



PROYECTO FINAL DE CARRERA

PUESTA A PUNTO Y MANTENIMIENTO DE E.D.A.R. EN COMPLEJO HOTELERO

Autor

Miguel Ángel Gracia Nieto

Director

Francisco Javier Lanaja del Busto

Especialidad

Electrónica

Convocatoria

Septiembre 2013



**Escuela Universitaria de
Ingeniería
Técnica Industrial**
Universidad Zaragoza

PROYECTO FINAL DE CARRERA

PUESTA A PUNTO Y MANTENIMIENTO DE E.D.A.R. EN COMPLEJO HOTELERO
MEMORIA

AUTOR

Miguel Ángel Gracia Nieto

DIRECTOR

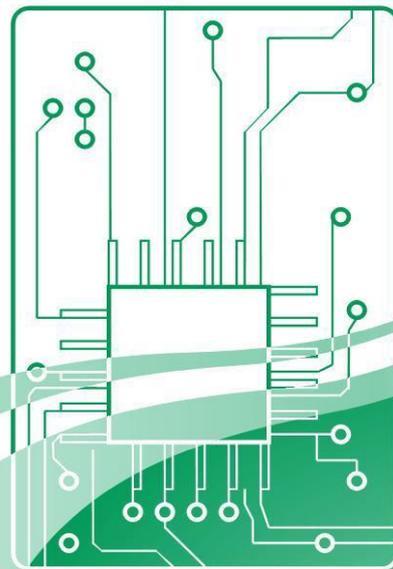
Francisco Javier Lanaja del Busto

ESPECIALIDAD

Electrónica

CONVOCATORIA

Septiembre 2013



El presente proyecto estudia la depuración, utilizando el tratamiento de fangos activos de oxidación total, de las aguas residuales generadas en un complejo hotelero que, además del propio hotel, cuenta entre sus instalaciones con piscina, spa y una zona de camping con bungalows. En el estudio se analiza la composición de las aguas residuales y se recoge el funcionamiento de la planta depuradora del hotel con detalle de cada uno de los equipos que la integran, sus ciclos de trabajo y sus aportaciones al proceso. Previamente, se recopila la legislación vigente que tiene relación con la contaminación y la depuración de las aguas, y se expone, de forma general, el funcionamiento teórico de una E.D.A.R. y los posibles procesos existentes aplicables en ella. Se completa el proyecto con un estudio de calidad de las aguas del lecho receptor, y el impacto ambiental generado por el vertido de las aguas residuales una vez que han sido depuradas.

INDICE

1. EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y LA NECESIDAD DE SU DEPURACIÓN.....	5
1.1. Características de las aguas residuales	7
1.2. Protección del medio acuático.....	8
2. LEGISLACIÓN VIGENTE.....	9
2.1. Legislación europea	10
2.1.1. Legislación relativa a la prevención de la contaminación	10
2.1.2. Legislación relativa al control de emisiones	10
2.1.3. Legislación relativa a las aguas subterráneas	11
2.1.4. Legislación relativa a objetos de calidad	11
2.2. Legislación nacional	12
2.2.1. Legislación básica	12
2.2.2. Dominio público hidráulico	12
2.2.3. Vertidos	13
2.2.4. Nitratos de origen agrario	14
2.2.5. Sustancias peligrosas	14
2.2.6. Valoración de daños.....	15
2.2.7. Planificación	15
2.2.8. Objetivos de calidad	15
2.3. Legislación autonómica	16
3. ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES	18
3.1. Pretratamiento	20
3.1.1. Eliminación de residuos de pretratamiento	25
3.2. Tratamiento Primario	27
3.2.1. Decantación primaria	27
3.2.2. Flotación y recogida de sobrenadantes	31
3.2.3. Extracción de fango primario	33
3.2.3.1. Decantadores primarios	33
3.3. Tratamiento secundario	37

3.3.1. Lechos bacterianos	39
3.3.1.1. Reacción biológica	42
3.3.1.2. Decantación secundaria	43
3.3.1.3. Recirculación del agua	44
3.3.2. Fangos activos	44
3.3.2.1. Tanque de aireación.....	48
3.3.2.2. Decantador secundario	49
3.4. Tratamiento terciario	51
3.4.1. Separación de sólidos en suspensión	52
3.4.2. Control de nutrientes.....	52
3.4.3. Eliminación de compuestos tóxicos	55
3.4.4. Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas	55
3.5. Tratamiento de fangos	57
3.5.1. Características, composición y tipos	57
3.5.2. Operaciones de pretratamiento de fangos	60
3.5.3. Procesos de tratamiento de fangos.....	60
3.5.3.1. Espesado de fangos	63
3.5.3.2. Estabilización	64
3.5.3.3. Acondicionamiento	68
3.5.3.4. Desinfección	68
3.5.3.5. Deshidratación	68
3.5.3.6. Secado térmico	70
3.5.3.7. Reducción térmica.....	70
3.5.3.8. Aprovechamiento y evacuación de lodos.....	71
4. INSTALACIONES E.D.A.R. OBJETO DE ESTUDIO	72
4.1. Estructura y ordenación del complejo	72
4.1.1. Vertido de las aguas residuales.....	73
4.2. Datos relativos a las aguas residuales de la red de saneamiento.....	75
4.2.1. Sistema de depuración de oxidación total	77
4.3. Composición del equipo de depuración.....	79
4.3.1. Reja de desbaste manual.....	81
4.3.2. Pozo de bombeo	81
4.3.3. Caudalímetro electromagnético	83
4.3.4. Tamiz rotativo.....	84

4.3.5. Depósito homogeneizador.....	85
4.3.6. Separador de grasas	87
4.3.7. Equipo de depuración de oxidación total	88
4.3.8. Arqueta de toma de muestras	91
4.4. Rendimientos del sistema	91
4.5. Régimen de funcionamiento de los equipos.....	92
4.5.1. Funcionamiento manual.....	93
4.5.2. Funcionamiento automático.....	94
4.6. Operaciones de instalación.....	96
4.6.1. Instalación módulo de oxidación total.....	96
4.6.2. Instalación separador de grasas.....	97
4.6.3. Instalación caudalímetro electromagnético	98
4.7. Operaciones de mantenimiento.....	98
4.7.1. Mantenimiento de los equipos	98
4.7.2. Eliminación de residuos	100
5. INFLUENCIA DEL VERTIDO EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL LECHO	
RECEPTOR.....	102
5.1. Caracterización del vertido	102
5.2. Metodología utilizada para el estudio de calidad	103
5.3. Análisis de los resultados.....	106
5.3.1. Parámetros físico-químicos.....	106
5.3.2. Parámetros biológicos	109
5.3.3. Parámetros hidromorfológicos	113
5.4. Recapitulación y conclusiones	114
6. NORMAS DE SEGURIDAD E HIGIENE.....	117
6.1. Riesgos biológicos.....	117
6.2. Riesgos por manejo de productos químicos.....	119
6.3. Riesgos generales de seguridad	119
6.4. Riesgos eléctricos.....	121
6.5. Primeros auxilios	121

7. CONCLUSIONES	122
BIBLIOGRAFIA	125
ÍNDICE DE IMÁGENES, FIGURAS Y GRÁFICOS	127
ÍNDICE DE TABLAS.....	129

1. EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y LA NECESIDAD DE SU DEPURACIÓN

Desde la Antigüedad, la eliminación de sus residuos ha sido y es, un problema y una preocupación para el ser humano. Los primeros pueblos se asentaron en lugares donde las condiciones de vida eran adecuadas, y siempre estaban cerca de cursos de agua superficiales o lagos. De esta forma, tenían cubiertas sus necesidades de agua, a la vez que les servían de lechos receptores de sus residuos. El crecimiento de estos asentamientos, muy acentuado en muchos casos, dio paso a núcleos de población de mayor densidad, como pueblos y ciudades. Este crecimiento poblacional supuso un aumento de los residuos vertidos a los ríos, de forma que se superó, en muchos casos, su nivel de autodepuración, convirtiéndose los cauces en meros vehículos de los residuos de las poblaciones y modificándose radicalmente su ecosistema previo. Este drástico cambio del entorno natural, unido a la destrucción de la fauna y la flora, es lo que conocemos como contaminación.

Un curso de agua se considera contaminado o polucionado, cuando la composición o el estado de sus aguas son, directa o indirectamente, modificados por la actividad del hombre, en medida tal, que disminuya su posible utilización para todos o algunos de aquellos fines a los que podrían servir en estado natural. Las actividades artesanales y ganaderas, el cultivo intensivo de la tierra y el desarrollo industrial, unido a una población creciente y de mayor densidad, son las principales causas de la contaminación de las aguas (aguas subterráneas, ríos, lagos y mares). La contaminación de las aguas es uno de los factores más importantes que rompe el equilibrio entre el hombre y el medio ambiente, por lo que se hace necesario prevenirla y combatirla.

Según datos obtenidos de excavaciones efectuadas, ya en las primeras civilizaciones se recogían las aguas residuales a través de canales y redes de saneamiento. En algún caso incluso se disponía de redes de alcantarillado separativas con grandes canales de desagüe para aguas negras y pluviales. El canal principal solía desembocar en grandes lagos, donde sedimentaban las materias en suspensión que, luego se utilizaban como abono. Asimismo, las aguas de los lagos eran utilizadas para el riego de las huertas.

Desde entonces hasta la actualidad, la contaminación de las aguas se ha convertido en un problema cada vez más importante para el ser humano. Sus principales efectos son los siguientes:

- Disminución de la calidad de agua para abastecimientos de población, o uso para riego o industria.
- Supresión del poder autodepurador de los cauces receptores con destrucción de su fauna y flora, imposibilitando, o dificultando al menos, su utilización.
- Potencial peligro para la salud pública.
- Perjuicio a los asentamientos urbanos e industriales, afectando además a los amantes del esparcimiento en la naturaleza.
- Exigencia de un control riguroso y un tratamiento adecuado cuando se utilizan aguas con un cierto grado de contaminación.

El agua dulce es un bien escaso, y la contaminación, no sólo de los cauces sino también de las aguas subterráneas, obliga a los usuarios aguas abajo, a buscar nuevas captaciones no siempre existentes, pero siempre con un coste mayor. La contaminación de un río puede llegar al extremo de que sus aguas sean inadecuadas para el consumo público, así como para la agricultura, ganadería, pesca, industria y actividades turísticas y recreativas. Para garantizar la salud de las poblaciones, así como la conservación de los recursos hidráulicos, de su fauna y de su flora, se hacen necesarios procesos de depuración de las aguas residuales para reducir el impacto que éstas tienen en el ecosistema. El objetivo es alcanzar valores en los parámetros de contaminación vertidos, inferiores a lo que los usos anteriores permiten.

Los efectos de la contaminación de las aguas no sólo se localizan en las zonas de vertido, sino que sobrepasan los límites de los municipios y las provincias, y afectan a toda la extensión de las cuencas hidrográficas. Por ello, la depuración de las aguas es un tema que no debe ser planteado a nivel local, sino a nivel nacional y, en ocasiones, a nivel internacional. Una depuración requiere unos gastos considerables de primer establecimiento, así como unos gastos de mantenimiento y explotación elevados. Para las arcas municipales, estas cifras suponen unas inversiones y unos gastos anuales considerables, por lo que se hace imprescindible la realización de un buen proyecto global que no sólo recoja los datos técnicos relativos a la construcción de la estación depuradora. A la hora de plantear la depuración de las aguas de una población o una industria, ha de tenerse en cuenta también el medio receptor, aprovechando su poder de autodepuración, para realizar la elección de una planta depuradora con la máxima eficiencia y el menor coste posible. El establecimiento de límites en los vertidos, con independencia de las características del cauce receptor, puede dar lugar a casos en los que, cumpliéndose la normativa vigente pero existiendo vertidos importantes y un caudal receptor escaso, los valores de contaminación sobrepasen lo que sería deseable, mientras que en otras ocasiones con pequeños núcleos de población y caudales receptores mayores, las condiciones impuestas de depuración sean excesivas para los vertidos realizados. Puesto que el problema principal para dotar de la depuración necesaria a todos los núcleos de población e industrias, es de tipo

económico, el estudio en cada caso, tanto de las características de las aguas residuales como de las cuencas receptoras, es de suma importancia para no caer en fuertes inversiones o grandes gastos de mantenimiento que puedan lastrar las economías municipales.

1.1. Características de las aguas residuales

Las aguas de los lagos, mares y ríos tienen, de forma natural, impurezas, no incluidas dentro del concepto de contaminación, ya que al atravesar como precipitación las nubes y la atmósfera, y al discurrir por el suelo o a través de él, han incorporado elementos o partículas, que dan origen a lo que se entenderá como impurezas del agua. Estas impurezas pueden ir desde partículas en suspensión como arena, arcillas o algas, hasta elementos disueltos como oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, iones positivos y negativos y residuos orgánicos varios. Al margen de estas impurezas, los demás elementos presentes en las aguas tendrán su origen en los vertidos de las aguas residuales, cuyas cuatro fuentes fundamentales son:

1. Aguas residuales domésticas o urbanas.
2. Aguas residuales procedentes de procesos industriales.
3. Escorrentías de usos agrícolas.
4. Pluviales.

Atendiendo a su origen las aguas residuales tendrán características diferentes. Las aguas residuales domésticas se componen fundamentalmente, en su carga contaminante, de materia orgánica en forma soluble o coloidal y de sólidos en suspensión, siendo los productos orgánicos los que realmente producen las perturbaciones más importantes. Por otro lado, las aguas residuales procedentes de procesos industriales pueden contener multitud de elementos dependiendo de la actividad industrial de la que proceden. Estos elementos pueden ser, entre otros, aceites, grasas, detergentes, metales pesados como mercurio, cadmio, cobre, níquel, plomo o cinc, cianuros, cloruros, sulfatos, amoníaco, desperdicios de la fabricación de pasta y papel, o hidrocarburos y productos petroquímicos. En cuanto a la contaminación debida a los usos agrícolas y a las aguas pluviales de zonas urbanas, está producida por fertilizantes (fosfatos) y pesticidas, y están empezando a constituir una de las causas mayores de eutrofización de lagos y pantanos.

La eutrofización es el proceso natural de envejecimiento de los lagos. En la primera etapa del ciclo, cuando no están contaminados, son oligotróficos, tienen pocos nutrientes para las plantas y unas productividades biológicas pequeñas, mientras que, en la etapa final antes de su desaparición, son eutróficos o altamente

productivos y corresponde con el momento de su máxima contaminación biológica. Este proceso natural se ve acelerado por los vertidos a sus aguas de productos como los fertilizantes, favorecidos también porque la forma más común para la evacuación final del agua residual (tratada o no) es su dilución en grandes masas de aguas superficiales, ya sean ríos, estuarios, lagos o mar, que se consideran medios receptores.

1.2. Protección del medio acuático

La mejor forma de proteger los cursos de agua es, evidentemente, eliminando cualquier vertido que se haga en ellos, sea de la clase que sea. No sabemos si algún día esto será posible, pero en la sociedad actual, la forma de preservar nuestro medio ambiente, es controlando los vertidos y aplicando sobre ellos los tratamientos de depuración que la tecnología actual permite, de forma que cumplan con lo legalmente establecido en relación a la calidad de las aguas residuales que se pueden verter en la naturaleza.

Son numerosas las leyes que versan sobre la protección de las aguas superficiales y subterráneas así como del mantenimiento de unos niveles mínimos de calidad de las mismas. La legislación actual sobre estos temas y otros relacionados con los vertidos y los elementos contaminantes, resulta fundamental a la hora de la conservación de los cursos de agua en buen estado para su aprovechamiento por parte de todos.

2. LEGISLACIÓN VIGENTE

El agua es un recurso fundamental para nuestras vidas y para el conjunto de los ecosistemas existentes en nuestro planeta. El agua dulce es, a la vez, un recurso limitado, pues apenas el 1% de toda el agua presente en la Tierra es agua dulce que pueda ser aprovechada por el ser humano. Además su distribución es desigual e irregular en toda la corteza terrestre.

Todo esto hace que las cuestiones relacionadas con el agua sean complejas, debido a la importancia que tiene para la vida en el planeta y, por ello, para la humanidad. Se hacen necesarios el estudio y tratamiento de dichas cuestiones desde un punto de vista múltiple: humano, social, ecológico, etc., prestando especial importancia a la vertiente jurídica, imprescindible para poder disponer de una cantidad de agua suficiente que nos permita desarrollarnos, y que a su vez sea de una adecuada calidad, compatible con la salud humana. Esta cantidad y calidad debe permitir conseguir un buen estado de los ríos y acuíferos, de forma que se maximicen los usos potenciales y se garantice el mantenimiento y mejora de todos los ecosistemas asociados.

A nivel mundial la toma de conciencia política sobre la importancia de los temas relacionados con el agua dulce y la necesidad de su regulación comienza a nacer en la década de 1960. Progresivamente los poderes públicos de los diferentes estados y los entes y organizaciones internacionales han conocido la importancia del agua como elemento vital esencial y principal para la consecución de un desarrollo sostenible de la humanidad, lo que ha provocado que el agua y las cuestiones a ella vinculadas, ocupen un lugar preferente en las agendas internacionales como asunto principal o como asociado a otros temas principales.

La primera declaración que puso de manifiesto la toma de conciencia política internacional sobre la vital importancia del agua dulce fue la Carta Europea del Agua, suscrita el 6 de mayo de 1968 por el Comité de Ministros del Consejo de Europa. En esta Carta Europea se contiene una declaración de principios de gran importancia para enfocar cualquier cuestión relacionada con esta temática, totalmente vigentes en el momento actual en aspectos esenciales. Desde entonces son numerosos los Foros y Cumbres internacionales que se han celebrado en todo el mundo, con intención de conseguir el acceso al agua potable para toda la población así como la protección y aprovechamiento sostenible de las aguas.

2.1. Legislación europea

A nivel europeo, la aprobación de la Directiva Marco Europea del Agua, en vigor desde el 22 de diciembre de 2000, nace como respuesta a la necesidad de unificar las actuaciones en materia de gestión de agua en la Unión Europea. Representa un hito en la gestión de los recursos hídricos y sus ecosistemas relacionados, ya que establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

Junto con esta, existen una serie de directivas comunitarias, dirigidas a la protección, conservación y a la prevención de la contaminación de las aguas continentales, superficiales y subterráneas, y que según el objeto al que hacen relación, pueden clasificarse en varios grupos.

2.1.1. Legislación relativa a la prevención de la contaminación

- *Directiva 91/271/CEE* de 21 de mayo, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, modificada por la *Directiva 98/15/CE* de 27 de febrero, en relación con determinados requisitos establecidos en el anexo I.
- *Directiva 2000/60/CE* de 23 de octubre, (“Directiva Marco del Agua”) por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, modificada por la *Decisión nº 2455/2001/CE* y las *Directivas 2008/32/CE, 2008/105/CE* y *2009/31/CE*, que deroga entre otras, las *Directivas 80/68/CEE* y *76/464/CEE* a partir del 22 de diciembre de 2013.
- *Directiva 91/676/CEE* de 12 de diciembre, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en agricultura.
- *Directiva 2010/75/UE* de 24 de noviembre, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación), que deroga entre otras la *Directiva 2008/1/CE* a partir del 06 de enero de 2014, que había supuesto, a su vez, la derogación de la *Directiva 96/61/CE*.

2.1.2. Legislación relativa al control de emisiones

- *Directiva 2006/11/CE* de 15 de febrero, relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad (versión codificada de la derogada *76/464/CEE*)

Dentro de este grupo se encontrarían las directivas relativas a los valores límite y objetivos de calidad para los vertidos de distintas sustancias como el mercurio, el

cadmio y otras sustancias peligrosas: *Directivas 82/176/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE*, etc.

2.1.3. Legislación relativa a las aguas subterráneas

- *Directiva 2006/118/CE* de 12 de diciembre, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.
- *Directiva 80/68/CEE* de 17 de diciembre de 1979, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas, que, como ya hemos visto, quedará derogada el 22 de diciembre de 2013 por la *Directiva Marco del Agua 2000/60/CE*.

2.1.4. Legislación relativa a objetos de calidad

- *Directiva 98/83/CE* de 3 de noviembre, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.
- *Directiva 2008/105/CE* de 16 de diciembre, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, por la que se modifican y derogan ulteriormente las *Directivas 82/176/CEE, 83/153/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE* y *86/280/CEE* del Consejo, y por la que se modifica la *Directiva 2000/60/CE*.
- *Directiva 2006/44/CE* de 6 de septiembre, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.
- *Directiva 76/160/CE* de 8 de diciembre de 1975, relativa a la calidad de las aguas de baño.
- *Directiva 2006/7/CE* de 15 de febrero, relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño, y por la que se deroga la *Directiva 76/160/CEE*, a partir del 31 de diciembre de 2014.
- *Directiva 2009/90/CE* de 31 de julio, por la que se establecen, de conformidad con la *Directiva 2000/60/CE* del Parlamento Europeo y del Consejo, las especificaciones técnicas del análisis químico y del seguimiento del estado de las aguas.

2.2. Legislación nacional

A nivel nacional, son varias las leyes, decretos y órdenes ministeriales que, de alguna manera, están relacionados con la calidad y protección de las aguas. Algunas son la transposición al derecho español de la Directiva Marco del Agua u otras directivas europeas, o se han modificado para adaptarse precisamente a ellas.

A continuación se presentan las distintas disposiciones legales de ámbito nacional relacionadas con la calidad de las aguas, según distintos grupos.

2.2.1. Legislación básica

- *Real Decreto Legislativo 1/2001* de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la *Ley de Aguas*.
 - Modificado por *Ley 53/2002* de 30 de diciembre de medidas fiscales, administrativas y del orden social. *Disposición adicional decimonovena y vigésima*.
 - Modificado por *Ley 62/2003* de 30 de diciembre de medidas fiscales, administrativas y del orden social. *Artículo 129*.
- *Real Decreto-Ley 4/2007* de 13 de abril, por el que se modifica el texto refundido de la *Ley de Aguas*, aprobado por el *Real Decreto Legislativo 1/2001*.
- *Ley 26/2007* de 23 de octubre de responsabilidad medioambiental.
- *Real Decreto 2090/2008* de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la *Ley 26/2007*.

2.2.2. Dominio público hidráulico

- *Real Decreto 849/1986* de 11 de abril, por el que se aprueba el *Reglamento del Dominio Público Hidráulico*, que desarrolla los títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la *Ley 29/1985*, de 2 de agosto, *de Aguas*.
- *Real Decreto 995/2000* de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifica el *Reglamento de Dominio Público Hidráulico*, aprobado por el *Real Decreto 849/1986* de 11 de abril.
- *Real Decreto 606/2003* de 23 de mayo, por el que se modifica el *Real Decreto 849/1986* de 11 de abril, por el que se aprueba el *Reglamento del Dominio Público Hidráulico*, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la *Ley 29/1985*, de 2 de agosto, *de Aguas*.

- *Real Decreto 9/2008*, de 11 de enero, por el que se modifica el *Reglamento de Dominio Público Hidráulico*, aprobado por el *Real Decreto 849/1986* de 11 de abril.
- *Orden ARM/1312/2009* de 20 de mayo, por la que se regulan los sistemas para realizar el control efectivo de los volúmenes de agua utilizados por los aprovechamientos de agua del dominio público hidráulico, de los retornos al citado dominio público hidráulico y de los vertidos al mismo.
- *Real Decreto 1290/2012* de 7 de septiembre, por el que se modifica el *Reglamento del Dominio Público*, aprobado por el *Real Decreto 849/1986* de 11 de abril, y el *Real Decreto 509/1996* de 15 de marzo de desarrollo del *Real Decreto-ley 11/1995*, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Corrección de errores B.O.E. núm. 251, jueves 18 de octubre de 2012, sección I, pág. 74015.

