las que ambos elementos se encuentran en el agua (1:2).

Algunos como los azúcares son solubles en agua, mientras que otros como los almidones no lo son. Los azúcares tienen tendencia a descomponerse; las enzimas de determinadas bacterias y fermentos dan lugar a un proceso de fermentación que incluye la producción de alcohol y dióxido de carbono. Los almidones, por otro lado, son más estables, pero se transforman en azúcares por la actividad bacteriana así como por la acción de los ácidos minerales diluidos. Desde el punto de vista de volumen y resistencia a la descomposición, la celulosa es el hidrato cuya presencia en el agua residual es más importante.

### Aceites y grasas

En este grupo se engloban las grasas animales y vegetales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. Son compuestos de alcohol (ésteres) o glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Los que se presentan en estado líquido a temperaturas normales son los que se denominan aceites, mientras que los que se presentan en estado sólido son grasas. Químicamente son muy parecidos, formados por carbono, oxígeno e hidrógeno en diferentes proporciones.

Las grasas se hallan entre los compuestos orgánicos de mayor estabilidad, y su descomposición por acción bacteriana no resulta sencilla. No obstante, sufren el ataque de ácidos minerales, lo cual conduce a la formación de glicerina y otros ácidos grasos. En presencia de determinadas sustancias alcalinas, como el hidróxido de sodio, se libera la glicerina dando paso a la formación de sales alcalinas y ácidos grasos.

El queroseno, los aceites lubricantes y demás compuestos derivados del petróleo y el alquitrán, pueden alcanzar en ocasiones la red de alcantarillado en grandes cantidades, procedentes de tiendas, garajes, talleres y calles. La mayor parte flotan en el agua residual, aunque una fracción de ellos se incorpora al fango por los sólidos sedimentables. Las partículas de estos compuestos interfieren en el normal desarrollo de la actividad biológica y son causa de problemas de mantenimiento en plantas de depuración.

Si no se elimina el contenido en grasa antes del vertido del agua residual, puede interferir en la vida biológica en aguas superficiales y crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradables.

### Agentes tensoactivos

Están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua, y que son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos del agua residual. Tienden a concentrarse en la interfase aire-agua. Durante el proceso de aireación del agua residual, se concentran en la superficie de las burbujas de aire creando una espuma muy estable.

### Contaminantes peligrosos

A continuación se indican algunos ejemplos representativos de contaminantes peligrosos de carácter orgánico

- Compuestos orgánicos comunes: Benceno ( $C_6H_6$ ), etil-benceno ( $C_6H_5C_2H_5$ ), tolueno ( $C_6H_5C_6H_3$ )...
- Compuestos halógenos: Clorobenceno ( $C_6H_5Cl$ ), cloroetano ( $CH_2CHCl$ ), diclorometano ( $CH_2Cl_2$ ), tetracloroetano ( $CCl_2Ccl_2$ )...
- Pesticidas, herbicidas e insecticidas (nombres comerciales): Endrina, lindano, metoxicloro, toxafeno, Silvex...
- Compuestos orgánicos volátiles (COV).

En las redes de alcantarillado y las plantas de tratamiento se puede eliminar, transformar, generar, o simplemente transportar, sin cambio alguno, los contaminantes peligrosos de origen orgánico. En estos procesos intervienen cinco mecanismos básicos: volatilización, degradación, adsorción en partículas o fango, circulación y generación como consecuencia de la cloración o de la degradación de otros compuestos. Puede ser importante la acción simultánea de varios de ellos.

Merecen una mención especial los compuestos orgánicos volátiles: Engloba a todos aquellos compuestos orgánicos que tienen su punto de ebullición por debajo de 100 °C, y/o una presión de vapor mayor que 1 mm Hg a 25 °C. El cloruro de vinilo, con un punto de ebullición de -13,9 °C y una presión de vapor de 2,548 mm Hg a 20 °C, es un ejemplo común de compuesto orgánico extremadamente volátil.

El vertido de estos compuestos a la red de alcantarillado y a las plantas de tratamiento, especialmente a las obras de cabecera de planta, tiene especial importancia por cuanto puede afectar diariamente a la salud de los trabajadores tanto de la red como de las plantas.

#### **1.4.1.1. Medida del contenido orgánico**

El contenido de materia orgánica se suele analizar mediante demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y carbono orgánico total (COT). A continuación se muestra un resumen de cada uno de los parámetros.

##### Demandा bioquímica de oxígeno (DBO)

Es el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales y nos da información sobre el contenido en materia orgánica biodegradable. Se aplica la DBO a cinco días, esto es, la DBO<sub>5</sub>. La determinación del mismo está

relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.

Los resultados de los ensayos de la DBO se emplean para varias situaciones. En primer lugar, para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. En segundo lugar, son un parámetro fundamental para el dimensionamiento de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. En tercer lugar, para medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento. Y en cuarto lugar, para controlar el cumplimiento de las limitaciones a las que están sujetos los vertidos.

#### Demanda química de oxígeno (DQO)

Este parámetro se emplea para medir el contenido de materia orgánica total (biodegradable y no biodegradable), tanto de las aguas naturales como de las residuales (tanto industriales como municipales, aunque contengan compuestos tóxicos para la vida biológica).

La DQO de un agua es mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica.

En muchos tipos de aguas es posible establecer una relación entre los valores de la DQO y la DBO. Ello puede resultar de gran utilidad dado que es posible determinar la DQO en un plazo de 3 horas, frente a los 5 días necesarios para la determinación de la DBO. Una vez establecida la correlación entre ambos parámetros, pueden emplearse medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento.

#### Carbono orgánico total (COT)

Es otra manera de medir la materia orgánica presente en el agua que se basa en el análisis del carbono presente en la materia orgánica, aunque este está especialmente indicado para pequeñas concentraciones de materia orgánica.

## 1.4.2. Materia inorgánica

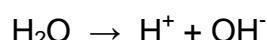
Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Las concentraciones de sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas (disolviendo parte de las rocas y minerales con las que entran en contacto), como por las aguas residuales que a ella se descargan.

Puesto que las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos de ellos, especialmente aquellos que han sido incorporados al agua superficial durante su ciclo de uso.

### pH

La concentración de hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas.

La concentración de ion hidrógeno presente en el agua está estrechamente relacionada con la cuantía en la que se disocian las moléculas de agua, según el equilibrio:



El pH de los sistemas acuosos puede medirse convenientemente con un pH-metro. Para el mismo procedimiento también se emplean soluciones indicadoras o papeles de pH.

## Cloruros

Los métodos convencionales de tratamiento de aguas no contemplan la eliminación de cloruros en cantidades significativas, por lo que concentraciones de cloruros superiores a las normales pueden constituir indicadores de que la masa de agua receptora está siendo utilizada para el vertido de aguas residuales.

## Alcalinidad

La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoniaco.

La alcalinidad ayuda a regular los cambios de pH producidos por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos.

La concentración de alcalinidad es importante en aquellos casos en los que se empleen tratamientos químicos, en la eliminación biológica de nutrientes, y cuando haya que eliminar el amoniaco mediante arrastre por aire.

Se determina por titulación con ácido normalizado, expresándose los resultados en carbonato de calcio.

## Nitrógeno

Los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será necesario conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de su tratamiento con procesos biológicos.

Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente, puede ser preciso añadirlo para hacer tratable el agua residual. Por otro lado, en aquellos casos

en los que sea necesario el control del crecimiento de algas en la masa de agua receptora para preservar los usos a que se destina, puede ser necesaria la eliminación o reducción del nitrógeno en las aguas antes del vertido.

El nitrógeno total está compuesto por varias formas: nitrógeno orgánico, amoníaco, nitritos y nitratos.

En el agua residual reciente, el nitrógeno se haya mayoritariamente en forma de materia protéica y urea, aunque su paso a la forma amoniacial se produce rápidamente.

### Fósforo

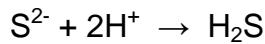
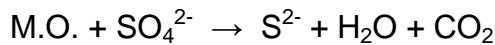
El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales y escorrentías naturales. El contenido medio de fósforo en aguas residuales oscila entre 4 y 15 mg/l.

Las formas más frecuentes en las que se presenta el fósforo en soluciones acuosas incluyen el ortofosfato, el polifosfato y los fosfatos orgánicos. Los ortofosfatos incluyen moléculas con dos o más átomos de fósforo, átomos de oxígeno y en ocasiones de hidrógeno (combinado en moléculas complejas), siendo los más comunes estas 4 formas:  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{PO}_4$ . En el caso de los polifosfatos, se hidrolizan en disoluciones acuosas y se recuperan como ortofosfatos. El fósforo orgánico es de poca importancia en la mayor parte de los residuos domésticos, pero puede ser un constituyente importante en los vertidos industriales y fangos de aguas residuales domésticas.

### Azufre

El ion sulfato se encuentra de forma natural tanto en la mayoría de las aguas de abastecimiento como en el agua residual. Los sulfatos se reducen químicamente a sulfuros y sulfuros de hidrógeno bajo la acción bacteriana en

condiciones anaerobias. A continuación se explican las reacciones generales típicas que rigen estos procesos:



El sulfuro de hidrógeno liberado a la atmósfera en redes de alcantarillado que no circulan en presión, tiende a acumularse en la clave de las tuberías. El  $\text{H}_2\text{S}$  acumulado puede sufrir entonces oxidación biológica para pasar a formar ácido sulfúrico, corrosivo para las tuberías de alcantarillado (efecto corona).

Los sulfatos se reducen a sulfuros en los digestores de fangos, y pueden alterar el normal desarrollo de los procesos de tratamiento biológicos si la concentración excede los 200 mg/l. Afortunadamente, estas concentraciones raramente se alcanzan. La mezcla del gas de las alcantarillas ( $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ) y el  $\text{H}_2\text{S}$  que se desprende, es corrosiva para las conducciones de gas. Si posteriormente se quema en motores de gas, los productos de la combustión que se desprenden pueden causar daños en el motor, provocando graves corrosiones en el circuito de recuperación térmica de los gases de escape, especialmente si se permitiese su enfriamiento por debajo del punto de condensación.

### Compuestos tóxicos inorgánicos

Algunos cationes son de gran importancia de cara al tratamiento y evacuación de aguas residuales.

El cobre, el plomo, la plata, el cromo, el arsénico y el boro son tóxicos en mayor o menor grado para los microorganismos, razón por la cual deben ser considerados en el proyecto de plantas de tratamiento biológico. El funcionamiento de muchas de ellas se ha visto alterado por la presencia de estos iones, hasta el extremo de provocar la muerte de los microorganismos, obligando a detener el tratamiento. El potasio y el amoniaco se encuentran también dentro del grupo de cationes tóxicos: la alcalinidad presente en el fango de digestión puede combinarse con los iones calcio y precipitar con ellos antes que la concentración de calcio alcance el nivel tóxico.

Algunos aniones tóxicos, entre los que se incluyen los cianuros y los cromatos, están asimismo presentes en vertidos industriales. Se encuentran principalmente en los efluentes de fábricas de recubrimientos metálicos, y deben ser eliminados en la propia fábrica mediante pretratamientos adecuados antes de verter a las aguas residuales municipales.

El ion fluoruro, también tóxico, aparece frecuentemente en las aguas residuales de fábricas de componentes electrónicos. También son tóxicos ciertos compuestos orgánicos presentes en algunos vertidos industriales.

### Metales pesados

Como constituyentes importantes de muchos tipos de aguas, también se encuentran cantidades, a nivel de traza, de muchos metales. Podemos destacar el níquel, el manganeso, el plomo, el cromo, el cadmio, el cinc, el cobre, el hierro y el mercurio. Muchos de ellos también están catalogados como contaminantes prioritarios.

Algunos de ellos son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica, y la ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de algas, por ejemplo. Son tóxicos, por lo que su presencia excesiva interferirá en la mayoría de los usos del agua. Es por ello que a menudo resulta conveniente medir y controlar las concentraciones de estas sustancias.

## **1.5. Características biológicas**

### Organismos patógenos

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de alguna enfermedad. A continuación se muestran las principales clases de agentes infecciosos potencialmente presentes en el agua residual doméstica con sus posibles efectos sobre las personas:

- Bacterias: *Escherichia coli*, (gastroenteritis), *Legionella pneumophila* (legionelosis), *Leptospira* (leptospirosis), *Salmonella typhi* (fiebre tifoidea), *Salmonella* (salmonelosis), *Vibrio cholerae* (cólera)...
- Virus: 31 tipos de adenovirus (enfermedades respiratorias), 67 tipos de enterovirus (gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis), Hepatitis A, reovirus, rotavirus, Agente Norwalk...
- Protozoos: *Balantidium coli* (balantidiasis), *Cryptosporidium* (criptosporidiosis), *Gardia lamblia* (giardiasis)...

En aguas residuales también podemos encontrar los siguientes microorganismos:

- Hongos
- Algas
- Plantas y animales

Algunos microorganismos coliformes también se pueden usar como indicadores, dado que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar, que los organismos patógenos, que se encuentran en cantidades muy pequeñas y además son difíciles de aislar.

## 1.6. Composición de las aguas residuales

La composición de las aguas residuales se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en ellas. En función de las concentraciones de éstos, podemos clasificar el agua residual en 3 tipos: con contaminación alta, media o débil.

En la siguiente tabla, se presentan los valores típicos de los diferentes constituyentes encontrados en el agua residual doméstica bruta:

**Tabla 1.1:** Composición típica de las aguas residuales urbanas.

Contaminantes (mg/l)	Cont. Débil	Cont. Media	Cont. alta
Sólidos totales	350	720	1.200
Disueltos totales	250	500	850
Fijos	145	300	525
Volátiles	105	200	325
Sólidos en suspensión	100	220	350
Fijos	20	55	75
Volátiles	80	165	275
Sólidos sedimentables	5	10	20
DBO <sub>5</sub> a 20 °C	110	220	400
DQO	250	500	1.000
COT	80	160	290
Nitrógeno total	20	40	85
Orgánico	8	15	35
Amoníaco libre	12	25	50
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo total	4	8	15
Orgánico	1	3	5
Inorgánico	3	5	10
Cloruros	30	50	100
Sulfato	20	30	50
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	50	100	200
Grasa	50	100	150
Coliformes totales (nº/100ml)	$10^6 - 10^7$	$10^7 - 10^8$	$10^7 - 10^9$
COVs (µg/l)	<100	100-400	>400

## **2. Fundamento teórico del tratamiento principal de una E.D.A.R.: los procesos biológicos aerobios**

### **2.1. Introducción**

Cuando las aguas residuales entran en una Estación Depuradora, sufren un pretratamiento en el que se retiran los sólidos y gruesos de gran tamaño, así como las arenas y grasas. A continuación, el agua pasa al denominado tratamiento primario, donde se eliminan sólidos en suspensión fácilmente sedimentables y algo de materia orgánica.

La materia orgánica que queda disuelta y en suspensión así como el resto de las partículas sólidas que no se han eliminado en los tratamientos anteriores, son eliminadas mediante los denominados procesos biológicos de depuración aerobia, que en la línea de aguas constituyen los tratamientos secundarios y que corresponden con el proceso de depuración principal de una depuradora de aguas residuales urbanas.

Podemos definir los “Procesos Biológicos de Depuración Aerobia”, como aquellos realizados por determinado grupo de microorganismos (principalmente bacterias y protozoos) que en presencia de Oxígeno, actúan sobre la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y materia celular, que puede separarse fácilmente mediante sedimentación. La unión de materia orgánica, bacterias y sustancias minerales forma los flóculos, y el conjunto de ellos es lo que todos conocemos como fango biológico.

Los objetivos que persigue este tipo de tratamiento son la transformación de la materia orgánica y la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables. En el caso de algunas aguas residuales urbanas, también se persigue la eliminación de Nitrógeno y de Fósforo. Por último, conseguimos además la disminución de los microorganismos patógenos y fecales que habitan el agua residual.

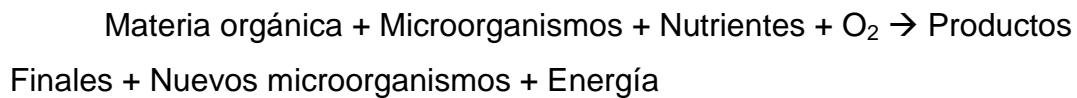
Básicamente, existen dos tipos de tratamientos biológicos aerobios:

- Procesos de Cultivo en Suspensión (Fangos Activados).
- Procesos de Cultivo Fijo (Lechos Bacterianos).

A continuación, nos vamos a centrar en como suceden los mecanismos de depuración biológica aerobia y más concretamente en el proceso de Fangos Activos.

## 2.2. Fundamentos de la oxidación biológica

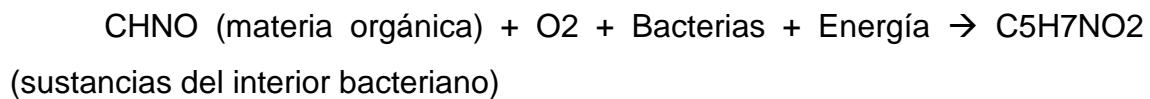
La oxidación biológica es el mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante del agua residual. De esta forma, estos microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes, de acuerdo con la siguiente reacción:



Para que lo anteriormente expuesto se produzca, son necesarias dos tipos de reacciones fundamentales totalmente acopladas: de síntesis o asimilación y de respiración endógena u oxidación.

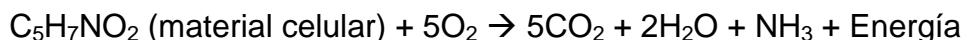
### Reacciones de síntesis o asimilación

Consisten en la incorporación del alimento (materia orgánica y nutrientes) al interior de los microorganismos. Estos microorganismos al obtener suficiente alimento no engordan, sino que forman nuevos microorganismos reproduciéndose rápidamente. Parte de este alimento es utilizado como fuente de Energía. La reacción que ocurre es la siguiente:



## Reacciones de oxidación y Respiración endógena

Los microorganismos al igual que nosotros, necesitan de Energía para poder realizar sus funciones vitales (moverse, comer etc.), dicha energía la obtienen transformando la materia orgánica asimilada y aquella acumulada en forma de sustancias de reserva en gases, agua y nuevos productos de acuerdo con la siguiente reacción:



Como podemos observar, después de un tiempo de contacto suficiente entre la materia orgánica del agua residual y los microorganismos (bacterias), la materia orgánica del medio disminuye considerablemente transformándose en nuevas células, gases y otros productos. Este nuevo cultivo microbiano seguirá actuando sobre el agua residual.

A todo este conjunto de reacciones se les denomina de oxidación biológica, porque los microorganismos necesitan de oxígeno para realizarlas.

### **2.2.1. Factores que intervienen en la oxidación biológica**

Los factores principales que hay que tener en cuenta para que se produzcan las reacciones biológicas y por tanto, la depuración del agua residual son:

#### Las características del sustrato

Las características físico-químicas del agua residual, determinan el mejor o peor desarrollo de los microorganismos en este sistema, existiendo compuestos contaminantes que son degradables biológicamente y otros que no lo son.

#### Los nutrientes

El interior celular, aparte de C, H y O, elementos característicos de la materia orgánica, contiene otros elementos como son el N, P, S, Ca, Mg etc.,

denominados nutrientes y que a pesar de que muchos de ellos se encuentran en el organismo sólo en pequeñas cantidades, son fundamentales para el desarrollo de la síntesis biológica.

Se ha determinado a nivel medio que los microorganismos para sobrevivir necesitan por cada 1000 gr. de C, 43 de N y 6 de P, y que en las aguas residuales urbanas existen por cada 1000 gr. de C, 200 gr. de N y 16 gr. de P.

Si comparamos lo que necesitan los microorganismos para sobrevivir, con las cantidades existentes de dichos elementos en el agua residual, podemos concluir que a título general dichos microorganismos pueden desarrollarse en el agua residual perfectamente.

Es interesante comentar que en el caso de determinadas aguas con vertidos industriales, las proporciones de dichos elementos no están equilibradas, siendo necesario a veces dosificar N y P en el agua, para que pueda darse el desarrollo bacteriano y exista depuración biológica.

### Aportación de Oxígeno

Como hemos visto, para el desarrollo de las reacciones biológicas es necesario un medio aerobio, es decir, con oxígeno suficiente que permita el desarrollo y la respiración de los microorganismos aerobios.

### Temperatura

A medida que aumenta la Temperatura, aumenta la velocidad con que los microorganismos degradan la materia orgánica, pero a partir de los 37oC, dichos organismos mueren. Nuestras temperaturas son ideales para el desarrollo óptimo de los procesos de depuración biológica.

### Salinidad

El contenido en sales disueltas no suele ser problemático para el desarrollo bacteriano en el proceso de fangos activos hasta concentraciones de 3 a 4 gr/l. En los procesos de cultivos fijos (lechos bacterianos), la influencia es

aún menor, no afectando valores que no superen los 15 gr/l. Sin embargo, existen multitud de grupos bacterianos capaces de vivir en aguas saladas, de forma que si a tu sistema de depuración le das tiempo de adaptación, pueden desarrollarse bastante bien dichos grupos microbianos a concentraciones salinas superiores

### Tóxicos o inhibidores

Existen una serie de sustancias orgánicas e inorgánicas que, a ciertas concentraciones, inhiben o impiden los procesos biológicos. Este tipo de sustancias, entre las que se encuentran los metales pesados, ejercen un efecto perjudicial sobre los microorganismos encargados de depurar el agua y por tanto, no deben de entrar en las plantas depuradoras con el agua residual, o si entran deben de hacerlo en concentraciones muy bajas.

Todos estos factores mencionados son de gran importancia, y deben de ser controlados si queremos obtener un rendimiento eficaz de depuración por parte de los microorganismos encargados de degradar la materia orgánica del agua residual.

## **2.3. Los procesos de Nitrificación - Desnitrificación**

Son procesos llevados a cabo por determinados grupos de microorganismos bacterianos que se utilizan en aquellas plantas de tratamiento de aguas residuales, donde aparte de la eliminación de la materia orgánica se persigue la eliminación de nitrógeno.

La eliminación de la materia nitrogenada es necesaria cuando el efluente de la E.D.A.R. va a ir bien a embalses o masas de agua utilizadas para captación de aguas potables, bien a las denominadas por ley como zonas sensibles.

### El proceso de Nitrificación

La nitrificación es el proceso en el que el nitrógeno orgánico y amoniacal se oxida, transformándose primero en nitrito y, posteriormente en nitrato.

Estas reacciones las llevan a cabo bacterias muy especializadas, diferentes de aquellas que se encargan de degradar la materia orgánica del medio.

Este tipo de bacterias, se reproducen más lentamente y son muy sensibles a los cambios de su medio habitual.

A su vez, necesitan de un aporte de Oxígeno suplementario para que sean capaces de desarrollar las reacciones anteriormente mencionadas, de esta forma en las cubas de aireación de fangos activados necesitan de un nivel de oxígeno de al menos 2 mg/l.

### El proceso de desnitrificación

La desnitrificación consiste en el paso de los nitratos a nitrógeno atmosférico, por la acción de un grupo de bacterias llamadas desnitrificantes. Dicha forma de nitrógeno tenderá a salir a la atmósfera, consigiéndose así, la eliminación de nitrógeno en el agua.

Para que las bacterias desnitrificantes actúen, es necesario que el agua tenga bastante carga de materia orgánica, una fuente de nitratos elevada, muy poco oxígeno libre y un pH situado entre 7 y 8.

El oxígeno asociado a los nitratos es la única fuente de oxígeno necesaria para llevar a cabo sus funciones vitales. De esta forma los niveles de oxígeno libre en el medio donde actúan deben de ser inferiores a los 0,2 mg/l.

Es interesante comentar que el tiempo mínimo de contacto entre el agua y las bacterias desnitrificantes debe de ser suficiente para que se produzcan las reacciones deseadas, estimándose un tiempo mínimo de 1,5 horas a caudal medio.

## 2.4. El proceso de fangos activados

El proceso de fangos activados es un sistema de tratamiento de las aguas residuales en el que se mantiene un cultivo biológico formado por diversos tipos de microorganismos y el agua residual a tratar. Los 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.

### 2.4.1. Principios de funcionamiento

En el proceso de fangos activados pueden distinguirse dos operaciones claramente diferenciadas: la oxidación biológica y la separación sólido-líquido.

La primera tiene lugar en el denominado reactor biológico o cuba de aireación, donde vamos a mantener el cultivo biológico en contacto con el agua residual. El cultivo biológico, denominado licor de mezcla, está formado por gran número de microorganismos agrupados en flóculos conjuntamente con materia orgánica y sustancias minerales. Dichos microorganismos transforman la materia orgánica mediante las reacciones de oxidación biológica anteriormente mencionadas.

La población de microorganismos debe de mantenerse a un determinado nivel, concentración de sólidos en suspensión en el licor de mezcla (SSLM), para llegar a un equilibrio entre la carga orgánica a eliminar y la cantidad de microorganismos necesarios para que se elimine dicha carga.

En esta fase del proceso que ocurre en la cuba de aireación, es necesario un sistema de aireación y agitación, que provoque el oxígeno necesario para la acción depuradora de las bacterias aerobias, que permita la homogenización de la cuba y por tanto que todo el alimento llegue igual a todos los organismos y que evite la sedimentación de los flóculos y el fango.

Una vez que la materia orgánica ha sido suficientemente oxidada, lo que requiere un tiempo de retención del agua en el reactor, el licor mezcla pasará al denominado decantador secundario o clarificador. Aquí, el agua con fango se deja reposar y por tanto, los fangos floculados tienden a sedimentarse, consiguiéndose separar el agua clarificada de los fangos.

El agua clarificada constituye el efluente que se vierte al cauce y parte de los fangos floculados son recirculados de nuevo al reactor biológico para mantener en el mismo una concentración suficiente de organismos. El excedente de fangos, se extrae del sistema y se evacua hacia el tratamiento de fangos.

#### **2.4.2. Parámetros operacionales en el sistema de fangos activos**

Son una serie de parámetros que se han de tener en cuenta a la hora de diseñar la cuba de aireación y el clarificador, siendo a su vez controlados para mantener un óptimo funcionamiento de la planta. Dichos parámetros son:

##### Carga másica

Es la relación que existe entre la carga de materia orgánica que entra en el reactor biológico por unidad de tiempo, y la masa de microorganismos existentes en el mismo. Se expresa como viene mostrado en la ecuación 1.1:

$$C_m = \frac{Q \times S_0}{V \times X}$$

**(ec. 1.1)**

- $Q$  = caudal;
- $S_0$  =  $DBO_5$  de entrada;
- $V$  = volumen;
- $X$  = sólidos en suspensión volátiles del licor de mezcla (SSV) de la cuba de aireación o tiempo de retención celular.

### Edad del fango

Es la relación entre la masa de fangos existentes en la cuba de aireación y la masa de fangos en exceso extraídos por unidad de tiempo. Se expresa como viene mostrado en la ecuación 1.2:

$$E = \frac{V \times X}{Q_p \times X_p}$$

**(ec. 1.2)**

- $Q_p$  = caudal de la purga de fangos;
- $X_p$  = SSV de la purga de fangos (fangos en exceso).

### Carga volumétrica:

Es la relación entre la masa de materia orgánica que entra en el reactor por unidad de tiempo, y el volumen de la cuba. Se expresa como viene mostrado en la ecuación 1.3:

$$C_v = \frac{Q \times S_0}{V}$$

**(ec. 1.3)**

### Rendimiento:

Es la relación que existe entre la masa de materia orgánica eliminada y la del influente que entra en el reactor biológico. Se expresa en %, tal y como viene mostrado en la ecuación 1.4:

$$R = \frac{S_0 - S}{S_0}$$

**(ec. 1.4)**

- $S$  = D.B.O.5 de la salida del decantador secundario.

### 2.4.3. Parámetros de control en el sistema de fangos activos

Existen una serie de variables que hay que controlar para asegurarnos de que el proceso de fangos activos funciona bien. Entre estas variables se encuentran:

#### La calidad exigida al efluente

La calidad que las autoridades exijan al agua de salida, va a determinar tanto el funcionamiento del proceso como el control del mismo.

#### Características del agua residual

Los caudales y características del influente a tratar.

#### Cantidad de microorganismos activos que se necesitan en el tratamiento

La proporción entre la cantidad de microorganismos activos y el alimento disponible, es un parámetro decisivo en el control del proceso. Si esta proporción no es equilibrada, aparecerán serios problemas en el tratamiento mediante fangos activos.

#### Nivel de Oxígeno disuelto

El oxígeno que se aporte a la cuba de aireación debe de ser suficiente para que, los microorganismos puedan respirar y se pueda oxidar la materia orgánica.

La relación cantidad de oxígeno / cantidad de alimento debe estar regulada y mantenerse estable. Una descompensación en un sentido o en otro, puede dar lugar a una aparición de organismos filamentosos que tienden a flotar en el decantador secundario, alterando totalmente la separación sólido-líquido y tendiendo a ser lavados con el efluente.

El nivel de oxígeno disuelto suele medirse con sensores que dan información inmediata de las cantidades de oxígeno en cuba, a partir de esta información los sistemas de agitación y de aireación se ponen en marcha o se paran.

La agitación debe de estar bien controlada, para que el oxígeno y el alimento se distribuyan homogéneamente por toda la cuba.

### Tiempo de retención

Para que se pueda dar el proceso de oxidación biológica, es necesario que los microorganismos permanezcan un tiempo de contacto suficiente con las aguas residuales. Este tiempo de retención es uno de los parámetros que hay que tener en cuenta para diseñar las cubas, ya que en relación con el caudal a tratar y el tiempo que debe permanecer el caudal en la cuba, calcularemos el volumen de la misma.

### Índice volumétrico de fangos

Se define como el volumen en ml ocupado por un gramo de sólidos en suspensión del licor de mezcla, tras una sedimentación de 30 minutos en una probeta de 1000 ml (ver ecuación 1.5).

$$IVF = \frac{ml \text{ de sólidos sedimentables} \times 1000}{ppm \text{ de SS en el licor de mezcla}}$$

**(ec. 1.5)**

$$IVF = ml \text{ sólidos sedimentables} \cdot 1000 / ppm \text{ de SSLM}$$

Este valor nos da el comportamiento de los fangos en el decantador. Si el valor es menor de 100 implica fangos con desarrollo de organismos que sedimentan bien y por tanto buena separación sólido-líquido. Si el valor es superior, se han desarrollado organismos filamentosos con mala sedimentación, lo que nos lleva a una descompensación en el funcionamiento del sistema.

#### **2.4.4. Tipos de procesos de fangos activos**

En función de los objetivos de calidad requeridos en el efluente, la depuración puede consistir en la eliminación de la materia orgánica carbonada, o también llevar asociada la reducción de la materia nitrogenada.

Según el objetivo de la E.D.A.R., diseñaremos instalaciones encaminadas a la eliminación de materia orgánica o modificaciones asociadas a dichas instalaciones con el fin de eliminar nitrógeno.

De esta forma podemos distinguir distintos tipos de procesos, entre los que se encuentran los descritos a continuación.

##### **2.4.4.1. Procesos convencionales**

El proceso convencional tiene dos variantes fundamentales: mezcla completa y flujo pistón, aunque ambos tipos de reactores pueden funcionar en doble etapa, por lo que incluimos aireación prolongada como una variante extra para su explicación.

###### Flujo pistón

Se lleva a cabo en una cuba de aireación rectangular, seguida de un decantador secundario. Tanto el agua residual como el fango recirculado desde el decantador, entran en la cuba por un extremo y son aireados por un período de 6 horas, tiempo en el que se produce la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica.

Se utiliza para aguas domésticas no muy concentradas. El proceso es susceptible a cargas de choque.

###### Mezcla completa

El contenido total del proceso se mezcla uniformemente. El agua residual de entrada al proceso y los fangos recirculados, se mezclan e

introducen en diversos puntos del tanque de aireación a lo largo de un canal central.

De esta forma conseguimos que, tanto la demanda de oxígeno como la carga orgánica sean homogéneas de un extremo al otro de la cuba de aireación.

El proceso es usado en aplicaciones generales, siendo resistente frente a cargas de choque.

#### Proceso de doble etapa

Consiste en realizar una depuración biológica en dos etapas, cada una de las cuales presenta reactor biológico y decantador secundario.

En la primera etapa se alimenta la primera cuba con cargas elevadas, con un corto período de oxigenación, lo que favorece el desarrollo de microorganismos resistentes a elevadas cargas y sustancias tóxicas favoreciéndose las propiedades adsorbentes de los flóculos.

En la segunda etapa, se establece una carga media o baja, con un alto contenido en oxígeno, funcionando de forma similar a los procesos convencionales, predominando la oxidación biológica.

Este sistema es interesante para aguas residuales con fuertes variaciones de carga, ph, componentes tóxicos e.t.c., es decir aguas residuales con fuerte componente industrial.

Corresponde al tratamiento utilizado en la E.D.A.R. de Cariñena a partir de 2009, cuando se realizaron las obras de ampliación y acondicionamiento de la planta.

#### Proceso de Aireación prolongada

Este proceso requiere cargas no muy altas y tiempos de aireación prolongados. Suele aplicarse a plantas pequeñas que tratan menos de 10000 habitantes.

Sus instalaciones prescinden de decantación primaria, pasando el agua desde el pretratamiento directamente a la cuba de aireación, y pasando después por el decantador secundario.

Debido a la geometría de los canales, podemos obtener zonas más oxigenadas con nitrificación y zonas muy poco oxigenadas con desnitrificación, por lo que es un sistema bueno para eliminar materia orgánica y nitrógeno.

El proceso es flexible frente a variaciones de carga, siendo similar al que actualmente está funcionando en la E.D.A.R. de Cariñena.

## **2.5. Descripción de las instalaciones de fangos activos**

Una instalación de fangos activos convencional consta de un reactor de fangos y un decantador secundario. A continuación se describe cada una de estas instalaciones.

### **2.5.1. Reactor de fangos**

Los reactores son, generalmente, abiertas y construidas de hormigón armado. La configuración hidráulica debe garantizar que frente a las normales variaciones de caudal, la altura del licor de mezcla no variará en más de 30 cm. La guarda hidráulica debe de ser suficiente, para evitar las proyecciones de fangos y espumas.

El sistema de aireación puede ser por turbinas o por difusores, y se deben de tomar las precauciones necesarias para evitar los ruidos molestos producidos por los sistemas de aporte de aire.

Para plantas pequeñas, la regulación en la oxigenación, puede ser mediante arranque y parada de los equipos mediante temporizadores. Para plantas grandes, la regulación debe ser obligatoriamente en función del oxígeno disuelto del reactor biológico.

Resulta interesante disponer de un dispositivo de control de espumas, que puede consistir en boquillas pulverizadoras montadas a lo largo del borde superior del tanque de aireación.

### 2.5.2. Decantadores secundarios o clarificadores

Existen dos tipos fundamentales:

#### Decantadores circulares de rasquetas

Son decantadores de forma circular con sistema de barrido de fangos radial. Sus características principales y algunas recomendaciones de diseño se muestran a continuación:

- Las rasquetas de barrido de fangos conviene que no formen una sola unidad y que sean fácilmente desmontables y extraíbles.
- El sistema de arrastre de fangos se desplazará a la velocidad de 120 m/h (perimetral).
- La pendiente de solera es del 4 al 10% y el calado de borde entre 2,5 y 3,5 m.
- El decantador dispondrá de un sistema de recogida superficial de espumas y flotantes.
- Se recomienda que existan paletas de espesamiento en el pozo central de recogida de los fangos.

#### Decantadores rectangulares de rasquetas

Presentan la ventaja de permitir una implantación más compacta de todo el tratamiento biológico. Sus características principales así como algunas recomendaciones de diseño se muestran a continuación:

- La profundidad suele estar comprendida entre 2,5 y 4 m., siendo la pendiente de solera aproximadamente del 1%.
- La velocidad máxima de arrastre de fangos es de 60 m/h.

- El pozo de recogida de fangos se diseña de forma que los fangos no estén retenidos más de 5 horas (válido también para los decantadores circulares).
- Los carros móviles deben tener fácil acceso y un sistema de paro frente a obstáculos.
- Presentan sistemas de recogida de espumas y flotantes.

### **3. Legislación aplicable**

#### **3.1. Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.**

La *Directiva 91/271/CEE*, modificada por la *Directiva 98/15/CE*, define los sistemas de recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas. Esta Directiva ha sido transpuesta a la normativa española por el R.D. Ley 11/1995, el R.D. 509/1996, que lo desarrolla, y el R.D. 2116/1998 que modifica el anterior.

Por su parte, la *Decisión 93/481/CEE* establece los modelos de presentación de la información que los Estados miembros deben remitir a la Comisión Europea sobre los programas establecidos para el desarrollo y cumplimiento de la citada Directiva.

A continuación se introducen de forma resumida los principales aspectos de la normativa, para facilitar su interpretación.

##### **3.1.1. Resumen de la directiva**

La *Directiva 91/271/CEE* establece las medidas necesarias que los Estados miembros han de adoptar para garantizar que las aguas residuales urbanas reciben un tratamiento adecuado antes de su vertido.

De forma resumida, la Directiva establece dos obligaciones claramente diferenciadas, en primer lugar las “aglomeraciones urbanas” deberán disponer, según los casos, de sistemas de colectores para la recogida y conducción de las aguas residuales y, en segundo lugar, se prevén distintos tratamientos a los que deberán someterse dichas aguas antes de su vertido a las aguas continentales o marinas.

En la determinación de los tratamientos a que deberán someterse las aguas residuales antes de su vertido, se tiene en cuenta las características del emplazamiento donde se producen. De acuerdo con esto, los tratamientos

serán más o menos rigurosos según se efectúen en zonas calificadas como “sensibles”, “menos sensibles” o “normales”.

En concreto, en la *Directiva 91/271/CEE* se establecen los siguientes puntos:

- Los plazos para la instalación de sistemas colectores para las aguas residuales urbanas dependiendo del tamaño de las aglomeraciones, las características del área de vertido (zona sensible) y los requisitos que deben cumplir estos sistemas (*Artículo 3*).
- Los plazos para que los vertidos recogidos en los sistemas colectores, reciban un tratamiento secundario en función del tamaño de las aglomeraciones de las que procedan, así como los requisitos que deben cumplir los efluentes procedentes de las instalaciones donde se produce este tratamiento (*Artículo 4 y letra B Anexo I*).
- Los criterios para la determinación de zonas sensibles y menos sensibles (*Anexo II*), los plazos para la depuración de las aguas residuales vertidas en estas zonas, junto con las características de las instalaciones de tratamiento y los requisitos que deben cumplir sus efluentes (*Artículos 5 y 6; letra B y cuadros 1 y 2 del Anexo I*).
- Los plazos y tratamiento adecuado para los vertidos recogidos en los sistemas colectores procedentes de las aglomeraciones no contempladas en los artículos anteriores (*Artículo 7*).
- Los condicionantes medioambientales que deben contemplarse a la hora de elaborar las autorizaciones de vertido de instalaciones industriales cuando sus vertidos, previa depuración, sean realizados en sistemas de colectores e instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas (*Artículo 11, letra C del Anexo I*).
- Las condiciones de utilización y evacuación de los lodos generados en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, prohibiendo el vertido en aguas de superficie a partir del 31 de diciembre de 1998 (*Artículo 14*).
- Los controles analíticos (frecuencia y parámetros) a los que deben ser sometidos los vertidos y lodos procedentes de las instalaciones de

depuración, así como de las aguas receptoras de aquéllos (*Artículo 15, letra D del Anexo I*).

- El contenido de la información que los Estados miembros deben suministrar a la Comisión sobre el desarrollo de la Directiva es el siguiente:
  - Informe bienal de situación sobre el vertido de aguas residuales urbanas y lodos (*Artículo 16*).
  - Informe sobre el contenido de los programas nacionales de actuación elaborados para la aplicación de la Directiva (*Artículo 17.2*).
  - Informe bienal de actualización del desarrollo de los programas de actuación (*Artículo 17.3*). Los métodos y modelos de presentación de los informes relacionados con este artículo, aparecen desarrollados en la *Decisión 93/448/CEE*.
  - A petición de la Comisión, se deberá informar sobre los resultados de los controles establecidos para:
    - Cumplimiento de los requisitos de vertido (*letra B Anexo I*) por parte de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, de acuerdo con los procedimientos establecidos (*letra D Anexo I*).
    - Cantidades y composición de los lodos vertidos en aguas de superficie.
    - Resultados de los controles establecidos sobre las aguas de superficie afectadas por vertidos (directos o depurados) biodegradables procedentes de los sectores industriales enumerados en el *Anexo III* (Industrias de transformación agroalimentarias).

Posteriormente, la Comisión de las Comunidades Europeas consideró que el cuadro 2 del anexo I de la *Directiva 91/271/CEE*, relativo a los requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas realizados en zonas sensibles propensas a eutrofización, planteaba problemas de interpretación en algunos Estados miembros por lo

que, en fecha 27 de febrero de 1998, adoptó la *Directiva 98/15/CE*, por la que se modifica la anterior, en lo relativo a las especificaciones del cuadro citado.

### **3.1.2. Criterios de conformidad: Requisitos de los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas**

Los requisitos que deben cumplir, tanto los vertidos como las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas, para que estén conformes a lo dispuesto en la *Directiva 91/271/CEE* aparecen descritos en las letras B y D de su Anexo I, y en los cuadros 1, 2 y 3 de este último.

En el caso que ocupa al presente proyecto, para la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Cariñena, se aplica el cuadro referente a vertidos procedentes de instalaciones de depuración de aguas residuales urbanas mediante tratamiento secundario. Los límites de vertido son los siguientes:

**Tabla 1.2:** Límites de vertido a la salida de la E.D.A.R según la Directiva 91/271/CEE.

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración</b>	<b>% de reducción</b>
DBO <sub>5</sub> a 20 °C	25 mg/l O <sub>2</sub>	70 – 90
DQO	125 mg/l	75
SS totales	35 mg/l	90
P total	2 mg/l	80
N total	15 mg/l	70 - 80
pH	7 - 8	-

También se definen los métodos de referencia para la determinación de cada parámetro:

- DBO<sub>5</sub>: Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Determinación del oxígeno disuelto antes y después de cinco días de incubación a 20 °C ± 1 °C, en completa oscuridad. Aplicación de un inhibidor de la nitrificación.
- DQO: Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Dicromato potásico.
- SST: Filtración de una muestra representativa a través de una membrana de filtración de 0,45 micras. Secado a 105 °C y pesaje. Centrifugación de una muestra representativa (durante cinco minutos como mínimo, con una aceleración media de 2.800 a 3.200 g), secado a 105° C y pesaje.
- P total: Espectrofotometría de absorción molecular.
- N total: Espectrofotometría de absorción molecular.

Durante las operaciones de muestreo se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- No se computarán los valores extremos de la calidad del agua cuando estos sean consecuencia de situaciones inusuales, lluvias intensas, etc.
- Podrán usarse métodos alternativos, siempre que pueda demostrarse que se obtienen resultados equivalentes.
- Se tomarán muestras representativas durante un período de 24 horas, proporcionalmente al caudal o a intervalos regulares, en el mismo punto claramente definido de la salida de la instalación de tratamiento, y de ser necesario en su entrada, para vigilar el cumplimiento de los requisitos aplicables a los vertidos de aguas residuales.
- Se aplicarán las normas internacionales de laboratorio correctas con objeto de que se reduzca al mínimo el deterioro de las muestras en el tiempo transcurrido entre la recogida y el análisis.

## **3.2. Decreto 38/2004 sobre los vertidos de aguas residuales a las redes municipales de alcantarillado.**

### **3.2.1. Resumen del decreto**

Este decreto dispone de 5 capítulos que definen el reglamento de los vertidos de aguas a la red de alcantarillado en la Comunidad Autónoma de Aragón. A continuación se resumirán todos ellos, y se profundizará en el capítulo que más concierne al presente proyecto, el de las prohibiciones y limitaciones generales de los vertidos a la red de alcantarillado.

El capítulo 1 recoge las disposiciones generales, en el que se definen los objetos y fines del decreto, su ámbito de aplicación, el reglamento referente al servicio de alcantarillado y redes de saneamiento incluyendo las condiciones de uso, la responsabilidad del vertido y la necesidad de autorización previa.

El capítulo 2 recoge todo lo referente a las autorizaciones de vertido a la red de alcantarillado, y resume el concepto de aguas residuales domésticas, las autorizaciones necesarias, el concepto de aguas residuales industriales, los requisitos para obtener autorización de vertido de aguas residuales industriales, la resolución sobre el vertido de aguas residuales industriales y la revocación, modificación o suspensión de las autorizaciones.

El capítulo 3 recoge las limitaciones y prohibiciones generales de los vertidos a alcantarillado, y se detallará en profundidad más adelante.

El capítulo 4 hace referencia al control de efluentes e inspección de vertidos, y detalla todo lo referente a las entidades competentes para la inspección y control, el personal autorizado para la toma de muestras y análisis, los procedimientos de toma de muestras y métodos de análisis y los programas de seguimiento de vertidos.

Por último, el capítulo 5 recoge todo lo referente a infracciones y sanciones, detallando las infracciones leves, graves y muy graves con sus correspondientes sanciones, así como el procedimiento sancionador establecido y la prescripción.

### **3.2.2. Capítulo 3: prohibiciones y limitaciones generales de los vertidos**

#### Prohibiciones generales

- Queda prohibido verter, directa o indirectamente, a la red de alcantarillado aguas residuales o cualquier otro tipo de residuos sólidos, líquidos o gaseosos que, en razón de su naturaleza, propiedades o cantidad, causen o puedan causar, por sí solos o por interacción con otras sustancias, daños, peligros o inconvenientes en las infraestructuras de saneamiento,
- A título enunciativo, se consideran, riesgos potenciales susceptibles de causar dicho daño, peligro o inconveniente para la infraestructura de saneamiento y depuración los que impliquen la producción de alguna de las siguientes circunstancias:
  - Creación de condiciones ambientales nocivas, tóxicas o peligrosas que impidan o dificulten el acceso y/o la labor del personal encargado de las instalaciones, perjudiquen a otras personas o menoscaben la calidad ambiental.
  - Formación de mezclas inflamables o explosivas.
  - Generación de efectos corrosivos sobre los materiales de las instalaciones.
  - Producción de sedimentos, incrustaciones o cualquier otro tipo de obstrucciones físicas que dificulten el libre flujo de las aguas residuales, la labor del personal o el adecuado funcionamiento de las instalaciones de depuración.
  - Otras incidencias que perturben y dificulten el normal desarrollo de los procesos y operaciones de las plantas depuradoras de aguas residuales o les impidan alcanzar los niveles óptimos de tratamiento y calidad de agua depurada.

#### Prohibiciones específicas

Queda totalmente prohibido verter directa o indirectamente a la red de alcantarillado cualquiera de los siguientes productos:

- Disolventes o líquidos orgánicos inmiscibles en agua, combustibles o inflamables.
- Productos a base de alquitrán o residuos alquitranados.
- Sólidos, líquidos, gases o vapores que, en razón de su naturaleza o cantidad, sean susceptibles de dar lugar, por si mismos o en presencia de otras sustancias, a mezclas inflamables o explosivas en el aire o a mezclas altamente comburentes.
- Materias colorantes o residuos con coloraciones indeseables y no eliminables por los sistemas de depuración.
- Residuos sólidos o viscosos que provoquen o puedan provocar obstrucciones en el flujo de la red de alcantarillado o colectores o que puedan interferir en el transporte de las aguas residuales.
- Gases o vapores combustibles, inflamables, explosivos o tóxicos procedentes de motores de explosión.
- Humos procedentes de aparatos extractores, de industrias, explotaciones o servicios.
- Residuos industriales o comerciales que, por su concentración o características tóxicas y peligrosas, requieran un tratamiento específico.
- Sustancias que puedan producir gases o vapores en la atmósfera de la red de alcantarillado en concentraciones superiores a los presentados en I tabla 1.3.

**Tabla 1.3:** Sustancias susceptibles de producir gases y concentración límite de vertido al alcantarillado.

Parámetro	Partes por millón (p.p.m.)
Amoníaco	100
Monóxido de carbono (CO)	100
Bromo	100
Cloro	1
Ácido cianhídrico	10
Ácido sulfhídrico	20
Dióxido de azufre	10
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	5.000

Queda, además, expresamente prohibida la dilución de aguas residuales realizada con la finalidad de satisfacer las limitaciones indicadas en ese artículo.

#### Limitaciones de vertido

Salvo las condiciones más restrictivas que para actividades calificadas como molestas, insalubres, nocivas o peligrosas establezcan las correspondientes licencias de actividad clasificada, queda prohibido descargar, directa o indirectamente, en las redes de alcantarillado vertidos con características o concentración de contaminantes superiores a las indicadas a continuación, en la tabla 1.4.

**Tabla 1.4:** Límites de vertido a la red de alcantarillado.

Parámetro	Concentración media diaria máxima	Concentración instantánea máxima
pH	5,50 – 9,50	5,50 – 9,50
SS (mg/l)	500,00	1.000,00

S sedimentables (mg/l)	15,00	20,00
Sólidos gruesos (ml/l)	Ausentes	Ausentes
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	500,00	1.000,00
DQO (mg/l)	1.000,00	1.500,00
Temperatura (°C)	40	50
Conductividad (mS/cm)	2,00	4,00
Color	Inapreciable	Inapreciable
Aluminio (mg/l)	10,00	20,00
Arsénico (mg/l)	1,00	1,00
Bario (mg/l)	20,00	20,00
Boro (mg/l)	3,00	3,00
Cadmio (mg/l)	0,20	0,40
Cromo III (mg/l)	5,00	5,00
Cromo VI (mg/l)	1,00	1,00
Hierro (mg/l)	10,00	10,00
Manganeso (mg/l)	5,00	10,00
Níquel (mg/l)	2,00	5,00
Mercurio (mg/l)	0,05	0,10
Plomo (mg/l)	1,00	1,00
Selenio (mg/l)	1,00	1,00
Estaño (mg/l)	2,00	5,00
Cobre (mg/l)	2,00	3,00
Zinc (mg/l)	5,00	10,00
Cianuros (mg/l)	2,00	2,00
Cloruros (mg/l)	2.000,00	2.000,00
Sulfuros (mg/l)	2,00	5,00
Sulfitos (mg/l)	2,00	2,00

---

Sulfatos (mg/l)	1.000,00	1.000,00
Fluoruros (mg/l)	12,00	15,00
P total (mg/l)	15,00	30,00
N amoniacal (mg/l)	35,00	85,00
N nítrico (mg/l)	20,00	65,00
Aceites y grasas (mg/l)	100,00	150,00
Fenoles totales (mg/l)	5,00	5,00
Aldehídos (mg/l)	2,00	2,00
Detergentes (mg/l)	6,00	6,00
Pesticidas (mg/l)	0,10	0,50

La suma de las fracciones de concentración real/concentración límite relativa a los elementos tóxicos (arsénico, cadmio, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio y zinc) no superará el valor de 5.

La enumeración anterior se entenderá sin perjuicio de la limitación o prohibición de emisiones de otros contaminantes no especificados en esta tabla o a las cantidades inferiores que reglamentariamente se determinen en la legislación vigente.

#### Caudales punta

Los caudales punta vertidos en la red no podrán exceder del quíntuplo del caudal medio diario expresado en litros/segundo durante un intervalo de quince minutos o del cuádruplo del mismo en un intervalo de una hora.

#### Parámetros más restrictivos y ampliación de parámetros

En cada ámbito territorial regirán los parámetros de concentración de efluentes que sean más restrictivos según la normativa estatal, autonómica o local.

Sólo será posible la admisión de vertidos con concentraciones superiores a las establecidas por el artículo 16 cuando se justifique

debidamente ante el ente gestor del servicio de alcantarillado, que resolverá previo informe vinculante del Instituto Aragonés del Agua, que no pueden, en ningún caso, producir efectos perjudiciales en los sistemas de depuración de aguas residuales o impedir la consecución de los objetivos de calidad establecidos para las aguas residuales depuradas.

La solicitud de vertido deberá justificar la causa y señalar los parámetros del mismo con el debido detalle para que el órgano encargado de resolver pueda calcular su carga contaminante y evitar los efectos indeseables señalados en el párrafo anterior.

No se podrá verter hasta tanto se haya obtenido la correspondiente autorización de vertido.

#### Actuaciones en situaciones de emergencia

La producción de alguna circunstancia imprevista o de fuerza mayor que imposibilite el cumplimiento de los preceptos contenidos en el presente Reglamento o pueda generar daños a las instalaciones de saneamiento y depuración o al medio natural deberá comunicarse inmediatamente al órgano que concedió la autorización de vertido.

Una vez producida la situación de emergencia, el usuario utilizará todos los medios a su alcance para eliminar o, si no se pudiere, reducir al máximo los efectos de la descarga accidental.

Sin perjuicio de las obligaciones descritas en los dos párrafos anteriores, en un término máximo de siete días, el usuario deberá remitir al órgano que concedió la autorización de vertido un informe detallado del accidente, en el que junto a los datos de identificación deberán figurar los siguientes:

- Causas del accidente.
- Hora en que se produjo y duración del mismo.
- Volumen y características de contaminación del vertido.
- Medidas correctoras adoptadas.
- Hora y forma en que se comunicó el suceso.

El órgano competente en materia de vertido mantendrá puntualmente informados al Instituto Aragonés del Agua y a la entidad que realice el mantenimiento y conservación de la estación depuradora de aguas residuales de todas las circunstancias que alteren el régimen normal de vertidos, a cuyo fin les dará traslado inmediato de las comunicaciones e informes indicados en este artículo y de aquellos otros pormenores que sean relevantes a estos efectos.

Con independencia de otras responsabilidades en que pudieran haber incurrido, los costes de las operaciones de restitución ambiental o mantenimiento y reparación de infraestructuras por daños derivados de un vertido accidental serán abonados por el usuario causante.

## **CAPÍTULO 2: LA E.D.A.R. DE CARIÑENA**

### **1. Datos técnicos adoptados en el diseño de la planta**

A continuación se muestra un resumen de los datos técnicos que se adoptaron en el diseño de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Cariñena. Esta información se recoge ampliamente en un proyecto fin de carrera realizado en la Universidad de Zaragoza en el año 2000.

**Tabla 2.1:** Caudales de dimensionamiento de la planta.

<b>P.B. Técnicas</b>	<b>Estudio caudales</b>	<b>Valores adoptados</b>
Caudal medio diario	1600 m <sup>3</sup> /día	1324 m <sup>3</sup> /día
Caudal medio horario	67 m <sup>3</sup> /h	55,17 m <sup>3</sup> /h
Caudal mínimo	-	36 m <sup>3</sup> /h
Caudal punta	133 m <sup>3</sup> /h	99,6 m <sup>3</sup> /h
Caudal máximo pluvial	200 m <sup>3</sup> /h	-
		200 m <sup>3</sup> /h

Todos los elementos proyectados se diseñaron para los caudales mostrados en la tabla 2.1. Además, no se consideran alivios intermedios, por lo que toda la planta está dimensionada para admitir hidráulicamente el caudal máximo pluvial, es decir, 200 m<sup>3</sup>/h.

Para el dimensionamiento de las instalaciones de la depuradora, además de los caudales de agua bruta, es necesario establecer también los valores característicos de contaminación, tanto para temporada de carga media como de carga máxima, que se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 2.2:** Características del agua residual bruta.

	P.B. Técnicas		Estudio caracterización		Valores adoptados	
	Media	Máxima	Media	Máxima	Media	Máxima
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	435	950	417	593	409	894
DBO <sub>5</sub> (kg/día)	696	1520	555,4	818,5	696	1520
SST (mg/l)	400	400	384	275	376	376
SST (kg/día)	640	640	511,5	386	640	640
NTK (mg/l)	90	90	31,6	51	75	75
NTK (kg/día)	144	144	41,8	70,2	144	144
pH	7 - 8	7 - 8	7 - 8	7 - 8	7 - 8	7 - 8

Como se puede observar en dicha tabla, los valores de contaminación obtenidos en el estudio de caracterización del agua bruta son ligeramente inferiores a los recogidos en el Pliego de Bases Técnicas, por lo que aunque se haya adoptado un caudal medio diario mayor, se han mantenido los valores totales de contaminación, por lo tanto las cargas contaminantes unitarias son menores.

Las instalaciones han sido proyectadas de manera que aseguren para el agua tratada las características recogidas en la siguiente tabla, en

cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE, y que son exigidas en el Pliego de Bases del Concurso.

**Tabla 2.3:** Límites de vertido para el agua tratada.

Parámetro	Concentración	% de reducción
DBO <sub>5</sub> a 20 °C	25 mg/l O <sub>2</sub>	70 – 90
DQO	125 mg/l	75
SS totales	35 mg/l	90
P total	2 mg/l	80
N total	15 mg/l	70 - 80
pH	7 - 8	-

Además, el fango procedente de la depuración, una vez tratado, deberá cumplir las siguientes especificaciones:

**Tabla 2.4:** Características del fango tratado.

Parámetro	Valor límite
Sequedad (% en peso de sólidos secos)	≥ 20 %
Estabilidad (% en peso de sólidos volátiles)	≤ 60 %

A continuación se muestra un resumen de las operaciones utilizadas en la E.D.A.R. de Cariñena. Como se ha indicado previamente, este estudio de puesta en marcha se realizó ampliamente en la Universidad de Zaragoza en el año 2000 (proyecto fin de carrera).

## **2. Descripción funcional**

### **2.1. Línea de aguas**

El agua residual llega a la planta de tratamiento desde el extremo sur del polígono industrial de Cariñena, mediante un colector de hormigón armado de 1200 mm de diámetro, cuya traza es paralela a la margen izquierda del río Frasno.

A través de dicho colector, el agua entra a la arqueta de bypass, equipada con un vertedero de seguridad de 1,35 m de longitud y un juego de compuertas, de tal manera que permite el alivio de un caudal más allá del máximo permitido, así como el aislamiento de la E.D.A.R. mediante el alivio de la totalidad del caudal al río.

El agua, una vez en el pozo de bombeo, compuesto por tres bombas sumergibles de 100 m<sup>3</sup>/h de caudal unitario (una de ellas de reserva), es elevada hasta un depósito superior dotado de aliviadero de seguridad, que alimenta por gravedad al equipo de desbaste.

Una vez el agua ha alcanzado la unidad de desbaste, se pueden distinguir dos líneas de tratamiento distintas, dependiendo de la época del año y, por tanto, de la carga contaminante.

Así, en la época de vendimia y primeros trasiegos, el tratamiento consta de un proceso físico y un proceso biológico. En total, el tratamiento consta de: desbaste de sólidos, desarenado – desengrasado, homogenización, coagulación – floculación, decantación primaria, proceso biológico con nitrificación – desnitrificación y decantación secundaria.

Sin embargo, durante la temporada de carga media, no es necesario el tratamiento físico-químico, por tanto el agua pretratada se lleva directamente al proceso biológico desde la arqueta de reparto que se encuentra aguas arriba de la balsa de homogenización.

### 2.1.1. Desbaste de sólidos

Una vez que el agua residual es elevada desde el pozo de bombeo hasta la arqueta de llegada, ésta es enviada por gravedad al equipo de desbaste.

El desbaste de sólidos tiene por objeto retener y separar los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión, que arrastra consigo el agua residual. Generalmente se utilizan dos tipos: rejas o tamices.

El uso de tamices se recomienda en los siguientes casos:

- Las aguas residuales brutas llevan cantidades excepcionales de sólidos en suspensión, flotantes o residuos.
- Existen vertidos industriales importantes, fundamentalmente del sector alimentario.

Ambas condiciones se cumplen para la E.D.A.R. de Cariñena, debido específicamente a los efluentes procedentes de la industria vinícola. Por tanto, el desbaste de sólidos finos en la estación depuradora de Cariñena se realiza mediante un tamiz autolimpiante rotativo con capacidad suficiente para tratar el agua bruta.

Los parámetros a utilizar en el diseño de una instalación de tamizado son los siguientes:

- Caudal que es posible tratar con una unidad de tamiz determinada.
- Dimensiones constructivas del equipo.
- Pérdida de carga.
- Cantidad de materias retenidas.

Los residuos extraídos del tamiz se descargan sobre un tornillo de Arquímedes transportador cerrado, con el que se conducen directamente hasta la entrada de una prensa compactadora, la cual forma parte del tornillo y está incluida en el mismo. Una vez prensados, son conducidos directamente a un contenedor de almacenamiento y transporte, dispuesto a tal efecto.