2.2.3. Vertidos

- *Orden MAM/1873/2004* de 2 de junio, por la que se aprueban los modelos oficiales para la declaración de vertido y se desarrollan determinados aspectos relativos a la autorización de vertido y liquidación del canon de control de vertidos regulados en el *Real Decreto 606/2003* de 23 de mayo, de reforma del *Real Decreto 849/1986* de 11 de abril, por el que se aprueba el *Reglamento de Dominio Público Hidráulico*, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la *Ley 29/1985*, de 2 de agosto, *de Aguas*.
- *Orden MAM/985/2006* de 23 de marzo, por la que se desarrolla el régimen jurídico de las entidades colaboradoras de la administración hidráulica en materia de control y vigilancia de calidad de las aguas y de gestión de los vertidos al dominio público hidráulico. Corrección de errores B.O.E. núm. 112, jueves 11 de mayo de 2006, pág. 18081.
- *Ley 16/2002* de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- *Real Decreto 509/2007* de 20 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la *Ley 16/2002* de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- *Real Decreto-Ley 11/1995* de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas.
- *Real Decreto 509/1996* de 15 de marzo, de desarrollo del *Real Decreto-Ley 11/1995* de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas.
- *Real Decreto 2116/1998* de 2 de octubre, por el que se modifica el *Real Decreto 509/1996* de 15 de marzo, de desarrollo del *Real Decreto-Ley 11/1995* de 28 de

diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas. Corrección de errores B.O.E núm. 286, lunes 30 de noviembre de 1998, pág. 39272.

- *Resolución de 28 de abril de 1995*, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Vivienda, por la cual se dispone la publicación del acuerdo del consejo de ministros de 17 de febrero de 1995, por el que se aprueba el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales.
- *Resolución de 25 de mayo de 1998*, de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas, por la que se declaran las “zonas sensibles” en las cuencas hidrográficas intercomunitarias.
- *Resolución de 10 de julio de 2006*, de la Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad, por la que se declaran las zonas sensibles en las cuencas hidrográficas intercomunitarias.
- *Real Decreto 1620/2007* de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

2.2.4. Nitratos de origen agrario

- *Real Decreto 261/1996* de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.
- *Resolución de 24 de marzo de 2011* de la Dirección General del Agua, por la que se determinan las aguas afectadas por la contaminación, o en riesgo de estarlo, por aportación de nitratos de origen agrario en las cuencas hidrográficas intercomunitarias.

2.2.5. Sustancias peligrosas

- *Real Decreto 995/2000*, de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifica el *Reglamento de Dominio Público Hidráulico*, aprobado por el *Real Decreto 849/1986*, de 11 de abril.
- *Orden de 12 de noviembre de 1987* (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo), sobre normas de emisión, objetivos de calidad y métodos de medición de referencia relativos a determinadas sustancias nocivas o peligrosas contenidas en los vertidos de aguas residuales.
- *Orden de 13 de marzo de 1989*, por la que se incluye en la de 12 de noviembre de 1987 la normativa aplicable a nuevas sustancias nocivas o peligrosas que pueden formar parte de determinados vertidos de aguas residuales.

- *Orden de 27 de febrero de 1991*, por la que se modifica el anejo V de la de 12 de noviembre de 1987, relativa a normas de emisión, objetivos de calidad y métodos de medición de referencia relativos a determinadas sustancias peligrosas, en especial los correspondientes a hexaclorociclohexano.
- *Orden de 28 de junio de 1991*, por la que se amplía el ámbito de aplicación de la *Orden de 12 de noviembre de 1987* a cuatro sustancias nocivas o peligrosas que puedan formar parte de determinados vertidos.
- *Orden de 25 de mayo de 1992*, por la que se modifica la de 12 de noviembre de 1987 sobre normas de emisión, objetivos de calidad y métodos de medición de referencia relativos a determinadas sustancias nocivas o peligrosas contenidas en los vertidos de aguas residuales.

2.2.6. Valoración de daños

- *Orden MAM/85/2008* de 16 de enero, por la que se establecen los criterios técnicos para la valoración de los daños al dominio público hidráulico y las normas sobre toma de muestras y análisis de vertidos de aguas residuales.

2.2.7. Planificación

- *Ley 10/2001* de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.
- *Ley 11/2005* de 22 de junio, por la que se modifica la *Ley 10/2001* de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.
- *Real Decreto Ley 2/2004* de 18 de junio, por el que se modifica la *Ley 10/2001* de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.
- *Real Decreto 907/2007* de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- *Real Decreto 125/2007* de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas.
- *Real Decreto 126/2007* de 2 de febrero, por el que se regulan la composición, funcionamiento y atribuciones de los comités de autoridades competentes de las demarcaciones hidrográficas con cuencas intercomunitarias.

2.2.8. Objetivos de calidad

- *Real Decreto 927/1988* de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los títulos II y III de la *Ley de Aguas*.

- *Real Decreto 1541/1994* de 8 de julio, por el que se modifica el anexo número 1 del Reglamento de la Administración pública del agua y de la planificación hidrológica, aprobado por el *Real Decreto 927/1988* de 29 de julio.
- *Orden Ministerial de 8 de febrero de 1988* relativa a los métodos de medición y a la frecuencia de muestreos y análisis de aguas superficiales que se destinen a la producción de agua potable.
- *Orden Ministerial de 11 de mayo de 1988*, sobre características básicas de calidad que deben ser mantenidas en las corrientes de agua superficiales cuando sean destinadas a la producción de agua potable, modificada por:
 - *Orden de 15 de octubre de 1990*.
 - *Orden de 30 de noviembre de 1994*.
- *Real Decreto 140/2003* de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Corrección de erratas B.O.E. núm. 54, martes 4 de marzo de 2003, pág. 8469.
- *Orden SCO/1591/2005* de 30 de mayo, sobre el Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo.
- *Orden SCO/2967/2005* de 12 de septiembre, por la que se amplía la de 21 de julio de 1994, por la que se regulan los ficheros de datos de carácter personal gestionados por el Ministerio de Sanidad y Consumo, y se crea el fichero del Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo.
- *Real Decreto 1341/2007* de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.
- *Orden de 16 de diciembre de 1988* relativa a los métodos y frecuencias de análisis o de inspección de las aguas continentales que requieran protección o mejora para el desarrollo de la vida piscícola.

2.3. Legislación autonómica

En España todas las administraciones tienen competencias en materia de aguas. El Instituto Aragonés del Agua es una entidad de derecho público que tiene la función de ejercer las competencias de la Comunidad Autónoma de Aragón en materia hidráulica. Entre sus áreas de actividad más importantes están la construcción de infraestructuras de abastecimiento en colaboración con las administraciones locales, pero también la ejecución de obras de saneamiento y depuración, en especial las integradas en el Plan Especial de Depuración de Aguas Residuales de Aragón y en el Plan Pirineos, así como la explotación, directamente o por convenio, de las estaciones depuradoras de aguas residuales y la gestión del Canon de Saneamiento, entre otras. Fue creado mediante la Ley 6/2001 de 17 de mayo.

- *Ley 6/2001* de 17 de mayo, de Ordenación y Participación en la Gestión del Agua en Aragón, modificada por:
 - *Ley 26/2001* de 28 de diciembre, de Medidas Tributarias y Administrativas.
 - *Ley 26/2003* de 30 de diciembre, de Medidas Tributarias y Administrativas.
 - *Ley 12/2004* de 29 de diciembre, de Medidas Tributarias y Administrativas.
 - *Ley 13/2005* de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales y Administrativa en materia de Tributos Cedidos y Tributos Propios de la Comunidad Autónoma de Aragón.
 - *Ley 7/2006* de 22 de junio, de protección ambiental de Aragón.
 - *Ley 9/2007* de 29 de diciembre, por la que se modifica la *Ley 6/2001* de 17 de mayo de Ordenación y Participación en la Gestión del Agua en Aragón.
 - *Ley 6/2008* de 19 de diciembre, de modificación de la *Ley 6/2001* de 17 de mayo de Ordenación y Participación en la Gestión del Agua en Aragón, en lo que se refiere a la consideración del Instituto Aragonés de Agua como Administración Pública a los efectos de la aplicación de la normativa sobre contratación del sector público.
 - *Ley 3/2012* de 8 de marzo, de Medidas Fiscales y Administrativas de la Comunidad Autónoma de Aragón.
- *Decreto 266/2001* de 6 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento Regulador del Canon de Saneamiento de la Comunidad Autónoma de Aragón, modificado por:
 - *Decreto 206/2008* de 21 de octubre, por el que se modifica el *Decreto 266/2001* de 6 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento Regulador del Canon de Saneamiento de la Comunidad Autónoma de Aragón.
- *Decreto 38/2004* de 24 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de los vertidos de aguas residuales a las redes municipales de alcantarillado.
- *Decreto 218/2010* de 30 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Comisión del Agua y del Procedimiento para la formación de las Bases de la Política del Agua en Aragón.

Los textos íntegros de todas las directivas, leyes, reales decretos, órdenes ministeriales, etc., mencionadas hasta ahora en esta memoria, están disponibles en la carpeta “Anexos”, que forma parte, junto con el resto de documentos, de este proyecto.

3. ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES

La depuración de las aguas consiste en la eliminación de la contaminación e impurezas incorporables en el agua a tratar. Los procesos utilizables para la depuración de las aguas dependerán del tipo de afluente y podrán ser procesos físicos, químicos o biológicos. Así, una estación depuradora de aguas residuales (E.D.A.R.) constará de diferentes fases de tratamiento por las que el agua deberá ir pasando sucesivamente, y en las que irá perdiendo paulatinamente elementos contaminantes. No todas las depuradoras serán iguales ni tendrán las mismas fases. El número de fases de la depuradora estará en función de la carga residual que transporte el agua y, sobretodo, del nivel de depuración que se quiera alcanzar. Como ya hemos contado, este nivel de depuración deberá ser el adecuado a las exigencias de calidad del cauce receptor y del medio natural, teniéndose en cuenta su poder de autodepuración, para realizar sólo la depuración artificial que se precise, lo que permitirá combinar el nivel de calidad esperado en las aguas de vertido, con la máxima economía posible del proceso.

De forma general, en una EDAR podríamos encontrar, por orden de paso, las siguientes etapas:

- *Pretratamiento o desbaste*, para la eliminación de sólidos de gran tamaño, arenas y grasas.
- *Tratamiento primario*, también llamada decantación primaria, donde se produce la separación del líquido de los sólidos sedimentables.
- *Tratamiento secundario*, o proceso biológico, para sólidos no sedimentables o partículas en estado coloidal.
- *Tratamiento terciario*, o clarificación, por el que se logra una mayor calidad en el agua de vertido, y se consigue un mayor porcentaje de reducción de los sólidos en suspensión y de la demanda bioquímica de oxígeno o DBO.

La demanda bioquímica de oxígeno o DBO es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos presentes en un medio líquido, en miligramos de oxígeno por litro ($\text{mg O}_2/\text{l}$). Su medida se obtiene mediante la realización de un ensayo y, su valor a los cinco días de incubación, conocido como DBO_5 es el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales. Aunque las razones históricas sean otras, la razón técnica de hacer la lectura de la DBO tras cinco días de ensayo, es porque después de este periodo ocurre la nitrificación o conversión del nitrógeno orgánico o amoniacal en nitritos y nitratos. Este proceso requiere oxígeno y hace variar el valor de la DBO, pero no por oxidación del carbono orgánico, que es lo que se desea medir.

Otro parámetro de ensayo muy empleado es la DQO o demanda química de oxígeno. Este parámetro mide la cantidad de materia, orgánica e inorgánica, presente en una muestra líquida, susceptible de ser oxidada por medios químicos. Se mide también en miligramos de oxígeno por litro ($\text{mg O}_2/\text{l}$), y su valor en un agua residual, suele ser mayor que su correspondiente DBO, debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica. El valor de la DQO es posible determinarlo en unas 3 horas, frente a los 5 días que se necesitan para conocer el de la DBO, por lo que conociendo la relación entre ambos parámetros, pueden tomarse las medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento.

En una EDAR se trabaja en dos líneas principales de trabajo: la línea de agua, a la que pertenecen los tratamientos nombrados anteriormente, y la línea de fangos, compuesta por todos los procesos destinados a tratar los fangos o lodos procedentes de las etapas de la línea de agua. Entre esos tratamientos podemos encontrar procesos de espesamiento, deshidratación o incineración, entre otros. De forma esquemática, la siguiente figura resume los procesos de estas dos líneas de trabajo.

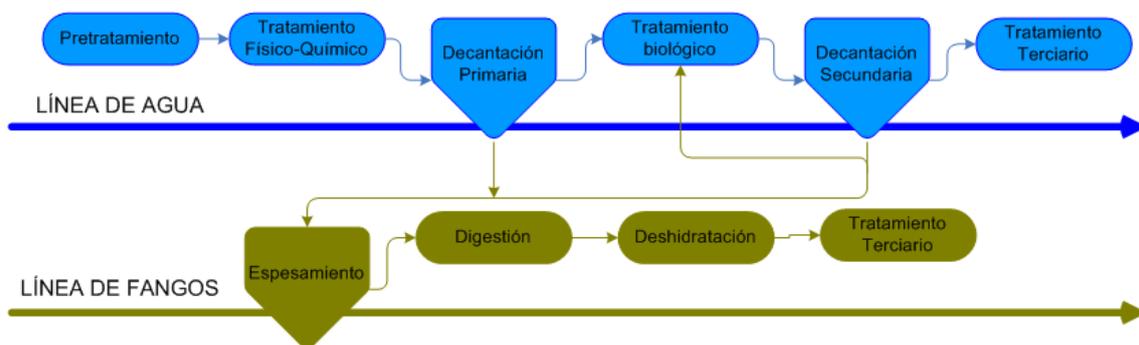


Figura 1: Croquis E.D.A.R: Línea de agua y línea de fangos
 (Fuente: Wikilibros. "Ingeniería de aguas residuales".
http://es.wikibooks.org/wiki/Archivo:Croquis_edar.png, 12-01-2013)

Además de estas dos líneas principales, podríamos establecer una tercera vía, la vía de gas, destinada al almacenamiento para su aprovechamiento y distribución, del gas metano procedente de los tratamientos de digestión.

3.1. Pretratamiento

El primer paso en la depuración del agua residual consiste en la eliminación de los elementos más gruesos presentes en el influente, así como de las arenas y grasas, que podrían perjudicar las instalaciones y equipos de la estación depuradora, y reducir la eficiencia de los tratamientos posteriores.

Este pretratamiento consta de los siguientes procesos:

- Aliviadero de agua en exceso.
- Separación de grandes sólidos.
- Desbaste.
- Tamizado.
- Trituración.
- Desarenado.
- Desengrasado.

○ *Aliviadero de entrada*

El aliviadero de entrada o vertedero de crecidas tiene como misión evacuar en el curso de agua más próximo, el excedente de caudal sobre el caudal máximo de diseño de la depuradora que asegura su correcto funcionamiento. Estas crecidas de caudal se producen en tiempo de lluvia en redes de saneamiento de tipo unitario, que no discriminan la recogida de aguas residuales domésticas de las pluviales.

No obstante, las aguas pluviales no deberían dejar de ser depuradas, ya que, en los primeros 15 minutos de precipitación, el agua de lluvia está tan contaminada como el agua residual de tipo medio. A partir de unos 20 o 30 minutos es cuando se puede empezar a hablar de agua residual diluida. Por ello, se hace necesaria la construcción de depósitos de retención que recojan las escorrentías de las aguas pluviales que tengan la capacidad suficiente como para acumular las caídas durante los primeros 20 o 30 minutos, que son las de mayor contaminación. Una vez pasada la tormenta, el total del volumen retenido en estos depósitos se va reintroduciendo en la depuradora para su correcto tratamiento.

- *Separación de grandes sólidos. Pozo de muy gruesos.*

El “pozo de muy gruesos” es un sistema de separación de grandes sólidos ubicado en la cabecera de la instalación, previsto para la retención de sólidos de gran tamaño o de una gran cantidad de arenas que pueda haber en el agua bruta. Consiste en un pozo situado a la entrada del colector de la depuradora, y una reja instalada, llamada “reja de muy gruesos”, formada por una serie de vigas de acero colocadas en vertical en la boca de entrada a la planta, que impiden el paso de troncos o materiales demasiado grandes que romperían o entorpecerían la entrada de caudal en la planta. El pozo tiene forma de tronco piramidal invertido y paredes muy inclinadas, con el fin de concentrar los sólidos y las arenas decantadas en una zona específica, donde se puedan extraer de una forma eficaz. La extracción de los residuos se realiza, generalmente, con cucharas bivalvas de accionamiento electrohidráulico. Los residuos separados con esta operación se almacenan en contenedores para ser transportados a vertedero o incinerados.

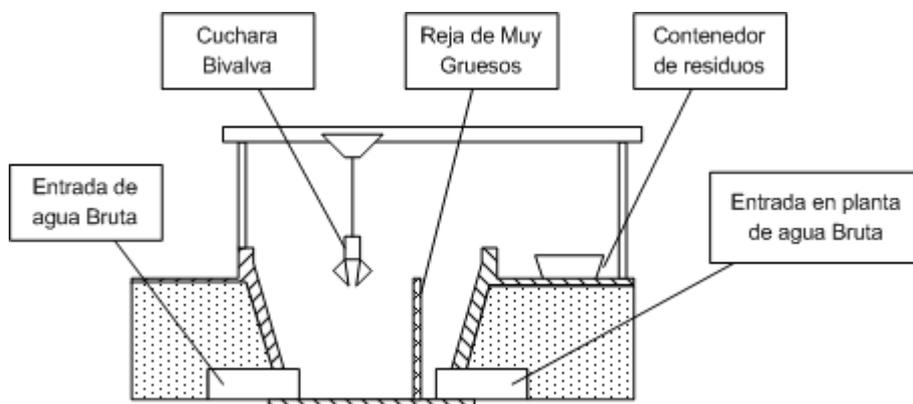


Figura 2: Partes que componen un pozo de muy gruesos

(Fuente: Wikilibros. "Ingeniería de aguas residuales".

http://es.wikibooks.org/wiki/Archivo:Esquema_muygruesos.png, 12-01-2013)

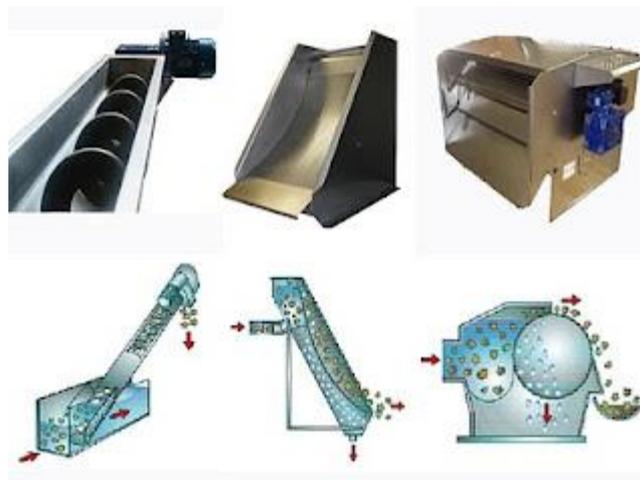
- *Rejas de desbaste*

La instalación de rejillas de desbaste es indispensable en cualquier depuradora. Su misión es la de retener y separar los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión que arrastra consigo el agua residual. Esto evita obstrucciones en canales, tuberías y conducciones en general y protege las unidades posteriores de tratamiento al interceptar las materias de grandes dimensiones, a la vez que permite aumentar la eficiencia de dichos tratamientos. Constan de unas barras de acero colocadas en el curso del agua, que impiden el paso de los elementos flotantes y en suspensión, con un tamaño mayor a la separación entre las barras.

Existen varios tipos de rejillas, que se pueden clasificar en función de la inclinación de sus barras, de la separación entre ellas y del método de limpieza que utilizan. Para el diseño de las rejillas de desbaste, es recomendable fijarse en instalaciones ya existentes, para determinar el tipo de rejillas a colocar, su número y sus dimensiones, aunque los dos parámetros fundamentales que habrá que tener en cuenta son la velocidad de paso del agua residual y la pérdida de carga. Normalmente, se suelen emplear rejas de desbaste de gruesos, con una separación entre barras de entre 50 y 150 mm, que se colocan en el colector de entrada de la estación depuradora, y que sirven como pretratamiento a las rejillas de desbaste medio, con una separación entre barras de entre 20 y 30 mm, colocadas a continuación.

- *Tamizado*

De la misma forma que las rejas de desbaste, los tamices se basan en la separación física de los sólidos en suspensión del agua, por retención frente a unas barras de acero que no permiten su paso. En este caso, la separación entre barras de los tamices más utilizados normalmente es de 1 mm, aunque los hay con una separación libre entre barras de hasta 0,2 mm. Son sistemas autolimpiables, y permiten la reducción del número de sólidos que pasan a las etapas siguientes, así como la eliminación de arenas gruesas, e incluso grasas en porcentajes de hasta el 30%. Los hay de varios tipos, con distintas formas de funcionamiento, y pueden ser estáticos, que trabajan sin necesidad de aporte de energía, o con elementos móviles.



*Figura 3: Distintos tipos de tamices
(Fuente: FMS Maroesca S.L.)*

- *Trituración*

Una forma de eliminación de los residuos retenidos en las rejillas, además del secado y la incineración, es la trituración. Mediante este procedimiento, los residuos son triturados, pasando de tamaños de entre 50 y 80 mm a solo unos pocos milímetros de diámetro, y devueltos de nuevo al efluente.

Para conseguir la trituración de los sólidos se utilizan unas máquinas llamadas dilaceradores, formados, bien por un tambor giratorio con unos dientes de acero que encajan en los huecos de un rastrillo emplazado en el armazón, o bien por una serie de martillos accionados por un motor eléctrico, alojados en un cuerpo de fundición provisto de huecos. A su vez, los dilaceradores pueden incluir impulsión de agua, con lo que, al mismo tiempo que trituran los sólidos, bombean las aguas residuales. No obstante, su capacidad de impulsión no suele ser muy elevada, y se precisa colocar en muchas ocasiones en serie en la misma tubería, el elemento triturador y la bomba impulsora.

Este proceso recarga el trabajo de las demás unidades del tratamiento, por lo que se debe tener en cuenta a la hora de realizar el estudio económico de la estación depuradora. Actualmente esta operación está muy cuestionada y casi ha desaparecido de la mayoría de las instalaciones. No es lógico mantener o retornar al proceso aquellos sólidos que pueden eliminarse por desbaste o tamizado, porque lo que hacemos es empeorar la calidad del agua residual que va a ser tratada posteriormente. Además, en la práctica, esta operación necesita de una atención frecuente para evitar posibles obstrucciones de tuberías y bombas, que se pueden provocar por la acumulación en masas de las fibras textiles o vegetales unidas a las grasas, así como de la formación de una costra de fango en los digestores anaerobios.

- *Desarenado*

La entrada de arena en los elementos de los tratamientos primario y secundario tiene consecuencias negativas en los procesos de depuración. Las arenas aumentan la densidad del fango, lo que dificulta su separación del fondo y las paredes de los depósitos y las conducciones, a la vez que se incrementa también el riesgo de atascamientos en los canales y las tuberías. Aparecen además, fenómenos de abrasión en los rodets de las bombas y otros equipos, haciendo disminuir su capacidad hidráulica, y provocando mayor número de averías.

El desarenador es una estructura o equipo cuya función es, precisamente, la de separar los elementos pesados en suspensión, como arenas, arcillas y limos, que lleva

el agua residual. Se realiza en depósitos donde se reduce la velocidad del agua y se facilita la precipitación, en el fondo, de las partículas en suspensión debido a su mayor peso. Esta retención se podría hacer en los tanques de decantación, pero la mezcla de arenas y lodos complicaría los procesos siguientes de tratamiento de lodos.

En el tratamiento de aguas residuales, se entienden por “arenas” aquellas partículas imputrescibles y con velocidades de sedimentación sensiblemente superiores a las de los sólidos orgánicos putrescibles. Esta característica constituye el principio de funcionamiento de los desarenadores. Como ya se ha comentado, el procedimiento utilizado para proceder a la separación de la arena del agua residual, consiste en provocar una reducción de la velocidad del agua por debajo de los límites de precipitación de los granos de dichas arenas, pero por encima de los de sedimentación de la materia orgánica. Esta velocidad deberá ser, asimismo, inferior a la denominada “velocidad crítica”, que es aquella a la que se inicia el arrastre de la arena decantada. Las técnicas en las que se basan los distintos tipos de desarenadores son dos: la separación natural por decantación en canales o depósitos apropiados, y la separación dinámica con procesos utilizando inyección de aire o efectos de separación centrífuga.