## 2.1.2. Desarenado – desengrasado

Tras la unidad de desbaste de sólidos finos, el agua residual es conducida a un sistema combinado de desarenado con preaireación y desemulsión de grasas. En este sistema se consigue de manera simultánea la separación de los elementos en suspensión más pesados como arenas, arcillas, limos, y la separación de las grasas contenidas en las aguas residuales.

La utilización de un sistema combinado de desarenado – desengrasado presenta ciertas ventajas respecto a la reutilización de cada una de las etapas por separado:

- El aire comprimido añadido para la desemulsión de las grasas ayuda a impedir la sedimentación de 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 la velocidad ascensional de las partículas de grasa. Por tanto, estas últimas disponen de más tiempo para ponerse en contacto entre sí durante sus recorridos hasta la superficie, aumentando así el rendimiento de flotación de grasas.

El sistema de desarenado – desengrasado instalado en la E.D.A.R. de Cariñena consta de dos canales que actúan en paralelo, uno de sección inferior trapecial, y otro de sección inferior triangular. Cada uno tiene una longitud de 6 metros.

El volumen total del sistema de desarenado – desengrasado es de 38,70 m<sup>3</sup>. Así, el tiempo de retención a caudal medio es de 33 minutos, y a caudal máximo de 12 minutos.

Los canales desarenadores disponen de una zona más profunda, donde se acumula la arena, con un ensanchamiento lateral parcialmente obturado por una pantalla que sirve para disminuir la turbulencia provocada por el burbujeo.

Así, se produce a la vez la sedimentación de las arenas y la flotación de las grasas, las cuales se acumulan en la superficie.

La salida del agua se realiza por vertedero, el cual se proyectó de forma que la velocidad de arrastre impida la deposición de materia orgánica, y evite al mismo tiempo el arrastre de arena.

La extracción de arenas se lleva a cabo mediante una bomba extractora de 5 m<sup>3</sup>/h de caudal. Además, el sistema dispone de un puente rodante con rasquetas de superficie para el arrastre de grasas hacia la arqueta de recogida.

La aireación se realiza mediante inyección de aire a baja presión, con formación de burbujas, que desemulsionan las grasas y evitan la sedimentación de materia orgánica, así como cualquier descomposición anaeróbica del agua, de manera que ésta queda en condiciones óptimas para el posterior tratamiento biológico.

El sistema de aportación de aire consta de dos motosoplantes, una de ellas en reserva absoluta, con un caudal de aire de 120 m<sup>3</sup>/h. La inyección de aire y, por tanto, la formación de burbujas, se realiza mediante 8 difusores de burbuja gruesa situados en dos distribuidores.

### **2.1.3. Lavador de arenas**

Las arenas extraídas en el proceso de desarenado tienen como destino final el lavador-clarificador de arenas. La capacidad del lavador es de 20 m<sup>3</sup>/h y consiste en un mecanismo de rastrellado a lo largo de un plano de hormigón. La evacuación de la arena lavada se realiza por la parte superior de dicho plano, mientras que el agua que arrastra la materia orgánica retorna a la arqueta inferior.

La concentración prevista de arenas en las aguas a tratar es de 40 g/m<sup>3</sup>. Además, se prevé evacuar las arenas del desarenador con una concentración del 3% en peso

#### **2.1.4. Concentrador de grasas**

Las grasas extraídas de los desengrasadores tienen como destino final el concentrador de grasas dispuesto al lado del lavador de arenas.

El concentrador tiene unas dimensiones de 1,20 metros de anchura, 3,00 de longitud y 1,50 m de altura media.

En esta cámara, las grasas entran por la parte inferior, flanqueando una pantalla deflectora. A continuación de la cual se produce la inyección de aire mediante difusores de fondo, que producen la flotación de las grasas. Entonces, las grasas son arrastradas mediante un sistema de rasquetas para su evacuación a un contenedor.

A esta cámara concentradora se envían también las grasas y flotantes procedentes de los decantadores, primario y secundario.

Se prevé que la concentración de grasas alcance un 75% en desengrasadores y el 25% restante en los decantadores, con una concentración total de aceites y grasas de  $30 \text{ g/m}^3$ .

#### **2.1.5. Balsa de homogenización**

Durante la época de vendimia y trasiego de los primeros mostos fermentados, época caracterizada por una mayor concentración de carga contaminante, el agua residual procedente del desarenador - desengrasador se conduce hasta la balsa de homogenización, desde la cual se produce una alimentación regular, tanto en caudal como en concentración, al tratamiento de coagulación – floculación.

La balsa de homogenización está constituida por una unidad rectangular de 10,3 m de largo, 10,2 de ancho y una profundidad útil de 3m, lo cual supone un volumen unitario de  $315 \text{ m}^3$ . Por tanto, el tiempo de retención a caudal medio es de 4,45 horas, y a caudal máximo, de 1,58 horas.

En la entrada de la balsa de homogenización se intercala una arqueta de reparto con un juego de compuertas para aislar el tratamiento físico – químico durante la temporada de carga media, y permitir el paso del agua al reactor biológico.

Como sistema homogenizador, se han instalado 2 agitadores sumergibles de 3 kW de potencia.

### **2.1.6. Cámaras de mezcla y floculación**

Como tratamiento primario para las aguas residuales que llegan a la estación depuradora durante la época de máxima carga contaminante, se ha instalado un sistema de precipitación química empleando cloruro férrico como reactivo.

Así, el agua procedente de la balsa de homogenización pasa directamente por la parte inferior a la cámara de mezcla, que posee un volumen hidráulico unitario de 10 m<sup>3</sup>, equivalente a un tiempo de retención de 8 minutos 30 segundos a caudal medio y 3 minutos a caudal máximo. En esta cámara se produce la agitación rápida por medio de una turbina de paletas, de manera que se produce la mezcla íntima de los reactivos con el agua.

Posteriormente, la mezcla de agua y reactivos pasa a la línea de floculación, a través de un vertedero, donde se produce la formación de flóculos, favorecida por el uso de agitadores lentos.

El tiempo total de retención requerido en el tanque de coagulación a caudal máximo es de 10 minutos.

Se dispone de dos cámaras de 16,9 m<sup>3</sup> de volumen unitario, equivalente a 28 minutos 36 segundos de retención a caudal medio y a 10,1 minutos a caudal máximo.

## 2.1.7. Decantador primario

En el proceso de coagulación, mediante la adición de cloruro férrico y polielectrolito, se produce la desestabilización de la materia coloidal presente en el agua residual, y por tanto la formación de flóculos de mayor tamaño, que son separados del agua en un clarificador circular de unos  $330\text{ m}^3$  de volumen, con un diámetro de 11 metros.

En esta unidad de decantación, se consigue una reducción de los sólidos suspendidos de un 80%, con un tiempo de retención hidráulico de 4,66 horas. Así, la carga de sólidos sedimentados es de 512 kg/día, y la carga de sólidos en suspensión que pasa al tratamiento secundario es de 128 kg/día.

Además de la reducción de sólidos suspendidos en la decantación primaria, también disminuye la demanda biológica de oxígeno. Se ha previsto una reducción de la  $\text{DBO}_5$  de un 50%. Por tanto, la carga de  $\text{DBO}_5$  retenida en el decantador es de 760 kg/día.

Los sólidos sedimentados en el decantador son arrastrados por un sistema de rasquetas barredoras de fondo a una tolva cónica situada en el centro del tanque, desde la que son purgados periódicamente.

Además existe también un mecanismo superficial de recogida de grasas y espumas flotantes, para evitar que éstas salgan con el líquido clarificado. De esta forma, en el decantador se completa la operación de desengrase del agua a tratar.

El agua, una vez clarificada, se recoge por un vertedero metálico perimetral para pasar a continuación a un canal colector periférico. Paralelamente al vertedero se sitúa una pantalla deflectora que evita la salida de flotantes con el agua.

El agua recogida en el canal periférico pasa mediante tubería a la arqueta de elevación equipada con 3 bombas, una de ellas de reserva, para elevar un caudal total de  $133\text{ m}^3/\text{h}$  hasta la arqueta de entrada al reactor biológico, donde se mezcla el agua con el fango recirculado procedente del

decantador secundario. Esta arqueta de bombeo está equipada con un vertedero de seguridad de 2 m de longitud de labio para que en caso de fallo envíe al río el agua así tratada.

### **2.1.8. Tanques de aireación**

En la temporada de carga máxima, el agua clarificada en el decantador primario pasa a los tanques de aireación, donde tiene lugar un proceso de aireación prolongada con nitrificación – desnitrificación simultánea. Sin embargo, en la temporada de carga media, gracias a la arqueta de reparto situada a la entrada de la balsa de homogenización, la cual permite el aislamiento físico – químico, el agua pretratada pasa directamente al tratamiento biológico.

Por tanto, esta unidad de tratamiento ha sido diseñada, tanto para el caudal medio diario y su correspondiente carga de  $DBO_5$  y nitrógeno total que llega teniendo en cuenta la reducción realizada en el tratamiento primario en periodo de máxima carga, como para la contaminación prevista en la época de carga máxima.

La unidad de tratamiento biológico con aireación logra la oxidación de la materia carbonosa y del amoníaco, así como la desnitrificación del nitrato producido y la estabilización del fango para una edad de 20 días, tanto en época de carga máxima como media.

El reactor dispone de zonas aireadas y zonas anóxicas. El volumen de una cada una de las dos cubas, de acuerdo con el caudal adaptado, es de 1534 m<sup>3</sup> con una altura de agua de 5 m y una fracción anóxica del 40%. Esto supone un tiempo de retención hidráulico de 43 horas 18 minutos (43,3 h) a caudal medio, y 15 horas 35 minutos (15,34 h) a caudal máximo.

En la zona anóxica se lleva a cabo la desnitrificación de los nitratos que se producen en la zona aerobia. Esta zona se coloca en la cabecera de tanque y en ella entran el agua y los fangos secundarios recirculados.

La nitrificación se produce en la zona aerobia al transformarse el nitrógeno en nitratos. Estos últimos han de enviarse a la zona anóxica para su transformación a  $\text{CO}_2$  y nitrógeno gaseoso, que se libera a la atmósfera. Para esto, es necesaria la instalación de una recirculación interna desde el final de la zona aerobia hasta la zona anóxica. Sin embargo, en los canales de oxidación, la recirculación se produce de manera natural gracias a la tipología "carrusel" del tanque. La recirculación interna consigue que la desnitrificación se produzca en el tanque y no de manera incontrolada en el decantador secundario.

La distribución del aire en el interior del tanque se realiza gracias a la instalación de dos parrillas de difusores cerámicos con un total de 1560 unidades de difusión.

Por tanto, el proceso de conversión de materia orgánica y del nitrógeno se puede describir mediante la siguiente secuencia de reacciones:

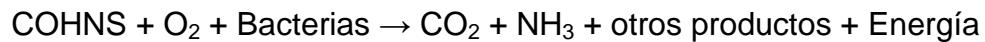
#### Reacciones de síntesis (proceso asimilatorio)

Consiste en la incorporación de la materia orgánica (COHNS) al protoplasma de los microorganismos, produciéndose nuevo tejido celular ( $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ ), es decir, un crecimiento en la masa de microorganismos.



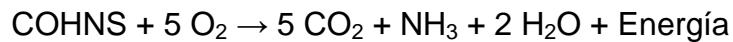
#### Reacciones de oxidación (proceso disimilatorio)

Una fracción de la materia orgánica se oxida para obtener la energía necesaria para la síntesis de nuevo tejido celular.



#### Respiración endógena (autooxidación)

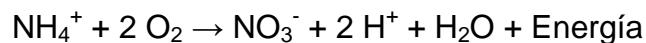
Finalmente, en ausencia de materia orgánica, el tejido celular es utilizado endógenamente dando lugar a productos gaseosos y energía para el mantenimiento de las células.



En el sistema de tratamiento biológico, estos tres procesos tienen lugar de forma simultánea. De esta forma, se lleva a cabo la eliminación de la materia orgánica presente en el agua a tratar

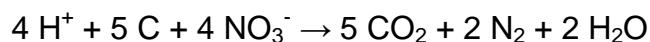
### Nitrificación

La nitrificación del nitrógeno amoniacal es un proceso que se realiza en dos etapas, en el que toman parte dos familias de microorganismos: los nitrosomas y los nitrobacter. En la primera etapa, el amonio se convierte en nitrito; y en la segunda, el nitrito formado se convierte en nitrato. Los nitrosomas y los nitrobacter utilizan la energía desprendida en estas reacciones para el crecimiento y mantenimiento celular. La reacción energética global es la siguiente:



### Desnitrificación

En ausencia de oxígeno disuelto, las bacterias heterótrofas pueden utilizar nitratos o nitritos, originándose nitritos o nitrógeno gas respectivamente. La reacción global sería, pues:



Las principales características del sistema de aireación prolongada, que lo distinguen del proceso de lodos activos convencional, son los siguientes:

- Elevados tiempos de retención hidráulica, de forma que el fango llega a estabilizarse aeróbicamente.
- Valores muy bajos de carga másica, lo cual provoca un desequilibrio entre la cantidad del fango en el tanque y la cantidad de materia orgánica que llega al tanque.
- Altas concentraciones de sólidos biológicos en el reactor. Esto, unido a las menores cargas orgánicas provoca condiciones de respiración endógena, y por tanto, reduce la cantidad de lodo residual producido.

En la siguiente tabla, se muestran los valores normales de diseño tanto para el proceso convencional de fangos activos, como para el sistema de aireación prolongada:

**Tabla 2.5:** Valores típicos de diseño de unidades de tratamiento biológico.

Característica	P. convencional	P. aireación prolongada
Edad del fango (días)	4 – 12	>15
Tiempo de retención (h)	4 – 8	16 – 24
Carga másica (kg)	0,2 – 0,4	0,05 – 0,15
Carga volúmica (kg)	0,32 - 0,64	0,16 – 0,35
MLSS (mg/l)	1500 – 3500	3000 - 6000

En la E.D.A.R. de Cariñena, el tratamiento biológico y la decantación secundaria se han diseñado según la Norma A-131 de la ATV (Asociación Alemana para las Técnicas de Tratamiento de Agua Residual).

La aplicación de esta norma está condicionada por el cumplimiento de las siguientes relaciones en el agua bruta:

$$DQO / DBO_5 = 2$$

$$NTK / DBO_5 < 0,25$$

En la tabla 2.6 se muestran los parámetros del agua residual que llega al tratamiento biológico, teniendo en cuenta las líneas de tratamiento que sigue el agua según la época del año:

**Tabla 2.6:** Condiciones del agua residual a la entrada del tratamiento biológico.

Parámetro	Temp. Carga media	Temp. carga máxima
DBO <sub>5</sub> bruta	409 mg/l (696 kg/día)	894 mg/l (1520 kg/día)
Reducción de DBO <sub>5</sub> en	0 %	50 %
DBO <sub>5</sub> a la entrada del	409 mg/l (696 kg/día)	447 mg/l (760 kg/día)
NTK a la entrada	85 mg/l (144 kg/día)	85 mg/l (144 kg/día)
N – NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> a la entrada	30 mg/l (51 kg/día)	30 mg/l (51 kg/día)
N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> a la entrada	0 mg/l (0 kg/día)	0 mg/l (0 kg/día)
SST en agua bruta	376 mg/l (640 kg/día)	376 mg/l (640 kg/día)
Reducción de SST en	0 %	80 %
SST a la entrada del tratamiento	376 mg/l (640 kg/día)	75 mg/l (128 kg/día)
NTK / DBO <sub>5</sub>	0,21	0,19

En el balance del nitrógeno, por falta de datos, se ha considerado que el nitrógeno orgánico a la salida de la planta es de 2 mg/l, y que el nitrógeno en el fango en exceso es igual al 5% de la DBO<sub>5</sub> eliminada. Además, según la normativa 91/271/CEE, el nitrógeno total a la salida, en zonas donde se requiera eliminación de nutrientes, ha de ser menor de 10 mg/l para poblaciones de más de 100.000 habitantes equivalentes, y menor de 15 mg/l en poblaciones entre 10.000 y 100.000 habitantes equivalentes. Por tanto, en este caso, se debe cumplir que el nitrógeno total a la salida, es decir, el nitrógeno orgánico más el nitrógeno inorgánico, ha de ser inferior a 15 mg/l.

Otro parámetro importante en el diseño de tratamientos biológicos es la necesidad de oxígeno. En este caso, el consumo de oxígeno de los

microorganismos viene determinado por la descomposición de los compuestos carbonosos y por la oxidación de los compuestos de nitrógeno durante la nitrificación.

La norma A-131 de la ATV establece que hay que realizar el cálculo de las necesidades de oxígeno por separado. Así, para la oxidación de la materia carbonosa, las necesidades de oxígeno son las que se expresan en la ecuación 2.1:

$$ON = c \frac{0,144 \times T_{rc} \times 10,72^{T-15}}{1 + (T_{rc} \times 0,08 \times 10,72^{T-15}) + 5} \frac{kg O_2}{kg DBO_5}$$

(ec. 2.1)

Las necesidades de oxígeno para la oxidación de los compuestos nitrogenados en el proceso de nitrificación – desnitrificación se calculan según la ecuación 2.2:

$$ON_n = (4,6 \times NO_3^-_{efluente}) + (1,7 \times NO_3^-_{desnitrificados}) \frac{kg O_2}{kg DBO_5}$$

(ec. 2.2)

Además, es necesario también tener en cuenta las oscilaciones de carga diarias. Por tanto, el aporte de oxígeno necesario viene dado por la ecuación 2.3:

$$ON_{total} = (ON_c \times f_c) + (ON_N \times f_n) \frac{kg O_2}{kg DBO_5}$$

(ec. 2.3)

- $f_c$ : factor punta para los compuestos carbonosos.
- $f_N$ : factor punta para los compuestos nitrogenados.

En la tabla 2.7 figuran las necesidades medias de oxígeno durante la época de carga media, período de mayores necesidades de oxígeno, así como el caudal de aire correspondiente a cada una de las temperaturas anteriores.

**Tabla 2.7:** Necesidades medias de oxígeno y aire en el tratamiento biológico, durante la época de carga media.

T	Demanda de oxígeno	Caudal de aire
13 °C	53 kg O <sub>2</sub> / h	1275 m <sup>3</sup> / h
16 °C	55 kg O <sub>2</sub> / h	1310 m <sup>3</sup> / h
20 °C	55 kg O <sub>2</sub> / h	1300 m <sup>3</sup> / h
23 °C	55 kg O <sub>2</sub> / h	1288 m <sup>3</sup> / h

### 2.1.9. Decantador secundario

Una vez finalizado el tratamiento biológico, el agua pasa al decantador secundario, donde se separan los fangos producidos como consecuencia de la actividad de los microorganismos. El agua así decantada constituye ya el efluente depurado.

El decantador secundario consiste en una unidad circular de 14,0 m de diámetro interior y 3,0 m de altura cilíndrica, con 154 m<sup>2</sup> de superficie de decantación y 482 m<sup>3</sup> de volumen.

Así, el tiempo de retención a caudal medio es de 6 horas 48 minutos (6,8 horas); y a caudal máximo, de 3 horas 36 minutos (3,6 horas). La velocidad de vertido a caudal medio es de 1,61 m<sup>3</sup>/h·m; y a caudal máximo de 3,02 m<sup>3</sup>/h·m. La velocidad ascensional a caudal medio es de 0,46 m/h; y a caudal máximo de 0,86 m/h.

En la siguiente tabla se muestran los valores recomendados para los parámetros de diseño de un decantador secundario de fangos activos procedentes de un tratamiento de aireación prolongada:

**Tabla 2.8:** Parámetros de diseño típicos de un decantador secundario.

Parámetro	Caudal medio	Caudal máximo
Velocidad de vertido ( $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ )	$\leq 4,0$	$\leq 9,0$
Carga de sólidos ( $\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{día}$ )	$\leq 4,2$	$\leq 7,0$
Tiempo de retención (h)	$\leq 3,6$	$\leq 1,7$
Velocidad ascensional (m/h)	$\leq 0,7$	$\leq 1,5$

La entrada de agua al decantador es similar a la del decantador primario, al igual que el sistema de arrastre de lodos sedimentados, grasas y flotantes.

El agua sale a través de un vertedero de 44 m de longitud provisto de una pantalla de flotantes, para pasar a continuación a un canal periférico y a la arqueta de salida. De la arqueta de salida, el agua se vierte directamente al río. Además, de la misma arqueta se toma agua mediante una conducción para alimentar el depósito de agua de servicios de la propia estación depuradora.

## 2.2. Línea de fangos

En la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Cariñena, se generan dos tipos de lodos según la época del año.

Así, en el tratamiento de coagulación – floculación, operativo únicamente en temporada de máxima carga (período de vendimia y primeros trasiegos), los lodos se generan como consecuencia de la desestabilización de la materia coloidal presente en el agua residual, producida por la adición de agentes reactivos, como el cloruro férrico. De esta forma, se generan flóculos de materia orgánica, materia viva y materia inorgánica que se separan del decantador primario.

Sin embargo, en el tratamiento biológico, los fangos están constituidos por el tejido celular formado debido a la actividad de los microorganismos del agua residual, que actúan sobre la materia carbonosa suspendida, coloidal y disuelta, convirtiéndola en gases y nuevo tejido celular.

Salvo en los procesos de aireación prolongada, los lodos precisan de un tratamiento posterior a su estabilización, tanto para su aprovechamiento como para su eliminación.

Por tanto, la línea de fangos de la E.D.A.R. de Cariñena consta de las siguientes instalaciones:

- Sistema de bombeo de fangos.
- Cámara de estabilización de fangos primarios.
- Unidad de espesado de fangos.
- Unidad de secado de fangos.

### **2.2.1. Bombeo de fangos primarios**

Los lodos primarios, procedentes del tratamiento físico – químico, son purgados periódicamente del decantador primario. De ahí, son descargados en un pozo de bombeo desde el cual se impulsan al espesador de fangos previa estabilización con hidróxido cálcico.

La producción total de fangos primarios, en temporada de carga máxima, es de 512 kg/día. La concentración de sólidos en los fangos purgados es de un 2%. Por tanto, el caudal de fangos a purgar es de:

$$Q = \frac{512 \text{ kg/día}}{0,02 \times 1.000 \text{ kg/m}^3} = 25,6 \text{ m}^3/\text{día}$$

Las bombas de fangos funcionan automáticamente según el nivel de los depósitos de aspiración, y conforme a la señal recibida de dos sondas de nivel de máximo y mínimo. El grupo de bombeo consta de dos motobombas sumergibles, una de ellas de reserva, que proporcionan un caudal unitario de 15 m<sup>3</sup>/h.

## 2.2.2. Bombeo de fangos secundarios

A la cámara de bombeo de fangos secundarios llegan los fangos procedentes del decantador secundario. En dicha cámara se alojan dos grupos de bombas: las de recirculación y las que impulsan los fangos en exceso.

En un proceso biológico por lodos con nitrificación y desnitrificación, es imprescindible recircular lodos secundarios decantados al tratamiento de aireación para recuperar la actividad de las bacterias aeróbicas y poder mantener en aireación la concentración idónea de lodos activados.

Como seguridad de funcionamiento, se utiliza una recirculación igual o superior al 150% del caudal medio de agua bruta, es decir, un caudal mínimo de fangos a recircular de  $106\text{ m}^3/\text{h}$ .

La recirculación se realiza, por tanto, mediante dos grupos de motobombas, que impulsan un caudal medio unitario de  $75\text{ m}^3/\text{h}$ . Estas bombas impulsan el lodo hasta la arqueta de entrada a los tanques de aireación.

Dado que en el tratamiento biológico también se producen lodos en exceso, es necesario evacuarlos. El punto de extracción de fangos secundarios en exceso se encuentra en el mismo pozo de bombeo de la recirculación. Se evacuación se realiza mediante grupos de bombeo, uno de ellos en reserva, aptos para un caudal unitario de  $15\text{ m}^3/\text{h}$ . Mediante este grupo de bombeo se conducen fangos en exceso hasta la entrada del espesador.

## 2.2.3. Espesador de fangos

Los fangos extraídos del decantador primario, junto a los fangos biológicos en exceso, alimentan el espesador por gravedad, consistente en una unidad cilíndrica cubierta de fondo troncocónico, con un diámetro de 8 metros y un volumen de  $181\text{ m}^3$ .

En temporada de carga media, el tipo de fango a espesar es únicamente fango procedente del tratamiento biológico, estabilizado aeróbicamente. Sin embargo, en temporada de carga máxima, el tipo de fango a espesar es una mezcla de fango primario procedente de la precipitación química y fango secundario.

El fango procedente del decantador primario se introduce con lechada de cal en la cámara de mezcla de fangos, situada en la parte superior del espesador. De esta forma se consigue la estabilización de los fangos primarios. Dicha cámara de mezcla está equipada, además, con un agitador para garantizar la mezcla. El fango así dosificado se lleva mediante tubería a la corona central del espesador. Asimismo, los fangos en exceso del tratamiento biológico se bombean directamente a esta corona de distribución del espesador.

El espesamiento de los lodos desde una concentración aproximada del 1,2% hasta una concentración final igual al 3,0%, se efectúa en el tanque circular, dotado con sistemas de paletas amasadoras y concentraciones verticales, así como de otras barredoras de fondo, que arrastran los fangos para su evacuación a una tolva de recogida situada en la zona central del espesador.

El líquido sobrenadante se recoge en un vertedero periférico, a través del cual pasa a un canal desde el que se envía a la arqueta más próxima a la red de sobrenadantes, para su posterior recirculación a la cabecera de la planta.

Para la impulsión del fango concentrado al equipo de secado se utilizan dos grupos de motobombas autoaspirantes de caudal variable de hasta 6 m<sup>3</sup>/h.

## 2.2.4. Equipo de secado

Una vez concluido el espesado de los fangos, estos se conducen hasta el equipo de secado. Para el proceso de deshidratación de fangos se ha instalado un filtro de banda continua.

Los filtros banda son dispositivos de alimentación continua que incluyen el acondicionamiento química, el drenaje por gravedad y la aplicación mecánica de presión para deshidratar el fango.

El reactivo empleado para el acondicionamiento del fango a deshidratar es polielectrolito. La solución de polielectrolito al 0,50 % se prepara en un equipo compacto con capacidad de 850 litros, desde donde se envía al filtro de banda con dos grupos motobombas, uno de ellos en reserva, de caudal variable. Antes de su entrada al filtro, se realiza una dilución de la solución de polielectrolito al 0,1 %.

La cantidad de polielectrolito a dosificar para este tipo de fango es de 4 kg por tonelada de sólidos como materia seca.

Una vez realizado el acondicionamiento del fango, éste es introducido en primer lugar a una zona de drenaje por gravedad, donde se produce su espesado. En esta fase, la mayor parte del agua libre se elimina por gravedad.

A continuación del drenaje por gravedad, el fango pasa a una zona de baja presión donde es comprimido entre dos telas porosas opuestas. Esta zona de baja presión va seguida de otra de alta presión, en la que el fango se somete a esfuerzos tangenciales a medida que las bandas pasan a través de una serie de rodillos. Estos esfuerzos de prensado y tangenciales favorecen la liberación de cantidades adicionales de agua. La torta de fango deshidratado así obtenida, se separa de las bandas mediante rascadores.

El filtro de banda utilizado en la E.D.A.R. de Cariñena posee 1 m de ancho de banda y precisa un caudal de 7 m<sup>3</sup>/h para limpieza de telas.

La descarga de los lodos deshidratados se realiza mediante dos transportadores de tornillo, uno horizontal para recogida de fangos en el interior

del edificio y otro inclinado que los eleva a una tolva de almacenamiento. Esta tolva tiene un volumen de 25 m<sup>3</sup>, que permite una autonomía de almacenamiento de 8,4 días para la temporada de carga media, y 3,6 para la temporada de carga máxima.

Los líquidos filtrados y el agua de lavado se envían por gravedad hasta el pozo de bombeo de vaciados y sobrenadantes.

En la tabla 2.9 se muestran los rendimientos típicos obtenidos en este tipo de instalaciones:

**Tabla 2.9:** Rendimientos típicos de deshidratación en filtros banda.

	<b>Fango primario</b>	<b>Fango exceso (ox. prolongada)</b>
% sólidos en fango de entrada	3 – 7	1 -4
% sólidos en fango de salida	28 -40	12 -20
% sólidos escurridos	0,08 – 0,12	0,2 – 0,3
Consumo polielectrolito	3,5 – 5,0 kg/ton	5,0 – 6,5 kg/ton M.S.

En la tabla 2.10 se muestran las características de los sólidos secos obtenidos:

**Tabla 2.10:** Principales características de los fangos secos obtenidos en la E.D.A.R. de Cariñena.

	<b>Carga media</b>	<b>Carga máxima</b>
Carga específica de sólidos	135,2 kg/h·m	2190,0 kg/h·m
Sólidos en el fango seco	20 %	22 %
Densidad del fango seco	1150 kg/m <sup>3</sup>	1150 kg/m <sup>3</sup>
Volumen de fangos secos	3 m <sup>3</sup> /día	7 m <sup>3</sup> /día
Caudal de líquido filtrado	22,5 m <sup>3</sup> /día	45,2 m <sup>3</sup> /día
Caudal diario para limpieza	35 m <sup>3</sup> /día	56 m <sup>3</sup> /día

## 2.3. Instalación de reactivos

Las instalaciones que componen los equipos de almacenamiento, preparación, dosificación y aplicación de los distintos productos químicos que se utilizan se integran en un edificio general en la E.D.A.R. de Cariñena.

Los principales reactivos empleados en el proceso de depuración son:

- Cloruro férrico, utilizado en el tratamiento físico – químico.
- Polielectrolito, utilizado tanto en el tratamiento físico – químico como en el acondicionamiento del fango.
- Hidróxido cálcico, empleado en la estabilización de fangos primarios.

### 2.3.1. Instalación del cloruro férrico

Para el suministro de cloruro férrico se diseñó una instalación previendo el empleo de cloruro férrico líquido, de 1,430 g/l de densidad y con un 45% de riqueza.

La dosis media y máxima previstas son de 100 g/m<sup>3</sup> y 200 g/m<sup>3</sup> respectivamente, siendo el consumo del producto a caudal medio y máximo de 11 l/h y 62 l/h respectivamente.

El equipo de almacenamiento se diseñó según el consumo de cloruro férrico a caudal medio y dosis media, con una autonomía de 40 días. Por tanto, el volumen necesario fue de 10,56 m<sup>3</sup>.