La separación natural requiere un paso constante de agua. El tipo más corriente de desarenador que funciona bajo este principio es el desarenador de flujo horizontal. Consiste en un ensanchamiento del canal de pretratamiento, donde la velocidad de la corriente de agua se reduce a valores inferiores a los 20 o 30 cm/s. Su principal inconveniente es la variación del flujo horizontal, que es función del caudal afluente. Para tratar de paliar este problema, se utilizan desarenadores de flujo vertical, cuyo funcionamiento se realiza, cualquiera que sea el caudal tratado, a sección llena. Esto se consigue dividiendo la sección de salida en varias zonas verticales cuyos bordes superiores están a distinta altura sobre el canal de salida. El equipo realizará su función correctamente cuando la velocidad ascensional del agua sea menor a la de la caída de los granos de arena y superior a la de la caída de las partículas de materia orgánica. Experimentalmente se ha deducido que la mayor velocidad de caída de materia orgánica es de 3 a 4 cm/s, por lo que si se fija una velocidad ascendente de 6 cm/s quedarán retenidos la mayor parte de los granos de arena de entre 0,25 y 0,5 mm, mientras que no habrá depósitos de materia orgánica.

Por otro lado, los desarenadores de flujo inducido más corrientes son de tipo rectangular aireado. En estos equipos se inyecta aire por medio de grupos motosoplantes creando una corriente en espiral de manera que permite la decantación de las arenas y genera una corriente constante de barrido de fondo. Además de su papel motor, el aire inyectado favorece, por su efecto de agitación, la separación de las materias orgánicas que pudieran quedar adheridas a las partículas de

arena. De esta forma, y dado que el depósito está aireado se mantienen las condiciones aeróbicas y se reduce la producción de malos olores.

- *Desengrasado*

Las aguas residuales urbanas tienen un volumen importante de grasas y aceites, procedentes, tanto de los hogares y garajes, como de lavaderos, mataderos y de escorrentía superficial. Estas grasas y aceites perjudican el proceso de depuración de las aguas, causando obstrucciones en las rejillas finas o formando una capa superficial en los decantadores que dificultan su correcto funcionamiento. También perturban el proceso de digestión de lodos.

Para evitarlo se utilizan separadores de grasas cuya función es la de eliminar las grasas, aceites y espumas del agua residual, y que aprovechan su menor densidad con respecto al agua, para hacerlas subir a la superficie, de donde pueden ser retiradas. Para mejorar este proceso se insufla aire en forma de finas burbujas para favorecer el desmenuamiento de las grasas y aceites, aumentando con ello la velocidad de ascensión. Las diminutas gotas de grasa formadas, de un diámetro en torno a 0,15 mm, ascienden con una velocidad de entre 1 a 4 mm/s. Una vez en la superficie, las grasas y aceites son retirados manualmente o mediante un sistema de rasquetas accionado automáticamente.

En muchas ocasiones, los procesos de desarenado y desengrasado se realizan en una misma unidad de tratamiento. Esto no modifica prácticamente las velocidades de sedimentación de las arenas, ni de flotación de las partículas de grasa. Al contrario, el aire comprimido añadido para la desmenuación de los aceites, ayuda a impedir la sedimentación de las partículas de fango, poco densas, por lo que la arena depositada en el fondo es más limpia. Estas partículas, además, al sedimentar, deceleran las velocidades de ascensión de las partículas de grasa, por lo que estas disponen de más tiempo, en su recorrido hacia la superficie, de ponerse en contacto entre sí, aumentando el rendimiento de la flotación de grasas.

3.1.1. Eliminación de residuos de pretratamiento

De los procesos vistos en el pretratamiento quedan residuos que es preciso eliminar. Los desechos recogidos sobre las rejillas y tamices son retirados manualmente o por medios mecánicos automatizados, y transportados a vertedero.

De la misma forma, la arena de los canales desarenadores, puede ser extraída con pala, en los más pequeños, o por bombeo en equipos mayores. También se puede separar mecánicamente, con un tornillo de Arquímedes, o mediante hidrociclones, y se almacena en tolvas. Estas arenas no son adecuadas para su reutilización, y pueden ser enterradas, o transportadas a vertedero.

Por otra parte, las grasas retiradas se conducen a un depósito donde se pretende alcanzar la máxima concentración de las mismas. Cuando es conveniente, se extraen y son transportadas para su recuperación o incineración. En plantas pequeñas, se bombean al contenedor de las arenas y se transportan, de forma conjunta, al vertedero.

Por último, los residuos que han de ser transportados, en la mayoría de ocasiones, son prensados previamente, para eliminar la mayor parte de humedad, con lo que se reducen su peso y dimensiones. Además, al quitarles humedad, se retrasa el proceso de fermentación y, en consecuencia, los olores, lo que permite disminuir la periodicidad de la retirada de residuos de la planta.

De una forma gráfica, el pretratamiento genérico de una EDAR quedaría como se indica en la siguiente imagen:

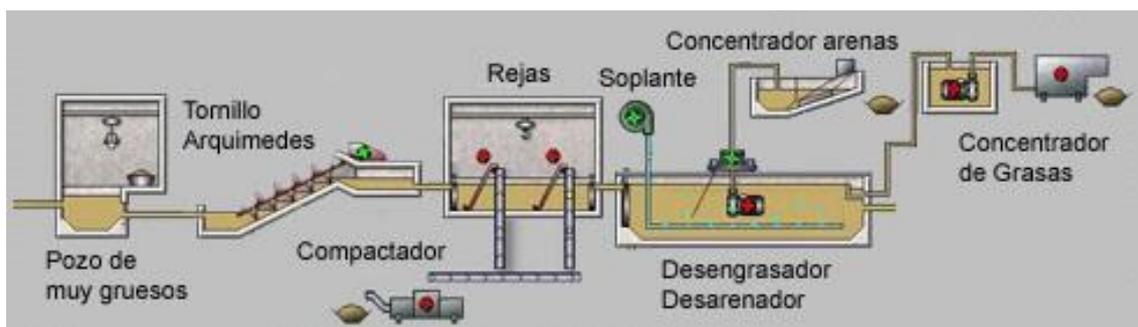


Figura 4: Esquema pretratamiento

(Fuente: Wikilibros. "Ingeniería de aguas residuales".

http://es.wikibooks.org/wiki/Archivo:Esquema_pretratamiento.png, 21-04-2013)

3.2. Tratamiento Primario

La mayor parte de las sustancias en suspensión y disolución en las aguas residuales no pueden retenerse ni pueden separarse, por razón de su finura o densidad, en los procesos propios del pretratamiento. Allí se han eliminado los sólidos más gruesos, los sólidos finos hasta las 200-250 μm , las arenas y las grasas. El siguiente proceso de depuración es el tratamiento primario.

La depuración primaria o física es un proceso unitario, de carácter físico, que tiene por objeto fundamental la continuación de la reducción de los sólidos en suspensión decantables, existentes en el agua residual. Puede decirse que el tratamiento tiene tres procesos principales diferenciables:

- *Decantación primaria.*
- *Flotación y recogida de sobrenadantes.*
- *Extracción de fango primario.*

3.2.1. Decantación primaria

La parte fundamental del tratamiento primario es la decantación primaria, proceso mediante el que, con la acción de la fuerza de la gravedad, y tratándose de aguas residuales urbanas, se eliminan entre el 50% y el 65% de los sólidos en suspensión del agua residual de entrada. Dado que en la composición de dichos sólidos hay materia orgánica, su eliminación lleva asociada también una reducción de la DBO_5 de entrada de entre el 25% y el 35%.

Este proceso de decantación natural, va acompañado, en ocasiones, de un tratamiento físico-químico. Su función es la de convertir sustancias, que permanecerían de forma estable en el agua por tiempo indefinido, en partículas susceptibles de separación por sedimentación. Estas sustancias son partículas de pequeña dimensión, de milimicras a decenas de micras, que aparecen en el agua formando una estructura coloidal en suspensión estable, que consiguen gracias a la acción de cargas eléctricas que soportan dichas partículas. Para conseguir la sedimentación de estas partículas, se añaden al agua coagulantes, que neutralizan las cargas eléctricas, y facilita que los coloides tiendan a agregarse, formando partículas de mayor masa llamadas flóculos. Estos flóculos tienen ya una velocidad de sedimentación apreciable, de algunos metros por hora, y pueden separarse del agua por decantación.

Esta sedimentación se puede realizar en decantadores simples o compactos. Los decantadores simples tienen que ir precedidos de cámaras de coagulación o reacción química seguidas de cámaras de floculación o crecimiento de partículas, que forman un elemento previo, imprescindible para conseguir la decantación. En ellas se produce una agitación suave que incrementa los contactos de las partículas individuales, facilitando su crecimiento por acción de masas. Su capacidad tiene que ser tal, que a caudal máximo de la planta, la retención del líquido en estas cámaras sea de unos 20 o 30 minutos. Por otra parte, en los decantadores compactos se realizan las operaciones de floculación y decantación en el mismo aparato, lo que permite conseguir partículas de mayor dimensión y velocidades de sedimentación más elevadas.

Si la reacción de coagulación del coloide se produce en presencia de partículas ya preformadas, la probabilidad de encuentro de la partícula naciente con otra partícula aumenta mucho. Si, además, esta segunda partícula tiene ya un tamaño importante, la atracción que ejerce sobre la primera es muy grande, con lo que el crecimiento de partículas es rápido. Para conseguir que el agua coagulada con los reactivos se encuentre en presencia de partículas preformadas, se pueden seguir dos sistemas:

- *Recirculación de fangos*: consiste en tomar parte de las partículas ya formadas y recircularlas a la cámara de floculación, para tener una riqueza del 3% al 8% en volumen de fangos en dicha cámara.
- *Lecho de fangos*: consiste en hacer pasar el agua coagulada a través de una capa de fango espeso preformado, con una riqueza del 7% al 14% en volumen de fangos.

En el tratamiento de aguas residuales urbanas, con frecuencia es tal la concentración de materia en suspensión, que puede conseguirse una floculación mediante simple agitación. Con el fin de favorecer la eliminación de la contaminación coloidal, puede introducirse un coagulante. Por otro lado, las aguas residuales industriales presentan composiciones muy variables según la industria considerada. En algunos casos, el agua contiene un constituyente capaz de flocular por simple agitación o que lo hace mediante la adición de un floculante. Otras veces, en cambio, sí que será necesario utilizar un coagulante que dé origen a un precipitado que pueda flocularse a continuación.

La reacción química de coagulación aprovecha la carga eléctrica de los coloides, y comprende tres etapas:

- Neutralización de las cargas negativas de las impurezas con el ión coagulante.
- Reacción del coagulante y formación de flóculos de óxido hidratado coloidal con carga positiva, que atraen impurezas coloidales de carga negativa.

- Adsorción superficial de impurezas por los flóculos.

Una vez los coloides se han convertido en flóculos, aumentan su tamaño por simple contacto (coalescencia), favorecido por una serie de choques sucesivos.

Los factores que influyen en el proceso de coagulación son:

- *Tipo y cantidad del coagulante.*
- *Características del agua y su pH:* cuanto más finas son las materias suspendidas, más difíciles son de coagular y necesitan mayor cantidad de coagulante.
- *Periodo de coagulación:* es el tiempo transcurrido entre la adición del coagulante al agua y el final de la agitación del agua, a una velocidad que impida la decantación de las materias floculadas, antes de la entrada al decantador. Puede estimarse entre unos diez y treinta minutos.
- *Temperatura del agua:* cuanto más fría esté el agua mayor será el tiempo requerido para la formación de buenos flóculos, con una misma cantidad de coagulante.
- *Fuerza de la agitación:* una velocidad de 30 a 40 cm/s en los tanques de coagulación produce una fuerza de agitación adecuada.
- *Presencia de núcleos:* las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de flóculos.

La depuración química se utiliza en momentos de fuertes puntas de contaminación, en casos de grandes variaciones de caudal, como los producidos en zonas turísticas, con vertidos reducidos a ciertas épocas del año, o en depuradoras de zonas industriales o mixtas, donde los vertidos arrastran iones metálicos o tóxicos que pueden destruir la actividad biológica del tratamiento posterior. También, como veremos, se puede usar como tratamiento terciario. Los rendimientos obtenidos utilizando la adición de productos químicos en el tratamiento primario varían en función de las sustancias utilizadas. En los casos en los que el producto utilizado es polielectrolito, la reducción de sólidos en suspensión alcanza valores de entre el 65-75%, y del 50-65% en DBO₅, mientras que si se trabaja con sales metálicas, el rendimiento es aún mayor, llegándose a valores de reducción del 85-90% de sólidos en suspensión y del 65-75% en DBO₅.

Como se puede ver, el tratamiento primario permite sedimentar los materiales en suspensión usando tratamientos físicos o físico-químicos. Existen tres tipos de procesos de sedimentación:

- *Sedimentación de partículas discretas:* este tipo es característico de procesos de simple decantación, y es en el que se basan los desarenadores que hemos

visto en el pretratamiento. También en decantadores primarios, con las partículas discretas que no han sido retenidas previamente.

- *Sedimentación de partículas indiscriminadas:* es la acción principal que se produce en los decantadores primarios, donde existen partículas muy distintas en tamaños, densidad y constitución.
- *Sedimentación de partículas floculadas y en floculación:* se da principalmente en los decantadores secundarios de los tratamientos químicos y biológicos, particularmente, en los de estaciones de depuración por “fangos activos”. Junto con los otros dos tipos, se da en los decantadores primarios con recirculación de fangos de los secundarios. En este tipo encontramos dos modelos diferenciados:
 - *Sedimentación por zonas,* cuando la concentración de partículas en el líquido es relativamente alta.
 - *Sedimentación por compresión,* cuando las partículas se encuentran en contacto físico unas con otras.

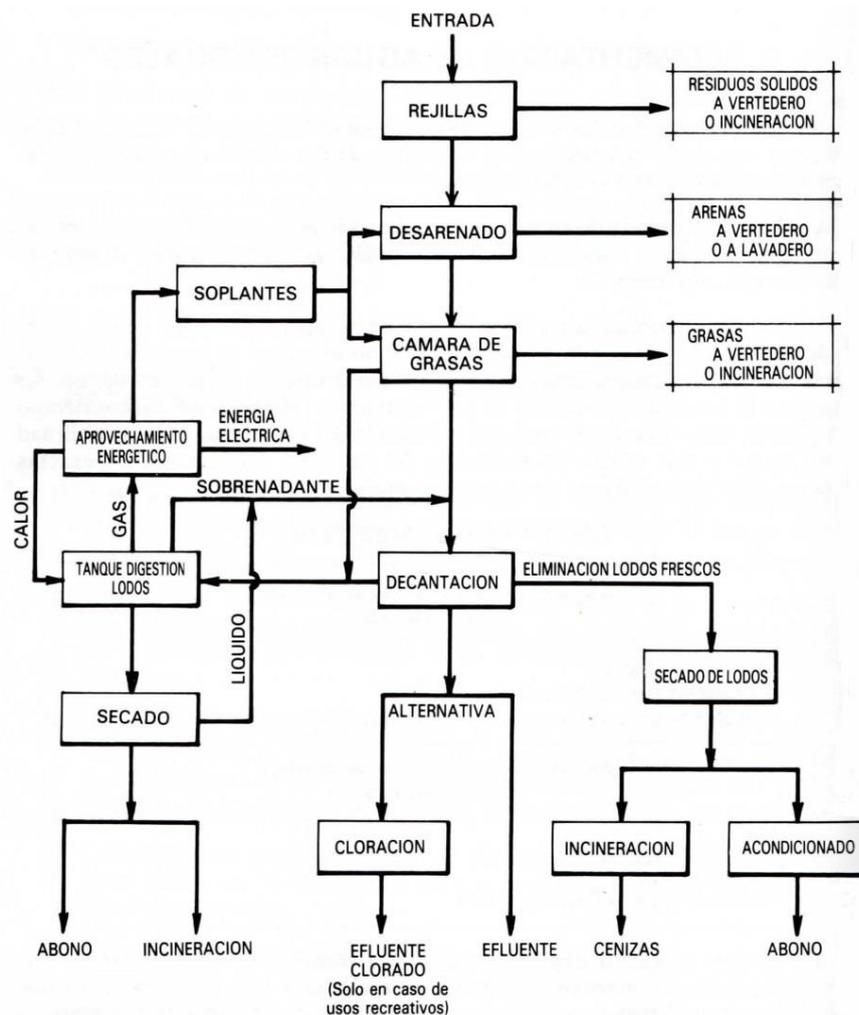


Figura 5: Diagrama de un proceso físico de depuración

(Fuente: Aurelio Hernández Muñoz. "Depuración de aguas residuales", 2ª edición. Paraninfo, 1992)

Los distintos factores que influyen en la sedimentación son los siguientes:

- *Tamaño de las partículas:* cuanto mayor es, mayor es la velocidad de sedimentación.
- *Peso específico de las partículas.*
- *Concentración de sólidos en suspensión:* mayor eficacia en la eliminación de sólidos en suspensión cuanto mayor es la concentración.
- *Temperatura:* a mayor temperatura menor es la densidad del líquido y más rápida la sedimentación.
- *Tiempo de retención:* cuanto mayor es este tiempo, mayor es la eficiencia conseguida en la decantación.
- *Velocidad ascensional.*
- *Velocidad de flujo:* un valor superior a la velocidad crítica puede volver a poner en suspensión los fangos sedimentados.
- *Acción del viento sobre la superficie del líquido.*

3.2.2. Flotación y recogida de sobrenadantes

De la misma forma que la sedimentación, el proceso de flotación es un procedimiento de separación sólido-líquido en una suspensión de ambos elementos, basado en su diferencia de densidades. En el tratamiento de las aguas residuales, se emplea para la eliminación de la materia suspendida, así como para la concentración de los fangos biológicos, como se verá más adelante. La diferencia con la sedimentación consiste en que, mediante la flotación se pretende separar de la suspensión aquellos elementos que, por su menor densidad respecto del líquido, pueden flotar o son susceptibles de flotar, en ciertas condiciones, sobre el líquido. La principal ventaja del proceso de flotación frente al de sedimentación consiste en que permite eliminar mejor y en menos tiempo las partículas pequeñas o ligeras cuya deposición es lenta. La extracción de los sólidos separados puede realizarse mediante un “rascado” superficial del líquido.

Haciendo una comparación con los tipos de sedimentación, los procesos de flotación se pueden clasificar de la siguiente manera:

- *Flotación simple de partículas discretas:* sigue las mismas leyes que el proceso de sedimentación del mismo nombre, pero con un cambio de signo en las fuerzas actuantes.
- *Flotación difusa de partículas floculadas:* es un tipo de flotación simple que, por fenómenos de acumulación de partículas, por adsorción o coalescencia, totalmente aleatoria, produce una flotación más rápida por aumento del tamaño de aquellas.

- *Flotación por zonas:* de la misma forma que en la sedimentación del mismo tipo, se da cuando la concentración de partículas es muy alta. Se distinguen cuatro zonas de concentración de partículas, aumentando esta concentración hacia las zonas superiores.
- *Flotación por compresión:* se produce cuando el contacto físico entre partículas frena su velocidad de ascensión por turbulencias creadas en el flujo del agua, que escapa de los intersticios entre partículas.

Los procesos de flotación pueden producirse de forma natural, cuando la densidad de las partículas es menor que la del agua, cuya utilidad se reduce a procesos de desaceitado (cámaras de grasas, etc...), aunque sus limitaciones han llevado a desarrollar unos sistemas de flotación acelerada por alteración de las características de las partículas. Estas alteraciones se basan en dos principios:

- *La coagulación* de las partículas, mediante la que se aumenta su tamaño rompiéndose el equilibrio coloidal que las mantenía dispersas.
- *La emulsión* de burbujas o microburbujas de aire en la masa del líquido que se fijan a las partículas ya floculadas, disminuyendo su densidad y provocando un aumento en su velocidad ascensional. Estas burbujas pueden ser de tamaños diferentes, siendo variable el efecto que esta diferencia de tamaños puede ejercer sobre la flotación.

La aplicación práctica de la flotación en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas se limita, en la actualidad, al uso del aire como agente responsable del fenómeno. Las burbujas se añaden, o se induce su formación, mediante uno de los siguientes métodos:

- *Flotación por aireación a presión atmosférica:* en este sistema, las burbujas de aire se introducen directamente en la masa del líquido en tratamiento por medio de difusores o turbinas. El tamaño de las burbujas es de algunos milímetros y su bajo rendimiento sólo lo hace recomendable para la separación de sólidos de muy baja densidad, como detergentes, o en el caso de algunas aguas residuales con tendencia a generar espumas.
- *Flotación por aire disuelto:* en este sistema el aire es introducido mediante agua presurizada. El aire se disuelve en parte del agua residual a tratar a una presión de varias atmósferas. Al inyectar esta agua presurizada en el líquido en tratamiento, el aire disuelto se libera en forma de microburbujas que ascienden a la parte superior fijándose a los flóculos en suspensión y produciéndose con ello su flotación.
- *Flotación por vacío:* consiste en saturar de aire el agua residual directamente en el tanque de aireación o permitiendo que el aire penetre en el conducto de aspiración de las bombas, y aplicar posteriormente un vacío parcial en la superficie de la masa líquida. De esta forma el aire disuelto abandona la

solución en forma de burbujas diminutas, que arrastran con ellas hacia la superficie, las partículas sólidas a las que se adhieren, para formar una capa de espuma que se elimina mediante un mecanismo de rascado superficial. El rendimiento de este procedimiento es, generalmente, mayor que el de presurización porque logra un menor tamaño de burbuja y una zona de formación de las mismas más homogénea.

Como también sucedía con la sedimentación, también los procesos de flotación se pueden mejorar, mediante la introducción de aditivos químicos en los sistemas, que logran unos mayores grados de eliminación y rendimiento.

3.2.3. Extracción de fango primario

De los procesos de sedimentación y flotación obtenemos como resultado la separación de los sólidos y flotantes del agua residual. Estos elementos tienen que ser retirados de los decantadores donde se producen y trasladados a otros equipos para su posterior tratamiento. Estos equipos son:

- El espesador de fangos, donde irán los sólidos que han sedimentado.
- El concentrador de grasas, donde irán los flotantes.

Se puede decir que la evacuación de los fangos puede darse en tres pasos: acumulación, almacenamiento y extracción.

La acumulación de fangos en el decantador puede realizarse de dos formas básicas: por gravedad o mediante equipos mecánicos. El tipo de acumulación que se haga, así como los distintos procedimientos para el almacenamiento y la extracción de los fangos, dependerá del tipo de decantador que se utilice, lo que podemos ver en el apartado siguiente, centrado en los decantadores.

3.2.3.1. Decantadores primarios

Los tanques de sedimentación primaria o decantadores primarios son los equipos donde tienen lugar los procesos descritos hasta ahora, relativos al tratamiento primario de una EDAR. Sirven, de esta manera, para eliminar los sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de fango, aceite, grasas y otras materias flotantes y parte de la carga orgánica presente en las aguas residuales, lo que supone una importante reducción de la carga afluente al tratamiento secundario.

Los decantadores más utilizados actualmente son tanques de diseño normalizado, rectangulares o circulares, con dispositivos mecánicos de recogida de fangos. Las partes o zonas fundamentales de un decantador son las siguientes:

- Entrada de agua
- Vertedero de salida de agua
- Sistema de barrido de fangos
- Zona de acumulación de fangos
- Sistema de purga de fangos
- Dispositivo de retirada de flotantes

Decantadores circulares

En los decantadores circulares el agua entra, en la mayoría de las ocasiones, por el centro del decantador y se recoge a lo largo de toda su periferia, aunque también se ha desarrollado una variante con alimentación periférica de agua y con salida central. Desde el punto de entrada de agua, a través de la campana de reparto, la difusión del agua en el tanque se hace de forma homogénea, mediante la instalación de deflectores o dispositivos de pérdidas de carga. La salida habitual del agua se realiza a través de vertederos perimetrales o radiales de tipo dentado para atenuar las posibles variaciones de caudal.

Los fangos producidos y depositados en el fondo, son arrastrados hacia una poceta de acumulación ubicada en la solera del decantador, en su centro. En ocasiones, esta poceta está dotada de un sistema de paletas de espesamiento para aumentar la concentración del fango antes de su extracción. El arrastre del fango hacia la poceta se realiza mediante sistemas de rascadores que barren la solera del decantador que, normalmente, están suspendidos de un puente que gira lentamente, a una velocidad no superior a 120 m/h, y que se ve favorecido por la pendiente, hacia su centro, que presenta el fondo del tanque. La extracción o purga del fango se realiza desde la poceta de acumulación, y se ejecuta, automáticamente, de forma periódica, temporizando los tiempos de funcionamiento y parada del sistema de extracción. Estas purgas pueden ser, como idea, de 5 a 8 purgas por día, con un tiempo de purga de 7 a 12 minutos.

También existen decantadores en los que la extracción de fangos se realiza por succión, ya sea por depresión hidráulica o por vacío, sin necesidad de sistemas de arrastre de fangos ni de acumulación, aunque presentan la desventaja de que la concentración del fango de salida es menor.

Por último, el puente del que se suspenden los rascadores de fondo, va provisto también de otros rascadores, que barren la superficie del agua para conseguir la

acumulación de las sustancias flotantes en un punto, desde el que mediante una chapa deflectora se vierten a otra cámara para su extracción, aunque existen variedad diferentes.

Decantadores rectangulares

En los decantadores rectangulares, la alimentación se realiza, generalmente, por uno de los lados estrechos del tanque, saliendo el agua por el lado opuesto, a través de un vertedero dentado, como en el caso de los decantadores circulares. Para romper la energía de entrada del agua y para facilitar su reparto en las capas inferiores del decantador, suele usarse el tipo de entrada por vertedero, con mampara frontal de tranquilización, o sistemas de rotura de carga similares, también, a los de los decantadores circulares. La velocidad en las conducciones de entrada debe ser inferior a 1 m/s.

En estos decantadores, los fangos sedimentados en el fondo son arrastrados por rasquetas que barren el fondo, a lo largo de toda su longitud. En unos casos, estas rasquetas son arrastradas por una cadena sin fin, unida a un motorreductor de accionamiento. Cuando se mueven en un sentido, producen la acumulación del fango, mientras que cuando hacen el movimiento de retorno, se elevan y recorren el decantador en sentido contrario, aprovechando el movimiento para la acumulación de flotantes, hasta volver al punto de partida. En otros casos, los rascadores cuelgan de un puente que se desplaza a lo largo de todo el decantador. También existen, como en el caso anterior, rasquetas de succión que, con cualquiera de estos sistemas de arrastre citados, sustituyen las rasquetas por aspiradores.

Las pocetas de almacenamiento de fangos se pueden situar a lo ancho del decantador rectangular, en uno de los lados, o pueden estar situadas longitudinalmente. La extracción de flotantes se realiza por tubos acanalados giratorios.

A partir de datos estadísticos de explotación de múltiples depuradoras, parece ser que los decantadores circulares son los que consiguen mejores rendimientos. Por otro lado, desde un punto de vista hidráulico, el decantador rectangular tendría un mejor funcionamiento. No obstante, debido a la gran cantidad de factores que intervienen en el diseño de una EDAR, la elección de uno u otro tipo de decantador se realizará tras el análisis de dichos factores.

Se puede dar la posibilidad, además, de equipos mixtos que incluyan los procesos de sedimentación y flotación. El rendimiento del proceso de flotación por

aire disuelto, para bajas concentraciones de sólidos en suspensión, depende, entre otros factores, de la formación de un buen enlace partícula-burbuja de aire. Así, habrá partículas que no son flotantes y que o sedimentarán en el depósito de flotación, o bien se irán con el efluente. Para evitar este problema aparece el decantador-flotador, consistente en un decantador primario convencional en cuyo interior se ubica el flotador, y que se completa con el sistema de presurización-sobresaturación típico del proceso de flotación por aire disuelto.

Como resumen genérico de lo expuesto sobre el tratamiento primario, puede ponerse la siguiente imagen:

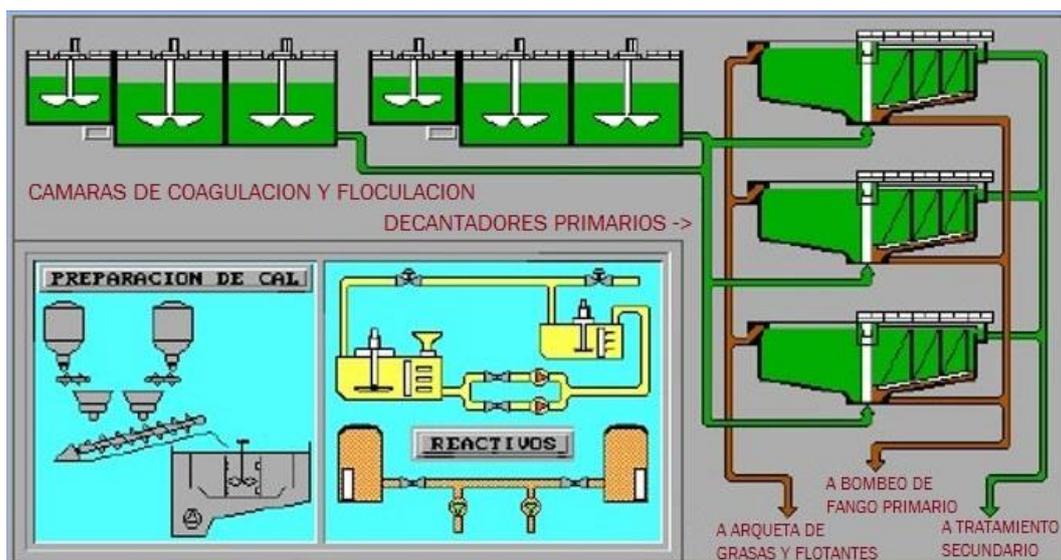


Figura 6: Esquema tratamiento primario

(Fuente: <http://werabereaguasresiduales.blogspot.com.es/2010/06/tratamiento-primario-1.html>, 21-04-2013)

El tratamiento primario es un proceso simple, cuya principal ventaja es que se trata de un proceso donde se obtiene un rendimiento depurativo a un bajo coste. Aunque, en determinadas ocasiones, puede utilizarse como una operación única de depuración, lo normal es que la depuración primaria forme parte de un proceso global con otras operaciones. De esta forma, se coloca a continuación del pretratamiento y antes del proceso biológico, y su función básica es reducir la carga contaminante mejorando el rendimiento y las condiciones de los procesos posteriores. La decantación primaria es siempre obligada cuando posteriormente se vierten las aguas en terreno para riego o se utiliza un sistema biológico de lechos bacterianos. Pero habrá casos en los que esta etapa pueda ser suprimida, lo que generará ventajas e inconvenientes.

3.3. Tratamiento secundario

Debido al aumento de las cargas contaminantes urbanas e industriales, frente al poder de autodepuración de los ríos, un pretratamiento e incluso una depuración primaria o física de las aguas residuales, no son suficientes para poder realizar el vertido sin problemas. Las aguas salidas del proceso físico de la depuración siguen cargadas con un porcentaje de entre el 42% y el 60% de los sólidos en suspensión que el agua presentaba a la entrada de la depuradora. Los sólidos eliminados son, como hemos visto, los flotantes y los que, por su densidad con relación a la del agua, son decantables por procedimientos físicos. Por el contrario, los que permanecen en la masa del agua son sólidos de pequeño tamaño, de densidad próxima a la del agua, o partículas en estado coloidal, cuya separación por procesos físicos es prácticamente imposible. El tratamiento secundario se aplica a continuación del tratamiento primario o físico, y tiene como principal objetivo, la reducción de la materia orgánica disuelta en las aguas residuales, mediante la coagulación y floculación de la materia coloidal orgánica.

Dentro de los procesos convencionales, las alternativas posibles en el tratamiento secundario son, en principio, dos: el tratamiento químico y el biológico. Los resultados de ambos son bastante similares en cuanto a los efectos, pero su mecanismo funcional es distinto.

En el tratamiento químico se precisa la introducción de cantidades importantes de reactivos, sistemas de dosificación muy correctos y un personal de mantenimiento muy preparado que tiene que estar periódicamente controlando y ajustando las dosificaciones de los productos para un adecuado rendimiento. En un proceso químico el consumo de reactivos oscila entre 90 y 250 mg/l, cuyo coste, unido al del control permanente de la dosificación por técnicos especialistas, lo descarta en favor de los tratamientos biológicos, más económicos. No obstante el tratamiento químico tiene su aplicación en los siguientes casos:

- Depuradoras para zonas turísticas con vertidos reducidos a ciertas épocas del año; durante la mayor parte del año trabajan según un proceso, y en la época de caudales punta se ayudan del tratamiento químico.
- Depuradoras de zonas industriales o mixtas, donde los vertidos pueden destruir la actividad biológica.
- Como tratamiento terciario, para obtener una eliminación más completa de los compuestos orgánicos y nutrientes como el nitrógeno y el fósforo.

Por otro lado, en el proceso biológico, la coagulación y floculación de la materia orgánica coloidal se logra por medio de biomasa, y se basa en el consumo de materia orgánica por los organismos adecuados. La formación de flóculos con peso suficiente para poder separarse de la masa de agua, se logra gracias a la acción enzimática y metabólica de los microorganismos que están en el agua residual. Para lograr un funcionamiento correcto, el sistema necesita mantener las condiciones vitales de dichos microorganismos, por lo que se le precisa aportar un caudal y una carga orgánica constantes, y controlar las relaciones entre nutrientes que optimizarán los resultados del proceso biológico:

- pH en posición neutra.
- Capacidad de degradación expresada por la relación DBO₅/DQO.
- Relación entre nutrientes de:

$$\frac{DBO_5 (ppm)}{N_{total} (ppm)} = 20$$

$$\frac{DBO_5 (ppm)}{P_{total} (ppm)} = 100$$

Entre los procesos de tipo biológico que pueden aplicarse cabe distinguir los siguientes:

- *Fangos activos.*
- *Lechos bacterianos.*
- *Biodiscos.*
- *Estanques de estabilización.*
- *Lagunas aireadas.*
- *Etc.*

En estos tipos de tratamiento se emplean cultivos biológicos para conseguir una descomposición aeróbica y oxidación de la materia orgánica, pasando a compuestos más estables, obteniendo de esta forma, un mayor nivel de depuración que el conseguido en la sedimentación primaria. En todos estos procesos, con excepción de los estanques de estabilización, que pueden trabajar de distintas maneras, es imprescindible mantener las condiciones aerobias, que son necesarias para el ciclo vital de los microorganismos, y controlar la cantidad de materia orgánica que descompongan. La materia orgánica es el alimento de estos microorganismos, y su eficiencia disminuye tanto por una sobrealimentación como por una alimentación deficiente o no equilibrada. El secreto para una buena depuración reside en el control preciso del desarrollo y actividad de los millones de organismos, como plantas, animales, hongos y bacterias, que sólo precisan de unas condiciones adecuadas para realizar su trabajo.

De los procesos mencionados, trataremos con un poco más de detalle los dos más ampliamente utilizados: los lechos bacterianos y los fangos activos. Los dos se basan en la acción de organismos aerobios para realizar la descomposición de la materia orgánica, y la diferencia entre ellos estriba en la forma de llevar a cabo este procedimiento. En los lechos, los organismos están adheridos al medio de fijación y en ellos reciben el material orgánico a transformar. Por el contrario, en los fangos son los microorganismos los que buscan la materia orgánica de las aguas negras.

3.3.1. Lechos bacterianos

Los lechos bacterianos, también conocidos como filtros percoladores, son un sistema de depuración biológica de aguas residuales en el que la oxidación se produce al hacer circular, a través de un medio sumamente permeable, aire y agua residual.

La materia orgánica y sustancias contaminantes del agua son degradadas en una película biológica compuesta por microorganismos, que se desarrollan alrededor de los elementos constitutivos del medio filtrante. Esta película no debe tener más de 3 mm de espesor ya que no se puede asegurar la acción del oxígeno en espesores mayores.

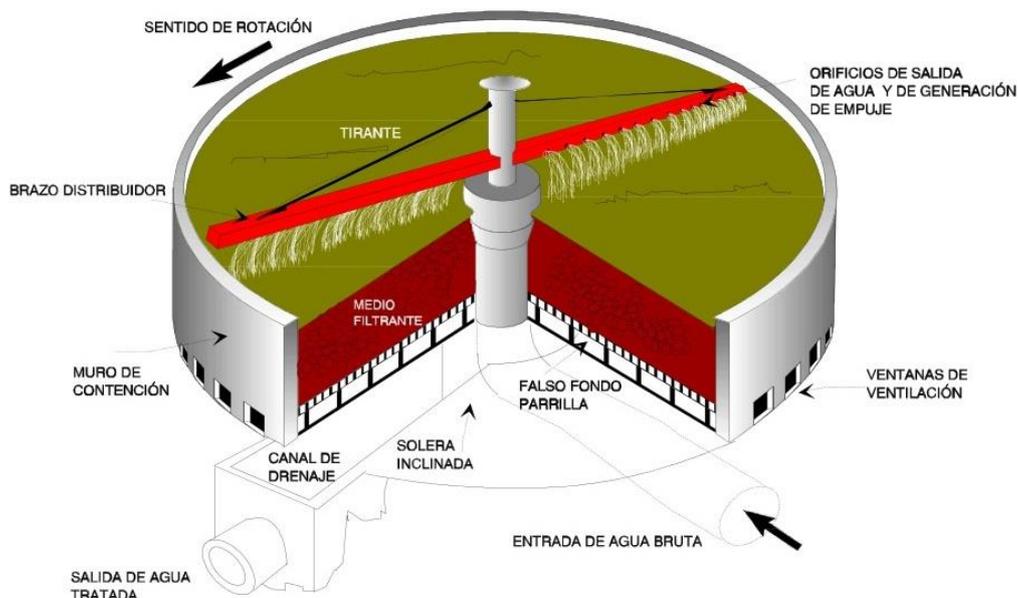


Figura 7: Partes que componen un lecho bacteriano

(Fuente: I. Tejero/J. Suárez/A. Jácome/J. Temprano. "Ingeniería Sanitaria y Ambiental".

ftp://ceres.udc.es/ITS_Caminos/Optativas/Ingenieria_Saneamiento_Urbano/pendientes-isa/TEMA31-rev191098-ajb.doc.pdf, 01-05-2013)

El agua residual procedente del tratamiento primario es vertida, uniformemente, desde unos brazos distribuidores colocados en la parte superior del depósito, sobre el medio filtrante o poroso, que está dispuesto en depósitos o balsas de profundidad variable, según los tipos considerados. El agua residual atraviesa el lecho que forma el medio soporte, sin llegar a inundarlo, dejando aire en los intersticios o huecos del medio. En la parte inferior, un sistema de drenaje recoge el agua residual, a la vez que permite el paso del aire. La circulación del aire se realiza de forma natural o forzada, normalmente a contracorriente del agua.

Con el paso del agua, la superficie del soporte se recubre, rápidamente, de una biopelícula constituida, principalmente, por bacterias autótrofas en el fondo, cuya fuente de energía es el CO₂, bacterias heterótrofas en la superficie, cuya fuente de energía es el carbono orgánico, hongos, algas verdes y protozoos. También se encuentran, en el interior del lecho, animales más evolucionados, como gusanos, larvas de insectos y caracoles. La materia orgánica del líquido es adsorbida en esta película biológica, en cuyas capas externas (0,1 a 0,2 mm) se degrada bajo la acción de los microorganismos aerobios. Cuando los microorganismos crecen, aumenta el espesor de la película, y el oxígeno se consume antes de que pueda penetrar en todo su espesor. Por lo tanto, en la proximidad de la superficie del medio, se crea un ambiente anaerobio.

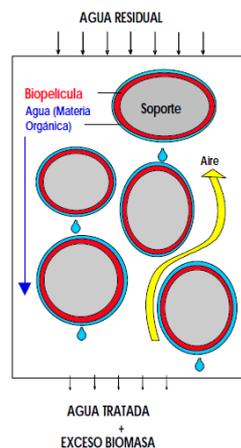


Figura 8: Esquema funcional de un lecho bacteriano

(Fuente: I. Tejero/J. Suárez/A. Jácome/J. Temprano. "Ingeniería Sanitaria y Ambiental".

ftp://ceres.udc.es/ITS_Caminos/Optativas/Ingenieria_Saneamiento_Urbano/pendientes-isa/TEMA31-rev191098-ajb.doc.pdf, 01-05-2013)

Conforme la película aumenta de espesor, la materia orgánica adsorbida se metaboliza antes de que pueda alcanzar los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante, con lo que éstos pasan a encontrarse en fase de crecimiento endógena y pierden la capacidad de adherirse a la superficie del medio. En estas condiciones, se produce la rotura de la película, que es arrastrada por el líquido a su paso por el medio, y se inicia el crecimiento de una nueva capa biológica.

Este fenómeno de pérdida de la película biológica, conocido como arrastre, es básicamente función de la carga hidráulica y orgánica del lecho. La carga hidráulica origina las velocidades de arrastre, y la carga orgánica influye en la velocidad de metabolismo en la capa biológica.

La recogida de agua residual tratada se efectúa por medio de un dispositivo de drenaje en el fondo del lecho bacteriano. Este dispositivo contará con un sistema de canales de recogida, en los que no deben existir sedimentaciones, ya que el agua residual afluyente lleva los flóculos que sedimentarán en el decantador secundario. Para ello, la pendiente será del 1% o 2%, y la sección no irá nunca llena, ya que deberá servir también como canal de aireación.

Se suele utilizar la recirculación del efluente del lecho, como una operación que mejora la eficiencia del tratamiento, ya sea al decantador primario o al lecho directamente.

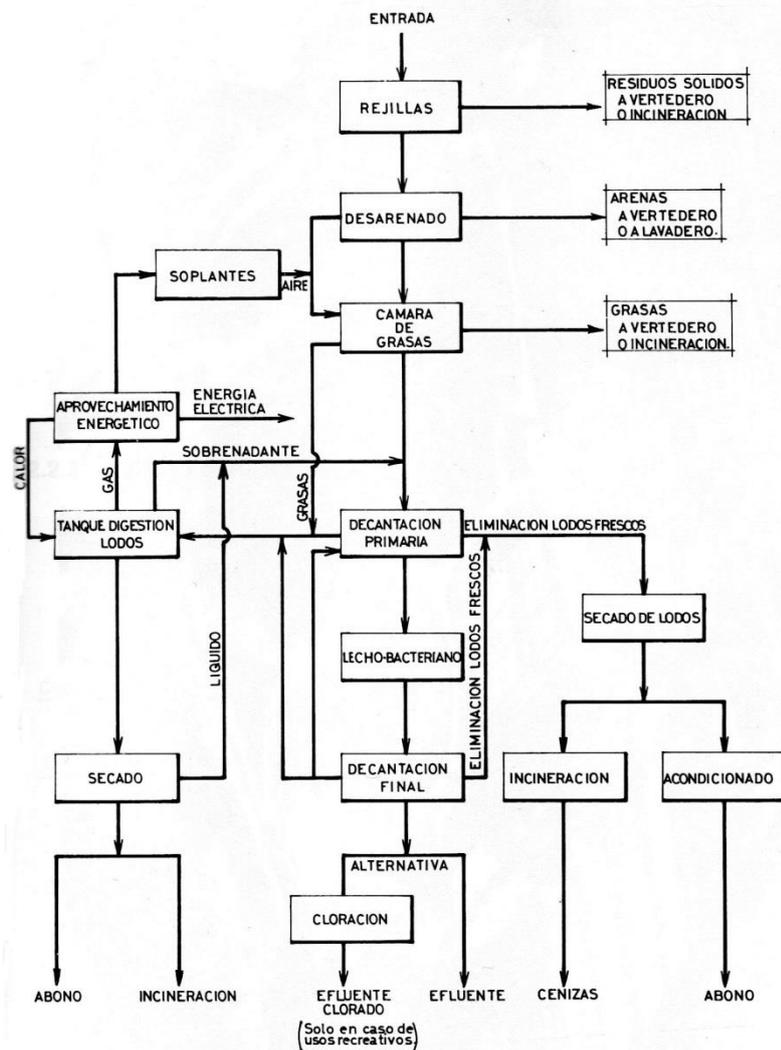


Figura 9: Diagrama de proceso de los lechos bacterianos

(Fuente: Aurelio Hernández Muñoz. "Depuración de aguas residuales", 2ª edición. Paraninfo, 1992)

El tratamiento secundario basado en los lechos bacterianos se fundamenta en tres procesos principales:

- *Reacción biológica.*
- *Decantación secundaria.*
- *Recirculación del agua.*

3.3.1.1. Reacción biológica

La actividad principal de este tipo de tratamiento secundario es la reacción biológica, proceso que ya se ha descrito anteriormente. Esta tiene lugar en el reactor biológico o lecho bacteriano propiamente dicho, cuyas partes principales son las siguientes:

- *Sistema de alimentación del agua residual:* el sistema de alimentación debe garantizar la distribución uniforme del caudal en toda la superficie del lecho, así como un caudal suficiente de escurrimiento o percolación para arrastrar las porciones de biopelícula desprendidas. Puede ser fijo, con rociadores colocados en un sistema de tuberías sobre el lecho, o móvil, donde las boquillas están colocadas en brazos de distribución montados sobre un pivote central giratorio. Las características más importantes que hay que tener en cuenta al elegir un determinado distribuidor son la robustez de la estructura, la facilidad de limpieza, la capacidad de manejar grandes variaciones de caudal y la resistencia a la corrosión.
- *Medio filtrante:* los dos principales materiales utilizados son piedras y material plástico. Dentro de este último hay múltiples variedades con diferentes características. Las dos propiedades fundamentales del medio soporte son su superficie específica y el índice de huecos. El medio soporte ideal debería disponer de la máxima superficie específica con el máximo índice de huecos.
- *Depósito:* su función principal es la contención del medio soporte y el agua. Aunque los lechos están pensados para funcionar aireados, en principio, el peso principal a soportar sería el del lecho, sobre todo si es de piedras. No obstante, el depósito tiene que estar diseñado para soportar el empuje del agua ante una posible inundación, bien sea, por un mal funcionamiento de etapas anteriores, o por una estrategia de explotación. Los depósitos pueden ser circulares o rectangulares, y su diseño implica el tipo de sistema de alimentación a utilizar. Asimismo, suelen ser abiertos, pero se pueden cubrir con estructuras ligeras, para protección contra las inclemencias del tiempo y prevención de olores.
- *Sistema de drenaje inferior:* el medio soporte está colocado sobre un falso fondo drenante, que retiene el material de relleno y permite el paso del agua tratada. La solera y el sistema de drenaje están dotados de una pendiente de

entre el 1% y el 5% para llevar el agua recogida a canales de drenaje interiores o perimetrales. Estos canales se diseñan de modo que se consiga una velocidad mínima de flujo de 0,6 m/s, para el caudal medio diario.

- *Ventilación:* la ventilación del lecho se produce, en principio, de forma natural por efecto de la diferencia de temperaturas del aire y el agua residual. Si el agua a tratar está más caliente que el aire atmosférico, calienta el aire interior del lecho, y este, al perder densidad, asciende provocando la entrada de aire más frío por la parte inferior. Para que esta ventilación natural funcione, se necesitan diferencias de temperatura aire-agua mayores de 2 °C, y para que funcione óptimamente superiores a 6 °C. Además, dependiendo del tipo de lecho, la altura del mismo tendrá que ser de 3 metros como máximo, para que la resistencia al paso del aire y la pérdida de carga no sean excesivas. Este sistema de ventilación natural es, por lo tanto, dependiente de las temperaturas del aire ambiental y del agua residual. Cuando la diferencia entre estas dos temperaturas es menor de 2 oC se para el tiro, y el lecho deja de estar aireado. Si esta situación se prolonga pueden aparecer efectos de anaerobiosis; disminuye el rendimiento del proceso y se producen problemas de funcionamiento como olores, etc. Para evitarlo, en algunos tipos de lechos bacterianos se recurre a ventilación forzada, inyectando 0,3 m³/m²·min de aire de forma artificial.

3.3.1.2. Decantación secundaria

La función de los tanques de sedimentación que siguen a los lechos bacterianos es la producción de un efluente clarificado, mediante la separación del líquido de la película biológica desprendida. Esta decantación requiere velocidades ascensionales inferiores a la velocidad de caída de los flóculos formados. El diseño de estos tanques es similar al de los tanques de sedimentación primaria, con la excepción de que la carga de superficie se basa en el caudal de la planta más el caudal de recirculación, y menos el flujo de sólidos hacia el fondo del tanque. Para el agua procedente de los lechos bacterianos no conviene pasar de 48 m³/m²·día, considerando el caudal punta y la recirculación juntos.