El almacenamiento se realiza en depósitos verticales construidos en poliéster reforzado con fibra de vidrio y de dimensiones normalizadas. El volumen unitario del depósito utilizado en este caso es de 10 m<sup>3</sup>. Por tanto, la autonomía real para el consumo medio de cloruro férrico es de 37,9 días.

Este depósito de almacenamiento está situado en el exterior del edificio general de reactivos, en un cubo colindante a la arqueta de mezcla y floculación.

La aplicación del cloruro férrico se realiza mediante dos bombas dosificadoras, una de ellas en reserva, de 17 l/h, que conducen el producto comercial hasta las cámaras de mezcla de forma automática y proporcionalmente al caudal de agua de entrada al tratamiento físico-químico.

### **2.3.2. Instalación del polielectrolito**

Para el acondicionamiento del fango y como ayudante de floculación del agua residual urbana, el polielectrolito más adecuado es de carácter catiónico y aniónico, que generalmente es suministrado en estado sólido.

La alimentación del producto seco y la dilución primaria al 0,50% se efectúa en un grupo constituido por:

- Trola de almacenamiento de una capacidad superior a un día.
- Dosificador volumétrico de regulación manual que funciona como regulador de alimentación del producto.
- Sistema de pulverización del agua de dilución mediante rociadores especiales que impiden el aglutinamiento del producto. Este sistema está dispuesto de forma que la descarga del polielectrolito en polvo se produzca con retardo temporizado en relación con el aporte de agua de dilución, para evitar la formación de grumos.
- Cuba de preparación provista de electroaglutinadores de baja velocidad con una capacidad de 850 litros.

Para su utilización como acondicionador del fango espesado, es necesaria la realización de una segunda dilución al 0,10%.

### **2.3.3. Instalación de dosificación de cal**

La instalación de cal se utiliza para estabilizar los fangos primarios recogidos durante la época de máxima carga, ya que durante el resto del año,

los fangos se purgan únicamente del tratamiento biológico, de donde se extraen totalmente estabilizados.

Los sólidos contenidos en el fango primario a estabilizar son de 512 kg/día. Por tanto, teniendo en cuenta las dosis utilizadas, un 10% de dosis media y un 15% como dosis máxima, el consumo de cal puede variar hasta un máximo de 76,8 kg/día.

El hidróxido de calcio consumido en el proceso posee una riqueza comercial de un 90% y una densidad de almacenamiento de 700 kg/m<sup>3</sup>. Por tanto, el consumo real del producto comercial es de 57 kg/día a dosis media y 85 kg/día a dosis máxima.

El equipo de almacenamiento se diseñó según el consumo de hidróxido de calcio para la dosis media y para una autonomía de almacenamiento de 90 días. Así, el volumen mínimo requerido es de 7,33 m<sup>3</sup>.

En realidad, se adoptó un silo de almacenamiento de forma cilíndrica vertical, con fondo troncocónico, cuyo volumen es de 12 m<sup>3</sup>.

En la parte inferior del silo se encuentra el dosificador de cal, dotado con variador de frecuencia, de forma que dosifica la cal necesaria para la estabilización de los fangos, según la señal recibida. El rango de dosificación varía hasta un máximo de 50 kg/h.

El hidróxido de calcio se aplica en solución acuosa, por lo que es necesario una cuba de precipitación de lechada de cal. Ésta posee una capacidad de 750 litros, y está equipada con un electroagitador y sendas bombas de aspiración, una de ellas de reserva, de caudal variable entre 60 y 400 l/h.

### **3. Ampliación de la E.D.A.R. de Cariñena**

#### **3.1. Antecedentes administrativos**

Debido a la fuerte actividad industrial del municipio, con dos focos principales localizados en el Polígono Industrial La Veguilla por un lado y por otro en las bodegas de vino situadas en el casco urbano, la depuradora de Cariñena recibe vertidos de altas concentraciones de materia orgánica.

Con objeto de mejorar el tratamiento del caudal, así como la depuración de los vertidos de los núcleos de Paniza y Aguarón, la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Cariñena fue ampliada y re-acondicionada en 2008.

El organismo contratado por el Instituto Aragonés del Agua para la realización del estudio previo, el proyecto, la obra civil y la instalación de la totalidad de los equipos electromecánicos fue DAM Aguas.

La duración total de todos los puntos anteriores se estipuló en 18 meses, aunque se tardó 2 años hasta que fue posible la puesta en marcha de las nuevas instalaciones.

El coste de las obras corrió íntegramente a cargo del Instituto Aragonés del Agua, que en el momento de licitar la ampliación dispuso de un presupuesto de 2.926.047 €. El coste total resultante una vez finiquitadas las obras fue de 2.713.237 €.

Toda la información referente a la ampliación de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Cariñena contenida en este capítulo ha sido facilitada por José Ramón Huerta, responsable de la E.D.A.R. de Cariñena en DAM AGUAS.

#### **3.2. Descripción de la ampliación**

Básicamente, hubo dos líneas de ampliación. En primer lugar, se sustituyó el proceso físico – químico y el proceso biológico con aireación

prolongada, por un proceso biológico de doble etapa. Y en segundo lugar, se ampliaron diversos equipos a lo largo de toda la línea de depuración, tanto de aguas como de fangos.

El proceso de doble etapa se explica en el capítulo 1, en el apartado referente a los procesos biológicos aerobios. Básicamente consiste en dos etapas de reactor + decantador secundario, en las que se introduce el agua residual con diferentes cargas y con períodos de oxigenación distintos, favoreciendo el desarrollo de microorganismos y la oxidación biológica según convenga. Para economizar la obra, lo que se hizo fue trasformar la balsa de homogenización en reactor biológico.

Por otro lado, la ampliación del equipamiento de la E.D.A.R. afectó a toda la línea de depuración:

En primer lugar, se introdujo una nueva línea de pretratamiento, lo que incluye la instalación de una reja automática de gruesos, la ampliación del bombeo de cabecera, un segundo tamiz rotativo autolimpiable, la duplicación del canal de desarenado – desengrasado y la automatización del concentrador de grasas.

En segundo lugar, se construyó otro decantador de primera etapa, constituyendo un total de dos. También se construyeron 2 decantadores más de segunda etapa, además de la mencionada transformación de la balsa de homogenización en reactor biológico.

En tercer lugar, se introdujo un nuevo espesador de fangos, haciendo un total de dos. También se mejoró el sistema de bombeo intermedio de fangos primarios y secundarios, además de instalar y renovar caudalímetros a lo largo de toda la planta.

Por último, también se llevaron a cabo obras de adecuación en el edificio de generación de aire y en el de almacenamiento y dosificación de reactivos. También se actualizó la electrificación y la automatización de procesos, además de la ampliación de la urbanización que fue necesaria para llevar a cabo toda la obra.

Con todo ello, las instalaciones de la E.D.A.R. de Cariñena, a día de hoy son capaces de procesar un caudal total de 4000 m<sup>3</sup>/día, producidos por un total de 48.333 habitantes, teniendo en cuenta además la actividad industrial de la zona.

## **CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE LA E.D.A.R. DE CARIÑENA CON DESASS 1.1 ®**

### **1. Programa DESASS 1.1 para el diseño y simulación de plantas de fangos activados.**

#### **1.1. Breve descripción**

DESASS 1.1 ® es un simulador de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas configurado bajo Windows, diseñado y optimizado para la investigación de los procesos de eliminación materia orgánica y nutrientes, para el entrenamiento de personal y para propósitos educativos, con un particular énfasis en la velocidad de cálculo, presentación gráfica y fácil manejo.

DESASS 1.1 ® trabaja en un entorno intuitivo y permite evaluar esquemas completos de tratamiento de aguas residuales, tanto en la línea de agua como en la de fangos, pudiéndose representar desde sistemas tan sencillos como la eliminación de materia orgánica hasta procesos más complejos en los que se incorporan los esquemas de eliminación biológica de nitrógeno y fósforo.

El programa tiene implementado un algoritmo de modelación matemática basado en un modelo biológico general que incluye el modelo de fangos activados número 2 modificado (ASM2d) de la IAWQ (International Association on Water Quality), junto con un modelo de fermentación y digestión anaerobia de los fangos desarrollado por el grupo de investigación que desarrolló este programa. Incluye además la posibilidad de considerar los procesos biológicos que tienen lugar en los decantadores y espesadores junto con los procesos de sedimentación y compresión del fango.

Diseñado para un rápido y fácil uso, el programa posee muchas herramientas que permiten a ingenieros y operadores experimentar en un amplio intervalo de condiciones de operación, controlar las consecuencias de la modificación de estas condiciones, así como realizar estudios de sensibilidad sobre el proceso y comparar múltiples alternativas.

## 1.2. Características importantes

- Permite diseñar, simular y optimizar estaciones de tratamiento en su globalidad, puesto que están considerados la mayoría de procesos físicos químicos y biológicos que tienen lugar.
- Simula una gran variedad de configuraciones de plantas permitiendo fijar los volúmenes, dimensiones, caudales y concentraciones que van desde plantas de experimentación (piloto), hasta plantas de gran tamaño.
- Calcula las dimensiones y el funcionamiento de la planta en condiciones estacionarias y permite la simulación dinámica de variaciones de cargas (variación de carga en el agua residual influente, modificaciones en los caudales de recirculación y/o purga...), así como la introducción de condiciones iniciales en los reactores de fangos activados, en régimen transitorio.
- Consideración simultánea de varios esquemas de tratamiento en serie o en paralelo, obteniéndose una mayor flexibilización en las configuraciones de plantas.

- DESASS 1.1 ® es multiejecutable, es decir se puede ejecutar varias veces al mismo tiempo, permitiendo una rápida comparación de las diferentes alternativas de operación simuladas.
- Permite representar gráficamente tanto en régimen estacionario como en régimen transitorio, la evolución de las variables involucradas en los distintos procesos de tratamiento. Entre éstas se incluyen las concentraciones en los diferentes elementos de tratamiento de los componentes considerados en el modelo incluyendo la variación en función de la altura en los decantadores primarios, secundarios y espesadores.
- Comparación inmediata de resultados para condiciones de verano e invierno, en régimen estacionario.
- Rapidez en el cálculo numérico, tanto para régimen transitorio como estacionario.
- Diseño de los sistemas de aireación, mediante tres tipos de maquinarias (Difusores, Turbinas, Venturi).
- Incluye un módulo para la actualización de la base de datos de los sistemas de aireación.
- Contiene un módulo de control de las concentraciones de oxígeno disuelto en reactores de fangos activados y digestores aerobios basado en lógica difusa.
- Permite exportar los resultados mostrados en las pantallas de resultados a un archivo Excel (\*.xls).

### **1.3. Modelos utilizados**

#### **1.3.1. Modelo Biológico**

El modelo biológico utilizado considera 29 componentes y 38 procesos que incluyen los procesos biológicos de eliminación de materia orgánica, nitrógeno y fósforo del agua residual (propuestos por la IWA en el modelo ASM2d) junto con los procesos de hidrólisis, fermentación y digestión de los fangos, propuestos por el propio grupo de investigación.

El programa permite representar las situaciones de pH extremas que se suelen producir en los fermentadores y digestores aerobios, utilizando una metodología sistemática para el cálculo del pH en los distintos elementos de un esquema de tratamiento.

### **1.3.2. Modelo de sedimentación**

Para representar los procesos de sedimentación y espesado del fango, DESASS 1.1 ® tiene implementado un modelo de sedimentación basado en un modelo desarrollado en 1991 para la velocidad de sedimentación y modificado por un factor de compresión para tener en cuenta el proceso de compactación que se produce en el fondo de los decantadores y espesadores.

Se trata de un modelo unidimensional basado en la teoría del flujo que junto con el modelo biológico permite simular el comportamiento dinámico de los sistemas de fangos activados incluyendo el tanque de aireación y el decantador secundario. El modelo del decantador incluye las zonas de clarificación, sedimentación y compresión del fango, de forma que se pueden obtener no sólo las concentraciones de sólidos en el efluente y en la recirculación de fangos, sino también el perfil de concentraciones, mediante la división del decantador en capas horizontales. De esta manera, es posible conocer la posición del manto de fangos en cada momento y la capacidad de almacenamiento de fangos del decantador.

Para poder modelar los procesos biológicos que se producen en los decantadores se ha utilizado la misma estructura de cálculo que en los reactores de fangos activados, considerando las capas del decantador como una serie de reactores. La inclusión de este modelo en DESASS 1.1 ® permite la simulación de los procesos de desnitrificación que con frecuencia tienen lugar en los decantadores secundarios.

El modelo biológico de DESASS 1.1 ®, así como la nomenclatura utilizada para definir cada parámetro en el programa, viene detallado más adelante en su correspondiente capítulo.

## 1.4. Aplicaciones

El programa DESASS 1.1 ® se ha desarrollado de modo que se permita el cálculo tanto de las condiciones estacionarias (Diseño) como de condiciones transitorias (Simulación). Además, es una herramienta muy útil para el diseño de estrategias de control.

### Diseño

DESASS 1.1 ® permite el cálculo del estado estacionario para las condiciones de invierno y de verano simultáneamente, ofreciendo así una fácil comparación entre cada una de las estaciones. En régimen estacionario el programa desarrolla una solución basándose en las condiciones medias establecidas en planta, tales como calidad del agua de entrada, caudales de recirculación interna y de lodos, y demás.

### Simulación

En régimen transitorio el programa simula la evolución de la planta teniendo en cuenta la variación diaria en la entrada. También se puede realizar una simulación con entrada constante para ver cómo evoluciona el sistema frente a alguna modificación en las condiciones de operación.

También es posible establecer en condiciones de simulación la opción de incluir una variación temporal de los caudales de recirculación y de purga del fango de los decantadores. Esto permite probar distintas estrategias de operación frente a la entrada de puntas de carga y de caudal diarias, o frente a perturbaciones puntuales como puede ser el caso de un día de lluvia abundante.

Además, el programa tiene implementado un algoritmo de control de la aireación mediante lógica Fuzzy que permite diseñar y probar el controlador por simulación.

## Aplicaciones de Control

DESASS 1.1 ® permite diseñar estrategias para controlar el oxígeno disuelto, el amonio y el nitrato. Una característica muy importante es que los algoritmos de control se pueden implementar en una planta real sin más que sustituir los datos que actualmente se obtienen del modelo por las señales enviadas por los aparatos de medida.

Dado que es posible simular lo que sucede en estado transitorio DESASS 1.1 ® también permite optimizar la explotación de sistemas de fangos activados en funcionamiento.

Algunas posibilidades de optimización son:

- Disminuir la concentración de oxígeno en periodos de baja carga (concentraciones de amonio bajas)
- Disminuir la recirculación interna en periodos de baja carga para evitar una excesiva concentración de nitratos en el tanque anóxico.
- Establecer los valores de purga y de recirculación adecuados para mantener la concentración deseada de sólidos suspendidos, etc.

## 2. Modelo biológico de DESASS 1.1 ®

### 2.1. Introducción

DESASS 1.1 ® tiene implementado el modelo de eliminación biológica de nutrientes nº 1 (Biological Nutrient Removal Model, No.1, BNRM1; Seco et al., 2004). Este modelo se ha desarrollado utilizando una perspectiva novedosa en el campo de la modelación determinista de los procesos biológicos de depuración. La filosofía con la que se ha desarrollado este modelo consiste en la utilización de un único modelo para representar los procesos físicos, químicos y biológicos más importantes que tienen lugar en las estaciones depuradoras. Por lo tanto, el modelo BNRM1 puede utilizarse para diseñar y simular todas las operaciones básicas de una EDAR, permitiendo tener en cuenta los efectos combinados de los diferentes procesos de tratamiento. De esta forma el funcionamiento global de la EDAR puede ser optimizado.

El modelo considera los procesos físicos, químicos y biológicos más importantes que tienen lugar en una EDAR. Los procesos físicos considerados son: procesos de sedimentación y clarificación (sedimentación floculada, zonal y compresión), elutriación de los ácidos grasos volátiles y procesos de transferencia de materia entre las fases líquida y gaseosa. Los procesos químicos considerados comprenden las principales reacciones ácido base, asumiendo condiciones de equilibrio químico local e instantáneo para estos procesos. Los procesos biológicos considerados son: eliminación biológica de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

El modelo BNRM1 puede ser utilizado para el diseño, la simulación y la optimización de estaciones depuradoras que incluyan decantadores primarios, sistemas de fangos activados para la eliminación de materia orgánica nitrógeno y fósforo (incluyendo los procesos de desnitrificación en los decantadores secundarios), espesadores de gravedad, digestores de fango (aerobios y anaerobios), sistemas de generación de ácidos grasos volátiles por fermentación/elutriación de fango primario (fermentación en el decantador primario, en el fermentador o en el espesador y elutriación en el decantador

primario o espesador). El efecto de la recirculación a cabeza de planta del sobrenadante de la digestión aerobia o anaerobia puede ser tenido en cuenta simulando el proceso de deshidratación del fango mediante un simple balance de materia. Para conseguir un diseño realista y fiable de una estación depuradora es necesario tener en cuenta la carga de nitrógeno y fósforo recirculada a través del sobrenadadote de la deshidratación.

Los procesos incluidos en el modelo para la eliminación de materia orgánica, nitrógeno y fósforo se basan en los procesos considerados en el modelo de fangos activados nº 2d (Activated Sludge Model No.2d, ASM2d; Henze et al., 1999) con algunas modificaciones:

- El proceso de fermentación llevado a cabo por las bacterias heterótrofas ya no se considera porque las bacterias acidogénicas están incluidas en el modelo. Este proceso no estaba bien caracterizado en el ASM2d porque se asumía que lo llevaban a cabo las mismas bacterias heterótrofas responsables de la degradación de la materia orgánica en condiciones aerobias y anóxicas no estaba ligado a ningún proceso de crecimiento. Con la aproximación realizada en el modelo ASM2d, la velocidad del proceso de fermentación depende en gran medida de la concentración de bacterias heterótrofas y los valores descritos en la literatura para la velocidad específica de fermentación ( $q_{fe}$ ) presentan una gran variabilidad (Satoh et al., 2000). Dicha variabilidad puede evitarse separando las bacterias heterótrofas en dos grupos: bacterias anaerobias fermentativas y bacteria aerobias y facultativas.
- El componente alcalinidad, incluido en el modelo ASM2d como indicador de valores de pH excesivamente bajos, no se considera en el modelo BNRM1 porque se ha incluido un modelo químico capaz de calcular el pH en los procesos biológicos (Serralta et al., 2003). Este modelo químico supone la adición de dos nuevos componentes, carbono inorgánico y protón.
- Las funciones switch que modifican la velocidad de los procesos biológicos en función del valor de la alcalinidad se han sustituido por funciones switch dependientes del pH.

Los procesos incluidos en el modelo BNRM1 para representar el proceso de digestión anaerobia están basados en un modelo simplificado de dicho proceso de digestión. Los grupos de bacterias considerados en el modelo son: bacterias acidogénicas (responsables de los procesos de hidrólisis anaerobia de la materia orgánica lentamente biodegradable y fermentación de la materia orgánica fermentable), bacterias acetogénicas (responsables del proceso de acetogénesis de los ácidos grasos volátiles), bacterias metanogénicas hidrogenotróficas (responsables de la conversión del hidrógeno en metano) y bacterias metanogénicas acetoclásicas (responsables de la conversión del ácido acético en metano).

Aunque el modelo incluye 7 grupos de bacterias, las condiciones que prevalezcan en cada unidad de tratamiento (aerobias, anóxicas o anaerobias) determinarán qué grupos de bacterias pueden proliferar. Por ejemplo, en la digestión anaerobia de fango secundario, las bacterias heterótrofas, autótrofas y acumuladoras de polifosfatos no podrán desarrollarse, simplemente morirán a una determinada velocidad ( $b_H$ ,  $b_A$  and  $b_{PAO}$ , respectivamente) proporcionando la materia orgánica lentamente biodegradable para el proceso de digestión.

El modelo utilizado para representar los procesos de sedimentación (Ribes et al., 2002) consiste en un modelo unidimensional basado en la teoría del flujo de sólidos y en el balance de materia propuesto por Takács para la velocidad de sedimentación (Takács et al., 1991), corregida por una función para representar el fenómeno de compresión en las capas inferiores. Este modelo unido al modelo biológico permite tener en cuenta los procesos biológicos que tienen lugar en decantadores primarios y secundarios y espesadores de gravedad.

## 2.2. Componentes del modelo

El modelo considera un total de 27 componentes, 13 solubles ( $S_?$ ) y 14 particulados ( $X_?$ ). Todos esos componentes se definen a continuación.

## Componentes solubles, S

**S<sub>A</sub> (M<sub>DQOL-3</sub>):** Productos de la fermentación, se considera que solamente es acetato. Debido a que la fermentación se ha incluido como un proceso biológico, los productos de la fermentación se deben modelar separadamente de los otros componentes orgánicos solubles. Aunque se considera ser acetato, en la realidad es posible encontrar diferentes productos de la fermentación.

**S<sub>CH4</sub> (M<sub>DQOL-3</sub>):** Metano. Es el principal producto generado en los sistemas de digestión anaerobia.

**S<sub>F</sub> (M<sub>DQOL-3</sub>):** Sustratos orgánicos fácilmente biodegradables, fermentables. Es la fracción de la DQO soluble que está disponible directamente para la degradación por los organismos heterótrofos. Se asume que S<sub>F</sub> puede servir como sustrato para el proceso de fermentación.

**S<sub>H2</sub> (M<sub>DQOL-3</sub>):** Hidrógeno. Subproducto generado en los sistemas de digestión anaerobia, se forma en el proceso de fermentación pero en su mayoría es transformado en metano y dióxido de carbono.

**S<sub>I</sub> (M<sub>DQOL-3</sub>):** materia orgánica inerte. La principal característica de este elemento es que no puede ser degradado. Se asume que este elemento es parte del influente.

**S<sub>IC</sub> (M<sub>OLC-3</sub>):** Carbono inorgánico. Es la suma analítica de las concentraciones de carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). El ácido carbónico está en equilibrio con el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) disuelto, siendo la concentración de este último del orden de 100 veces superior a la de ácido carbónico. Por este motivo la concentración de CO<sub>2</sub> también se incluye en este componente.

**S<sub>N2</sub> (M<sub>NL-3</sub>):** nitrógeno gaseoso, N<sub>2</sub>. Se asume que solamente es un producto de la desnitrificación.

**S<sub>NH4</sub> (M<sub>NL-3</sub>)**: amonio más nitrógeno amoniacial. Para el balance de las cargas eléctricas, se asume que el S<sub>NH4</sub> es solamente NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, sin embargo, en la realidad está compuesto de NH<sub>3</sub>+ NH<sub>4</sub><sup>+</sup> -N.

**S<sub>NO3</sub> (M<sub>NL-3</sub>)**: nitrato más nitrito (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup> -N). Se asume que está compuesto por nitrato y nitrito, debido a que el nitrito no está incluido como un componente del modelo.

**S<sub>O2</sub> (M<sub>O2L-3</sub>)**: oxígeno disuelto.

**S<sub>PO4</sub> (M<sub>PL-3</sub>)**: fósforo soluble inorgánico, principalmente ortofosfatos. Para el balance de las cargas eléctricas, se asume que este componente está compuesto de un 50% de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> y un 50% de HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, independiente del PH.

**S<sub>PRO</sub> (M<sub>DqoL-3</sub>)**: Productos de la fermentación excluyendo el ácido acético. Se incluyen en este componente los ácidos grasos volátiles que se generan en el proceso de fermentación y que no pueden ser transformados directamente en metano (propiónico, butírico, valérico...). Para los cálculos estequiométricos se asume que S<sub>PRO</sub> equivale a propionato.

**S<sub>TH</sub> (M<sub>HL-3</sub>)**: Protón. Este componente representa la concentración total de protones en disolución, siendo la suma analítica de las concentraciones de protones libres en disolución (H<sub>+</sub>), y protones combinados formando parte de otras especies (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>...).

### Componentes particulados, X

**X<sub>ACET</sub> (M<sub>DqoL-3</sub>)**: bacterias acetogénicas. Son los organismos responsables de la transformación en ácido acético de los ácidos grasos volátiles que no pueden ser transformados en metano.

**X<sub>ACID</sub> (M<sub>DqoL-3</sub>)**: bacterias acidogénicas. Son los organismos responsables de la generación de ácidos grasos volátiles por fermentación y de la hidrólisis de la materia orgánica particulada en condiciones anaerobias.

**X<sub>AUT</sub> (M<sub>DQoL-3</sub>)**: organismos nitrificantes autótrofos. Son los responsables de la nitrificación. Se asume que estos organismos incluyen tanto las Nitrosomonas como las Nitrobacter.

**X<sub>H</sub> (M<sub>DQoL-3</sub>)**: organismos heterótrofos. Se asume que estos organismos pueden crecer en condiciones aerobias y anóxicas, utilizando como aceptor de electrones el oxígeno o el nitrato, respectivamente. Son los responsables de los procesos de hidrólisis de los sustratos particulados y pueden usar todos los sustratos solubles orgánicos degradables (S<sub>A</sub> y S<sub>F</sub>).

**X<sub>I</sub> (M<sub>DQoL-3</sub>)**: material orgánico inerte. Este material no se puede degradar. X<sub>I</sub> puede ser una fracción del influente o puede producirse dentro del proceso de lisis (muerte celular).

**X<sub>MAC</sub> (M<sub>DQoL-3</sub>)**: bacterias metanogénicas acetoclásicas. Estos organismos son anaerobios estrictos y son los responsables de la conversión del ácido acético en metano.

**X<sub>MH2</sub> (M<sub>DQoL-3</sub>)**: bacterias metanogénicas acetoclásicas. Estos organismos son anaerobios estrictos y son los responsables de la conversión del hidrógeno en metano.

**X<sub>NV</sub> (M<sub>SSTL-3</sub>)**: Sólidos suspendidos no volátiles. Este componente no participa en los procesos biológicos, únicamente se concentra por sedimentación.

**X<sub>PAO</sub> (M<sub>DQoL-3</sub>)**: organismos acumuladores de polifosfatos (PAOs). Se asume que estos organismos representan a todos los organismos acumuladores de polifosfatos. La concentración de X<sub>PAO</sub> no incluye los productos que se almacenan intracelularmente (X<sub>PP</sub> y X<sub>PHA</sub>).

**X<sub>PHA</sub> (M<sub>DQoL-3</sub>)**: es un producto almacenado intracelularmente en los organismos acumuladores de polifosfatos, PAOs. Éste incluye polihidroxialcanoatos (PHA), glicógeno, etc. Se sucede solamente asociado con X<sub>PAO</sub>, sin embargo, no está incluido en la masa de X<sub>PAO</sub>. Se asume tener la composición química de poli-hidroxibutirato, (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>)<sub>n</sub>.

**X<sub>PP</sub> (M<sub>PL</sub>-3):** polifosfato. El polifosfato es un producto almacenado intracelularmente en las PAOs. Se sucede solamente asociado con X<sub>PAO</sub>, sin embargo, no está incluido en la masa de X<sub>PAO</sub>. Forma parte del fósforo particulado. Se asume tener la composición química (K<sub>0.33</sub>Mg<sub>0.33</sub>PO<sub>3</sub>)<sub>n</sub>.

**X<sub>S</sub> (M<sub>DQO</sub>L-3):** sustrato lentamente biodegradable. Es un sustrato orgánico particulado y coloidal de alto peso molecular que necesita ser hidrolizado antes de estar disponible para la degradación. Se asume que los productos de la hidrólisis (S<sub>F</sub>) se pueden fermentar.

**X<sub>MEOH</sub> (M<sub>SST</sub>L-3):** hidróxidos metálicos. Este componente se añade al sistema para llevar a cabo el proceso de precipitación química del fósforo. Se asume que este componente está compuesto de Fe(OH)<sub>3</sub>. Es posible reemplazar este componente por otros reactivos.

**X<sub>MEP</sub> (M<sub>SST</sub>L-3):** fosfatos metálicos. Este componente resulta de la precipitación química del fósforo. Se asume que este componente está compuesto de FePO<sub>4</sub>.

**X<sub>TSS</sub> (M<sub>SST</sub>L-3):** sólidos suspendidos totales, SST. No son un componente del modelo pero se calcula su concentración a partir de los correspondientes factores estequiométricos.

### **3. Diseño con DESASS**

#### **3.1. Introducción**

Mediante la utilización del programa DESASS 1.1 ®, cedido por la Universidad de Zaragoza con objeto de la realización del presente proyecto, se pretende realizar un análisis de la E.D.A.R. objeto de estudio, que en este caso es la E.D.A.R. de Cariñena, para poder establecer un diseño y su consiguiente capacidad de depuración.

En la actualidad, la E.D.A.R. de Cariñena ha sufrido diversas modificaciones para adaptarse a las necesidades de depuración de la comarca en los últimos años. Por ello, el modelo de diseño que se propone va a corresponder con el utilizado en los últimos años (hasta 2010), que incluye las siguientes etapas: desbaste, desarenado – desengrasado, decantación primaria, sistema de aireación prolongada con nitrificación – desnitrificación simultánea, decantación secundaria, espesamiento y secado de fangos, es decir, no se tiene en cuenta las modificaciones realizadas entre 1998 y 2000 con objeto de su ampliación.

El objetivo es, por tanto, el diseño de la E.D.A.R. de Cariñena, incluyendo la elección de los tratamientos a utilizar en la línea de aguas y el cálculo de sus dimensiones con DESASS 1.1 ®, para la temporada de carga media. Mientras, se realiza un seguimiento de las corrientes, tanto de agua como de fango, del proceso de depuración.

#### **3.2. Limitaciones halladas en el programa DESASS 1.1 ®**

Antes de comenzar con el diseño y la simulación de la E.D.A.R. de Cariñena mediante el programa DESASS 1.1 ®, es preciso conocer las limitaciones que presenta este programa en lo que a la representación completa de una planta depuradora se refiere. Estas limitaciones han sido encontradas a lo largo de todo el tiempo de realización del presente proyecto, y conforme se iba avanzando en su desarrollo.

Se parte de la base teórica de que el programa DESASS 1.1 ® permite evaluar esquemas completos de tratamiento de aguas residuales urbanas, aunque en la práctica esta afirmación deja de ser cierta, ya que presenta algunas carencias en cuanto a la posibilidad de uso de ciertas unidades de depuración, no siendo posible la recreación íntegra de ciertos procesos.