Todo el fango extraído en estos decantadores es conducido a las instalaciones de tratamiento del fango.

3.3.1.3. Recirculación del agua

En la mayoría de los lechos bacterianos se produce una recirculación del agua desde la salida del decantador secundario al reactor biológico. Uno de sus objetivos es conseguir una buena humectación del lecho, manteniendo una capacidad máxima de tratamiento, pero también tiene las siguientes consecuencias:

- Efectúa una dilución del influente, reduciendo los efectos que pudieran producirse de una sobrecarga instantánea.
- Reduce la tasa de crecimiento de la película biológica, debido al mismo efecto de dilución, lo que reduce el problema asociado de posibles atascamientos.
- Produce un mayor arrastre de las partes no activas de la biopelícula, procurando un contacto más efectivo de esta con el influente.
- Tiende a procurar una distribución vertical más uniforme de la película.
- Se produce un aumento de rendimiento, debido a que una parte del agua a tratar pasa más de una vez por el sistema.

Por todo esto, la recirculación del agua permite un mayor control sobre los procesos que tienen lugar en los lechos, pudiendo adaptarlos a la calidad y cantidad del agua residual influente. Además, con la dilución del afluente al lecho, se consigue regular la concentración máxima de DBO₅ al reactor, que nunca debería ser mayor de 400 mg/l, para evitar el fallo del sistema.

Los lechos bacterianos son un procedimiento sencillo de tratamiento secundario de aguas residuales que, en principio, no necesitaría energía para su aireación y admite, mejor que otros sistemas, cambios bruscos de la DBO del influente. No obstante, los condicionantes de las aguas conducidas a los lechos bacterianos son tres fundamentales:

- La entrada del agua en los lechos debe estar precedida de una decantación primaria, para eliminación de grasas y sólidos en suspensión.
- La contaminación vertida sobre el lecho debe ser biodegradable, debiéndose prestar atención a los elementos tóxicos que pudieran inhibir los procesos biológicos.
- Debe conseguirse una correcta maduración del lecho bacteriano, o establecimiento de una película biológica bien equilibrada. Requiere de un periodo de tiempo, mayor en invierno que en verano, de algunas semanas.

3.3.2. Fangos activos

En la segunda década del siglo XX se descubrió que las partículas coloidales en suspensión en las aguas residuales, coagulaban y decantaban cuando se introducían en

la masa de agua burbujas de aire, si bien el tiempo necesario para hacerlo era de hasta un mes. Posteriormente se observó que, introduciendo fango preformado, en una proporción del 15% al 25%, e inyectando aire, se conseguían los mismos efectos, pero en seis horas.

El proceso de fangos activos se fundamenta en la propiedad que tiene el agua residual, despejada de sus sólidos sedimentables y sometida durante algún tiempo a la inyección o mezcla de aire finamente dividido, de producir la coagulación de aquellas sustancias en suspensión que, por su estado, son incapaces de sedimentar solas. Dicha coagulación será la que permitirá la sedimentación. Su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

Desde el punto de vista del funcionamiento, el tratamiento biológico de aguas residuales mediante el proceso de fangos activos consiste, básicamente, en la introducción del residuo orgánico en un reactor o tanque de aireación, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se conoce con el nombre de "líquido mezcla". En el reactor, las bacterias aerobias utilizan parte de la materia orgánica del agua residual con el fin de obtener energía para la síntesis de nueva materia orgánica en forma de células nuevas. El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o de aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa.

Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de agua y fangos, a la salida de los tanques de activación, pasa a la decantación secundaria para su separación. El agua decantada constituye ya el efluente depurado. Los fangos sedimentados se extraen del decantador; una parte se recircula a la activación como fangos activos y el resto pasa al tratamiento de digestión directamente o por intermedio de nueva sedimentación en los decantadores primarios.

Entre los efectos producidos o conseguidos por el sistema de depuración por fangos activos encontramos los siguientes:

- *Coagulación.*
- *Sedimentación.*
- *Arrastre de bacterias en un 90-98%.*
- *Estabilización de la materia orgánica.*
- *Oxidación de la materia carbónica.*

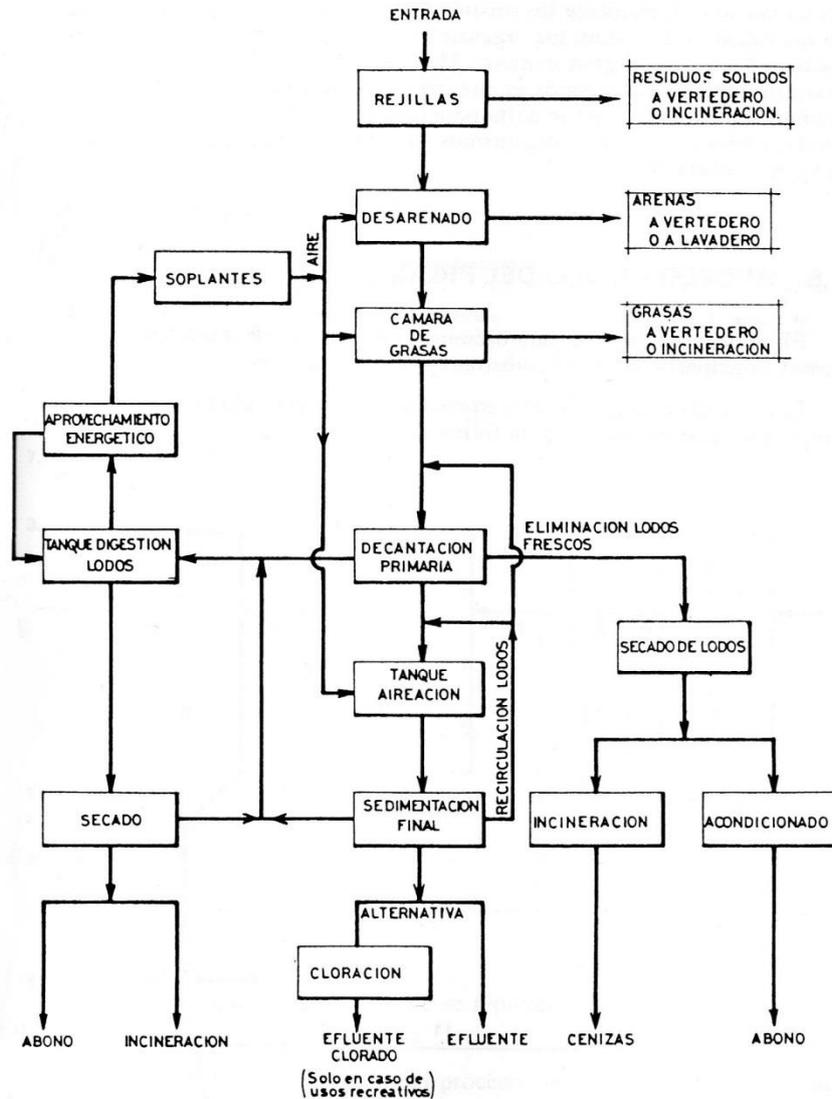


Figura 10: Diagrama de proceso de los fangos activos

(Fuente: Aurelio Hernández Muñoz. "Depuración de aguas residuales", 2ª edición. Paraninfo, 1992)

En este proceso, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son los causantes de la descomposición de la materia orgánica del influente. El desarrollo de estos microorganismos se basa en la existencia de materia orgánica carbonácea, DBO y a la existencia de nutrientes, N y P, así como otros oligoelementos requeridos para el proceso aerobio de fangos activos.

No obstante, con cantidades en exceso, el proceso biológico puede quedar inhibido o destruido por razones tales como:

- Compuestos orgánicos, biodegradables en bajas concentraciones, pero que son tóxicos en concentraciones elevadas.
- Metales pesados, que son tóxicos en sistemas aerobios y anaerobios.
- Sales en concentraciones muy elevadas.

Por otro lado, del mismo modo que es importante que las bacterias descompongan el residuo orgánico tan pronto como sea posible, también lo es el que formen un flóculo adecuado, puesto que este punto constituye un requisito previo para la separación de los sólidos biológicos en la instalación de sedimentación. Se ha observado que cuando se aumenta el tiempo medio de retención celular, mejoran las características de sedimentación del flóculo biológico. En el caso de aguas residuales domésticas, los tiempos medios de retención celular necesarios para conseguir una buena sedimentación oscilan entre tres y cuatro días.

El procedimiento de los fangos activos se puede considerar como un proceso de autodepuración acelerado, reforzado y controlado artificialmente. Los fenómenos que se presentan son exactamente los mismos que en los ríos o lagos naturales, pero en las balsas de aireación, los organismos se agrupan apretadamente en un espacio reducido y en un gran número. Mediante la aportación artificial de aire, se procura que los organismos encuentren oxígeno suficiente, a pesar de su amontonamiento. Además, el agua se agita para que los microorganismos y la materia orgánica se homogeneicen y se pongan en contacto, a la vez que se evita que las masas de flóculos caigan al fondo.

Existen distintos tipos de procesos de fangos activados, algunos de los cuales se describen a continuación:

- *Flujo pistón*: es el proceso convencional. 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, se introducen en la cuba por un extremo, donde son aireados por un periodo de 6 horas. Durante el periodo de aireación, se produce la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. El suministro de aire suele ser uniforme a lo largo de todo el tanque de aireación.
- *Mezcla completa*: el agua residual de entrada al proceso y el fango recirculado se mezclan e introducen en diversos puntos del tanque de aireación. Se consigue que la carga orgánica y la demanda de oxígeno sean uniformes en toda la longitud del tanque.
- *Alimentación escalonada*: el agua residual se introduce en distintos puntos del tanque de aireación y los fangos recirculados por un extremo. Se consiguen mejores propiedades de adsorción y disminuir las demandas puntas de oxígeno.
- *Aireación prolongada*: es similar al flujo pistón convencional, excepto en que funciona en la fase de respiración endógena de la curva de crecimiento. Por ello precisa una carga orgánica reducida y tiempos de aireación prolongados. Se aplica en plantas pequeñas.

- *Canal de oxidación:* consiste en un canal circular u ovalado, equipado con dispositivos de aireación mecánica, en el que entra el agua residual y circula a una velocidad de entre 0,24 y 0,35 m/s. Es bueno para eliminar materia orgánica y nitrógeno.
- *Contacto-estabilización:* tiene lugar en dos etapas que se desarrollan de cubas separadas. La primera es la fase de adsorción, que se desarrolla durante 20-60 min, y es en la que los flóculos adsorben una buena parte de la materia orgánica disuelta, suspendida y en estado coloidal existente en el agua residual. A continuación el agua pasa a un clarificador y el fango decantado pasa a la segunda cuba de aireación, donde se le da tiempo suficiente para que se produzca la oxidación de la materia orgánica por las bacterias. Suele emplearse en ampliaciones de plantas existentes.
- *Doble etapa:* consiste en realizar una depuración biológica en dos etapas, cada una de ellas con reactor biológico y decantador secundario. En la primera etapa se alimenta la primera cuba con altas cargas y durante un periodo corto de oxigenación, mientras que en la segunda se establece una carga media o baja con un alto contenido en oxígeno. Está indicado para aguas residuales con fuerte componente industrial.
- *Sistemas de oxígeno puro:* en estos sistemas se utiliza oxígeno puro en lugar de aire. Se distribuye mediante difusores en tanques de aireación cubiertos y se recicla. Utilizar oxígeno puro es más caro, pero implica un menor coste energético. Se puede utilizar en estaciones de fangos activos de funcionamiento continuo, en estaciones con carga variable, aplicándolo sólo en los momentos punta o como preoxigenación del agua residual con fines de desodorización, así como en instalaciones clásicas, para aumentar el oxígeno disuelto e incrementar los rendimientos de la depuración.

Dos son los elementos fundamentales de los que consta el tratamiento secundario de fangos activos: el tanque de aireación y el decantador.

3.3.2.1. Tanque de aireación

Los tanques de aireación son depósitos rectangulares, generalmente abiertos y contruidos de hormigón armado. Su disposición rectangular permite colocar varios tanques adosados. El número total vendrá determinado a partir del diseño del proceso biológico. La configuración hidráulica debe garantizar que, frente a las normales variaciones de caudal, la altura del líquido mezcla no varíe más de 30 cm, y no habrá proyección de fangos ni espumas.

En estos tanques se incluirán los equipos destinados a la aireación del líquido mezcla, bien sea mediante la inyección de aire a través de difusores o aireadores de turbina sumergida, o por disolución del mismo mediante la acción de aireadores mecánicos de superficie o agitadores. Asimismo suelen incluir un sistema compuesto por una serie de rociadores de agua limpia dispuestos a lo largo del borde superior del tanque, enfrente de los difusores de aire, para evitar la formación de espuma en la superficie del agua residual.

3.3.2.2. Decantador secundario

Las funciones que las instalaciones de decantación secundaria deben desarrollar son dos: por un lado, la separación de los sólidos suspendidos del líquido mezcla del agua residual tratada, lo que da como resultado un efluente estable, bien clarificado y con bajo contenido en DBO, y por otro, el espesamiento del fango de retorno.

En los decantadores secundarios de una instalación de depuración por fangos activados, la materia en suspensión no sedimenta como el fango procedente de los decantadores primarios. Existe gran cantidad de sólidos floculentos en el líquido mezcla, que tienden a formar un manto de fango de profundidad variable. Dependiendo de las dimensiones de los tanques y de la capacidad de la bomba de recirculación, esta capa puede ocupar toda la profundidad del tanque y rebosar por el vertedero. Un parámetro que afecta a las dos funciones de un decantador secundario y que tiene especial importancia en el correcto funcionamiento de esta etapa, es la profundidad del decantador, así como sus dimensiones. Tiene que tener el volumen adecuado para que, las partículas ligeras que se encuentran en los efluentes de las plantas de tratamiento de fangos activados, tengan un tiempo de retención suficiente para que se produzca su sedimentación. Además debe contar con el área necesaria para el espesamiento del líquido mezcla en la zona de espesamiento, cuya profundidad tiene que ser la adecuada para asegurar un espesor del manto de fango suficiente para evitar la recirculación de fangos no espesados y para almacenar temporalmente los sólidos aplicados en exceso. Su dimensionamiento, no obstante, se hace teniendo en cuenta la función de clarificación y no la de espesamiento, y contando con una velocidad ascensional mayor de $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ y menor de $8 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$, para caudal medio.

Hay varios tipos de tanques de sedimentación de fangos activados, aunque los más comunes son los circulares y los rectangulares. Los tanques rectangulares deben estar proporcionados para conseguir una adecuada distribución del caudal de forma que las velocidades horizontales no resulten excesivas. Los circulares no deberían

tener un radio superior a cinco veces la profundidad del tanque en su periferia, y normalmente tienen entre 10 y 40 metros de diámetro.

Independientemente de la geometría del tanque, el sistema de recogida de fango debe tener una capacidad suficientemente elevada como para que, en caso de recircular un caudal elevado de fangos, no se produzca succión de líquido existente en la parte superior de estos, y ha de ser lo suficientemente robusto como para poder extraer fangos muy densos que pueden acumularse durante periodos de avería mecánica o fallo de suministro energético. Los sistemas de recogida en decantadores rectangulares son los rascadores múltiples, que barren todo el fondo del decantador, y los puentes de traslación, de los que se soportan los rascadores de fondo o sistemas de succión, que trabajan mientras el puente se desplaza a lo largo de todo el decantador. Estos sistemas son similares a los empleados en los tanques de decantación primaria. De la misma forma ocurre con los decantadores secundarios circulares, que utilizan mecanismos rotatorios para transportar y evacuar el fango del fondo del clarificador. Pueden ser de dos tipos: aquellos que rascan el fondo y arrastran el fango a un cuenco central desde donde se extrae, y los que lo eliminan directamente del fondo del tanque mediante unos dispositivos de succión que barren la totalidad del fondo del decantador en cada revolución. En este último caso la solera del tanque no tiene pendiente como en el caso anterior, y es prácticamente llana.

Además de estos dos, existen otros tipos de tanques de sedimentación secundaria, como los decantadores de pisos, lamelares de tubos o placas paralelas y decantadores integrados en canales de aireación, empleados menos habitualmente.

El uso del sistema de fangos activos en los tratamientos secundarios tiene entre otras ventajas la versatilidad del sistema, ya que sus parámetros pueden ser controlados. Al estar reducida la fauna de los fangos activos a microorganismos, el exceso de masa microbiana se controla purgando, al mismo tiempo que no existen insectos en la superficie. Además con los fangos activos se consigue una mineralización de la materia orgánica y una oxidación de las sustancias químicas, como la nitrificación, y puede conseguirse también la reducción de compuestos orgánicos peligrosos. Por el contrario, los fangos activos son sensibles a la variación de cargas contaminantes, de caudal y de tóxicos, su consumo energético es importante, les influyen las bajas temperaturas, y su explotación es del orden de un 20% a un 40% más cara.

3.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario del agua residual, también conocido como tratamiento avanzado, se define como el tratamiento adicional necesario para la eliminación de los sólidos suspendidos y de las sustancias disueltas que permanecen en el agua residual después del tratamiento secundario convencional. Estas sustancias pueden ser materia orgánica o sólidos en suspensión, y su naturaleza puede variar desde iones inorgánicos relativamente simples, como el calcio, el potasio, el sulfato, el nitrato y el fosfato, hasta un número cada vez mayor de compuestos orgánicos sintéticos muy complejos. Las normativas sobre tratamientos de aguas residuales son, cada vez, más estrictas en cuanto a la concentración de estas sustancias en los efluentes de las plantas depuradoras, por lo que se hace necesario aplicar nuevos procesos al agua residual para reducir su capacidad contaminante.

Los compuestos que, desde hace décadas, primeramente fueron objeto de estos procesos son los que contienen nitrógeno y fósforo, dada su capacidad de acelerar la eutrofización de los lagos y el crecimiento de especies subacuáticas. Más recientemente, también son objeto de estudio los contaminantes prioritarios y los compuestos orgánicos volátiles (COVs), muchos de los cuales han resultado ser tóxicos para el hombre y el medio ambiente acuático.

Pertenecen al tratamiento terciario las operaciones encaminadas a conseguir los siguientes objetivos:

- *Separación de sólidos en suspensión.*
- *Control de nutrientes.*
- *Eliminación de compuestos tóxicos.*
- *Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas.*

Para su consecución se utilizan distintos procedimientos. La utilización de cada uno de ellos, o de una combinación entre ellos dependerá de la naturaleza del agua residual, la compatibilidad entre las distintas operaciones y procesos, el uso potencial del efluente tratado, los medios disponibles para el vertido de los contaminantes y la viabilidad económica y ambiental de los diferentes sistemas. Aunque, debido a las condiciones especiales bajo las que opera la eliminación de ciertos contaminantes, el factor económico no será un factor limitante en la elección de un tratamiento terciario.

3.4.1. Separación de sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión que no han sido eliminados en las operaciones convencionales de tratamientos primario y secundario, pueden constituir una parte importante de la DBO de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Para la eliminación de estos sólidos en suspensión se dispone de los siguientes procesos:

- Microtamizado.
- Filtración.
- Coagulación.

Los microtamices se construyen sobre tambores rotativos. El agua residual se alimenta de forma continua en la parte interior del tambor, fluyendo hasta una cámara de almacenamiento de agua clara en la parte exterior. La limpieza de la superficie interior del tambor se lleva a cabo mediante pulverizadores de agua clara, necesiándose normalmente del orden del 5% del volumen de alimentación para esta limpieza. Con el microtamizado se consiguen eliminaciones del 70-90% de los sólidos en suspensión.

Con el uso de la filtración se pueden conseguir rendimientos en la eliminación de sólidos en suspensión de hasta el 99%. Los materiales de relleno de los filtros más empleados son arena, antracita y tierra de diatomeas.

La coagulación se lleva a cabo mediante la adición de productos químicos al efluente de la decantación secundaria. Estos pueden ser sulfato de aluminio o alúmina, polielectrolitos y cal, entre otros. Mejoran el rendimiento de los sistemas de filtración, e incluso pueden servir para la eliminación de contaminantes específicos como el fósforo, iones metálicos y sustancias húmicas.

3.4.2. Control de nutrientes

El nitrógeno y el fósforo son los principales nutrientes de importancia en el vertido de aguas residuales. Los vertidos que contienen nitrógeno y fósforo pueden acelerar la eutrofización de lagos y embalses, y estimular el crecimiento de algas y plantas acuáticas. Las elevadas concentraciones de nitrógeno en los efluentes tratados producen, una reducción del oxígeno disuelto en las aguas receptoras, aumentando la toxicidad para la vida acuática.

La estrategia correcta de control de nutrientes se adoptará en función de factores como las características del agua residual bruta, el tipo de instalación de

tratamiento, el nivel de nutrientes necesario, las necesidades de eliminación de nutrientes estacionales o anuales, etc. Los métodos de tratamiento son varios y se basan en el uso de sistemas químicos, físicos y biológicos.

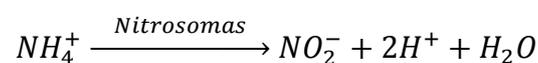
El nitrógeno presente en el agua lo podemos encontrar de varias formas:

- Sustancias orgánicas nitrogenadas procedentes de la descomposición de materia orgánica.
- Ion amonio – NH_4^+ , que en ambientes alcalinos se encuentra como amoniaco NH_3 .
- Nitratos – NO_3^- , procedente de abonos, por oxidación de los anteriores, etc.
- Nitritos – NO_2^- , que suelen pasar a nitratos fácilmente.

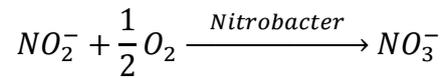
El contenido de nitrógeno en las aguas residuales urbanas suele estar presente en forma de nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal (NH_3 , NH_4^+), formas ambas solubles. El nitrógeno orgánico soluble se presenta principalmente en forma de urea y de aminoácidos. El agua residual bruta suele presentar bajas o nulas concentraciones de nitrito y nitrato. El vertido en estas condiciones hace que los medios receptores actúen como depuradores o eliminadores de nitrógeno, produciéndose los efectos ya mencionados de consumo elevado del oxígeno disuelto en el agua y de eutrofización.

Para conseguir la reducción del nitrógeno presente en las aguas residuales se llevan a cabo procesos de nitrificación y desnitrificación. Estos procesos son los mismos que se producirían de forma natural en la naturaleza y consisten en crear el ambiente adecuado para que bacterias de distinto tipo transformen el nitrógeno inorgánico y orgánico del agua a nitrógeno gaseoso, N_2 , que se desprende a la atmósfera.

La nitrificación biológica es el proceso mediante el que se convierte el nitrógeno del agua residual bruta decantada a nitrato. Este proceso se lleva a cabo en dos etapas, por microorganismos autótrofos, que obtienen la energía para su crecimiento, precisamente, de la oxidación de compuestos de nitrógeno. En la primera etapa el amonio se convierte en nitrito, por acción de las bacterias nitrificantes, Nitrosomas, siempre que dispongan de suficientes nutrientes y oxígeno. El proceso es el siguiente:



En la segunda etapa el nitrito se pasa a nitrato, también en condiciones aerobias, por acción de los Nitrobacter:



Una vez conseguidos los nitratos, la desnitrificación ocurre cuando se dan condiciones anóxicas (en ausencia de oxígeno) y los microorganismos facultativos que hay en el medio utilizan el oxígeno que poseen los nitratos, obteniéndose nitrógeno molecular, N_2 , que pasa a la atmósfera.

Con estos procesos de nitrificación-desnitrificación, de cada 100 partes de amonio NH_4^+ que entran al proceso, casi 89 se liberan a la atmósfera como N_2 . El resto son asimiladas en la formación de tejidos de nuevas bacterias.

De igual manera que con el nitrógeno, el fósforo es otro de los nutrientes que es preciso eliminar de las aguas. El fósforo se presenta en las aguas residuales en forma de ortofosfato PO_4^{3-} , polifosfato P_2O_7 y formas orgánicas del fósforo. Los microbios utilizan el fósforo para la síntesis celular y en el transporte de energía. Como consecuencia de ello, entre el 10% y el 30% del fósforo se elimina durante el tratamiento biológico secundario. No obstante, para conseguir bajos niveles de fósforo en el efluente, es necesario eliminar más cantidad de fósforo además de la comentada.

Bajo ciertas condiciones aerobias, los microorganismos pueden consumir más fósforo del necesario. Las células pueden liberar fósforo en condiciones anóxicas. Basándose en estas propiedades, se han desarrollado diversos procesos de eliminación biológica del fósforo, como alternativa a los tratamientos químicos. Esta eliminación se consigue generando en los reactores las condiciones adecuadas comentadas, de manera secuencial. Cuando una zona aeróbica sigue a una zona anaerobia, los organismos consumen mayores cantidades de fósforo de lo habitual. Estos no solo utilizan el fósforo para el mantenimiento y la síntesis celulares y el transporte de energía, sino que también lo almacenan para su uso posterior. El fango que contiene el exceso de fósforo se purga o se evacúa a una línea de fango auxiliar, para eliminar el exceso de fósforo. Existen dos mecanismos de eliminación del mismo: la purga de fango y el tratamiento en línea auxiliar. Como ejemplo están el proceso PhoStrip, en el que el fósforo se libera biológicamente bajo condiciones anóxicas y se precipita al añadirsele cal, y el Bardenpho, en el que se sigue una secuencia de condiciones anaerobias, anóxicas y aerobias, para conseguir la eliminación tanto del nitrógeno como del fósforo.

3.4.3. Eliminación de compuestos tóxicos

Para el tratamiento de compuestos tóxicos se pueden emplear diversos métodos o procesos. Estos deben tener en cuenta las características específicas del agua residual y la naturaleza de los compuestos tóxicos. Algunos de estos procesos son los siguientes:

- *Adsorción sobre carbón:* la adsorción es la concentración de un soluto en la superficie de un sólido. Tiene lugar cuando se coloca dicha superficie en contacto con una solución. Es un método de tratamiento avanzado del agua residual que se emplea para la eliminación de los compuestos orgánicos refractarios y de las concentraciones residuales de compuestos inorgánicos como nitrógeno, sulfuros y metales pesados. Se emplean varios tipos de lechos que pueden funcionar por presión o por gravedad.
- *Proceso combinado de fangos activados y carbón activo en polvo:* en este proceso la oxidación biológica y la adsorción química se producen simultáneamente al añadir directamente el carbón activo al tanque de aireación. Se puede incorporar a los procesos de fangos activados existentes con un coste reducido. Como ventajas presenta mayor estabilidad frente a cargas de choque, reducción de contaminantes prioritarios refractarios, eliminación de color y amoníaco y mejora de la sedimentabilidad del fango. Además el carbón limita el poder inhibitorio de la nitrificación, de ciertos compuestos.
- *Oxidación química:* se puede emplear para la eliminación de amoníaco, reducción de las concentraciones de compuestos orgánicos residuales y para la reducción del contenido bacteriano y vírico del agua residual. El elemento más usado es el cloro, aunque su adición al agua residual provoca la formación de trihalometanos. Por ello, se usan también otros oxidantes alternativos como el ozono y el dióxido de carbono. El uso de estos productos químicos presentan la ventaja adicional de la desinfección del agua residual. En el caso del ozono, incluso la eliminación del color.

3.4.4. Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas

Para varias aplicaciones de tratamiento avanzado de aguas residuales, se han investigado numerosos procesos y operaciones unitarias diferentes, algunas de las cuales se indican a continuación:

- *Precipitación química:* al mismo tiempo que se produce la precipitación del fósforo por la adición de coagulantes como la alúmina, cal o sales metálicas y polímeros, se eliminan también varios iones inorgánicos, especialmente,

algunos metales pesados. En algunos casos de tratamiento conjunto de aguas residuales domésticas e industriales, puede ser necesaria la adición de reactivos a la decantación primaria. Sin embargo, esto incrementa el contenido de sólidos disueltos en el agua a tratar.

- *Intercambio iónico:* es un proceso unitario en el que los iones de las diferentes especies en disolución, desplazan a los iones insolubles de un determinado material de intercambio. El uso más extendido es el ablandamiento del agua, en el que los iones sódicos de la resina catiónica sustituyen los iones de calcio y magnesio presentes en el agua, reduciendo su dureza.
- *Ultrafiltración:* los sistemas de ultrafiltración son operaciones que emplean membranas porosas para la eliminación de materia disuelta y coloidal. Utilizan presiones no muy elevadas y se emplean para la eliminación de aceites de cursos de agua y la eliminación de la turbidez por los coloides causantes de color. Se pueden emplear como fuente alimentadora de los sistemas de ósmosis inversa.
- *Ósmosis inversa:* es un proceso en el que se separa el agua de las sales presentes en disolución, mediante la filtración, a través de una membrana semipermeable, a una presión superior a la presión osmótica provocada por las sales disueltas en el agua residual. Permite eliminar la materia orgánica disuelta que no es susceptible de ser eliminada con otras técnicas de desmineralización. Exige unos tratamientos previos para un correcto mantenimiento de la membrana.
- *Electrodialisis:* en este proceso los componentes iónicos de una solución se separan mediante el uso de membranas semipermeables selectivas de iones. La aplicación de un potencial eléctrico entre los dos electrodos origina una corriente eléctrica que atraviesa la solución haciendo migrar los cationes hacia el electrodo negativo y los aniones hacia el positivo. Debido a la disposición alternada de las membranas permeables a los cationes y aniones, se forman células de sales concentradas y diluidas.

3.5. Tratamiento de fangos

3.5.1. Características, composición y tipos

En el tratamiento de aguas residuales, cuyo objetivo principal es eliminar la contaminación del agua antes de su vertido al cauce receptor, se generan una serie de subproductos, como son las basuras, arena, espumas y fangos. De estos, el fango es, con diferencia, el de mayor volumen y donde se concentra la mayor parte de la contaminación eliminada. Su tratamiento y evacuación es la parte más complicada de todo el proceso de depuración.

Las dos fuentes principales de producción de fangos son el tratamiento primario y el secundario. El fango producido en estos tratamientos, llamado fango fresco, suele ser un líquido o líquido semisólido con un contenido en sólidos variable entre el 0,25% y el 12% en peso, y presenta las siguientes características:

- Tiene una gran cantidad de agua, entre el 95% y el 99%, por lo que ocupa un volumen importante, y es de difícil manipulación.
- Tiene gran cantidad de materia orgánica, por lo que entra fácilmente en descomposición, produciendo malos olores. Solo una pequeña parte del mismo está compuesto por materia sólida.
- Posee una gran cantidad de organismos patógenos, causantes de enfermedades.

Todo esto hace que el manejo de los fangos sea un tema complejo y que se deba tratar con cuidado. Las operaciones que se realicen con ellos irán encaminadas a reducir su contenido en agua y materia orgánica, y a acondicionarlos para su reutilización y evacuación final. Todos los procesos necesarios para lograrlo están incluidos en la llamada *línea de fango* de una EDAR.

Los principales métodos empleados para el tratamiento y evacuación del fango se pueden ver en la siguiente tabla:

Operación unitaria, proceso unitario, o método de tratamiento	Función
Operaciones de pretratamiento	
Dilaceración	Reducción de tamaño
Desarenado	Eliminación de arenas
Mezclado	Mezclado
Almacenamiento	Almacenamiento
Espesamiento	
Por gravedad	Reducción de volumen
Por flotación	Reducción de volumen
Por centrifugación	Reducción de volumen
Por gravedad en filtros banda	Reducción de volumen
En tambor rotativo	Reducción de volumen
Estabilización	
Estabilización con cal	Estabilización
Tratamiento térmico	Estabilización
Digestión anaerobia	Estabilización, reducción de masa
Digestión aerobia	Estabilización, reducción de masa
Compostaje	Estabilización, recuperación de productos
Acondicionamiento	
Acondicionamiento químico	Acondicionamiento del fango
Tratamiento térmico	Acondicionamiento del fango
Desinfección	
Pasteurización	Desinfección
Almacenamiento a largo plazo	Desinfección
Deshidratación	
Filtro de vacío	Reducción de volumen
Centrífuga	Reducción de volumen
Filtro banda	Reducción de volumen
Filtro prensa	Reducción de volumen
Eras de secado	Reducción de volumen
Lagunaje	Almacenamiento, reducción de volumen
Secado	
Instantáneo	Reducción de peso, reducción de volumen
Por pulverización	Reducción de peso, reducción de volumen
En horno rotativo	Reducción de peso, reducción de volumen
En horno de pisos múltiples	Reducción de peso, reducción de volumen
Evaporación de efecto múltiple	Reducción de peso, reducción de volumen
Reducción térmica	
Horno de pisos múltiples	Reducción de volumen, recuperación de energía
Horno de lecho fluidificado	Reducción de volumen
Incineración conjunta con residuos sólidos	Reducción de volumen
Oxidación por vía húmeda	Estabilización, reducción de volumen
Reactor vertical de pozo profundo	Estabilización, reducción de volumen
Evacuación final	
Aplicación al terreno	Evacuación final
Distribución y comercialización	Usos beneficiosos
Fijación química	Usos beneficiosos, evacuación final
A vertedero	Evacuación final
Lagunaje	Reducción de volumen

Tabla 1: Métodos de tratamiento y evacuación de fangos

(Fuente: Metcalf & Eddy. "Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización", 3ª edición. McGraw-Hill, 2000)

El espesamiento, acondicionamiento, deshidratación y secado del fango se utilizan para eliminar la humedad del mismo; la digestión, compostaje, incineración, oxidación con aire húmedo y los reactores de tubo vertical se utilizan, principalmente, para tratar o estabilizar la materia orgánica contenida en el fango.

Para proyectar convenientemente las instalaciones para el tratamiento y evacuación de fango, es necesario conocer la procedencia, cantidad y características de los sólidos y del fango a tratar. Estos varían en función del tipo de planta y del modo de explotación. Además, estas instalaciones deben estar pensadas para poder almacenar, de forma temporal, cantidades limitadas de sólidos, y absorber las puntas de carga de corta duración. Asimismo los procesos que se emplean para el espesado, digestión, acondicionamiento y deshidratación del fango generado en los tratamientos primarios y secundarios, también son fuentes generadoras de fango.

El origen y principales características de los fangos son:

- *Fangos primarios*: se originan en los tanques de decantación primaria. Normalmente son de color gris y grasiento y desprenden mal olor. Son altamente inestables y putrescibles, ya que no se han descompuesto ni han sufrido tratamiento biológico. Su contenido en humedad varía entre el 95% y el 99%. Se digieren fácilmente.
- *Fangos biológicos*: proceden del proceso de fangos activados y se conocen también como fangos en exceso. Son de color marrón oscuro y tienen un olor a tierra húmeda, no desagradable. Tienen materia orgánica parcialmente descompuesta. Su contenido en humedad varía entre el 98% y el 99,5%, y son difíciles de concentrar. Pueden enviarse a la sedimentación primaria, donde decantan junto con los fangos primarios, dando lugar a los fangos mixtos.
- *Fangos de filtros percoladores*: son de color pardusco, flocculentos y relativamente inodoros cuando están frescos, aunque cuando tienen muchos gusanos pueden volverse rápidamente molestos. Se digieren fácilmente.
- *Fangos digeridos aeróbicamente*: son de color marrón oscuro, con apariencia flocculenta y olor poco desagradable. Se deshidratan fácilmente en eras de secado.
- *Fangos digeridos anaeróbicamente*: son de color marrón oscuro-negro con un alto contenido de gas. Su olor es relativamente débil. Se deshidratan en eras de secado. En un primer momento, el gas empuja los sólidos que contienen a la superficie, dejando en la parte inferior una lámina de agua que se drena rápidamente.
- *Fangos de precipitación química*: proceden de los tanques de precipitación química con sales metálicas. Son de color oscuro, algo rojizo si contienen hierro, y de olor desagradable, aunque no tanto como los de los fangos primarios.

3.5.2. Operaciones de pretratamiento de fangos

Para conseguir que la alimentación de fango a las instalaciones de tratamiento sea relativamente constante y homogénea, es necesario llevar a cabo, de forma previa, algunas operaciones de pretratamiento. Estas son las siguientes:

- *Dilaceración del fango:* es un proceso en el que los sólidos de gran tamaño contenidos en el fango son cortados o desmenuzados en partículas más pequeñas para evitar obturaciones y la formación de madejas en los equipos rotatorios.
- *Desarenado del fango:* esta operación será necesaria en aquellas plantas sin desarenadores. El desarenado del fango es muy recomendable cuando se va a proceder al espesamiento del fango primario. El método más efectivo para eliminar las arenas del fango consiste en la aplicación de fuerzas centrífugas a una masa en movimiento para separar la arena del fango orgánico. Esto se consigue mediante el uso de desarenadores de ciclón, en los que el fango se aplica tangencialmente a una zona de alimentación cilíndrica donde las partículas de arena más pesadas se desplazan hacia la parte exterior y se descargan a través de una sección cónica. El fango orgánico se extrae de la unidad a través de otra salida diferente.
- *Mezclado del fango:* para que la alimentación de fango a las siguientes operaciones sea de un material uniforme, es preciso proceder a la mezcla de los fangos provenientes de los tratamientos primario, secundario y avanzado, con diferentes composiciones entre ellos. En plantas pequeñas el mezclado se realiza en los tanques de decantación primaria, donde se retornan los fangos secundarios y terciarios, aunque esta mezcla puede hacerse en tanques independientes.
- *Almacenamiento del fango:* se debe realizar para laminar las fluctuaciones de la producción de fangos en el caso de procesos que precisan una alimentación a caudal constante. Se puede llevar a cabo, a corto plazo, en los decantadores o espesadores o, a largo plazo, en tanques independientes especialmente diseñados.

3.5.3. Procesos de tratamiento de fangos

En la siguiente figura se presenta un diagrama de flujo general de los distintos procesos y operaciones unitarias en el tratamiento y evacuación de fangos.

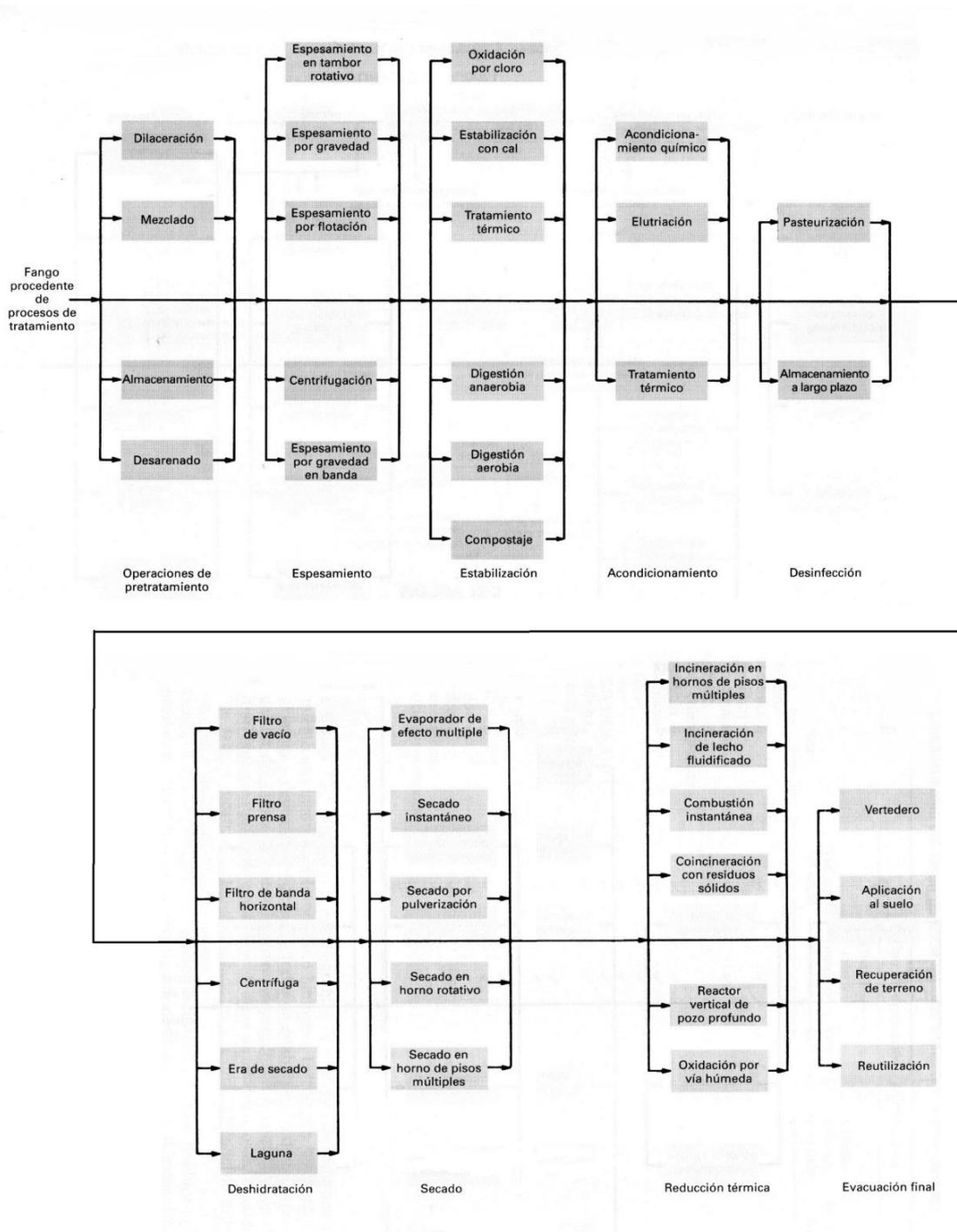


Figura 11: Diagrama de flujo general para el tratamiento y evacuación del fango
 (Fuente: Metcalf & Eddy. "Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización", 3ª edición. McGraw-Hill, 2000)

Como se puede ver, las combinaciones posibles son muy numerosas. En la práctica, los diagramas de procesos más utilizados en el tratamiento de fangos se dividen en dos categorías principales según se aplique o no un tratamiento biológico.

En el siguiente diagrama se pueden ver tres tipos de procesos de fangos que incorporan tratamiento biológico:

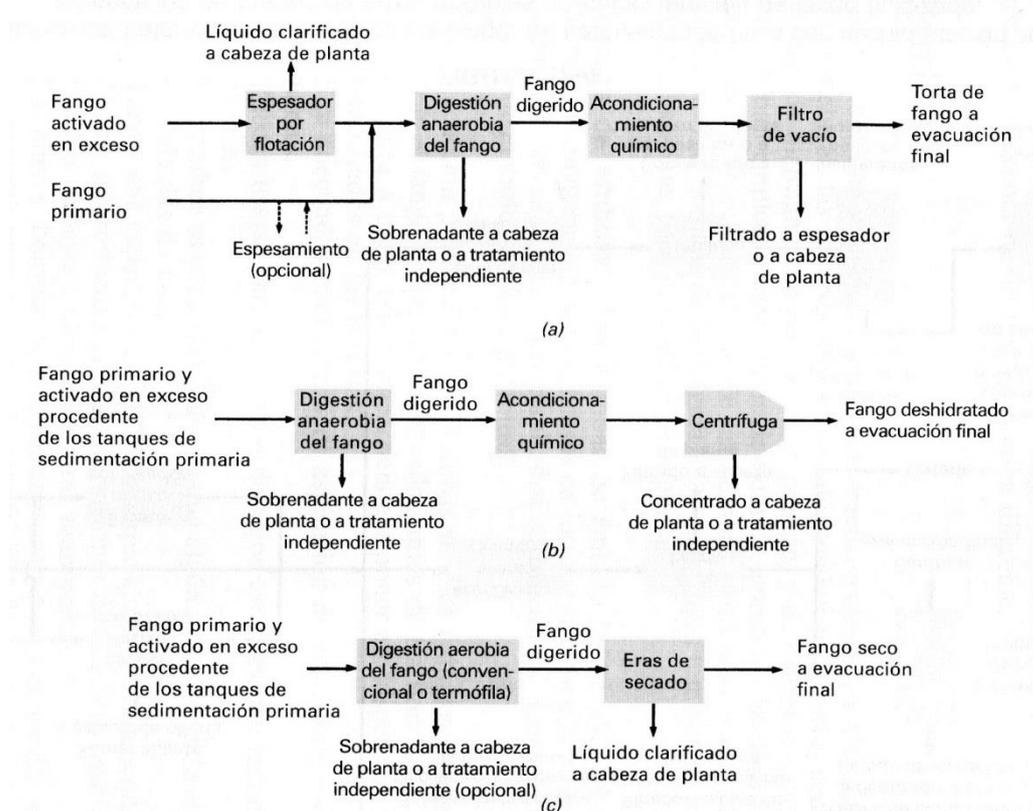


Figura 12: Diagramas de flujo típicos del tratamiento del fango con digestión biológica y tres procesos diferentes de deshidratación: (a) filtros prensa; (b) centrifugación y (c) eras de secado (Fuente: Metcalf & Eddy. "Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización", 3ª edición. McGraw-Hill, 2000)

En función de la procedencia del fango, y dependiendo de los métodos de estabilización, deshidratación y evacuación, se pueden emplear espesadores. A continuación de la digestión biológica se puede aplicar cualquiera de los métodos de deshidratación de fangos mostrados. La elección de uno u otro depende de aspectos económicos y de las condiciones locales.

Debido a que la presencia de vertidos industriales y otros residuos tóxicos ha provocado problemas en la explotación de digestores biológicos, algunas plantas se han diseñado incorporando otros medios de tratamiento del fango, como los procesos que se ilustran a continuación:

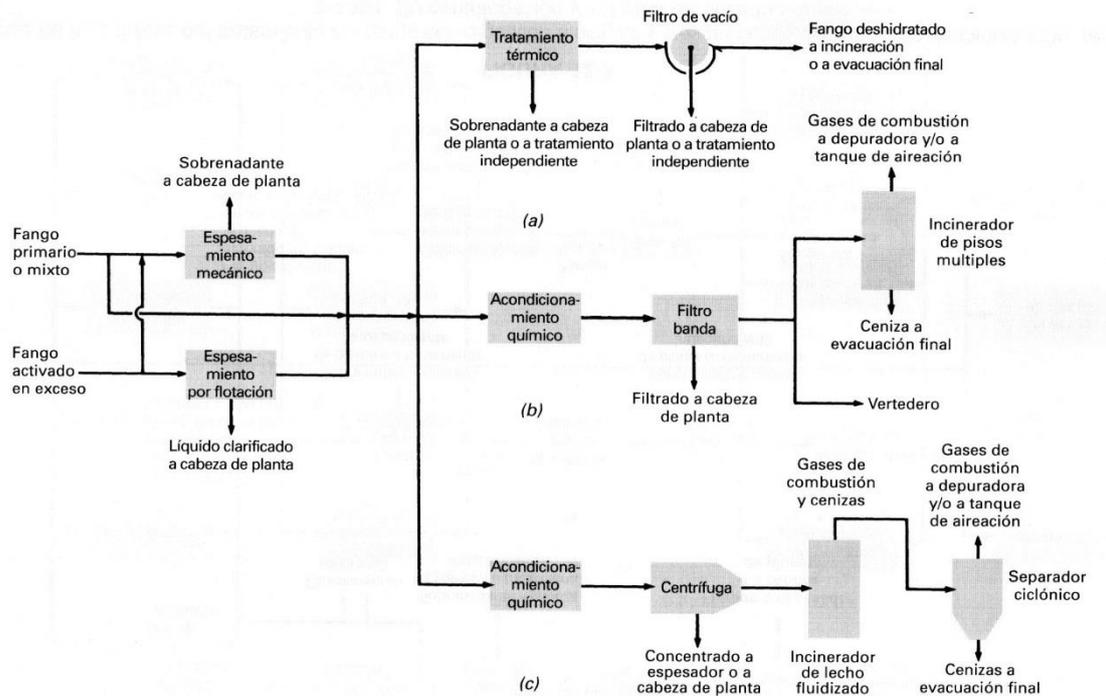


Figura 13: Diagramas de flujo típicos del tratamiento no biológico del fango: (a) tratamiento térmico con deshidratación por filtro de vacío; (b) incineración en hornos de pisos múltiples y (c) incineración de lecho fluidizado

(Fuente: Metcalf & Eddy. "Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización", 3ª edición. McGraw-Hill, 2000)

3.5.3.1. Espesado de fangos

Los fangos producidos en el tratamiento del agua poseen más del 95% de agua, por lo que ocupan volúmenes importantes. El espesado es un procedimiento que se emplea para aumentar el contenido de sólidos del fango por eliminación de parte de la fracción líquida del mismo. De esta forma se consigue una reducción importante del volumen del fango, que implica una serie de ventajas:

- Reducción del volumen de los tanques posteriores al espesamiento, así como su equipamiento.
- Reducción de la cantidad de calor requerida para el calentamiento de los fangos en procesos tales como digestión anaerobia, secado térmico e incineración.
- Reducción de la cantidad de reactivos químicos necesarios para el acondicionamiento del fango.
- Reducción y mejora de los rendimientos de los equipos de deshidratación.