Esto es debido a que el programa DESASS1.1 está enfocado y profundamente especializado en la recreación de procesos biológicos, tanto aerobios como anaerobios, siendo éste su punto fuerte; mientras que deja de lado otras operaciones, que si bien no son tan complejas, resultan básicas en un tratamiento de aguas residuales estándar.

En concreto, la carencia más importante a la que se hace referencia, es la inexistencia de la posibilidad de representación de un proceso normal de pretratamiento. Dentro de éste podemos distinguir procesos poco críticos como el desbaste de sólidos gruesos y el tamizado, que no van a modificar las propiedades químicas del influente; pero también otras unidades, como el desarenador o la cámara de grasas, que sí van a tener repercusión en las propiedades de la corriente de depuración y cuyos equipos son susceptibles de un estudio más en profundidad, ya que en ellos intervienen variables importantes como tiempo de retención, necesidad de inyección de aire, etc.

En segundo lugar, menos importante aunque de cierta influencia en la correcta representación virtual de la E.D.A.R. de Cariñena, está la ausencia de cámaras de mezcla, homogenización y/o coagulación – floculación. Si en la instalación real tenemos una unidad fabricada con el propósito de hacer de soporte a la adición de ciertos reactivos, agitación y línea de floculación, DESASS 1.1 ® no nos permite recrear dicho proceso de manera fiel, sino que obliga a disponer de un decantador primario como soporte para la adición de reactivos precipitantes o coagulantes.

Éstos anteriores son los ejemplos más claros de las limitaciones encontradas a la hora de diseñar la E.D.A.R. de Cariñena en el programa DESASS 1.1 ®. Hay más, y serán convenientemente señaladas llegado el

momento, en el capítulo referente a la descripción del diseño y la simulación virtual del proceso de depuración.

Con la información contenida en este capítulo no se pretende de ninguna manera descalificar el diseño del programa ni remarcar sus carencias, sino más bien recalcar el hecho de que, entre otras cosas, la esencia del presente proyecto radica en el descubrimiento de DESASS 1.1 ® y que, por tanto, ha sido necesaria una constante adaptación a las virtudes y defectos que éste nos ofrecía, con los replanteamientos correspondientes del enfoque dado al desarrollo del proyecto.

### **3.3. Diseño del modelo**

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de flujos del modelo de simulación adoptado en el estudio del comportamiento de la E.D.A.R. de Cariñena, que incluye el sistema de tratamiento completo previo a 2010, explicado en el proyecto de construcción de dicha E.D.A.R.

En él se pueden distinguir las siguientes líneas de proceso:

- Línea de aguas: color azul
- Línea de fangos: color marrón
- Línea de aire: color rosa
- Línea de recirculación de fangos: color verde

Las líneas de entrada y salida son todas aquellas que no conectan dos elementos, sino que tan sólo señalan un elemento (caso de entrada) o salen de un elemento (caso de salida). De este tipo, podemos distinguir las siguientes:

- Línea de entrada de aguas: color azul
- Línea de salida de aguas: color azul
- Línea de salida de fangos: color marrón
- Línea de salida de aire: color morado

Cada una de las unidades de proceso representadas en la figura, han sido modeladas según las especificaciones contenidas en el proyecto de construcción de la E.D.A.R. de Cariñena, y por tanto, según lo expuesto en el capítulo 2 del presente proyecto.

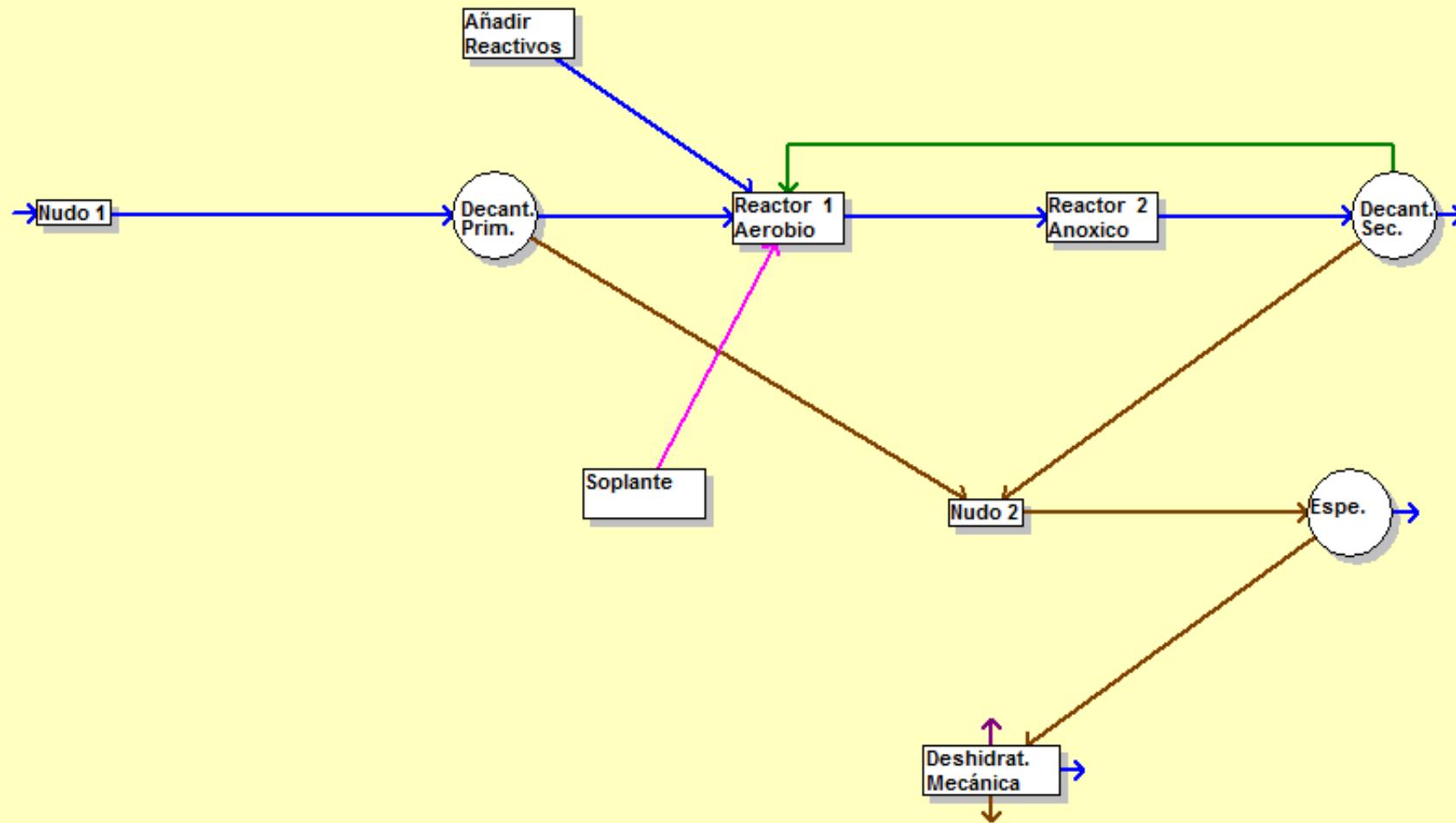


Figura 3.1: Diagrama de flujo del modelo.

Llama la atención el hecho de que el diagrama comience con la decantación primaria. La razón es que el programa DESASS 1.1 ® no contempla la posibilidad de realizar un pretratamiento (ver apartado “limitaciones encontradas”), por lo que éste será estudiado al margen del programa, y el caudal de entrada empleado para la simulación no será el de aguas brutas, sino el correspondiente que tendríamos a la salida de nuestro pretratamiento.

Lo mismo ocurre tanto con la balsa de homogenización como con la cámara de mezcla y coagulación – floculación. El programa no permite la recreación explícita de tales unidades, pero cubre la necesidad de adición de reactivos utilizando como sustrato otras unidades, en nuestro caso el sistema de reactores de fangos. Como veremos más adelante, el resultado es igualmente satisfactorio, utilizando el decantador secundario en vez del primario como sistema de precipitación.

Se comenzará con el diseño de la línea de pretratamiento, para después continuar con toda la representación efectuada en DESASS 1.1 ® tanto de la línea de aguas como de la de fangos, y finalizar con una recapitulación de las corrientes de entrada y salida.

### **3.3.1. Línea de aguas**

En este apartado se procede a la explicación tanto del proceso de pretratamiento seleccionado para el agua residual, como el resto de la línea de aguas del diseño virtual, que incluye una decantación primaria, y un proceso secundario de aireación prolongada con nitrificación – desnitrificación y decantación secundaria.

#### **3.3.1.1. Corriente inicial de entrada a la planta**

Antes de comenzar con el diseño del pretratamiento, es preciso conocer las características del agua influente a la estación depuradora. Para ello, se ha

recurrido a los estudios de caracterización del agua de la zona previo a la construcción de la E.D.A.R.

En la siguiente tabla (tabla 3.1) se presentan los valores de los distintos parámetros de caracterización del agua de la corriente de entrada a la planta.

**Tabla 3.1: Características del agua de entrada al tratamiento**

Parámetro	Cantidad (mg/l)
DQO	410
NTK	73
SST	430
P total	9,60
pH	7,5

Estos son los datos generales del agua que entra al proceso completo, incluyendo pretratamiento. Como se ha comentado previamente, el diagrama del modelo virtual con DESASS 1.1 ® comienza con el tratamiento primario, por lo que llegado el momento de abordarlo, se procederá de nuevo a describir la corriente que sale del pretratamiento y entra al decantador primario.

### **3.3.1.2. Desbaste de sólidos**

Debido a la naturaleza de las aguas residuales de Cariñena, con un importante componente industrial del sector agroalimentario, es necesario un tratamiento físico previo a la introducción de la corriente en la planta depuradora. Dicho tratamiento consistirá en un proceso de tamizado tal que posibilite la eliminación de residuos flotantes y sólidos gruesos en suspensión.

Como vimos en el capítulo 2 del presente proyecto, hay una gran variedad de equipos existentes en el mercado, y no existe una fórmula general de cálculo para la elección de uno en concreto.

La E.D.A.R. de Cariñena se diseña para un caudal medio horario de 71 m<sup>3</sup>/h, un caudal punta de 133 m<sup>3</sup>/h, y un máximo pluvial de unos 200 m<sup>3</sup>/h. Es por ello que a priori, cualquier unidad que nos permita tamizar dichos caudales sería apropiada para nuestra instalación.

Se opta por un tamiz rotativo autolimpiable de 1 mm de luz de malla, accionado por un motor de 0,55 kW como el mostrado en la figura 3.2. El tambor tendrá 633 mm de diámetro y 900 mm de longitud, lo cual nos permite una capacidad de tamizado de 260 m<sup>3</sup>/h, más que suficiente para las necesidades de la E.D.A.R. de Cariñena. El tambor produce una pérdida de carga en la corriente de entrada de 0,85 m. La figura 3.2 muestra el tamiz utilizado: el tambor da vueltas y la rasqueta acoplada desprende los sólidos gruesos desbastados.

**Tabla 3.2:** Dimensiones de la unidad de desbaste de la E.D.A.R. de Cariñena.

Dimensiones	mm
Diámetro del tambor rotativo	633
Longitud del tambor rotativo	900
Longitud total del equipo	1170
Anchura total del equipo	1220
Altura total del equipo	1350



**Figura 3.2:** Tamiz rotativo autolimpiable.

### **3.3.1.3. Desarenado – desengrasado**

A continuación es necesario un sistema de eliminación de los elementos en suspensión más pesados como arenas, arcillas, limos, y la separación de las grasas contenidas en las aguas residuales.

Esto se podría conseguir por separado mediante el uso de un sistema de desarenado y otro de desengrasado, pero se optará por un sistema combinado con preaireación. Dicho sistema aumenta el rendimiento de la flotación de grasas y, aunque disminuye el rendimiento de la sedimentación de arena, ésta se consigue mucho más limpia, ya que no separa partículas de fango de densidad baja o muy baja.

El sistema instalado consta de dos canales que actúan en paralelo, uno de fondo trapecial, y otro triangular. El primero da un volumen de unos  $27\text{ m}^3$ , y el segundo de unos  $11\text{ m}^3$ , consiguiéndose así un tiempo de retención de 33 minutos a caudal medio, y 12 a caudal máximo. Sus dimensiones se muestran en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3:** Dimensiones de la unidad de desarenado – desengrasado de la E.D.A.R. de Cariñena.

	Canal trapecial	Canal triangular
Longitud	6,00 m	6,00 m
Anchura máxima	1,50 m	1,00 m
Anchura mínima	0,70 m	-
Altura recta de agua a caudal máximo	2,70 m	1,20 m
Altura trapecial o triangular	0,50 m	1,30 m

El sistema de aportación de aire consta de dos soplantes, una de ellas en reserva absoluta, con un caudal de aire de  $120 \text{ m}^3/\text{h}$ . La inyección de aire y, por tanto, la formación de burbujas, se realiza mediante 8 difusores de burbuja gruesa situados en dos distribuidores. Las necesidades de aire, son de  $15 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ , es decir, la cantidad total de aire necesaria teniendo en cuenta los 6 m de superficie transversal total, es de  $90 \text{ m}^3/\text{h}$

La extracción de arenas se lleva a cabo mediante una bomba extractora de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  de caudal. Además, el sistema dispone de un puente rodante con rasquetas de superficie para el arrastre de grasas hacia la arqueta de recogida. A continuación, las arenas se llevan a un lavador; y las grasas a un concentrador.

A continuación se pasará a presentar el diseño en régimen estacionario de la instalación depuradora realizada con DESASS 1.1 ®.

### 3.3.1.4. Corriente de entrada al tratamiento primario y condiciones de salida

Lo primero que es necesario conocer antes de comenzar con el diseño de la planta mediante el programa es el caudal y las características del agua influente, así como los requisitos de salida. Recordar que debido a limitaciones

del software utilizado, sólo se diseña y simula la E.D.A.R. a partir del decantador primario.

El programa DESASS 1.1 ® permite introducir unos parámetros básicos de calidad de salida del agua, y detecta cuando se da el caso en el que el sistema de depuración es insuficiente para la eliminación de cualquiera de dichos parámetros.

En nuestro caso, se han introducido aquellos de acuerdo con la Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Por lo tanto, a la salida del decantador secundario, la corriente deberá responder a las siguientes condiciones de vertido (figura 3.3):

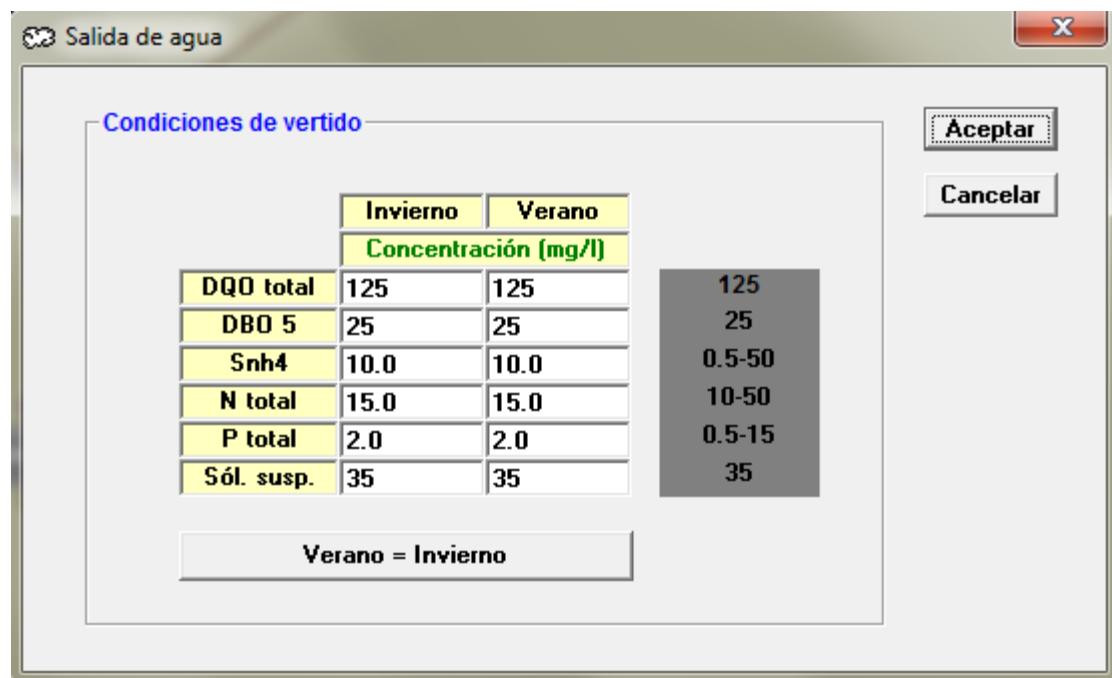


Figura 3.3: Condiciones de vertido del agua afluente, según la Directiva 91/271/CEE.

Por su parte, las propiedades de la corriente de entrada no se corresponden al 100% con la estudiada en el apartado de caracterización del agua bruta del Capítulo 2, sino que corresponde a la obtenida a la salida de nuestro proceso de pretratamiento.

DESASS 1.1 ® permite un alto nivel de detalle para la caracterización del agua residual influente (figura 3.4) por lo que no supuso ningún problema la

adaptación. La ventana está dividida en 3 pestañas: Dotaciones y temperatura, Cargas y Sedimentabilidad.

El significado de cada abreviatura dispuesta en la ventana de caracterización del agua puede comprobarse en el ANEXO 1 del presente proyecto: "Modelos biológicos de DESASS 1.1 ®".

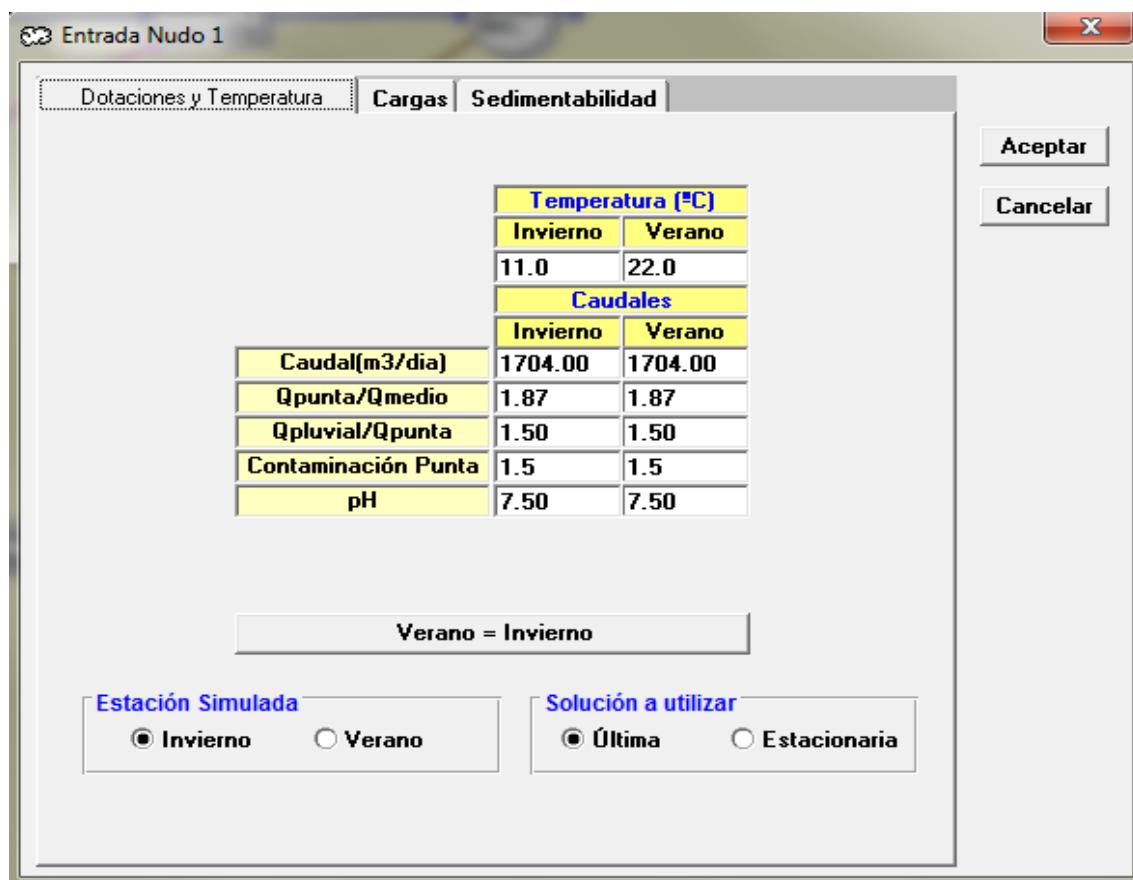


Figura 3.3: Caracterización del agua residual influente, pestaña de dotaciones y temperatura.

Entrada Nudo 1

Dotaciones y Temperatura		Cargas	Sedimentabilidad																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Cargas (mg/l)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Soluble</th> </tr> <tr> <th>Invierno</th> <th>Verano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>So2</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>Sf</td> <td>210.00</td> </tr> <tr> <td>Sa</td> <td>40.00</td> </tr> <tr> <td>Snh4</td> <td>40.00</td> </tr> <tr> <td>Sno3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Spo4</td> <td>9.60</td> </tr> <tr> <td>Si</td> <td>30.00</td> </tr> <tr> <td>Alcalinid.</td> <td>250.00</td> </tr> <tr> <td>Sn2</td> <td>32.24</td> </tr> <tr> <td>Spro</td> <td>5.00</td> </tr> <tr> <td>Sh2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sch4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sco2</td> <td>0.29</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Agua Residual Doméstica</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Constantes Estequiométricas</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <input checked="" type="checkbox"/> Sin Curva de Datos         </td> </tr> </tbody> </table>		Cargas (mg/l)		Soluble		Invierno	Verano	So2	0.01	Sf	210.00	Sa	40.00	Snh4	40.00	Sno3		Spo4	9.60	Si	30.00	Alcalinid.	250.00	Sn2	32.24	Spro	5.00	Sh2		Sch4		Sco2	0.29	Agua Residual Doméstica		Constantes Estequiométricas		<input checked="" type="checkbox"/> Sin Curva de Datos		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Cargas (mg/l)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Suspendida</th> </tr> <tr> <th>Invierno</th> <th>Verano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Xi</td> <td>75.00</td> </tr> <tr> <td>Xs</td> <td>360.00</td> </tr> <tr> <td>Xh</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Xpao</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Xpp</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Xpha</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Xaut</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Xtss</td> <td>344.50</td> </tr> <tr> <td>Xmeoh</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Xfep</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Xnv</td> <td>40.00</td> </tr> <tr> <td>Xacid</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Xpro</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Xmac</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Xmh2</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Cargas (mg/l)		Suspendida		Invierno	Verano	Xi	75.00	Xs	360.00	Xh		Xpao		Xpp		Xpha		Xaut		Xtss	344.50	Xmeoh		Xfep		Xnv	40.00	Xacid		Xpro		Xmac		Xmh2	
Cargas (mg/l)																																																																												
Soluble																																																																												
Invierno	Verano																																																																											
So2	0.01																																																																											
Sf	210.00																																																																											
Sa	40.00																																																																											
Snh4	40.00																																																																											
Sno3																																																																												
Spo4	9.60																																																																											
Si	30.00																																																																											
Alcalinid.	250.00																																																																											
Sn2	32.24																																																																											
Spro	5.00																																																																											
Sh2																																																																												
Sch4																																																																												
Sco2	0.29																																																																											
Agua Residual Doméstica																																																																												
Constantes Estequiométricas																																																																												
<input checked="" type="checkbox"/> Sin Curva de Datos																																																																												
Cargas (mg/l)																																																																												
Suspendida																																																																												
Invierno	Verano																																																																											
Xi	75.00																																																																											
Xs	360.00																																																																											
Xh																																																																												
Xpao																																																																												
Xpp																																																																												
Xpha																																																																												
Xaut																																																																												
Xtss	344.50																																																																											
Xmeoh																																																																												
Xfep																																																																												
Xnv	40.00																																																																											
Xacid																																																																												
Xpro																																																																												
Xmac																																																																												
Xmh2																																																																												
		<input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Cancelar"/>																																																																										
		<input type="button" value="Datos Curva"/> <input type="button" value="Gráficos"/>																																																																										

Figura 3.4: Caracterización del agua residual influente, pestaña de cargas

Como se puede observar, en el caso de las dotaciones y temperatura se han adoptado los valores correspondientes al estudio de caudales realizado antes del proyecto de construcción de la E.D.A.R. de Cariñena debidamente señalados en el capítulo 2 del presente proyecto.

En cuanto a las cargas, vemos que han sido ligeramente modificadas: tanto los sólidos en suspensión totales como la fracción de aceites y grasas se han visto reducidas por acción del pretratamiento. Llama la atención asimismo los valores adaptados en cuanto al contenido en nitrógeno (Snh4 y Sn2) y fósforo (Spo4), mucho más altos que los determinados en las campañas de muestreo presentadas en el capítulo 2 del presente proyecto.

En cuanto a los parámetros de sedimentabilidad del fango, se han establecido unos estándares de trabajo para toda la representación.

Se recuerda que toda la nomenclatura utilizada por el programa se corresponde con su modelo biológico, y viene recogida en el ANEXO 1 del presente proyecto.

Pasando al estudio del diagrama de flujo, las unidades de proceso que podemos distinguir son: nudos, decantador primario, adición de reactivos, reactores de fangos, soplante, decantador secundario, espesador y deshidratación mecánica.

### **3.3.1.5. Nudos**

Los nudos son simples unidades que sirven para unir distintas corrientes o para bifurcarlas. De un nudo pueden entrar y salir varias líneas. El criterio de diseño del nudo es muy simple, sólo se deben fijar los porcentajes de caudal para cada una de las líneas de salida. La suma de todos los porcentajes de caudal en las líneas que salen del nudo debe ser igual al 100%.

En nuestra representación podemos encontrar 2, aunque en ninguno de los casos la corriente se bifurca, por lo que su diseño es muy sencillo: el 100% de lo que entra, discurrirá por una única salida. En el primero (Nudo 1) la corriente sale al decantador primario; en el segundo (Nudo 2) la corriente sale al espesador de fangos.

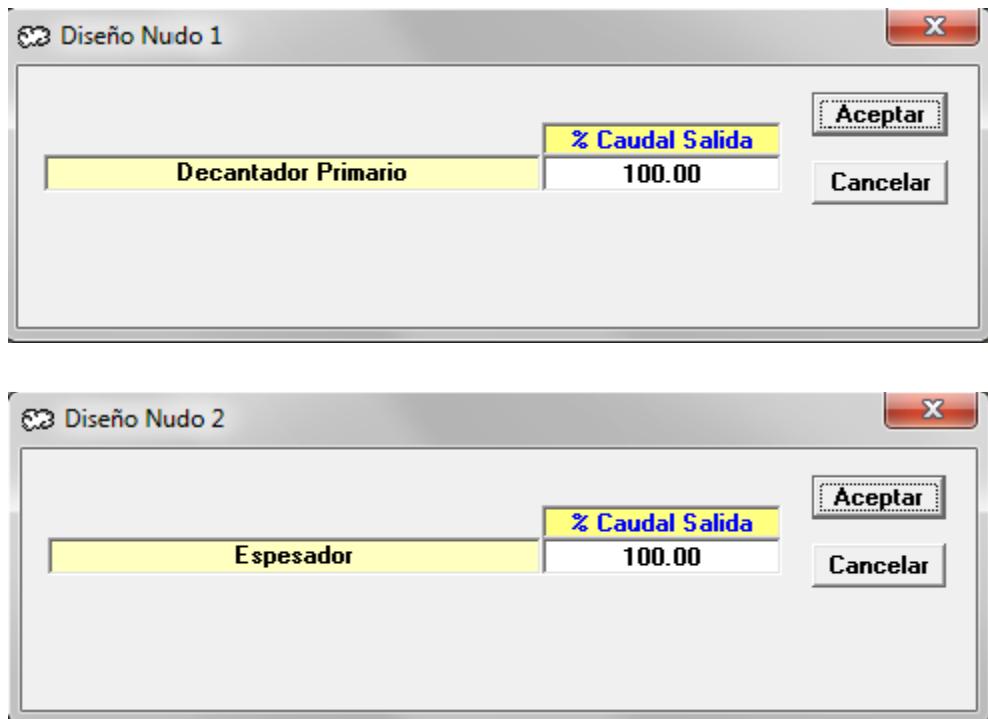


Figura 3.5: Ventana de diseño de los nudos.

### 3.3.1.6. Decantador primario

Como ya hemos comentado anteriormente, el proceso de precipitación química mediante la adición de cloruro férrico en una cámara de mezcla y decantación no se puede representar como tal en DESASS 1.1 ®. Ese proceso lo simulamos en la etapa secundaria del proceso, mediante la adición del reactivo en un reactor biológico y utilizando el decantador secundario como unidad de precipitación.

Es por ello que el primer elemento que nos encontramos en el proceso simulado es el decantador primario.

Por medio de la decantación primaria se elimina gran parte de los sólidos suspendidos del influente. Asociado a esta eliminación de sólidos suspendidos se produce la eliminación de la materia orgánica suspendida, con lo que se disminuye tanto los sólidos suspendidos (SS) como la DBO<sub>5</sub> y la DQO en el efluente del decantador primario.

En la figura 3.6 mostramos la ventana de diseño del decantador primario. En la pestaña “General”, el usuario impone unos valores mínimos de tiempo de retención hidráulico, carga hidráulica, y carga sobre el vertedero sobre los cuales trabaja el programa. En nuestro caso hemos dejado el valor mínimo posible para que se calculen sin ninguna limitación de diseño. El número de unidades designado es 1.

A continuación existe la opción de cálculo con parámetros de sedimentabilidad o no. Si la opción está activada, el programa utiliza el modelo de sedimentación previamente comentado (ver apartado “Programa DESASS 1.1 ®, del capítulo 3 del presente proyecto), debiéndose establecer el porcentaje del caudal de entrada que se extrae por el fondo del decantador (Purga). El caudal de purga de fangos se ha establecido en 25,6 m<sup>3</sup>/día; y el caudal de entrada al decantador es de 1704 m<sup>3</sup>/día, todo ello en base al proyecto de construcción de la E.D.A.R. de Cariñena, dispuesto en el capítulo 2. La división nos da como resultado el valor expuesto.

No seleccionamos la opción de elutriación de fango ya que no contemplamos la posibilidad de realizar repetidos lavados ni deseamos establecer una recirculación en esta primera decantación.

Diseño Decantador Primario

General | Geometría | Eliminación | Parámetros |

	Q Medio	Q Punta	
Tiempo de retención (h)	2.00	1.00	$\geq 2.0, \geq 1.0$
C. Superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h) a 20°C	1.30	2.50	$\leq 1.3, \leq 2.5$
Carga sobre vertedero (m <sup>3</sup> /m/h)	10.00	40.00	$\leq 10, \leq 40$

Nº de Unidades: 1

Concentración Fangos Producidos (KgSS/m<sup>3</sup>): 50

Utilizar Solución Anterior

Cálculo Con Parámetros de Sedimentabilidad

	Invierno	Verano
Qextractión Fangos Decantador/Qentrada:	0.01560	0.01560

Con Elutriación del Fango

Procesos Biológicos

	Invierno	Verano
Caudal Purga (m <sup>3</sup> /día)	26.58240	26.58240

Diseño       Simulación

Figura 3.6: Diseño del decantador primario, pestaña general.

En la siguiente pestaña, “Geometría”, simplemente seleccionamos la opción de geometría circular, el resto lo calculará el programa (figura 3.7).

En las pestañas “eliminación” y “parámetros” se establecen valores numéricos para ciertas propiedades tanto de dimensionamiento del decantador (altura de alimentación, número de capas, etc.), como del fango de entrada para cálculos relacionados con la sedimentación. Para todos ellos se han considerado valores estándar que el programa trae implantados.



Figura 3.7: Diseño del decantador primario, pestaña de geometría.

Con todas estas premisas, se procede a la presentación de la resolución del decantador primario. DESASS 1.1 ® presenta un total de 6 pestañas en la resolución: 3 de calidad del agua (total, elementos solubles S y elementos suspendidos X), diseño, fangos y características de funcionamiento. Todas ellas se muestran a continuación.

En primer lugar, en la figura 3.8 se muestra la ventana con los datos de calidad total de la corriente de salida del decantador. Tan sólo se muestran 4 parámetros generales: la DQO, el fósforo, el nitrógeno y los sólidos en suspensión totales. Hace falta comprobar la ventana de suspendidos y solubles para obtener datos más minuciosos (figura 3.9).

Se puede observar que tras el tratamiento de decantación, el parámetro reducido son los sólidos en suspensión. El resto permanece mayormente inalterado comparado con los expuestos en la figura 3.4.

Calidad de Agua Total		
	Invierno	Verano
DQO Total	415.73	415.82
P Total	7.02	7.03
N Total	27.62	27.62
SSTotales	103.47	103.46

Figura 3.8: Calidad del agua total a la salida del decantador primario.

Calidad de Agua Solubles				
Datos Entrada		Datos Salida		
	Inviero	Verano	Inviero	Verano
Caudales (m <sup>3</sup> /d)				
Medio	1704.00	1704.00		
Punta	3186.48	3186.48		
Pluvial	4779.72	4779.72		
Concentraciones (mg/l)				
Sf	210.00	210.00	210.06	210.14
Sa	40.00	40.00	40.00	40.00
Snh4	16.00	16.00	16.00	16.00
Sno3	0.00	0.00	0.00	0.00
Spo4	3.60	3.60	3.60	3.60
Si	30.00	30.00	30.00	30.01
Sn2	17.24	14.15	17.24	14.15
Ox. Dis.	0.00	0.00	0.00	0.00
Spro	5.00	5.00	5.00	5.00
Sco2	0.29	0.32	0.29	0.32
Sh2	0.00	0.00	0.00	0.01
Sch4	0.00	0.00	0.00	0.01
Calidad de Agua Suspendedos				
Datos entrada		Datos salida		
	Inviero	Verano	Inviero	Verano
Caudales (m <sup>3</sup> /d)				
Medio	1704.00	1704.00		
Punta	3186.48	3186.48		
Pluvial	4779.72	4779.72		
Concentraciones (mg/l)				
Xi	75.00	75.00	22.46	22.46
Xs	360.00	360.00	107.77	107.75
Xh	0.00	0.00	0.06	0.06
Xpao	0.00	0.00	0.06	0.06
Xpp	0.00	0.00	0.01	0.01
Xpha	0.00	0.00	0.03	0.03
Xaut	0.00	0.00	0.06	0.06
Xtss	344.50	344.50	103.47	103.46
Xmeoh	0.00	0.00	0.00	0.00
Xfep	0.00	0.00	0.00	0.00
Xnv	40.00	40.00	11.98	11.98
Xacid	0.00	0.00	0.06	0.06
Xpro	0.00	0.00	0.06	0.06
Xmac	0.00	0.00	0.06	0.06
Xmh2	0.00	0.00	0.06	0.06

**Figura 3.9:** Calidad del agua a la salida del decantador primario, detallando parámetros solubles y suspendidos.

En la ventana de diseño se muestran las condiciones de diseño del decantador primario necesarias para obtener un agua residual afluente con las propiedades obtenidas. Dichas condiciones se muestran en la figura 3.10, y resultan ser similares a las del decantador real construido en la E.D.A.R. de

Cariñena. También se muestran dos características de funcionamiento (el tiempo de retención hidráulico y celular) pero éstas vienen más detalladas en el apartado correspondiente (figura 3.12).

Diseño	
Unidades	1
Diámetro (m)	11.52
Calado (m)	3.00 (2.94)
Altura (m)	3.5
Volumen (m <sup>3</sup> )	313

	Invierno	Verano
T. retención hidráulico (h)	4.4	4.4
T. retención celular (días)	1.151974	1.152384

Figura 3.10: Diseño del decantador primario, elaborado por el programa.

La ventana de fangos (figura 3.11) nos muestra algunas características básicas del fango obtenido por decantación, y que sale por la parte inferior del tanque. Datos como la producción en kg/día, su concentración y su caudal nos permiten conocer la corriente que, unida a la de salida de fangos del decantador secundario, entrarán al espesador. Los datos obtenidos son idénticos a las propiedades del fango real obtenido en el decantador primario de la E.D.A.R. de Cariñena.

Fangos		
	Invierno	Verano
Producción (Kg SS/d)	412.5	409.1
Concentración (Kg SS/m <sup>3</sup> )	15.4	15.4
Caudal (m <sup>3</sup> /d)	26.6	26.6

Figura 3.11: Características de los fangos primarios.

Por último, la ventana de características de funcionamiento (figura 3.12) detalla el tiempo de retención, carga hidráulica y carga sobre el vertedero para temporada de caudal medio y caudal máximo. Aparecen junto a los criterios de diseño adoptados, que en nuestro caso fueron los mínimos para dar total

libertad al programa para elaborar el diseño de la unidad. Estas características también resultan ser muy similares a las de la instalación real de Cariñena.

	Caract. Funcionamiento		Criterios Diseño
	Invierno	Verano	
Carga hidráulica a $Q_m$ (m/h)	0.68	0.68	1.30
Carga hidráulica a $Q_{máx}$ (m/h)	1.91	1.91	2.50
$t$ de retención a $Q_m$ (h)	4.40	4.40	>2.00
$t$ de retención a $Q_{máx}$ (h)	1.57	1.57	>1.00
Carga s/vertedero a $Q_m$ (m <sup>2</sup> /h)	1.96	1.96	10.00
Carga s/verted. a $Q_{máx}$ (m <sup>2</sup> /h)	5.50	5.50	40.00

Figura 3.12: Características de funcionamiento del decantador primario.

### 3.3.1.7. Proceso de coagulación – floculación (añadir reactivos)

Como se ha comentado anteriormente, en la E.D.A.R. de Cariñena existe un proceso, previo a la decantación primaria, de precipitación química en una cámara de mezcla utilizando cloruro férrico como reactivo coagulante.

DESASS 1.1 ® no permite recrear de manera fiel esta etapa, pero sí permite una simulación similar, utilizando un reactor de fangos como sustrato para la adición del reactivo, y el decantador secundario como unidad precipitante.

En este apartado veremos la ventana de adición de reactivos y, aunque no se va a poder cuantificar su éxito en coagulación y floculación, en el apartado de decantación secundaria veremos que las propiedades de la corriente afluente responden a la existencia de este proceso, obteniendo un rendimiento muy satisfactorio, similar al que se obtendría en el proceso original. Además, el cloruro férrico interviene activamente en la eliminación del fósforo por precipitación química.

En nuestra simulación hemos elegido el reactor aerobio como destinatario de la corriente de cloruro férrico añadida. Más adelante veremos

que no importa cuál de los dos fuera, ya que ambos funcionan como un sistema grupal de reactores. La ventana de diseño se muestra en la figura 3.13.

La lista de reactivos está formada por distintos compuestos de hierro porque el ASM2 proporciona los valores de las constantes estequiométricas y cinéticas utilizando hierro como metal precipitante.

En primer lugar se ha de escoger el reactivo que se desea. Las otras dos opciones aparte del cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) son sulfato férrico  $[Fe(SO_4)_3]$  y el hidróxido férrico  $[Fe(OH)_3]$ . A continuación se han de introducir una serie de parámetros; dichos parámetros y el valor asignado se muestran asimismo en la figura 3.13. Para la cuantificación de cada uno de ellos nos hemos basado en el proyecto de construcción de la E.D.A.R. de Cariñena (Capítulo 2 del presente proyecto).

Las constantes estequiométricas de las reacciones que se dan al añadir el reactivo se han mantenido en sus valores estándar.

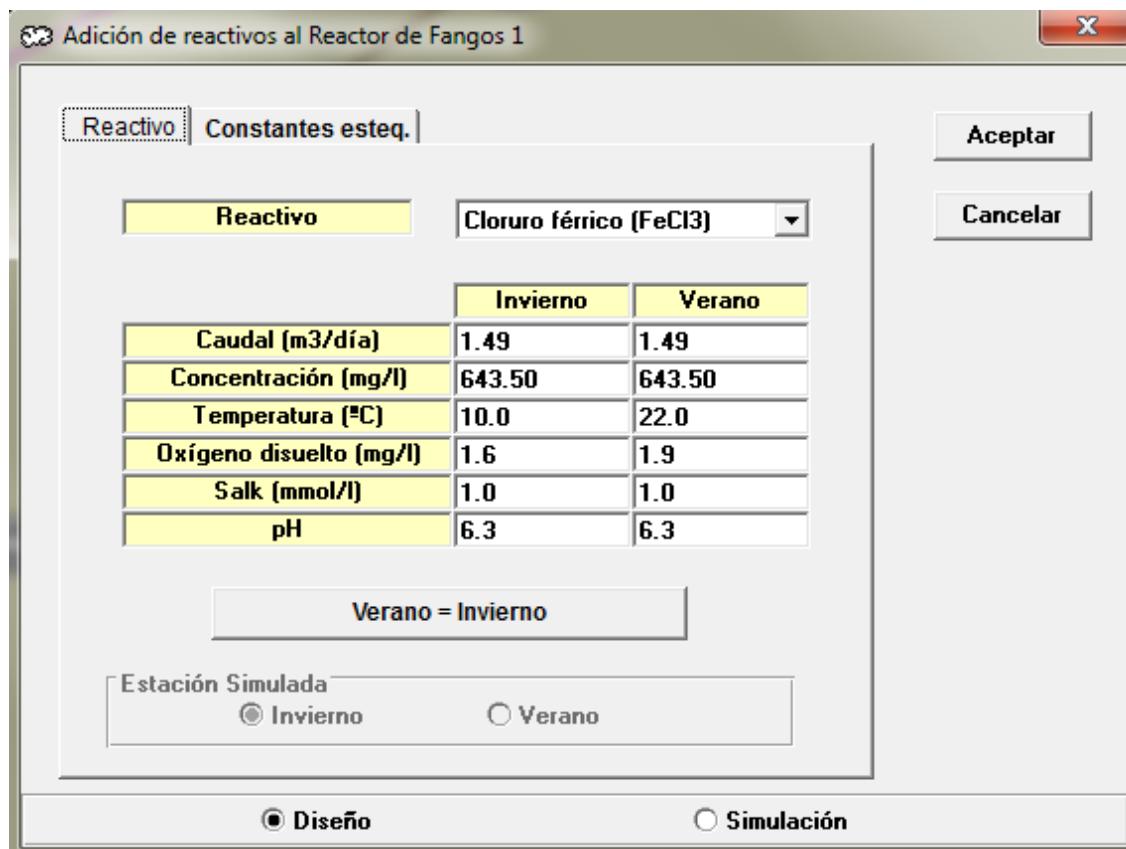


Figura 3.13: Ventana de adición de reactivos.

### 3.3.1.8. Reactores de fangos activados

El objetivo principal de los procesos de fangos activados es la eliminación de la materia orgánica biodegradable del agua residual. Adicionalmente, estos sistemas se utilizan para la eliminación por vía biológica de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) presentes en el agua residual.

Para facilitar el manejo operativo del reactor de fangos, DESASS 1.1 ® ha introducido el concepto de Grupo de reactores. Un Grupo de reactores es un conjunto de reactores de fangos activados conectados en serie y asociados a un decantador secundario en particular. Una vez configurado el sistema de fangos activados en la ventana de trabajo, el programa identifica el número de Grupos de reactores que se forman.

Este concepto agiliza la introducción de los criterios de diseño para un grupo de reactores y facilita la aplicación de las ecuaciones del modelo biológico para el diseño, ya que en la E.D.A.R. de Cariñena se dispone de dos cubas de aireación de 1.534 m<sup>3</sup> cada una, cuya fracción anóxica es de aproximadamente el 40%. Como veremos a continuación, esta circunstancia se puede reflejar fielmente en el programa.

La Figura 3.14 muestra la ventana de propiedades del elemento Reactor de fangos activados. Tal y como se puede observar, la ventana está subdividida en: General, Geometría, Aireación y Control.

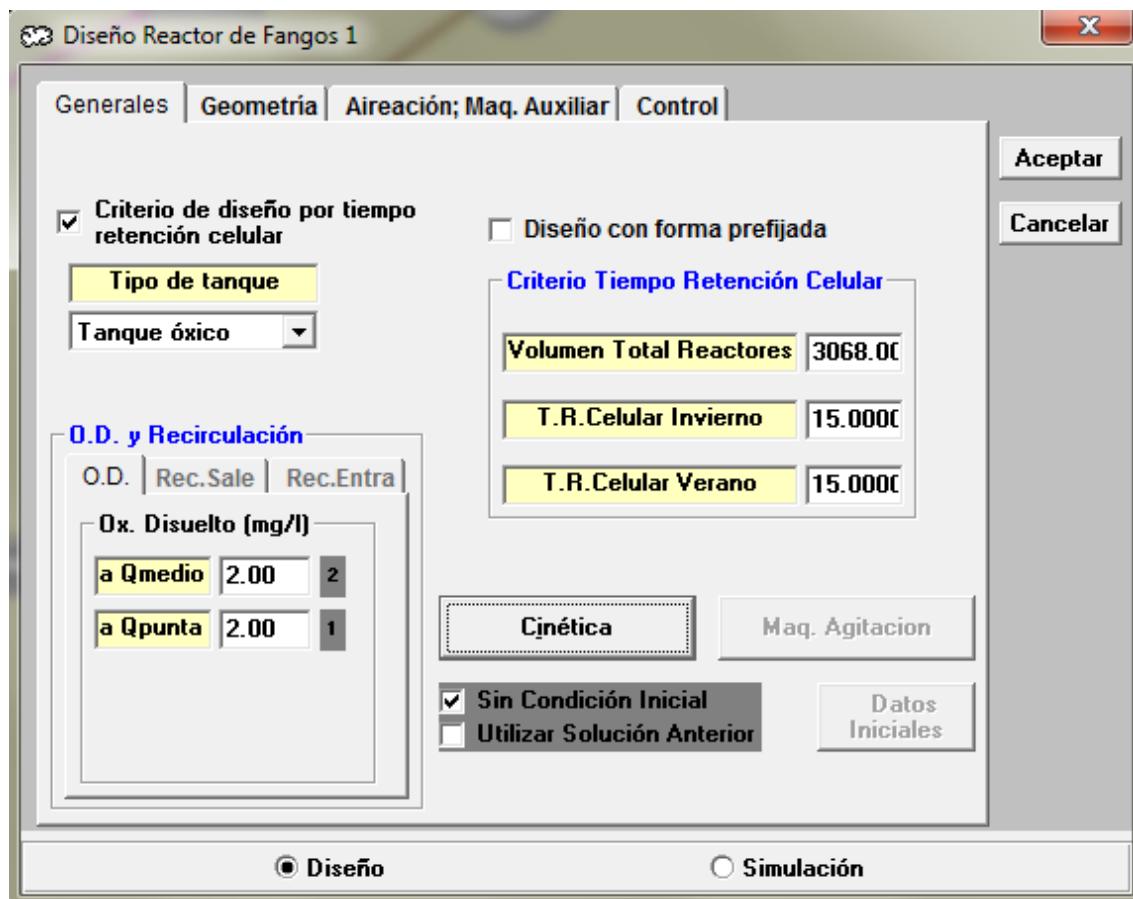


Figura 3.14: Diseño del reactor de fangos aerobio, pestaña general.

En condiciones estacionarias (caso Diseño) el cálculo del reactor se puede realizar tanto por el criterio de carga másica como por el de tiempo de retención celular. En nuestro caso se ha escogido el segundo, y como se puede observar se debe fijar el volumen del reactor de fangos y el tiempo de retención celular deseado para ambas estaciones. Ese va a ser nuestro criterio de diseño. Para la determinación de esos datos nos hemos basado en el proyecto de construcción de la E.D.A.R. de Cariñena.

El parámetro “volumen total de reactores” se refiere al total de todos los reactores biológicos, y en nuestro caso vamos a considerar  $2 \times 1534 \text{ m}^3$ . El tiempo de retención celular ( $\theta_c$ ) se ha estimado en 15 días, tanto para temporada de carga media como máxima, y para ambas estaciones (tabla 2.5).

Para este primer reactor, se ha escogido la opción “tanque óxico”, por lo cual se deben establecer asimismo las condiciones de oxígeno disuelto que se

desean en el tanque en condiciones media y punta. DESASS 1.1 ® impondrá esa concentración de oxígeno en la resolución de las ecuaciones del modelo biológico. Sin embargo, el funcionamiento del reactor dependerá de la concentración de nitratos calculada por las ecuaciones del modelo y no del tipo de tanque. Es por ello que se han dejado los parámetros estándar en caso de caudal medio, y vamos a forzar la aireación para que a caudal punta se mantengan iguales.

El botón “cinética” permite asignar valores a todas las constantes cinéticas de los procesos que intervienen en la oxidación biológica que tiene lugar en el reactor. El programa tiene la opción de asignar valores estándar a todas y cada una de ellas. Entre otros parámetros cinéticos, contempla las constantes heterótrofas, autótrofas, de hidrólisis, de las bacterias PAO, acetogénicas, acidogénicas, de precipitación, de temperatura, etc. En definitiva un nivel de detalle muy alto, pero para el presente proyecto se ha creído conveniente asignar los valores estándar del programa.

Para el reactor de fangos 2 (anóxico), la ventana de propiedades es casi idéntica, ya que como hemos comentado anteriormente, ambas actúan como un grupo de reactores (figura 3.15)

En este caso se añade una opción para la selección de la maquinaria de agitación, en la que se pueden elegir el número de agitadores por tanque, la marca, el modelo y la geometría del sistema agitador (hélices, por ejemplo). Esta selección está limitada a dos marcas con su correspondiente modelo. No es determinante.

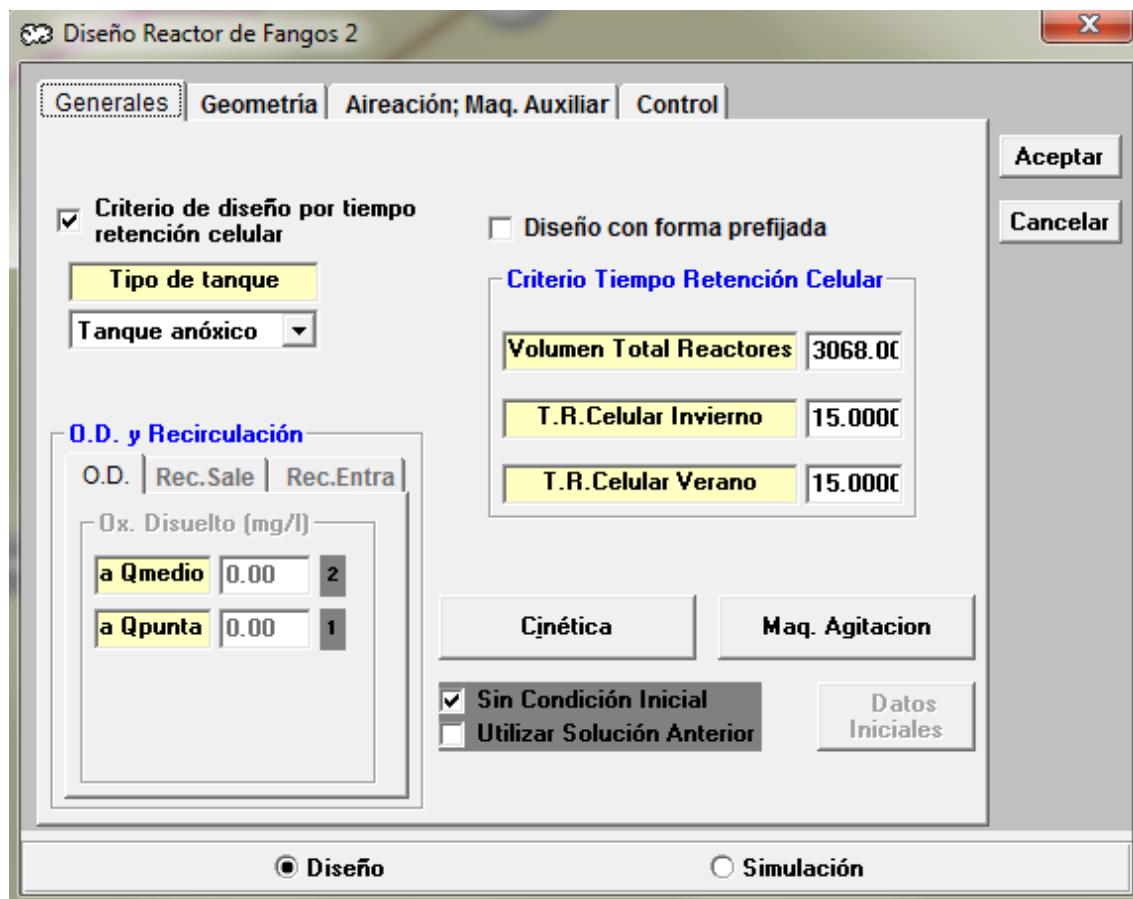


Figura 3.15: Diseño del reactor de fangos anóxico, pestaña general.

En cuanto a la pestaña de geometría (figura 3.16), es igual para ambos reactores (grupo de reactores). En ella se ha de determinar, en base al volumen total dispuesto en la pestaña general, el número total de unidades y el porcentaje del volumen total que representa cada tipo de reactor (aerobio y anóxico). En nuestro caso, el reactor aerobio representa el 60% y el anóxico el 40%, habiendo un total de 2 unidades (de  $1534\text{ m}^3$  cada una).

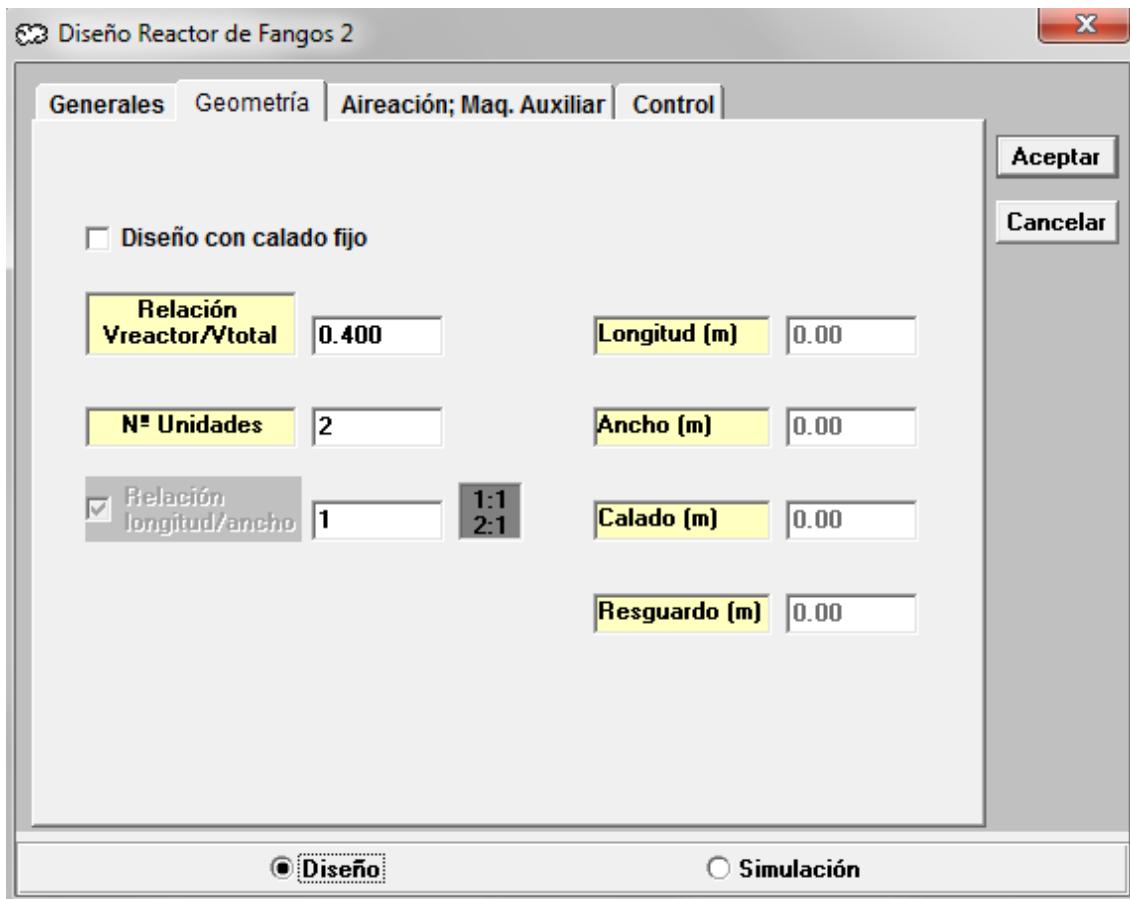


Figura 3.16: Diseño del reactor de fangos, pestaña de geometría (idéntica para ambos tipos de tanque).

La pestaña de aireación (figura 3.17) nos va a permitir seleccionar el tipo de sistema de inyección de oxígeno al reactor aerobio, así como establecer algunos parámetros respecto a la maquinaria auxiliar.

En primer lugar ponemos el aspa en “desea calcular la aireación”, y elegimos difusores como sistema de inyección (las otras opciones son turbinas o venturi radial). De esta manera, en la ventana de resultados referente a las características de funcionamiento, DESASS 1.1 ® calculará las necesidades de oxígeno para este sistema de aireación.

El uso de difusores requiere la presencia de una soplante en el esquema general de la instalación (ver figura 3.1). Las características de esta unidad se verán más adelante en el apartado “soplante”.

En la misma ventana podemos seleccionar asimismo la válvula de vaciado. Hay 5 marcas en total, entre manuales o motorizadas. No es determinante.

El botón aireación, por su parte, nos permite seleccionar algunos parámetros del sistema de aireación poco determinantes como la marca y el modelo. También se establecen algunas características generales que hacen referencia a las condiciones de trabajo: altura sobre el nivel del mar, salinidad, etc.

Con todo esto el programa calculará las necesidades de O<sub>2</sub> en el tanque de aireación.

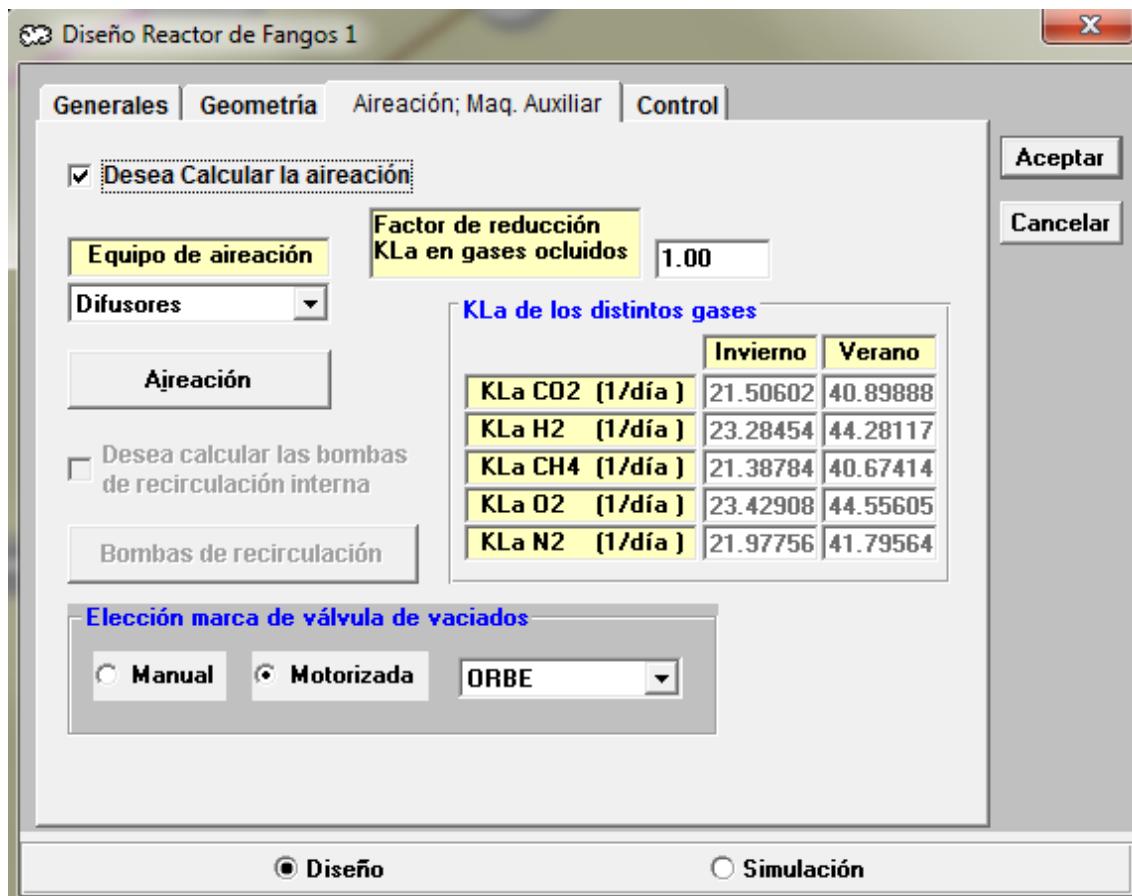
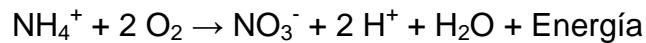


Figura 3.17: Diseño del reactor de fangos aerobio, pestaña de aireación.