Existen varios métodos para conseguir el espesamiento de los fangos. El tipo a aplicar y su compactación dependen de la procedencia del fango a espesar y del tipo de tratamiento a efectuar. Los más comunes son los siguientes:

- *Espesamiento por gravedad:* se utiliza para los fangos primarios, mixtos y los procedentes de precipitación química, y se localiza antes del proceso de digestión anaerobia o después del proceso de digestión aerobia. Se realiza en unos tanques, generalmente circulares, similares a los decantadores primarios, pensados para concentraciones en sólidos mucho mayores, con un fondo con una pendiente mínima del 10%. La alimentación se realiza por tubería a una campana central que sirve como reparto y zona tranquilizadora, y fluye hacia la periferia. Las partículas en suspensión decantan individualmente o en grupos formando flóculos. El conjunto va equipado con un mecanismo giratorio provisto de unas rasquetas de fondo para el barrido de los fangos y su conducción a una poceta central desde donde se extraen, y de unas piquetas verticales cuya finalidad es la homogeneización de la masa y la creación de canales preferenciales que faciliten la evacuación del agua intersticial y de los gases ocluidos generados por procesos de fermentación. El líquido sobrenadante se recoge por un vertedero perimetral y es enviado a cabecera de la planta. El fango espesado que se recoge en el fondo se bombea a los digestores o equipos de deshidratación en función de las necesidades. Para evitar posibles olores, a menudo se procede a cubrir el espesador con una cubierta estanca.
- *Espesamiento por flotación:* aunque existen varias variantes básicas de este proceso, el método más empleado normalmente es el de flotación por aire presurizado. Se basa en la disminución artificial de la densidad de los lodos, gracias a la fijación por capilaridad de las burbujas de aire sobre los lodos floculados. Las burbujas de aire se producen por la introducción brusca de agua presurizada saturada de aire. La aplicación en la que resulta más efectiva es con los fangos procedentes de procesos de fangos activados, aunque también se emplean en el tratamiento de fangos de filtros percoladores y fangos de digestión aerobia.

Otros métodos de espesado de fangos, aunque menos extendidos, son el espesado por centrifugación, el espesado por filtros de banda por gravedad y el espesado mediante tambores rotativos revestidos.

3.5.3.2. Estabilización

La estabilización del fango se lleva a cabo para reducir la presencia de patógenos, eliminar los olores desagradables e inhibir, reducir o eliminar su potencial

de putrefacción. Esto se consigue trabajando sobre la fracción orgánica o volátil del fango, impidiendo que los microorganismos se desarrollen. Las principales tecnologías que se aplican para la estabilización del fango son las siguientes:

- *Estabilización con cal.*
 - *Tratamiento térmico.*
 - *Digestión aerobia.*
 - *Digestión anaerobia.*
 - *Compostaje.*
-
- *Estabilización con cal:* en este proceso se añade cal suficiente al fango para elevar su pH por encima de 12. Este valor elevado de pH crea un entorno que no favorece la supervivencia de los microorganismos, con lo que, mientras se mantenga, el fango no se pudrirá, no creará olores y no provocará riesgos para la salud pública. Para la estabilización del fango con cal se emplean dos métodos: adición de cal al fango antes del proceso de deshidratación, conocido como “pretratamiento con cal”, y adición de cal al fango después del proceso de deshidratación o “posttratamiento con cal”.

 - *Tratamiento térmico:* este es un proceso continuo en el que el fango se calienta en un depósito a presión a temperaturas de hasta 260 °C y a presiones de hasta 2.760 kN/m², durante un tiempo 30 minutos aproximadamente. Cuando el fango se somete a temperaturas y presiones elevadas, la actividad térmica libera el agua ligada a los sólidos, provocando la coagulación de los mismos. Además, se produce la hidrólisis de la materia proteica, lo que provoca la destrucción celular y la liberación de compuestos orgánicos solubles y nitrógeno amoniacal. Aunque el tratamiento térmico sirve como proceso de estabilización, en la mayoría de los casos se utiliza como proceso de acondicionamiento, ya que permite que los sólidos sean aptos para la deshidratación sin necesidad de emplear reactivos químicos.

 - *Digestión aerobia*

La estabilización aerobia de los fangos solo se puede emplear en procesos biológicos que no dispongan de decantación primaria, como es el caso de la aireación prolongada a baja carga. También se puede utilizar para fangos mixtos, pero en esos casos, se necesita un aporte de oxígeno hasta nueve veces mayor que cuando se emplea sólo fango biológico.

La digestión aerobia es un proceso similar al de fangos activados, en el que se pueden distinguir dos fases:

- Asimilación o síntesis.
- Desasimilación o respiración endógena.

Durante la primera fase los organismos consumen el alimento disponible creando nueva materia celular viva. Es la fase de crecimiento celular, que se desarrolla principalmente en el tratamiento secundario. Conforme se agota el suministro de alimento, los microorganismos empiezan a consumir sus propias reservas para obtener la energía necesaria para las reacciones de mantenimiento celular. Esto constituye la segunda fase de su metabolismo, en la que decrece su materia viva. Es la fase endógena, que se desarrolla totalmente en los digestores aerobios.

La digestión aerobia presenta las siguientes ventajas frente al proceso de digestión anaerobia:

- Reducción de sólidos volátiles en similares proporciones.
- Produce sobrenadantes con menores concentraciones de DBO, fáciles de tratar cuando se recirculan.
- Producción de un producto final, biológicamente estable, de tipo humus, exento de olores.
- Mayor recuperación del valor del fango como fertilizante.
- Bajos costes iniciales de inversión.
- Funcionamiento y explotación sencillos.

Este proceso se realiza en los tanques de digestión aerobia. Pueden ser circulares o rectangulares, o en canal, y aunque la mayoría están en contacto con la atmósfera, pueden ir cubiertos. Tienen de 5 a 6 metros de profundidad y están provistos de equipos de aireación para mantener las condiciones aerobias. Tras un tiempo de retención de unos 20 días, parte del fango estabilizado pasa a un espesador, otra parte se recircula y el sobrenadante se conduce a cabecera de planta.

○ *Digestión anaerobia*

La digestión anaerobia de los fangos es una de las formas de tratamiento biológico más antiguas. Es el proceso de estabilización de uso más extendido, y el más adecuado para obtener un producto final aséptico. La descomposición de la materia orgánica se realiza, en ausencia de oxígeno, por dos grupos diferentes de bacterias:

- Las bacterias formadoras de ácidos, que convierten los sólidos complejos en ácidos orgánicos, CO₂ y agua.
- Las bacterias formadoras de metano, que convierten los ácidos en metano, CO₂ y agua.

Se considera que el digestor funciona adecuadamente cuando la reducción de sólidos orgánicos en el fango de salida está entre un 40% y un 60% del existente en el fango de entrada. Esto se consigue manteniendo las reacciones de formación de ácidos y las de formación de metano, en equilibrio. Normalmente, los desequilibrios se producen porque las bacterias formadoras de metano tienen un crecimiento más lento que las formadoras de ácidos, y el digestor se acidifica porque la velocidad de transformación de los ácidos es demasiado baja. Para conseguir el equilibrio en dichas reacciones hay que controlar los parámetros siguientes:

- Temperatura.
- Concentración de los sólidos.
- Mezclado del fango.
- pH
- Ácidos volátiles en los fangos.

Las principales ventajas de la digestión anaerobia de los fangos son:

- Menores costes de explotación, al no utilizar la aireación como parte del proceso.
- Concentra mejor el fango y mejora su secado posterior.
- Produce gas metano que proporciona energía para otras operaciones.
- Tiene capacidad para tratar altas cargas hidráulicas y orgánicas.

Los tanques de digestión anaerobia más habituales son ovalados o circulares, construidos de acero o de hormigón armado, de diámetros entre 6 y 38 metros, y con una profundidad de líquido de entre 7,5 y 14 metros. El fondo del tanque suele ser de forma cónica, con pendiente hacia el cuenco de extracción de fangos que suele estar en el centro. El gas que se genera en estos digestores se recoge bajo la cubierta de los mismos, que puede ser fija o móvil. Este gas puede ser utilizado para el mezclado de los fangos, pero cuando se extrae del digestor pasa a un circuito de gas para ser almacenado y aprovechado. Asimismo los digestores anaerobios cuentan con equipamientos, ya sean intercambiadores externos, o circuitos internos, para producir el calentamiento de los fangos, que siempre tienen que estar entre 30 y 38 °C.

- *Compostaje*: el compostaje es un proceso en el que la materia orgánica se degrada biológicamente hasta alcanzar un producto final estable, tipo humus, higiénico y libre de características desagradables. El fango compostado se emplea como acondicionador de suelos agrícolas y hortícolas.

3.5.3.3. Acondicionamiento

El acondicionamiento del fango se lleva a cabo para mejorar sus características de deshidratación. Los dos métodos más empleados normalmente son el acondicionamiento químico y el tratamiento térmico.

El acondicionamiento químico permite reducir la humedad del fango desde el 90-99% hasta el 65-85%, mediante la adición de reactivos químicos, que dan lugar a la coagulación de los sólidos y a la liberación del agua absorbida.

El tratamiento térmico implica el calentamiento del fango bajo presión durante cortos periodos de tiempo. Se emplea para la coagulación de los sólidos, romper la estructura de gel y destruir la afinidad al agua de los sólidos contenidos en el fango. El resultado es un fango que se esteriliza y deshidrata rápidamente. Se aplica a fangos biológicos, difíciles de estabilizar por otros medios, pero su elevado coste lo reduce a su utilización en grandes plantas.

3.5.3.4. Desinfección

La desinfección de los fangos implica la eliminación de los patógenos presentes mediante la utilización de diversos métodos. Se lleva a cabo para preservar la salud pública en casos de aplicación del fango al suelo. Los dos métodos más empleados son la pasteurización y el almacenamiento a largo plazo.

La pasteurización consiste en calentar el fango a 70 °C durante 30 minutos, mediante la inyección directa de vapor o el intercambio indirecto de calor.

El almacenamiento a largo plazo supone almacenar el fango líquido digerido en lagunas excavadas en el suelo, y dejarlo permanecer allí durante un tiempo de detención que varía entre 60 días a 20 °C y 120 días a 4 °C.

3.5.3.5. Deshidratación

La deshidratación es una operación unitaria física utilizada para reducir el contenido de humedad del fango. Es uno de los tres escalones que se necesitan para la eliminación del agua de los lodos. Para el agua libre e intersticial basta con el espesado, como ya hemos visto. Para la separación del agua capilar y de adhesión es necesaria la deshidratación.

La selección del sistema de deshidratación es función del fango a tratar y del espacio disponible. Algunos de los sistemas empleados son los siguientes:

- *Eras de secado*: son un método de deshidratación muy empleado, sobre todo en estaciones depuradoras pequeñas, consistente en incorporar los fangos, que deberán estar bien estabilizados, sobre una balsa con arena, con fondo drenado. De esta forma, se efectúa una pérdida de agua por drenaje a la vez que los lodos van decantando. A la vez se pierde agua por evaporación. Este proceso de drenaje y evaporación continúa hasta alcanzar un contenido de materia seca del 50-55%. Es un sistema de bajo coste y escaso mantenimiento, y mediante el que se obtiene un producto final con alto contenido en sólidos.
- *Filtros de vacío*: están formados por un tambor cilíndrico rotativo, al que se le aplica vacío entre la superficie de la cubeta y el elemento filtrante, que permite extraer una gran proporción de agua presente en el lodo, produciendo una torta con bajo contenido de humedad. Su uso es cada vez menor.
- *Centrifugación*: consiste en introducir el fango a deshidratar en un tambor cilíndrico-cónico que gira sobre un eje horizontal a gran velocidad. En el interior del tambor, debido a la fuerza centrípeta y a la diferencia de densidades, se produce la separación del agua de los sólidos. La parte más pesada de la mezcla se deposita y es arrastrada a la salida por un tornillo helicoidal que gira a distinta velocidad que el tambor.
- *Filtros banda*: son dispositivos de deshidratación de fangos de alimentación continua que se basan en el principio de presión de filtración mecánica. El fango es comprimido entre dos telas y conducido a través de una serie de rodillos, donde se libera una cantidad de agua debido a los esfuerzos de prensado a los que es sometido. Se obtiene entre un 25% y un 45% de materia seca.
- *Filtros prensa*: consisten en un cierto número de bandejas con unas membranas filtrantes entre las que se aloja el fango, colocadas entre un extremo fijo y otro móvil. Mediante la aplicación de presión por sistemas electromecánicos e hidráulicos al extremo móvil, se consigue el prensado de todas las bandejas alineadas a la vez. Al ejercerse la presión sobre las bandejas, el agua contenida en el fango es capaz de fluir a través de las membranas, pero no el fango, que queda retenido. Se consiguen con este método "tortas" de fangos con una concentración de sólidos del 45-55%.

Excepto las eras de secado, todos los demás métodos de deshidratación vistos son mecánicos, y necesitan de la adición de ciertos productos, como coadyuvantes, para que los resultados obtenidos sean óptimos.

3.5.3.6. Secado térmico

El secado del fango es una operación unitaria que involucra la reducción del contenido de agua por la vaporización de esta al aire. Se consigue al aportar calor auxiliar para aumentar la capacidad de retención de vapor del aire ambiente y para proporcionar el calor latente necesario para la evaporación. El objetivo con este tratamiento es la eliminación de humedad del fango líquido, de forma que se pueda incinerar con eficacia o procesar para su transformación en fertilizante.

Los procesos mecánicos para conseguir el secado térmico son:

- *Sistemas de secado instantáneo:* se pulveriza fango en un molino, mediante una técnica de suspensión atomizada, en presencia de gases calientes. Se obtienen fangos con un contenido de humedad del 8%.
- *Sistemas de secado por pulverización:* el fango se alimenta a una cuba centrífuga de alta velocidad donde transfiere la humedad a los gases calientes.
- *Sistemas de secado rotativos.*
- *Sistemas de secado de pisos múltiples.*
- *Evaporadores de efecto múltiple.*

3.5.3.7. Reducción térmica

La reducción térmica del fango incluye la conversión total o parcial de los sólidos orgánicos a productos finales oxidados, principalmente dióxido de carbono y agua, por incineración u oxidación por vía húmeda o la oxidación y volatilización parcial de los sólidos orgánicos por pirolisis o combustión completa para formar productos finales que tienen poder calorífico.

Las principales ventajas de la reducción térmica son:

- Máxima reducción de volumen, lo que reduce las necesidades de evacuación.
- Destrucción de patógenos y compuestos tóxicos.
- Posible recuperación de energía.

Por el contrario, también presenta una serie de desventajas como:

- Elevados costes de inversión y de explotación.
- Necesidad de disponer de operarios muy cualificados.
- Impacto ambiental negativo, por la emisión de cenizas.
- Evacuación de residuos complicada y peligrosa.

Los fangos procesados por reducción térmica suelen ser fangos crudos o deshidratados. Antes de la incineración no suele ser necesario estabilizar el fango. Al contrario, puede ser perjudicial.

Los procesos de reducción térmica que se aplican en el tratamiento de fangos son los siguientes:

- Incineración en hornos de pisos múltiples.
- Incineración en lecho fluidificado.
- Coincineración.
- Oxidación por vía húmeda.
- Oxidación por vía húmeda en reactores verticales profundos.

3.5.3.8. Aprovechamiento y evacuación de lodos

Una vez que los fangos procedentes de los procesos de depuración ha sido tratado, ya solo puede seguir dos caminos: el de la reutilización o el del vertido.

El uso más común en el que se recupera y recicla el lodo es en la aplicación al suelo, bien sea utilizándolo en agricultura como abono, o bien para recuperar terrenos agotados. También se puede distribuir y comercializar como sustituto de turbas y capas superficiales de abono en céspedes, campos de golf, parques y jardines botánicos y ornamentales. Normalmente, el utilizado en estos casos es fango compostado, que se puede distribuir a granel o en sacos. Se estima que entre el 11% y el 19% de la producción de fango se distribuye y comercializa.

Por otro lado, la disposición final del fango cuando no se tiene intención de reciclaje o recuperación es el vertido al mar o el relleno de terrenos y escombreras.

4. INSTALACIONES E.D.A.R. OBJETO DE ESTUDIO

4.1. Estructura y ordenación del complejo

En el presente trabajo se va a proceder al estudio de la estación depuradora de aguas residuales de un complejo hotelero situado en un entorno natural de montaña de alto valor paisajístico y ecológico.

El citado complejo está compuesto por un hotel de 5 estrellas, un spa con hidromasajes y saunas donde también se realizan tratamientos con lodos, una piscina de verano, cafetería, restaurante y una zona con bungalows. El edificio central se ha levantado sobre una antigua construcción histórica del siglo XVII en la que se ha tenido que realizar una profunda rehabilitación debido al grado de deterioro que presentaba. Se ha respetado la fachada principal y parte de la estructura, pero la mayor parte de la construcción es totalmente nueva. No obstante la utilización, tanto en los exteriores como en los interiores, de materiales como la piedra y la madera, de igual manera a como se habían empleado en la edificación original, confiere al conjunto un aire tradicional e integrado en el paisaje.

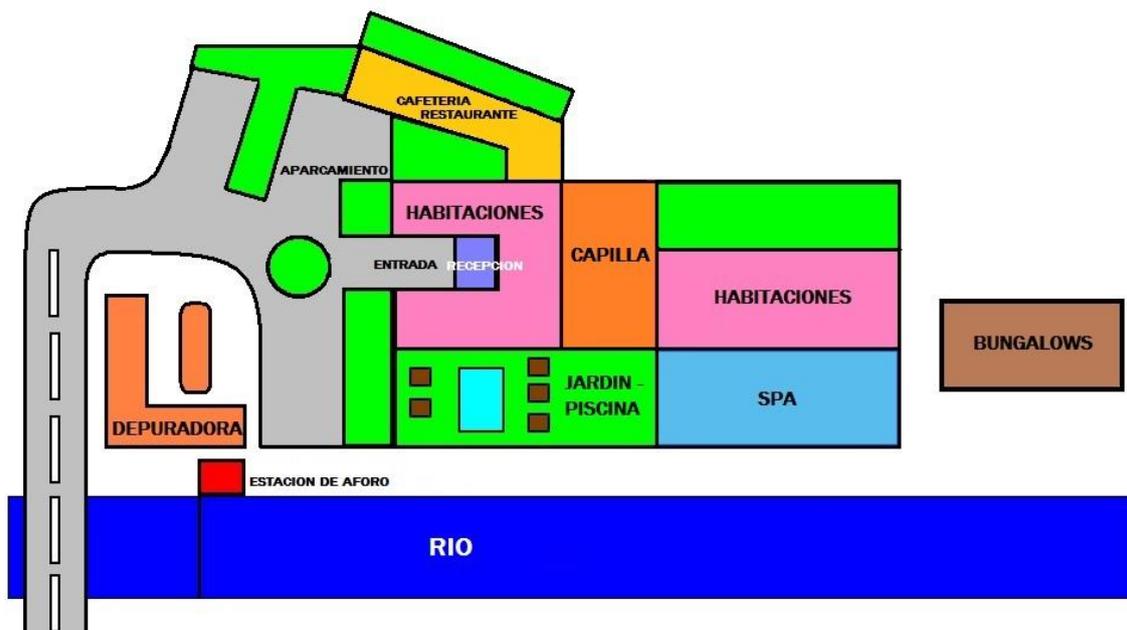


Figura 14: Plano esquemático de las instalaciones

En todo el complejo hotelero hay disponibles para alojamiento un total de 140 habitaciones y 40 villas. En ellas, el número máximo de personas que se pueden alojar es de 194 personas en el hotel y de 120 en los bungalows. A estas hay que sumarles las correspondientes a la clientela del restaurante, que tiene capacidad para 195 comensales en la planta baja y otros 120 en la planta sótano. Si añadimos 50 personas más correspondientes al personal de servicio, que pueden llegar a estar simultáneamente en las instalaciones, nos encontramos con un total de capacidad máxima del complejo de hasta 679 personas. Esta concentración de personas, así como las actividades de ocio propias del establecimiento, generarán un volumen importante de aguas residuales que será necesario tratar, para no alterar el ecosistema del lecho receptor.

4.1.1. Vertido de las aguas residuales

El vertido de las aguas residuales de toda la instalación se realiza a un río de montaña, prácticamente virgen y sin apenas contaminación. Como ya se ha comentado, el complejo hotelero se ubica en un enclave privilegiado de alto valor ambiental. Precisamente esta situación en pleno contacto con la naturaleza es uno de los atractivos más fuertes para el turismo, tanto del hotel como de las poblaciones cercanas. Por ello, para la conservación del medio ambiente y más aún, cuando este medio es generador de turismo y fuente de ingresos de la zona, las aguas residuales tienen que ser tratadas convenientemente antes de su vertido, para generar el menor impacto ambiental posible.

En el complejo se han diseñado dos redes separadas para la recogida y transporte de las aguas residuales. Por un lado se ha planteado una red de aguas pluviales, que recoge las aguas de lluvia procedentes de los tejados y bajantes, y, a través de sumideros y canaletas de superficie, también las de todas las superficies exteriores que abarca el recinto, principalmente las de las zonas pavimentadas. Estas aguas son recogidas y conducidas directamente al cauce del río, sin ser retenidas y sin ningún tipo de tratamiento.

Por otro lado está la red de saneamiento propiamente dicha, que recoge el resto de aguas residuales que se generan en la instalación. Estas aguas residuales están formadas por:

- aguas fecales de todos los baños y aseos, tanto de las habitaciones como de los bungalows, y los del restaurante, spa y zonas comunes.
- aguas grises propias de la higiene personal.
- aguas procedentes de las duchas del spa.

- aguas debidas a las renovaciones mínimas exigidas por ley de los volúmenes de agua de los vasos de hidromasaje y baño del spa.
- aguas residuales de la cafetería y el restaurante.
- aguas procedentes de la piscina del hotel.