Pasemos ahora a mostrar los resultados obtenidos por el programa para el tratamiento biológico, que incluye ambos reactores.

En este caso, se presentan 3 pestañas: la primera, como es habitual, de calidad de agua afluente, representándose tanto los parámetros de sólidos en suspensión como solubles. En segundo lugar, las características de funcionamiento, y por último las características de diseño del reactor.

En la figura 3.18 se muestran los parámetros de calidad del agua que sale del reactor aerobio. Llama la atención la disminución de la cantidad de nitrógeno amoniacial, sustituyéndose por nitrato. Esto es debido a que es en este tanque en el que ocurren los procesos de desnitrificación en presencia de oxígeno, según la siguiente reacción.



Calidad de Agua		
Datos salida		
Invierno	Verano	
Caudales (m <sup>3</sup> /d)		
Medio	2318.10	2320.95
Punta	3799.09	3801.94
Pluvial	5392.33	5395.18
Concentrac. (mg/l)		
Sf	0.82	0.59
Sa	0.21	0.14
Snh4	12.56	0.93
Sno3	0.27	5.91
Spo4	1.24	1.70
Si	30.13	30.08
Sn2	17.39	14.42
Ox. Dis.	2.00	2.00
Spro	0.07	0.05
Sco2	0.20	0.17
Sh2	0.00	0.00
Sch4	0.00	0.00

Calidad de Agua		
Datos salida		
Invierno	Verano	
Concentrac. (mg/l)		
Xi	227.09	351.01
Xs	50.55	13.50
Xh	815.46	597.01
Xpao	7.25	4.19
Xpp	2.21	1.30
Xpha	0.02	0.01
Xaut	3.23	9.03
Xtss	847.70	751.98
Xmeoh	0.26	0.21
Xfep	1.46	1.54
Xnv	64.74	62.37
Xacid	0.62	0.49
Xpro	0.62	0.56
Xmac	0.62	0.56
Xmh2	0.42	0.31

**Figura 3. 18:** Calidad del agua a la salida del reactor aerobio, detallando parámetros solubles y en suspensión.

El incremento en el caudal total es debido a la unión de la corriente de entrada de agua con la de recirculación procedente del decantador secundario.

La cantidad de sólidos en suspensión totales aumenta radicalmente, en primer lugar por la acción de las bacterias presentes en el reactor, y en segundo lugar por el vertido de cloruro férrico que realizamos a la entrada del tratamiento biológico. Como veremos en el apartado de la decantación secundaria, su eliminación es bastante satisfactoria.

La ventana de características de funcionamiento (figura 3.19) nos muestra, a partir de los criterios establecidos de tiempo de retención celular y

para un proceso de depuración convencional, los parámetros calculados por DESASS 1.1 ®. Éstos son la carga mísica, el tiempo de retención hidráulico, y las necesidades medias de O<sub>2</sub> para el tanque de aireación y según el sistema de difusores escogido. Los valores obtenidos para tiempo de retención hidráulico se corresponden con valores tipo para procesos de aireación prolongada.

	Caract. Funcionamiento	
	Invierno	Verano
<b>Tipo de Proceso</b>	Convencional	
<b>Carga Mísica (1/d)</b>	.16	.183
<b>T. Retención Hidráulico (h)</b>	26.3	26.3
<b>T. Retención Celular (d)</b>	15.00	15.00
<b>Necesidad Media O<sub>2</sub> (Kg/h/Ud.)</b>	43.00	50.41
<b>Necesidad Punta O<sub>2</sub> (Kg/h/Ud.)</b>	49.63	57.64

Figura 3. 19: Características de funcionamiento del reactor aerobio.

El diseño del tanque, por su parte, responde a los parámetros introducidos en la ventana de diseño. Nuestros criterios eran tiempo de retención celular y volumen total del reactor de fangos, por lo que el programa se limita a calcular las dimensiones de cada uno de los tanques de acuerdo a su porcentaje respecto al volumen total, el número de tanques y el calado.

	Diseño
<b>Nº Unidades</b>	2
<b>Longitud (m)</b>	17.5
<b>Ancho (m)</b>	17.5
<b>Calado (m)</b>	3.0
<b>Altura (m)</b>	.0
<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	1840.8

Figura 3. 20: Diseño del reactor aerobio, elaborado por el programa.

	Diseño
Nº Unidades	2
Longitud (m)	14.30
Ancho (m)	14.30
Calado (m)	3.0
Altura (m)	.0
Volumen (m <sup>3</sup> )	1227.2

**Figura 3.21:** Diseño del reactor anóxico, elaborado por el programa.

En el primer caso (figura 3.20) es:

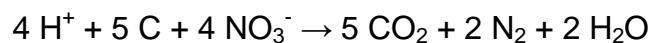
$$17,5 \cdot 17,5 \cdot 3 = 918,75 \text{ m}^3 \text{ en cada tanque}$$

Y en el segundo (figura 3.21), es:

$$14,3 \cdot 14,3 \cdot 3 = 613,50 \text{ m}^3 \text{ en cada tanque}$$

Ello quiere decir que existen dos tanques, cuyo volumen total sumado es de 3068 m<sup>3</sup>, y en cada uno de ellos existe una fracción aerobia de 918,75 m<sup>3</sup> y una anóxica de 613,50 m<sup>3</sup>. Esto podría no cumplirse al pie de la letra en las instalaciones reales: depende del tipo de bacterias. Sobre ellas, el control que se ejerce es limitado. Normalmente, por tanto, están repartidas más uniformemente, o con un primer tanque casi repleto de bacterias aerobias, para que ocurra primero la nitrificación y después la desnitrificación.

Continuando con el segundo reactor anóxico, en la figura 3.22 se muestran los valores de su corriente de salida. Esta será la corriente que entre al decantador secundario, fase final de la línea de aguas. Llama la atención la eliminación total del nitrógeno nitrato por nitrógeno molecular. Esto es debido al proceso de desnitrificación que tiene lugar en la zona anóxica del tanque:



Al igual que con el reactor aerobio, también se muestran las mismas características de funcionamiento: carga másica y tiempo de retención hidráulico (figura 3.23).

Calidad de Agua		
Datos salida		
	Invierno	Verano
Caudales (m <sup>3</sup> /d)		
Medio	2318.10	2320.95
Punta	3799.09	3801.94
Pluvial	5392.33	5395.18
Concentrac. (mg/l)		
Sf	12.05	13.21
Sa	0.39	0.32
Snh4	15.26	4.99
Sno3	0.00	0.01
Spo4	1.05	1.47
Si	30.50	30.35
Sn2	17.53	18.20
Ox. Dis.	0.00	0.00
Spro	0.20	0.16
Sco2	0.40	0.40
Sh2	0.04	0.04
Sch4	0.10	0.08

Calidad de Agua		
Datos salida		
	Invierno	Verano
Concentrac. (mg/l)		
Xi	235.51	363.29
Xs	90.51	60.11
Xh	745.75	502.10
Xpao	6.90	3.76
Xpp	1.92	1.05
Xpha	0.48	0.30
Xaut	3.14	8.24
Xtss	831.85	725.34
Xmeoh	0.20	0.16
Xfep	1.53	1.60
Xnv	64.74	62.37
Xacid	0.71	0.57
Xpro	0.61	0.55
Xmac	0.61	0.55
Xmh2	0.40	0.30

Figura 3.22: Calidad del agua a la salida del reactor anóxico, detallando parámetros solubles y en suspensión.

Caract. Funcionamiento		
	Invierno	Verano
Tipo de Proceso	Convencional	
Carga Másica (1/d)	.16	.183
T. Retención Hidráulico (h)	17.5	17.5
T. Retención Celular (d)	15.00	15.00
Necesidad Media O2 (Kg/h/Ud.)		
Necesidad Punta O2 (Kg/h/Ud.)		

Figura 3.23: Características de funcionamiento del reactor anóxico.

Si sumamos los dos tiempos de retención:

$$26,3 + 17,5 = 43,8 \text{ horas.}$$

El resultado es muy similar al calculado para el reactor biológico de la E.D.A.R. de Cariñena, cuyo tiempo de retención es de unas 43 horas a carga media, y corresponde con los valores típicos para procesos de aireación prolongada.

### 3.3.1.9. Soplante

DESASS 1.1 ® permite el cálculo de la aireación para reactores de fangos activados y digestores aerobios mediante 3 sistemas diferentes: difusores, turbinas y venturis. La selección de los sistemas se realiza en la pantalla de propiedades de los elementos en cuestión. Los reactores y digestores aerobios que sean aireados por el sistema de difusores (como es el caso de nuestro reactor aerobio) deberán estar unidos a una soplante por medio de una línea de aire. Cada reactor o digestor sólo puede estar unido a una soplante, pero una soplante puede estar unida a cuantos reactores y digestores se desee, sin importar que pertenezcan a diferentes grupos de reactores. Cada elemento soplante no representa una única soplante, sino un conjunto de soplantes formado por el número de unidades operativas y de reserva que fije el usuario.

La figura 3.s1 muestra la ventana de propiedades del elemento soplante. Tal y como se observa en la figura, el usuario establece para el cálculo del sistema de aireación la marca, el número de unidades operativas, el número de unidades de reserva y las pérdidas de carga en el filtro y en la tubería.

La marca no es determinante, ya que el programa únicamente permite escoger entre 2 posibles. El número de unidades es 2, ya que tenemos un total de dos reactores aerobios, y se establece una unidad de reserva. El material de la tubería es de acero, y en cuanto a las pérdidas de carga, prevalecen los valores por defecto del programa para el filtro de aire y la válvula de retención.

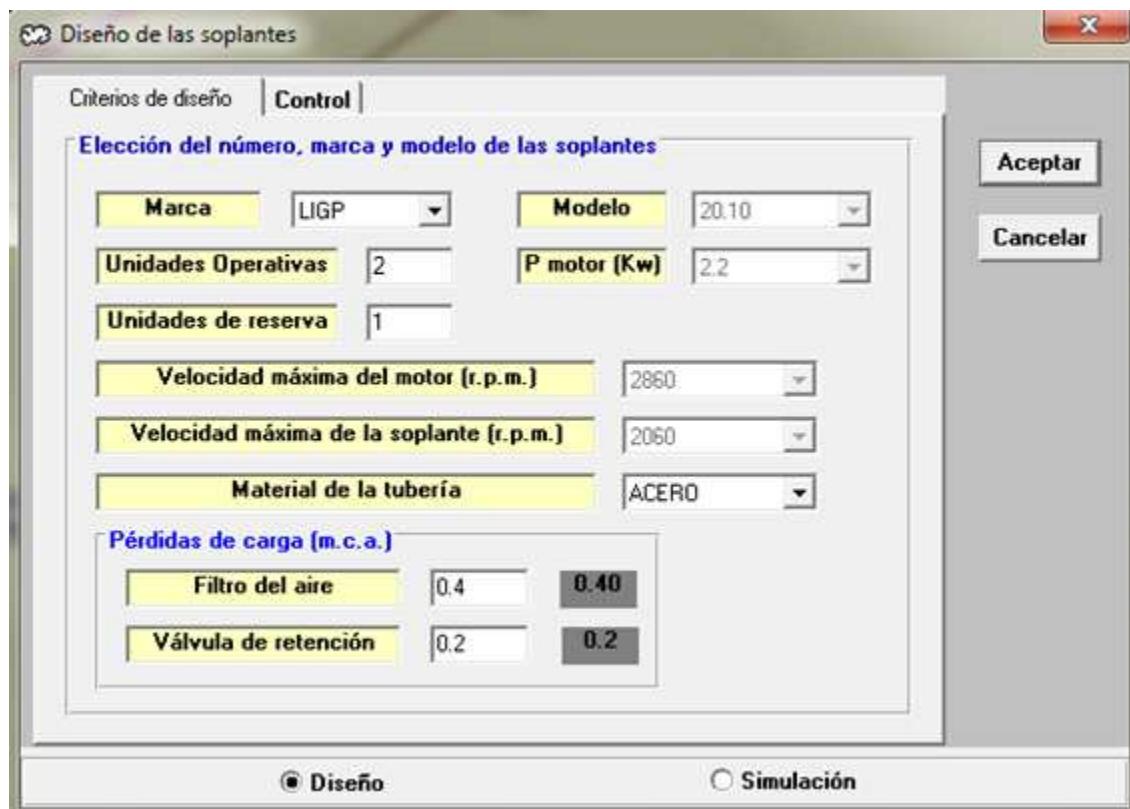


Figura 3.s1: Diseño de la unidad soplante.

### 3.3.1.10. Decantador secundario

El objetivo principal de la decantación secundaria es la separación de los sólidos suspendidos del licor mezcla con el fin de obtener un efluente con un bajo contenido en sólidos suspendidos. En los decantadores secundarios, tiene lugar una sedimentación de tipo retardada o zonal en la cual las partículas sedimentan en bloque. Esto es debido a la relativamente elevada concentración de sólidos existente que provoca que las partículas interaccionen entre sí tendiendo a estar en posiciones relativas fijas. A esto se le ha de sumar el hecho de que en el diseño con DESASS 1.1 ®, el reactivo precipitante cloruro férrico se ha añadido en uno de los reactores biológicos, produciéndose en el decantador secundario sus efectos.

En la figura 3.24 Podemos ver la ventana de diseño del decantador secundario. En esta ventana aparecen los criterios de diseño del decantador secundario: la carga de sólidos, la carga hidráulica, el tiempo de retención

hidráulico y la carga sobre vertedero. Estos datos, como habitualmente, han sido muy poco modificados, con valores cercanos al límite (en gris), para permitir que el programa realice el diseño con las menos limitaciones posibles.

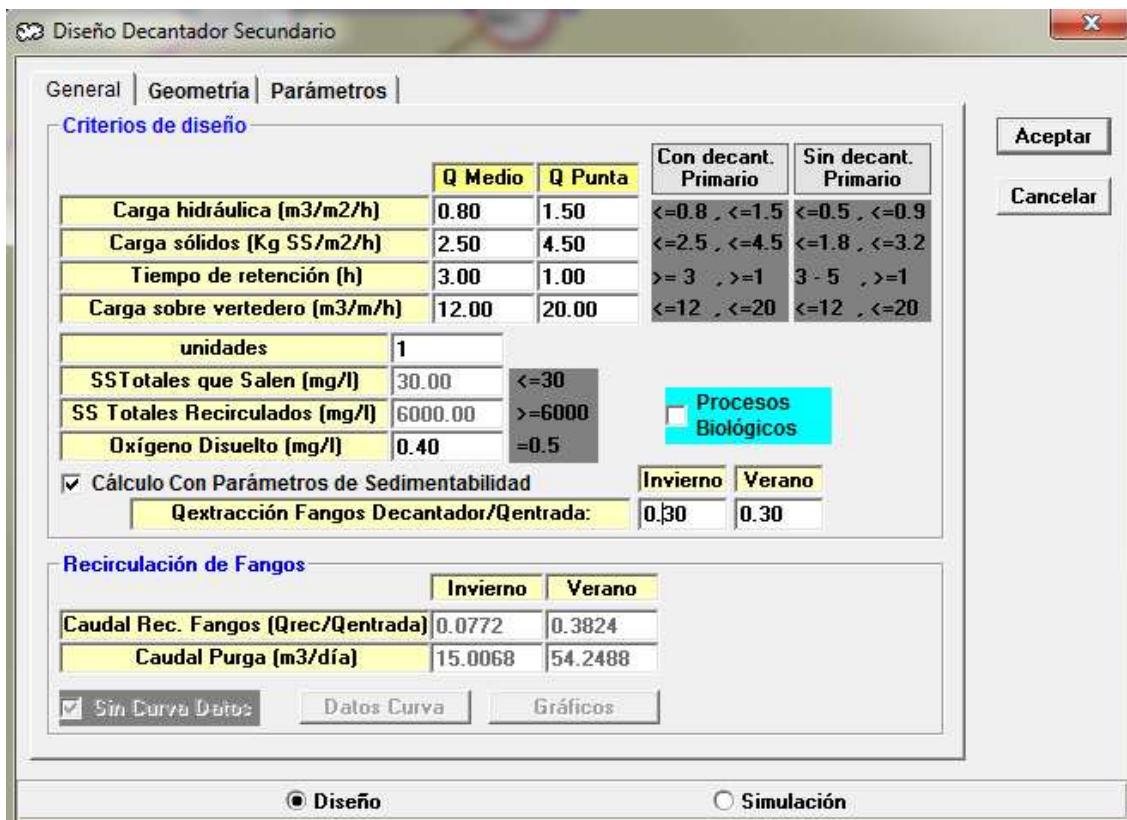


Figura 3.24: Diseño del decantador secundario, pestaña general.

El número de unidades es 1 y los mg/l de  $O_2$  disuelto 0,40. La relación de extracción de fangos es un factor determinante también. Se ha optado por una relación de extracción de 0,30 para ambas estaciones, como valor típico en decantación secundaria. La modificación de este parámetro tiene una influencia determinante en la cantidad de nitrógeno disuelto que obtenemos en el agua afluente de la instalación.

En la pestaña de geometría (figura 3.25) solamente se ha de seleccionar la geometría del tanque (circular, en nuestro caso) y darle un valor al calado. Hemos estipulado 3 metros como valor estándar válido. La pestaña de parámetros, al igual que en el caso del decantador primario, da la posibilidad de asignar valores a los parámetros de sedimentabilidad de los sólidos en

suspensión. En nuestro caso se le han asignado valores estándar por defecto del programa.

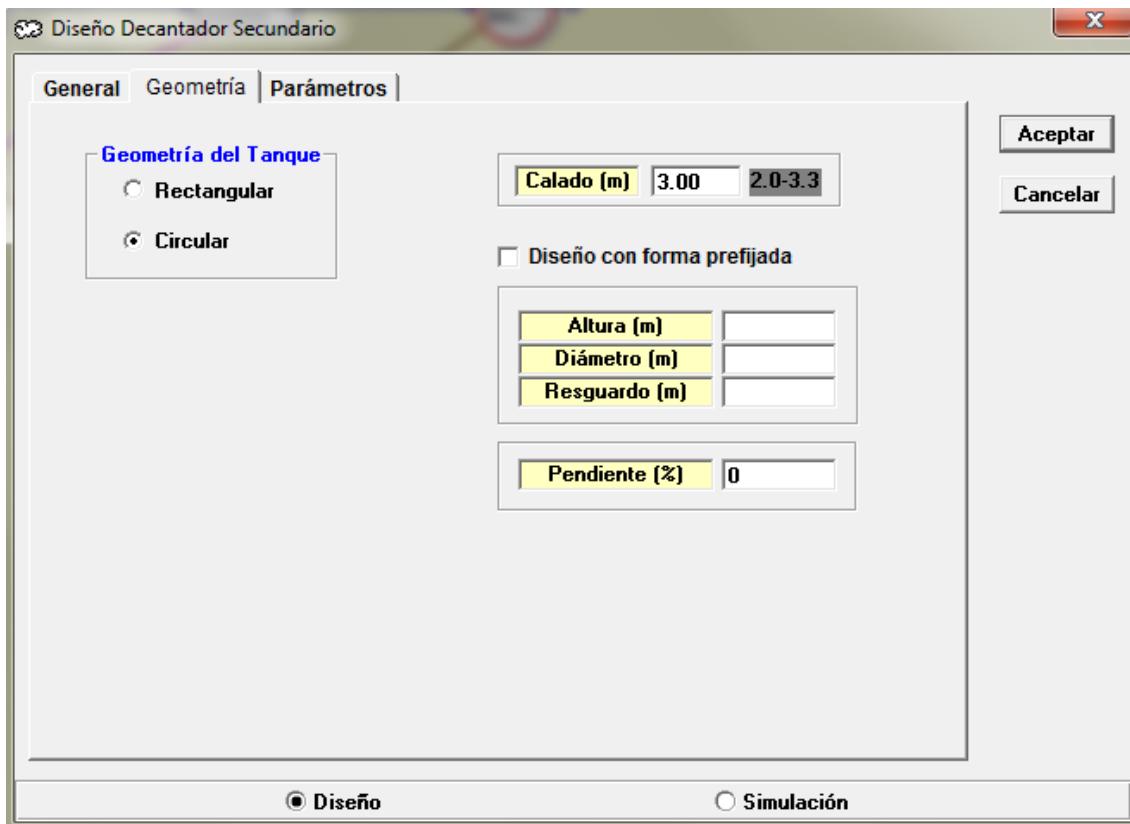


Figura 3.25: Diseño del decantador secundario, pestaña de geometría.

Veamos ahora los resultados obtenidos para el diseño del decantador, y las características de la corriente de salida de las instalaciones, así como las del fango secundario. Las pestañas de resultados son similares a las del decantador primario, si bien en algunos casos la información dada es mayor.

En primer lugar, en la figura 3.26 vemos que el resumen de la calidad del agua global, cumple con la Directiva 91/271/CEE, aunque la cantidad de nitrógeno total en invierno permanece en valores altos, casi en el límite permitido de 15 mg/l.

La gran cantidad de sólidos en suspensión generados durante el tratamiento biológico, tanto por acción bacteriana como por acción del reactivo precipitante cloruro férrico, sufren una disminución muy efectiva en esta

decantación secundaria, pasando de un total de alrededor de 900 mg/l a tan sólo unos 11 mg/l, valor dentro de la mencionada Directiva (ver figura 3.27 para la información detallada de los parámetros del agua de entrada y salida del decantador).

	Calidad de Agua Total	
	Invierno	Verano
DQO Total	50.62	47.51
P Total	1.39	1.75
N Total	14.27	5.20
SSTotales	11.28	11.00

**Figura 3.26:** Calidad del agua total a la salida del decantador secundario.

En cuanto al fósforo, su eliminación no ha sido muy efectiva pero no es grave, ya que se generó muy poco durante el proceso de depuración y no supone ningún problema para el cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE. Sin embargo, en verano, casi se alcanza su valor límite de 2 mg/l.

En definitiva, a la luz de estos datos de corriente de salida, podemos afirmar que el proceso de depuración diseñado con DESASS 1.1 ® es válido para la corriente influente con la que se ha diseñado.

Calidad de Agua Solubles			
Datos Entrada		Datos Salida	
Invierno	Verano	Invierno	Verano
Caudales (m <sup>3</sup> /d)			
Medio	2339.44	2341.67	
Punta	3820.43	3822.66	
Pluvial	5413.67	5415.90	
Concentraciones (mg/l)			
Sf	5.39	2.92	5.39
Sa	0.14	0.07	0.14
Snh4	12.94	4.03	12.94
Sno3	0.00	0.02	0.00
Spo4	1.05	1.47	1.05
Si	30.26	30.14	30.26
Sn2	17.92	19.24	17.92
Ox. Dis.	0.00	0.00	0.00
Spro	0.07	0.03	0.07
Sco2	0.38	0.36	0.68
Sh2	0.01	0.01	0.01
Sch4	0.03	0.01	0.03
Calidad de Agua Suspensidos			
Datos entrada		Datos salida	
Invierno	Verano	Invierno	Verano
Caudales (m <sup>3</sup> /d)			
Medio	2339.44	2341.67	
Punta	3820.43	3822.66	
Pluvial	5413.67	5415.90	
Concentraciones (mg/l)			
Xi	275.59	430.85	3.09
Xs	86.85	54.18	1.09
Xh	851.76	579.01	10.29
Xpao	8.81	4.45	0.12
Xpp	2.55	1.36	0.03
Xpha	0.15	0.03	0.01
Xaut	5.05	10.23	0.06
Xtss	944.24	832.28	11.28
Xmeoh	2.11	2.01	0.02
Xfep	0.00	0.00	0.00
Xnv	72.55	69.47	0.85
Xacid	0.40	0.23	0.01
Xpro	0.73	0.64	0.02
Xmac	0.73	0.64	0.02
Xmh2	0.46	0.31	0.01

Figura 3.27: Calidad del agua a la salida del decantador secundario, detallando parámetros solubles y en suspensión.

En cuanto al diseño del tanque para la obtención de los mencionados resultados (figura 3.28), DESASS 1.1 ® ha elaborado uno diferente al existente en la E.D.A.R. de Cariñena, con un diámetro 3 metros menor y volumen en

torno al 30 % menor, sin embargo sus dimensiones responden a los valores recomendados para los parámetros de diseño de un decantador secundario de fangos activos procedentes de un tratamiento de aireación prolongada.

Diseño	
Unidades	1
Diámetro (m)	10.9
Calado (m)	3.00 (3.29 )
Altura (m)	3.5
Volumen (m <sup>3</sup> )	329.16

Figura 1.28: Diseño del decantador secundario, elaborado por el programa.

Lo mismo para sus características de funcionamiento y de producción de fangos (figuras 3.29 y 3.30 respectivamente). Difieren ligeramente de las del decantador secundario de la E.D.A.R. de Cariñena, pero se ajustan a los necesarios para las dimensiones establecidas del tanque, y también responden a los valores típicos de diseño.

Caract. Funcionamiento	Criterios Diseño		
	Invierno	Verano	Criterios Diseño
C. hidráulica a Q <sub>m</sub> (m/h)	0.74	0.74	0.80
C. hidráulica a Q <sub>máx</sub> (m/h)	2.11	2.11	1.40
C. sólidos a Q <sub>m</sub> (KgSS/m <sup>2</sup> /h)	0.7	0.6	2.4
C. sólidos Q <sub>pta</sub> (KgSS/m <sup>2</sup> /h)	2.0	1.8	4.3
t de retención a Q <sub>m</sub> (h)	4.0	4.0	>3.0
t de retención a Q <sub>máx</sub> (h)	1.4	1.4	>1.0
C. s/vertedero a Q <sub>m</sub> (m <sup>2</sup> /h)	2.0	2.0	20.0
C. s/vertedero a Q <sub>máx</sub> (m <sup>2</sup> /h)	5.8	5.8	12.0

Figura 3.29: Características de funcionamiento del decantador secundario.

Fangos		
	Invierno	Verano
	Fangos en exceso	
Producción (Kg SS/d)	127.5	111.7
Caudal a purgar (m <sup>3</sup> /d)	41.3	39.7

Figura 3.30: Características de los fangos secundarios.

A continuación se procederá a la presentación de la línea de fangos elaborada en el programa.

### 3.3.2. Línea de fangos

La línea de fangos de nuestro esquema de depuración elaborado con DESASS 1.1 ® consiste básicamente en un sistema de espesamiento de fangos y un sistema de deshidratación mecánica como última unidad.

Las líneas de fangos primarios y secundarios que salen de los decantadores, se unen en el nudo 2 (figura 3.5) y van al espesador. Las características de cada una de las dos corrientes de salida de los decantadores se muestran a continuación:

Corriente de fangos primarios (figura 3.31):

Caudal/Solubles		Suspendidos		N. P y DQO	
Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
Caudales (m <sup>3</sup> /d)		Concentrac. (mg/l)		Concentrac. (mg/l)	
Medio	26.58	26.58	Xi	3389.57	3389.26
Punta	26.58	26.58	Xs	16185.00	15999.89
Pluvial	26.58	26.58	Xh	0.27	0.27
			Xpao	0.26	0.25
Sf	294.45	531.76	Xpp	0.04	0.04
Sa	45.61	71.83	Xpha	5.39	7.48
Snh4	17.84	22.74	Xaut	0.26	0.25
Sno3	0.00	0.00	Xtss	15516.49	15390.67
Spo4	6.19	8.21	Xtnv		
Si	35.77	51.71	Xmeoh	0.00	0.00
Salk	249.84	249.56	Xfep	0.00	0.00
Sn2	17.24	14.15	Xnv	1807.58	1807.09
Spro	8.55	19.69	Xacid	2.91	7.00
Sh2	0.78	2.26	Xpro	0.33	0.46
Sch4	6.78	21.45	Xmac	0.34	0.49
Sco2	0.29	0.34	Xmh2	0.40	0.65
Ox. dis.	0.00	0.00	Tcelular (d)	1.15	1.15
T (°C)	11.00	22.00	Xtss, NSed	103.35	103.35

Figura 3.31: Corriente de fangos primarios.

Corriente de fangos secundarios (figura 3.32):

Caudal/Solubles		Suspendidos		N, P y DQO	
Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
Caudales (m <sup>3</sup> /d)		Concentrac. (mg/l)		Concentrac.(mg/l)	
Medio	56.24	54.25	Xi	713.25	1127.60
Punta	56.24	54.25	Xs	303.32	221.39
Pluvial	56.24	54.25	Xh	2494.06	1798.15
			Xpao	25.48	15.62
			Xpp	6.61	3.98
			Xpha	2.63	2.35
			Xaut	9.34	24.94
			Xtss	2719.88	2450.58
			Xtnv		
			Xmeoh	5.94	5.63
			Xfep	0.00	0.00
			Xnv	203.55	194.34
			Xacid	2.38	2.15
			Xpro	2.12	1.93
			Xmac	2.10	1.92
			Xmh2	1.42	1.10
			Tcelular (d)	15.00	15.00
			Xtss,NSed	2.49	2.17
T (°C)	11.00	22.00			

Figura 3.32: Corriente de fangos secundarios.

Y por último, la corriente conjunta que entra al espesador desde el nudo 2 (figura 3.33);

Caudal/Solubles		Suspendidos		N, P y DQO	
Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
Caudales (m <sup>3</sup> /d)		Concentrac. (mg/l)		Concentrac.(mg/l)	
Medio	82.82	80.83	Xi	1571.63	1870.85
Punta	82.82	80.83	Xs	5400.86	5410.65
Pluvial	82.82	80.83	Xh	1694.02	1208.07
			Xpao	17.42	10.59
			Xpp	4.51	2.69
			Xpha	3.52	4.05
			Xaut	6.42	16.80
			Xtss	6826.96	6706.70
			Xtnv		
			Xmeoh	4.03	3.77
			Xfep	0.00	0.00
			Xnv	718.29	724.63
			Xacid	2.55	3.74
			Xpro	1.55	1.44
			Xmac	1.54	1.45
			Xmh2	1.10	0.95
			Tcelular (d)	0.00	0.00
			Xtss,NSed	34.86	35.45
T (°C)	11.00	22.00			

Figura 3.33: Corriente conjunta.

### 3.3.2.1. Espesador

El objetivo principal de los espesadores es el espesado de los fangos primarios y biológicos con el fin de aumentar la concentración de sólidos suspendidos en la corriente de entrada a los procesos de digestión y/o deshidratación. En los espesadores, tiene lugar una sedimentación de tipo retardada o zonal en la cual las partículas sedimentan en bloque. Esto es debido a la elevada concentración de sólidos existente que provoca que las partículas interaccionen entre sí tendiendo a estar en posiciones relativas fijas. Los criterios de diseño utilizados en el cálculo de los espesadores son la carga de sólidos, la carga hidráulica y el tiempo de retención.

La Figura 3.34 muestra la ventana de propiedades del elemento Espesador. A diferencia de los decantadores primario y secundario, en el diseño del espesador no se tiene en cuenta el caudal punta. El caudal punta afecta a la línea de agua, asumiendo el programa que las purgas del decantador primario y secundario permanecen constantes en condiciones punta. DESASS 1.1 ® recomienda una serie de valores para los criterios de diseño en función de la procedencia del fango que se vaya a espesar, primario, biológico o una mezcla de ambos.

Como siempre, mantenemos los valores mínimos posibles para que el programa tenga total libertad de diseño. El número de unidades es de 1 y se ha establecido un índice de extracción de fangos de 0,5 para ambas estaciones, por lo que la mitad de la corriente de entrada saldrá como efluente y la otra mitad como fango espesado. La cinética de los procesos biológicos, por su parte, se mantiene con los estándares del programa.

En la pestaña de geometría simplemente se selecciona la geometría circular y se le da un valor al calado del espesador: 3 metros en este caso, como viene siendo habitual en este tipo de tanques.

En cuanto a la pestaña de parámetros de sedimentabilidad, al igual que con el decantador primario y secundario, hemos dejado los valores estándar por defecto del programa.

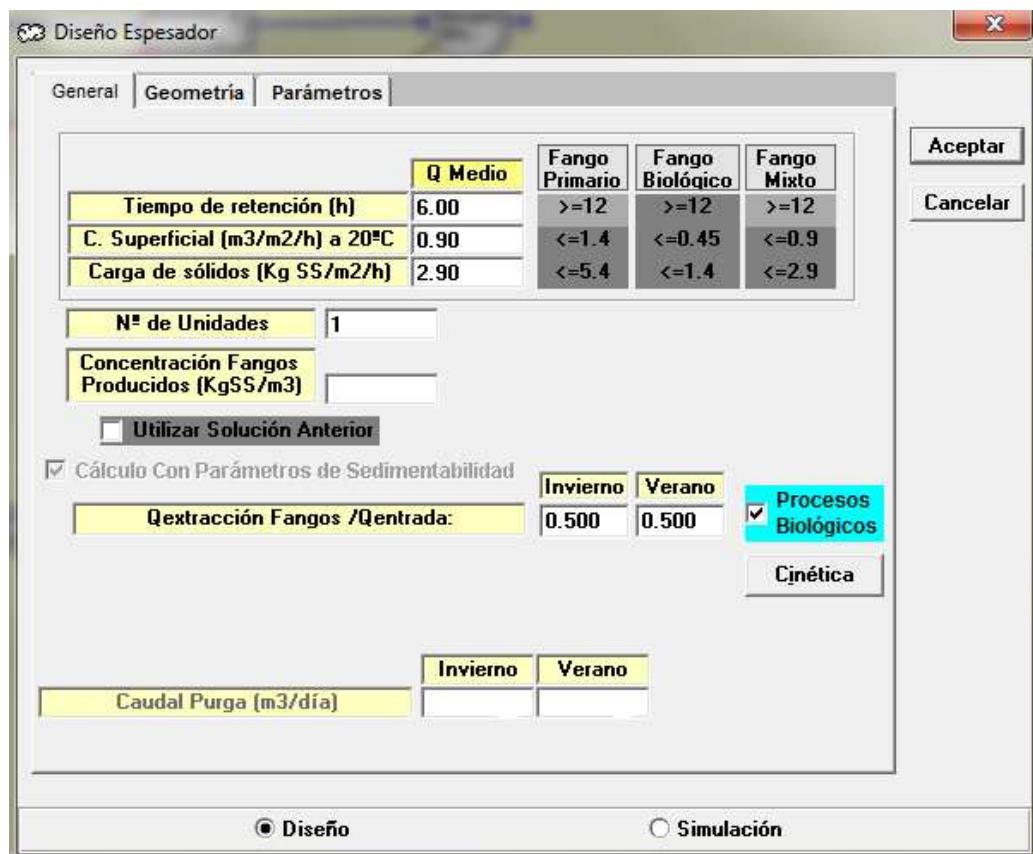


Figura 3.34: diseño del espesador, pestaña general.

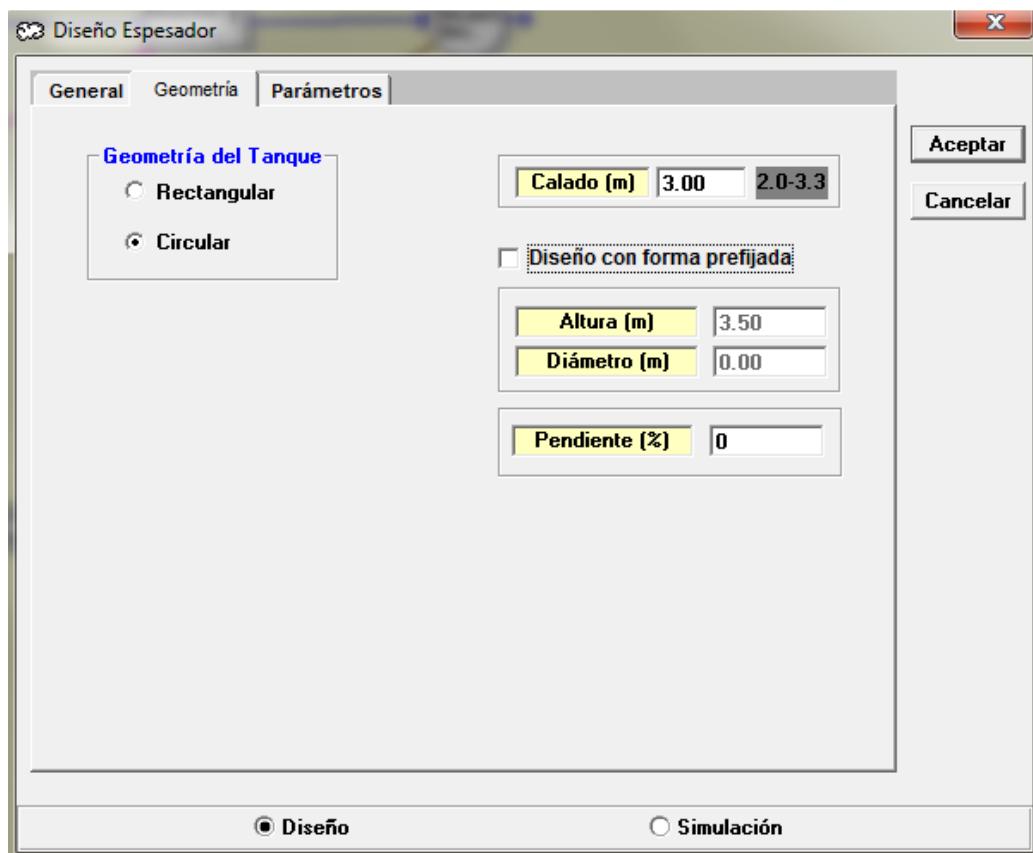


Figura 3.35: Diseño del espesador, pestaña de geometría.

Veamos la resolución del elemento espesador de fangos realizado por el programa.

La ventana de resultado tiene 4 pestañas: 2 de calidad de agua (elementos solubles y elementos en suspensión), diseño y fangos.

Las dos pestanas de calidad de agua representan la corriente de entrada, por lo que son idénticas a las dos primeras tablas de las mostradas en la figura 3.33.

La pestaña de diseño (figura 3.36), por su parte, nos muestra las dimensiones calculadas para el tanque de espesado, así como sus condiciones operativas: tiempo de retención hidráulico y celular.

		Diseño
Unidades		1
Diametro (m)		8
Calado (m)		3
Volumen Total (m <sup>3</sup> )		150.7964

	Invierno	Verano
T. retención hidráulico (h)	43.7	44.8
T. retención celular (días)	0.8949247	0.9086562

**Figura 3.36:** Diseño del espesador, elaborado por el programa.

Estos resultados no son idénticos a los del espesador utilizado en la E.D.A.R. de Cariñena, pero no difieren en demasiado, de hecho el diámetro calculado es de 8 metros, exactamente igual que el real, salvo que nuestro calado es de 3 metros (establecido por el usuario) y la instalación real tiene unos 3,8 metros de altura, lo cual da un volumen total en torno a 180 m<sup>3</sup>.

EL tiempo de retención hidráulico no llega a los dos días (frente a los 3 de la E.D.A.R. de Cariñena) y el tiempo de retención celular oscila en torno a la mitad del hidráulico.

Por último, en la figura 3.37 obtenemos los resultados del fango de salida, que formará parte de la corriente que va al equipo de secado.

Fangos		
	Invierno	Verano
Producción (Kg SS/d)	544.75	516.7
Concentración (Kg SS/m3)	13.15	12.78
Caudal (m3/d)	41.41	40.41

Figura 3.37: Características del fango de salida del espesador.

La corriente de salida de agua del espesador de ninguna manera cumple con la Directiva 91/271/CEE. Normalmente, en las estaciones depuradoras de aguas residuales convencionales, esta corriente se recircula a la entrada de la instalación como si fuera un agua residual exterior, y se une a la corriente de entrada para volver a realizar el proceso de depuración completo. Las características del agua de salida del espesador se presentan en la figura (3.38):

Caudal/Solubles			Suspendidos			N, P y DQO		
	Invierno	Verano		Invierno	Verano		Invierno	Verano
<b>Caudales (m3/d)</b>								
Medio	41.41	40.41	Xi	8.54	10.18	DQO	204.80	310.08
Punta	41.41	40.41	Xs	29.98	30.01	DQO S	158.45	264.71
Pluvial	41.41	40.41	Xh	7.61	4.95	DQO Sp	46.35	45.37
			Xpao	0.09	0.05	PTot	4.33	6.09
<b>Concentrac. (mg/l)</b>			Xpp	0.00	0.00	Ptot S	3.79	5.58
Sf	106.13	188.88	Xpha	0.06	0.05	Ptot Sp	0.54	0.50
Sa	14.68	23.77	Xaut	0.03	0.07	Ntot	21.79	18.98
Snh4	16.29	11.07	Xtss	36.42	35.77	Ntot S	19.79	17.12
Sno3	0.00	0.00	Xtnv			Ntot Sp	2.00	1.86
Spo4	2.73	3.70	Xmeoh	0.02	0.02	SSV	32.44	31.75
Si	32.22	37.48	Xfep	0.00	0.00	SSVB	26.46	24.62
Salk	249.96	249.87	Xnv	3.95	4.00	% SSV	89.1	88.8
Sn2	17.43	16.87	Xacid	0.02	0.03	%SSVB	81.6	77.5
Spro	2.87	6.61	Xpro	0.01	0.01	pH	7.46	7.38
Sh2	0.27	0.75	Xmac	0.01	0.01	Tot C	5.753	5.257
Sch4	2.28	7.23	Xmh2	0.01	0.01	Tot H	6.233	5.819
Sco2	0.31	0.45	Tcelular (d)	0.89	0.91	VFA	17.55	30.38
Ox. dis.	0.00	0.00	Xtss,NSed	36.08	35.45	Alcalinidad	272.3	240.6
T (°C)	11.00	22.00						

Figura 3.38: Características de la corriente de agua de salida del espesador.

Por su parte, las del fango de salida del espesador, para entrar a la unidad de deshidratación mecánica, se presenta en la siguiente figura (3.39):

	Caudal/Solubles		Suspendidos		N, P y DQO			
	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano		
	Caudales (m <sup>3</sup> /d)		Concentrac. (mg/l)		Concentrac. (mg/l)			
Medio	41.41	40.41	Xi	3123.52	3761.29	DQO	17533.79	17508.97
Punta	41.41	40.41	Xs	10694.05	10613.01	DQO S	780.04	1308.37
Pluvial	41.41	40.41	Xh	2849.48	1733.80	DQO Sp	16753.75	16200.60
	Concentrac. (mg/l)		Xpao	34.60	19.88	PTot	204.83	192.70
Sf	715.37	1117.58	Xpp	0.01	0.00	Ptot S	8.40	12.77
Sa	13.54	69.09	Xpha	23.77	16.75	Ptot Sp	196.43	179.93
Snh4	41.21	50.19	Xaut	11.35	26.57	Ntot	788.39	748.37
Sno3	0.00	0.00	Xtss	13154.96	12784.82	Ntot S	63.05	84.34
Spo4	1.25	1.59	Xtnv			Ntot Sp	725.34	664.03
Si	38.47	62.81	Xmeoh	7.63	7.15	SSV	11725.25	11338.74
Salk	251.84	251.92	Xfep	0.00	0.00	SSVB	9538.79	8705.84
Sn2	17.43	16.87	Xnv	1422.06	1438.92	% SSV	89.1	88.7
Spro	4.90	26.43	Xacid	8.02	20.45	%SSVB	81.4	76.8
Sh2	0.38	1.45	Xpro	3.27	3.10	pH	7.05	6.87
Sch4	7.38	31.01	Xmac	3.25	3.16	Tot C	9.054	9.732
Sco2	1.37	2.47	Xmh2	2.45	2.58	Tot H	10.962	12.729
Ox. dis.	0.00	0.00	Tcelular (d)	0.89	0.91	VFA	18.44	95.53
T (°C)	11.00	22.00	Xtss,NSed	36.08	35.45	Alcalinidad	384.4	363.3

Figura 3.39: Características del fango de salida del espesador.

### 3.3.2.2. Deshidratación mecánica

La deshidratación del fango una vez estabilizado reduce su contenido de humedad facilitando su manipulación, reduciendo los costes de transporte y reduciendo la producción de lixiviados. Los dispositivos de deshidratación utilizan varias técnicas tales como la filtración, el prensado, la compactación centrífuga...En la E.D.A.R. de Cariñena se usa un filtro banda.

En DESASS 1.1 ® el elemento deshidratación mecánica, no diseña un sistema concreto de secado, ya que en el mercado existen multitud de equipos y de diferentes tipos. Simplemente supone un elemento final de proceso, y responderá a las necesidades de diseño del usuario, pero sin calcular dimensiones ni características de funcionamiento de ningún tipo concreto de deshidratador. Por explicarlo de manera sencilla, el usuario establece las condiciones que desea para su fango de salida, y el programa calcula las corrientes obtenidas en caso de que se cumplan esas condiciones.

Tal y como se observa en la ventana de diseño de este elemento (ver Figura 3.40), se establecen las concentraciones de sólidos en el fango deshidratado y en el sobrenadante obtenido como criterios de diseño. Hemos asignado un valor aleatorio de 20% para el porcentaje de sólidos en el fango, y una concentración de sólidos de 200 mg/l, aunque estos valores podrían ser totalmente distintos según le convenga al usuario. Además, se debe fijar el KLa del CO<sub>2</sub> (valor estándar del programa) y el tiempo de retención hidráulico (20 minutos) y con estos datos, el programa estima la cantidad de gas que se desabsorbe del fango.

El elemento deshidratación mecánica requiere una entrada de fango y tres salidas (agua, fango y gas).

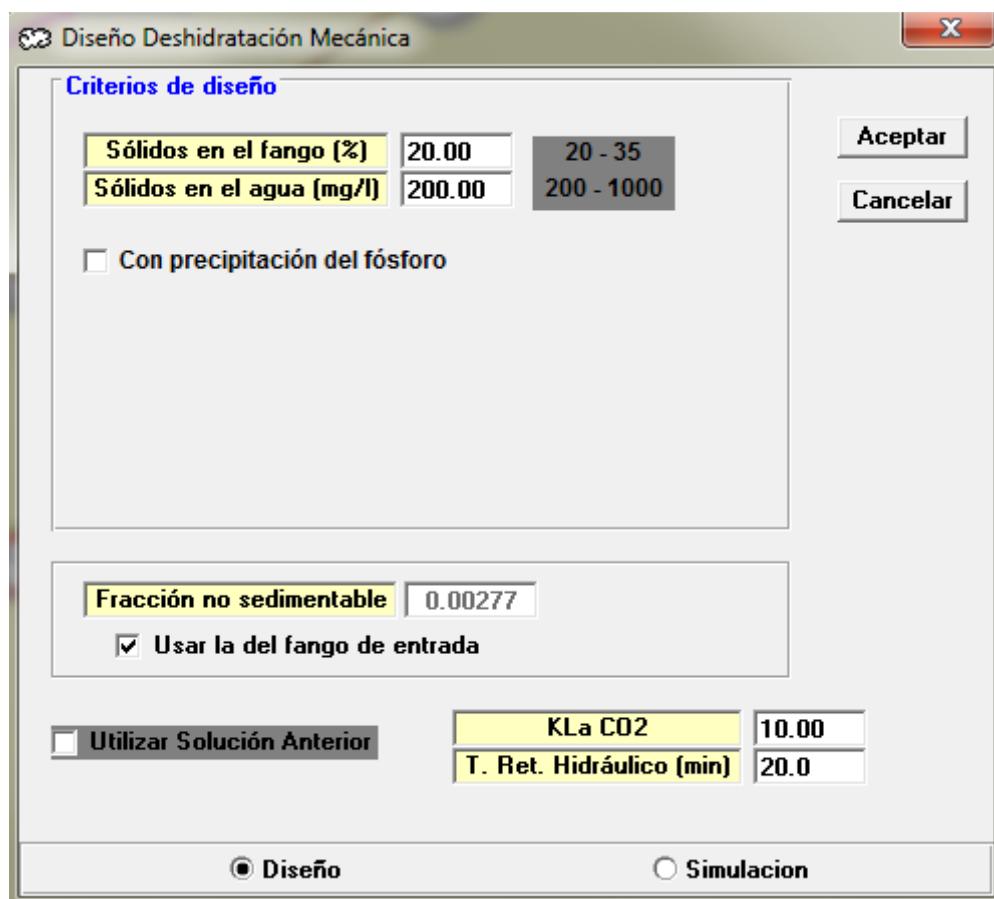


Figura 3.40: Diseño de la deshidratación mecánica.

En cuanto a la resolución de la unidad de deshidratación mecánica, presenta 3 pestañas: 2 de calidad de fango (suspendidos y solubles) y otra de diseño.

Las dos de calidad de fango representan la corriente de entrada a la unidad, cuyas propiedades vimos previamente en la figura 3.39. La pestaña de diseño simplemente nos muestra, dadas los criterios establecidos previamente por el usuario, algunos parámetros como la captura de sólidos del fango y la producción en kg/día.

Diseño	
Sólidos en el fango (%)	20
Sólidos en el agua (mg/l)	200
Captura de sólidos (%)	98.58
Producción de fangos (Kg/dia)	537.00

Figura 3.41: Resultados del espesador, elaborados por el programa.

Bajo estas premisas, las corrientes de salida del deshidratador son 3: gas, agua y fango deshidratado. Sus características se muestran a continuación:

Corriente de agua de salida de la deshidratación mecánica (figura 3.42):

Caudal/Solubles		Suspendidos		N, P y DQO				
Inviero	Verano	Inviero	Verano	Inviero	Verano			
Caudales (m <sup>3</sup> /d)		Concentrac. (mg/l)		Concentrac. (mg/l)				
Medio	38.72	37.87	Xi	47.49	58.84			
Punta	38.72	37.87	Xs	162.59	166.03			
Pluvial	38.72	37.87	Xh	43.32	27.12			
Concentrac. (mg/l)		Xpao	0.53	0.31	DQO	1026.99	1529.35	
Sf	715.37	1117.58	Xpp	0.00	0.00	DQO S	772.28	1275.91
Sa	13.54	69.09	Xpha	0.36	0.26	DQO Sp	254.71	253.43
Snh4	41.21	50.19	Xaut	0.17	0.42	PTot	11.39	15.58
Sno3	0.00	0.00	Xtss	200.00	200.00	Ptot S	8.40	12.77
Spo4	1.25	1.59	Xtnv			Ptot Sp	2.99	2.81
Si	38.47	62.81	Xmeoh	0.12	0.11	Ntot	74.08	94.73
Salk	251.84	251.92	Xfep	0.00	0.00	Ntot S	63.05	84.34
Sn2	14.61	14.61	Xnv	21.62	22.51	Ntot Sp	11.03	10.39
Spro	4.90	26.43	Xacid	0.12	0.32	SSV	178.26	177.38
Sh2	0.00	0.00	Xpro	0.05	0.05	SSVB	145.02	136.19
Sch4	0.00	0.00	Xmac	0.05	0.05	% SSV	89.1	88.7
Sco2	1.66	2.57	Xmh2	0.04	0.04	%SSVB	81.4	76.8
Ox. dis.	0.00	0.00	Tcelular (d)	0.00	0.00	pH	6.89	6.73
T (°C)	11.00	22.00	Xtss,NSed	0.55	0.55	Tot C	8.866	9.391
						Tot H	10.586	12.048
						VFA	18.44	95.53
						Alcalinidad	360.4	341.3

Figura 3.42: Características de la corriente de agua de salida de la deshidratación mecánica.

Corriente de fango de salida de la deshidratación mecánica (figura 3.43):

Caudal/Solubles		Suspendidos		N, P y DQO				
Inviero	Verano	Inviero	Verano	Inviero	Verano			
Caudales (m <sup>3</sup> /d)		Concentrac. (mg/l)		Concentrac. (mg/l)				
Medio	2.69	2.55	Xi	47488.05	58840.00			
Punta	2.69	2.55	Xs	162585.77	166025.21			
Pluvial	2.69	2.55	Xh	43321.76	27122.78			
Concentrac. (mg/l)		Xpao	525.98	311.06	DQO	255486.09	254710.90	
Sf	715.37	1117.58	Xpp	0.09	0.00	DQO S	772.28	1275.91
Sa	13.54	69.09	Xpha	361.38	262.03	DQO Sp	254713.81	253434.99
Snh4	41.21	50.19	Xaut	172.55	415.71	PTot	2994.81	2827.58
Sno3	0.00	0.00	Xtss	200000.00	200000.00	Ptot S	8.40	12.77
Spo4	1.25	1.59	Xtnv			Ptot Sp	2986.40	2814.81
Si	38.47	62.81	Xmeoh	116.03	111.85	Ntot	11090.63	10472.09
Salk	251.84	251.92	Xfep	0.00	0.00	Ntot S	63.05	84.34
Sn2	14.61	14.61	Xnv	21620.13	22509.87	Ntot Sp	11027.57	10387.75
Spro	4.90	26.43	Xacid	121.95	319.92	SSV	178263.53	177378.28
Sh2	0.00	0.00	Xpro	49.71	48.48	SSVB	145021.89	136190.28
Sch4	0.00	0.00	Xmac	49.48	49.48	% SSV	89.1	88.7
Sco2	1.66	2.57	Xmh2	37.18	40.34	%SSVB	81.4	76.8
Ox. dis.	0.00	0.00	Tcelular (d)	0.00	0.00	pH	6.89	6.73
T (°C)	11.00	22.00	Xtss,NSed	548.56	554.50	Tot C	8.866	9.391
						Tot H	10.586	12.048
						VFA	18.44	95.53
						Alcalinidad	360.4	341.3

Figura 3.43: Características de la corriente de fango de salida de la deshidratación mecánica.

Corriente de gas de salida de la deshidratación mecánica (figura 3.44):

Salida de Gas		
	Caudales (m <sup>3</sup> /d)	
	Invierno	Verano
Medio	0.43	0.97
Punta	0.43	0.97
Pluvial	0.43	0.97

	Concentrac. (%)	
	Invierno	Verano
Nitrógeno	23.55	8.09
Hidrógeno	5.49	9.10
Metano	26.97	48.62
CO <sub>2</sub>	43.98	34.20
Oxígeno	0.00	0.00

Figura 3.44: Características de la corriente de gas de salida de la deshidratación mecánica.

## **CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES**

En la actualidad y desde 2010, la E.D.A.R. de Cariñena está funcionando únicamente con el tratamiento descrito en el Capítulo 2, en el apartado referente a la ampliación de la planta.

El objetivo del presente proyecto es realizar un diseño con la herramienta informática DESASS 1.1 ® del tratamiento utilizado antes de 2008, es decir antes de acometer las obras de ampliación, y en base a dicho diseño simular las corrientes que obtendríamos.

En este capítulo se evaluará el cumplimiento o incumplimiento de dicho objetivo, y se hará un pequeño análisis del programa utilizado.

### **Diseño y simulación con DESASS 1.1 ®**

Como se muestra en el capítulo 3, los resultados de diseño de las distintas unidades de tratamiento de la E.D.A.R., elaborados por el programa DESASS 1.1 ®, son bastante satisfactorios a nivel global. Van desde diseños idénticos a los existentes en la E.D.A.R. de Cariñena, como es el caso del decantador primario o del espesador de fangos; hasta otros no tan parecidos

pero cuyos parámetros encajan con los valores típicos de diseño, como es el caso del decantador secundario y el tratamiento biológico en general.

Se ha de tener en cuenta que el programa no permitía realizar una recreación totalmente fiel de las instalaciones reales, por lo que los resultados de diseño que se esperaban obtener no eran idénticos a éstas. No obstante, a nivel general, el programa ha resultado ser bastante solvente en este sentido y ajustarse en buena medida a la realidad.

En cuanto a los resultados de simulación arrojados por el programa, se concluye que a nivel general, el diseño elaborado por DESASS 1.1 ® sería satisfactorio para la depuración de las aguas del municipio de Cariñena, cumpliéndose la Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas.

Corriente por corriente, los resultados podrían no ajustarse a la realidad en algún punto de la planta, aunque como ya se ha comentado, esto es debido a que la instalación diseñada con el software informático no coincide totalmente con la instalación real. Es por ello, que la simulación se valora a nivel global: propiedades del efluente a la entrada frente a las de salida y, en ese sentido, el tratamiento resulta ser exitoso.

### Programa DESASS 1.1 ®

Como se explica en el Capítulo 0 del presente proyecto, una parte muy significativa de la realización del proyecto ha sido el descubrimiento y aprendizaje en el manejo del software informático DESASS 1.1 ®. Es por ello que se ha creído conveniente añadir un pequeño análisis práctico personal al apartado de conclusiones del mismo.

En primera instancia, el usuario se encuentra con una interfaz bastante intuitiva y de fácil manejo para el diseño de un esquema de depuración, en el que el programa informa en todo momento de los elementos que faltan por añadir, sobran, o hace falta revisar antes de arrancar a hacer los cálculos. Se podría decir que el aprendizaje del manejo básico se lleva a cabo de manera

rápida, no siendo así su conocimiento en profundidad, que exige un estudio bastante detallado de cada parámetro de diseño.

A nivel práctico, DESASS 1.1 ® resulta ser un excelente simulador de procesos biológicos, tanto aerobios como anaerobios, más que una herramienta para el diseño de estaciones depuradoras al completo. Esto es debido principalmente a las carencias en posibilidades de diseño que presenta (ver Capítulo 3, apartado de las limitaciones encontradas en DESASS 1.1 ®), aunque como su propio nombre completo indica, inicialmente está ideado para el “diseño y simulación de procesos de fangos activados”. Esto se refleja en el altísimo nivel de detalle de las ventanas de diseño de reactores o digestores de fangos, permitiendo por ejemplo, el ajuste de cada constante cinética que rige los procesos biológicos o incluso la adición de nuevas.

El verdadero problema que ha presentado el programa DESASS 1.1 ® ha sido informático, a nivel de programación. Resultó muy difícil diseñar un proceso completo ya que el software presentaba una gran falta de robustez, manifestándose por ejemplo con la constante aparición de mensajes de error, que concluían con el cierre del programa y la consiguiente pérdida de datos. Otras veces, el programa se cerraba en medio del proceso de cálculo, previsiblemente por algún error en éstos.

En conclusión, el programa DESASS 1.1 ® resulta un excelente simulador de procesos biológicos más que de sistemas completos de tratamiento, pero adolece de falta de robustez, haciendo en ocasiones muy duro su manejo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### Publicaciones

- Metcalf & Eddy; “Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización”; Ed. Mc. Graw-Hill (1998).
- Water Environment Federation (WEF); “Design of municipal wastewater treatment plants 4<sup>th</sup> edition”; (1998)
- Laura Martín Herce; “Estudio de puesta en marcha y explotación de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Cariñena”; Universidad de Zaragoza, área de TMA (2000).
- José Ferrer, Aurora Seco; “DESASS 1.1 ®: Manual de usuario”; Universidad Politécnica de Valencia (2006).
- José Ferrer, Aurora Seco, Josep Ribes, Joaquín Serralta; “Biological Nutrient Removal Model No.1 (BNRM1)”; Universidad Politécnica de Valencia (2004).
- Aurelio Hernández; “Manual de depuración URALITA”; Thompson – Paraninfo (2004).
- Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas: Manual de interpretación y elaboración de informes.
- Decreto 38/2004 por el que se aprueba el Reglamento de los vertidos de aguas residuales a las redes municipales de alcantarillado.
- Normas ATV de diseño de instalaciones de tratamiento de aguas.
- Revista WE&T (Water Environment and Technology).

## Referencias web

- [www.aragon.es](http://www.aragon.es)
- [www.upv.es/calagua](http://www.upv.es/calagua)
- [www.mma.es](http://www.mma.es)
- [www.dam-aguas.es](http://www.dam-aguas.es)
- [www.iwahq.org/home](http://www.iwahq.org/home)
- [www.unizar.es](http://www.unizar.es)