Todas estas aguas son conducidas utilizando dicha red a una estación depuradora de aguas residuales, donde son convenientemente tratadas antes de producirse su vertido al río. La ubicación de la estación depuradora dentro del complejo hotelero y la disposición de las conducciones de las redes de saneamiento y pluviales queda como se indica en el siguiente plano:

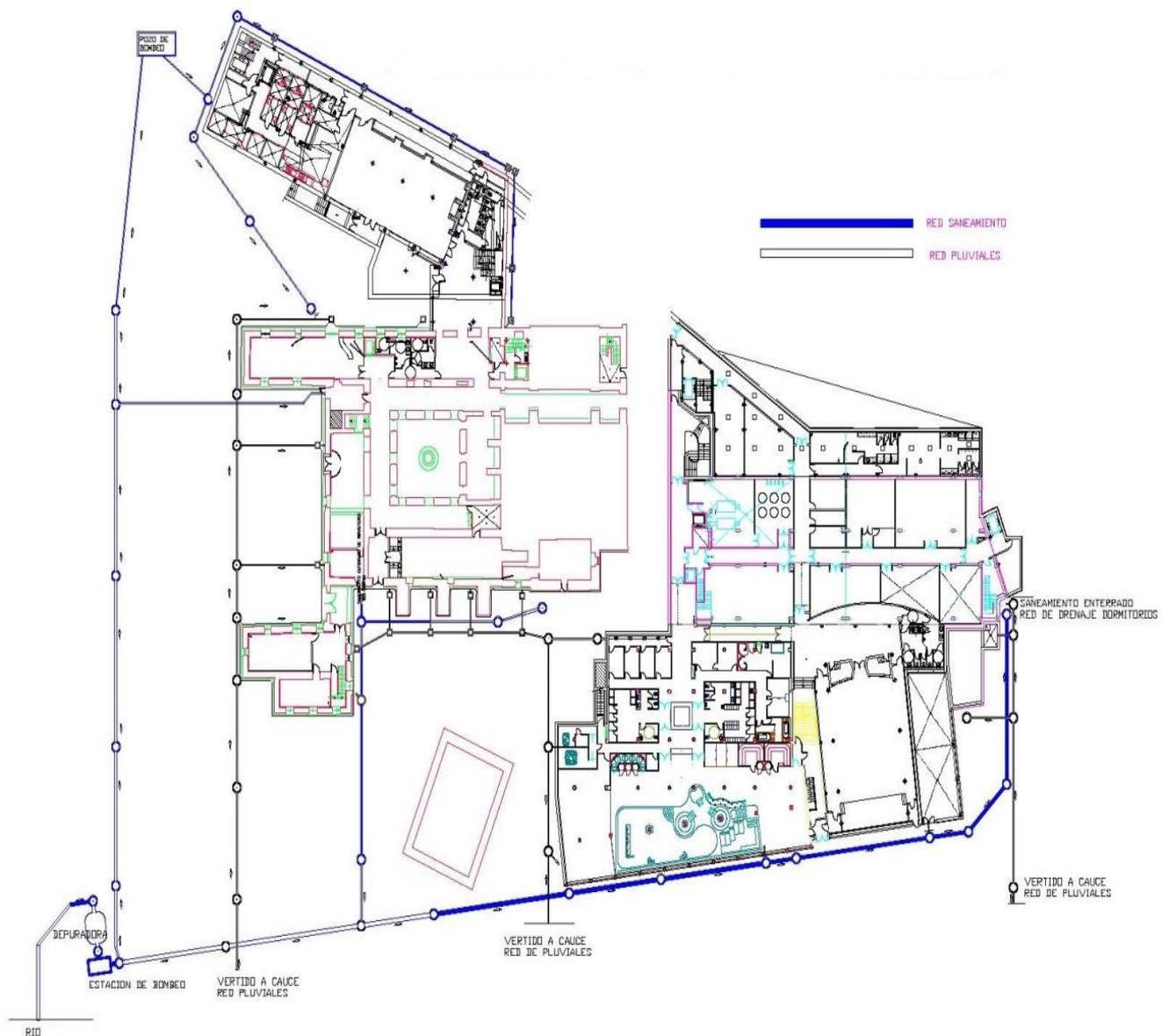


Figura 15: Plano complejo hotelero y redes de saneamiento y pluviales
(Fuente: Propiedad)

4.2. Datos relativos a las aguas residuales de la red de saneamiento

Entre los contaminantes que transporta el agua residual que llega a la estación depuradora para su tratamiento podemos encontrar los siguientes:

- Contaminación orgánica propia de las aguas fecales de origen humano.
- Jabones y elementos de higiene personal.
- Detergentes y productos de limpieza.
- Restos de alimentos y aceites de cocina.
- Lodos compuestos por arcilla gris, procedentes de los tratamientos realizados en el spa.
- Sólidos varios.

Los caudales de vertido estimados en el diseño y dimensionamiento de la estación depuradora se han calculado en función de las diversas instalaciones del complejo hotelero. Por un lado, los vertidos propios del hotel, los bungalows, el restaurante y el resto de aseos del recinto, se calculan tomando como base un consumo de 200 l/hab. eq./día. Según el *Real Decreto-Ley 11/1995* de 28 de diciembre que transpone la *Directiva 91/271/CEE*, se entiende por habitante equivalente “la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO_5) de 60 gramos de oxígeno por día”. Estimando en 450 habitantes equivalentes la capacidad generadora de carga orgánica del hotel resulta un caudal de:

$$450 \text{ hab. eq} * 200 \frac{\text{l}}{\text{hab. eq} \cdot \text{día}} = 90.000 \text{ l/día}$$

Por otro lado tenemos las aguas procedentes de la zona spa. Si bien en el caudal anterior hemos tenido en cuenta las aguas residuales procedentes de los aseos del spa, en esta zona hay que contar además el vertido de las zonas de baño, como consecuencia de la renovación mínima exigida por ley en bañeras y piscinas de hidromasaje. Estas bañeras o piscinas son estructuras artificiales que contienen agua y están diseñadas para dirigir hacia el cuerpo humano agua mezclada con aire, o agua a presión. Según el *Real Decreto 865/2003* de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénicos y sanitarios para la prevención y control de la legionelosis, el agua ahí contenida deberá ser renovada continuamente a razón de 3 m³/h para cada 20 personas durante las horas de uso.

El agua de llenado de los vasos proviene de la red y, como también viene establecido en el *Real Decreto 865/2003*, se recircula y se filtra de forma continua. La bomba de recirculación y los filtros deben estar dimensionados para garantizar un tiempo de recirculación máximo de 30 minutos. La velocidad máxima recomendada para los filtros de arena es de $36,7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$.

Con estas premisas el agua vertida como consecuencia de la renovación cumple las normas sanitarias de usos de agua para baño, y no constituye ningún peligro. Presenta unos niveles de cloro residual libre de entre 0,8 y 2 mg/l y de bromo residual libre de entre 2 y 4 mg/l, y su único contaminante son unos barros totalmente inertes, compuestos de arcilla gris disuelta en agua, procedentes de los tratamientos corporales que se realizan en esta zona.

Según datos facilitados por la propiedad los caudales de vertido de las diferentes zonas del complejo son los que se indican a continuación:

	COMPLEJO HOTELERO	RESTAURANTE	SPA REGENERACIÓN	SPA DUCHAS	PISCINA	TOTAL VERTIDO
Q MEDIO DIARIO (m3/día)	14	3	2	7	1	26
Q MÁXIMO DIARIO (m3/día)	40	10	6	20	2	77
PORCENTAJE	52%	12%	7%	25%	3%	100%

Tabla 2: Caudales de vertido de la instalación

Se indica asimismo que el caudal medio diario es de 30 m^3 llegando a los 90 m^3 diarios como caudales máximos. En total, el volumen anual de vertido de aguas residuales es de 16.200 m^3 . Aunque el complejo permanece abierto a lo largo de todo el año, esta cantidad de aguas residuales no se reparte de forma homogénea durante ese tiempo. Las épocas de mayor vertido son las que coinciden con periodos festivos y vacacionales. Estas son Navidad, Semana Santa, puentes festivos y las temporadas de verano e invierno.

Los parámetros que se pueden medir en las aguas residuales procedentes del hotel son estos:

- pH = 8,5 Ud. de pH
- MES = 250 mg/l
- DQO = 450 mg O₂/l
- DBO₅ = 280 mg O₂/l
- Aceites y grasas = 15 mg/l
- NTK = 40 mg/l N
- P_{total} = 5 mg/l P

A su vez los parámetros de las aguas residuales procedentes del spa son:

- pH = 8,2 Ud. de pH
- MES = 180 mg/l
- DQO = 240 mg O₂/l
- DBO₅ = 280 mg O₂/l

4.2.1. Sistema de depuración de oxidación total

La estación depuradora de todas las aguas residuales del complejo hotelero, con la excepción vista de las aguas pluviales, es una depuradora cuyo núcleo principal está basado en el principio de oxidación biológica por el proceso de fangos activos en su variante de oxidación total.

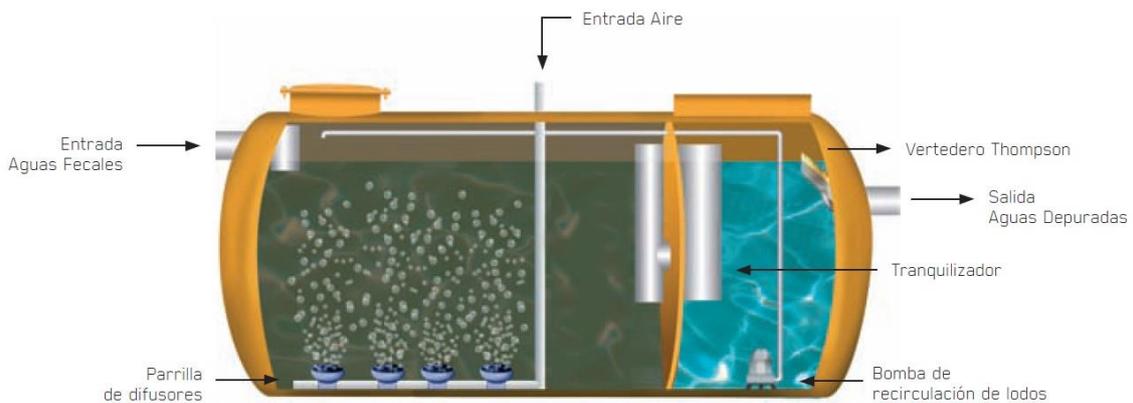
Las E.D.A.R. de oxidación total están indicadas para el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico o urbano, no siendo aconsejables para tratar aguas residuales industriales de fábricas o mataderos.

La oxidación total se desarrolla en varias etapas. La primera se realiza en un reactor biológico donde, mediante la utilización de una soplante y unos difusores, las aguas residuales son sometidas a una aireación prolongada. Esta aireación genera en el reactor un medio aeróbico ideal para el desarrollo de bacterias aeróbicas. Dichas bacterias son las encargadas de la descomposición biológica de la materia orgánica presente en el agua residual, ya que son, precisamente, los nutrientes que contienen, lo que les sirve de alimento. En esta etapa el aporte de oxígeno al agua residual es fundamental para el desarrollo de la colonia de bacterias, porque es lo que permite mantener las condiciones aeróbicas. Sin oxígeno, las bacterias aeróbicas no pueden sobrevivir. Además, el aporte de aire a través de los difusores mantiene en suspensión a los microorganismos, lo que favorece el proceso de digestión.

Debido al tiempo prolongado de aireación, el proceso se mantiene en la fase de crecimiento endógeno, en la que el alimento disponible no es suficiente para alimentar a todos los microorganismos presentes. Como consecuencia de esta escasez, los microorganismos empiezan a comerse entre ellos, utilizando su material celular como fuente de nutrición.

A continuación, la mezcla de agua residual con la materia orgánica digerida y un gran número de microorganismos pasa, a través de un tabique perforado o de un elemento tranquilizador, al decantador secundario de la depuradora, también llamado clarificador. Aquí se produce, debido a la acción de la gravedad, la decantación de los

fangos generados en el reactor biológico, separándose de esta forma los lodos, que quedan en la parte inferior, del efluente, agua limpia, que queda en la parte superior. El agua limpia es evacuada al exterior a través de un vertedero triangular, mientras que parte del lodo depositado en el fondo es devuelto al reactor biológico por medio de una bomba recirculadora. Esta devolución de parte del fango, con un gran número de microorganismos, hacia atrás en el proceso de depuración permite mantener la concentración necesaria de microorganismos en el reactor, lo que posibilita que el tratamiento de las aguas residuales no se detenga. El exceso de fangos presente en el decantador debe ser eliminado periódicamente en forma de excedentes de fangos.



*Figura 16: Estación depuradora de oxidación total para medianas comunidades
(Fuente: Recubrimientos y moldeados S.A.)*

Las E.D.A.R. de oxidación total de aireación prolongada presentan la ventaja, frente a las estaciones depuradoras convencionales, de una menor producción de excedentes de fangos, si bien tienen una importante demanda de energía. Tanto la recirculación de los lodos como el funcionamiento del grupo soplante se realizan de forma casi permanente, lo que genera un consumo eléctrico casi constante. A este consumo energético hay que añadirle, además, un coste de implantación inicial superior al de una planta de tratamiento de aguas residuales convencional.

El agua vertida por las E.D.A.R. de oxidación total puede ser clorada para reducir la presencia de bacterias y virus patógenos en el efluente, aunque este proceso no se realiza siempre en este tipo de depuradoras y dependerá del diseño de cada vertido.

4.3. Composición del equipo de depuración

Las E.D.A.R. de oxidación total de aireación prolongada se presentan normalmente, por parte de los fabricantes, en módulos compactos prefabricados. La utilización de este tipo de equipos prefabricados permite un uso más adaptable que las E.D.A.R. convencionales ya que es posible, a través de la agrupación de módulos, depurar aguas producidas en asentamientos de diversos tamaños, desde conjuntos de escasa entidad hasta núcleos urbanos de algunos miles de habitantes. Asimismo, este tipo de depuradoras permite obtener rendimientos de depuración elevados para un número reducido de usuarios, por lo que son también muy apropiadas en lugares de ocupación variable, como pueden ser las agrupaciones residenciales de fines de semana o, como en nuestro caso, establecimientos hoteleros con afluencias masivas de clientes reducidas a determinadas épocas del año.

Para que el sistema de depuración de oxidación total funcione correctamente y tenga un rendimiento óptimo, es preciso utilizar algunos equipos adicionales al reactor biológico de oxidación. Estos elementos retienen, previamente, parte de los elementos contaminantes que transporta el agua, y que de llegar hasta el reactor biológico, restarían mucha eficacia al sistema.

En concreto la E.D.A.R. del complejo hotelero del presente estudio está compuesta por los siguientes elementos:

- Reja de desbaste manual.
- Pozo de bombeo.
- Caudalímetro electromagnético.
- Tamiz rotativo.
- Depósito homogeneizador.
- Separador de grasas.
- Equipo de depuración basado en oxidación total.
- Arqueta de toma de muestras.

El camino que recorre el agua residual a través de todos estos componentes de la E.D.A.R. antes de su vertido final al río se puede esquematizar tal y como se indica en la página siguiente:

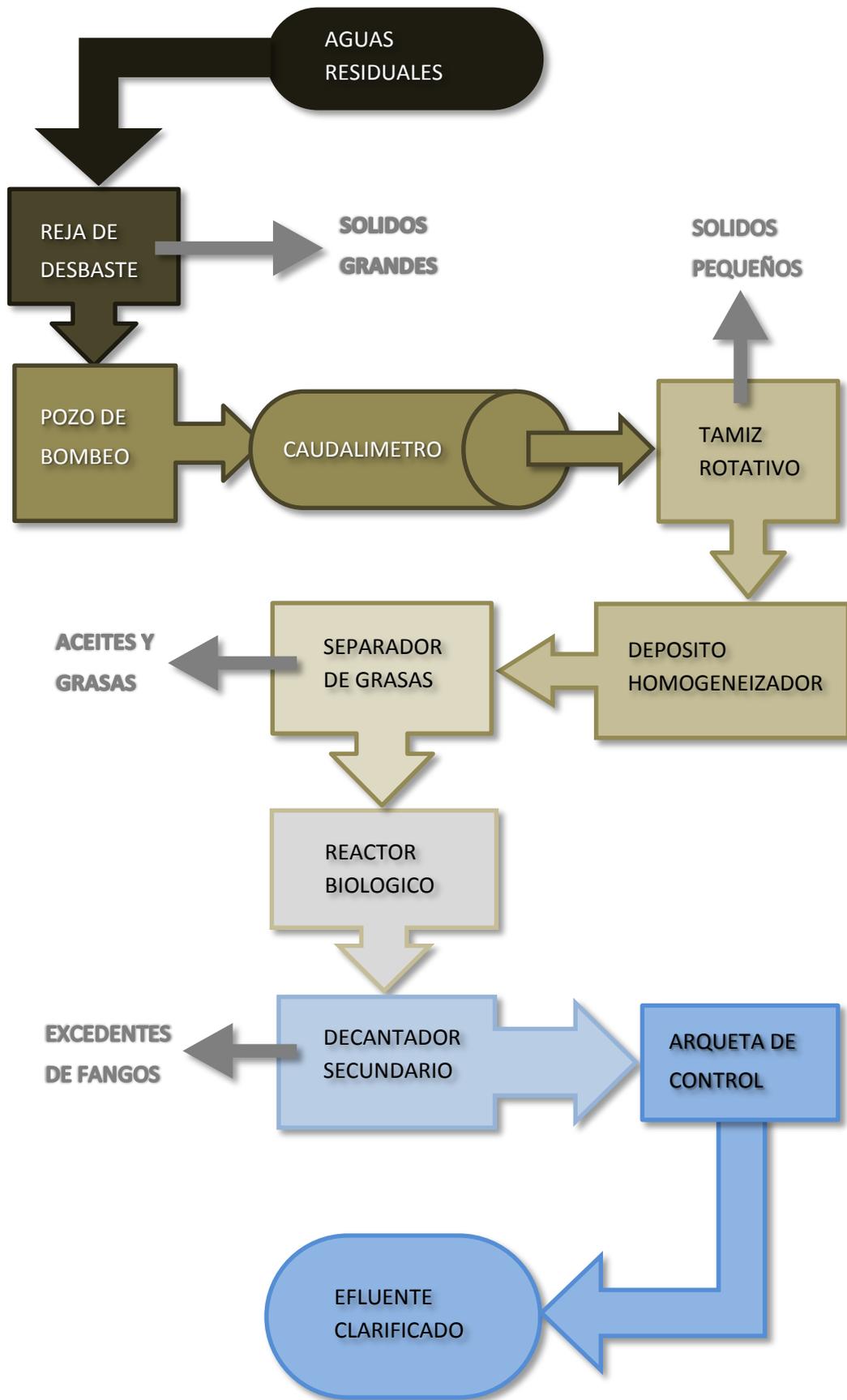


Figura 17: Elementos que componen la estación depuradora de aguas residuales

4.3.1. Reja de desbaste manual

Colocada a la entrada de la depuradora, la reja de desbaste tiene como misión la retención de sólidos flotantes o de grandes dimensiones que puedan dañar algún elemento o parte posterior del equipo de depuración, así como perjudicar el propio proceso de depuración. Su limpieza se realizará de forma manual.

Sus dimensiones son de 400 mm de ancho por 800 mm de largo, con un paso libre de 25 mm, y está equipada con cesta de recogida de sólidos. Los sólidos extraídos serán depositados en un contenedor de residuos, que será vaciado en el vertedero.

4.3.2. Pozo de bombeo

Es la zona a la que llegan las aguas residuales de todo el complejo hotelero tras rebasar la reja de entrada. Este pozo sirve como depósito colchón desde el que, mediante una bomba sumergible, se envían las aguas residuales a las siguientes etapas de la estación depuradora. De esta forma, se absorben las fluctuaciones de caudal debidas a la llegada al pozo de los vertidos de forma intermitente, y se produce una alimentación constante al resto de los procesos.

La bomba encargada de esta alimentación es una bomba sumergible con cuerpo de fundición gris EN-GJL-250, motor en baño de aceite y doble cierre mecánico, equipada con rodete tipo vortex en posición trasera que asegura el paso integral de los cuerpos sólidos y evita atascos o posibles averías por arrollamiento de fibras en el rotor. El modelo elegido es el DGO 100/2/G50V B0CT/50 de la casa Zenit (hojas técnicas e información completa del producto en los “Anexos”), que garantiza un paso libre de sólidos de hasta 50 mm. Cuenta con un motor trifásico 400 V / 50 Hz de 1,1 CV de potencia nominal entregada, capaz de proporcionar las siguientes prestaciones:

l/s	0	2	4	6	8
l/min	0	120	240	360	480
m ³ /h	0	7.2	14.4	21.6	28.8
DGO 100/2/G50V B0CM(T)/50	12.2	10.1	7.9	5.8	3.6

Tabla 3: Prestaciones de la bomba sumergible del pozo de bombeo

Estas prestaciones permiten el correcto funcionamiento de la depuradora aun en los periodos de máxima afluencia al complejo hotelero, en los que el caudal máximo registrado afluente al pozo de bombeo es de 90 m³/día. Suponiendo que este caudal

se reparte en tan solo 8 horas, resulta un caudal punta máximo de 11,25 m³/h, lo que queda muy por debajo de las prestaciones máximas que la bomba puede ofrecer.

La bomba cuenta con salida vertical roscada de 2". Para conocer el diámetro de tubería que hay que conectarle hacemos unos cálculos para el caudal máximo (Q) que se prevé que puede llegar a dar la bomba en nuestra aplicación. Fijamos, además, una velocidad del fluido (v) de 1 m/s:

$$S = \frac{Q}{v} \quad S = \frac{0,006 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,006 \text{ m}^2$$

Aplicamos el área del círculo para conocer el diámetro de la tubería:

$$S = \pi r^2 \quad r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,006}{3,1416}} = 0,0437 \text{ m}$$

Esto nos da un diámetro interior de tubería de 87,4 mm. Las tuberías estándar de PVC de presión más cercanas a este diámetro que se fabrican son:

- Tubería PVC DN100 PN10: \varnothing_{ext} 110 mm x \varnothing_{int} 101,6 mm
- Tubería PVC DN80 PN10: \varnothing_{ext} 90 mm x \varnothing_{int} 81,4 mm

Elegimos en este caso la tubería de PVC de DN80 PN10 porque aunque es un poco inferior al diámetro calculado, este dato se ha obtenido con un caudal muy sobredimensionado con respecto al que normalmente va a circular. Esto podría resultar en una velocidad de circulación muy baja y, tratándose de aguas residuales este hecho podría ocasionar depósitos en las tuberías. No obstante, calculamos la velocidad resultante en la tubería elegida para el caudal máximo estimado:

$$S = \pi r^2 \quad S = \pi \left(\frac{81,4}{2}\right)^2 = 5204 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{Q}{v} \quad v = \frac{Q}{S} = \frac{0,006 \text{ m}^3/\text{s}}{0,005204 \text{ m}^2} = 1,15 \text{ m/s}$$

Esta velocidad es perfectamente asumible por la tubería, que puede llegar hasta los 2 m/s. Asimismo, utilizando la fórmula de Manning, calculamos las pérdidas de carga en dicha tubería:

$$h = 10,3 * n^2 * \left(\frac{Q^2}{D^{5,33}}\right) * L$$

- h: pérdida de carga o de energía (m)
- n: coeficiente de rugosidad (adimensional)

- D: diámetro interno de la tubería (m)
- Q: caudal (m³/s)
- L: longitud de la tubería (m)

Contando un coeficiente de rugosidad para las tuberías de PVC de 0,01, nos queda lo siguiente:

$$h = 10,3 * 0,01^2 * \left(\frac{0,006^2}{0,0814^{5,33}} \right) * 1 = 0,024 \text{ m}$$

Con esto tenemos que la pérdida de carga a caudal máximo es de 2,4 m por cada 100 metros de recorrido. En nuestro caso, la pérdida de carga en la tubería es despreciable, debido al escaso recorrido de esta.

4.3.3. Caudalímetro electromagnético

El caudalímetro está situado a la salida del pozo de bombeo y mide la cantidad de agua residual total que pasa al proceso de depuración. Este tipo de caudalímetros es ideal para trabajar con aguas sucias. Está formado por dos componentes principales:

- *Sensor de caudal*, compuesto por un carrete embridado de acero al carbono, con acabado epoxi anticorrosión y un revestimiento interior de caucho NBR, donde van alojados los electrodos.
- *Transmisor electrónico*, basado en microprocesador, encargado de procesar los datos que recibe del sensor y tratarlos según se precise.

El caudalímetro elegido para nuestra aplicación es el MAG 5100W con el transmisor electrónico MAG 5000, ambos de la familia Sitrans FM de Siemens. El dimensionado del sensor de caudal es de 3" DN80. Según la información técnica del fabricante, con esta medida y el caudal nominal con el que estamos trabajando en esa parte de la depuradora, sobre los 21-22 m³/h, la velocidad del fluido al atravesar el sensor será de aproximadamente 1 m/s (ver información técnica y más detalles del equipo en "Anexos"). Realmente, para esta aplicación se podría haber elegido un sensor con un tamaño inferior (DN65 – 2 ½"), para el que la velocidad de paso sería de entre 1,5 y 2 m/s, perfectamente asumible por el equipo cuya mayor precisión de medida se da con velocidades de fluido de entre 1 y 3 m/s. Se ha preferido, no obstante, no hacer ninguna reducción en la tubería y mantener el tamaño de DN80, para evitar posibles obstrucciones de la misma.

4.3.4. Tamiz rotativo

El tamiz rotativo es un filtro de alta capacidad, que se emplea para separar, de manera continua, los sólidos en suspensión presentes en el agua residual del líquido. Es un equipo autolimpiable, capaz de operar durante largos periodos de tiempo sin necesidad de atención. Sus partes principales son:

- *Tambor filtrante:* se trata de un cilindro formado por una serie de perfiles triangulares de acero inoxidable AISI-304, que están soldados sobre unas barras longitudinales del mismo material, formando una malla, cuya luz puede ir desde los 0,15 mm hasta los 2 mm.
- *Cuerpo del filtro:* está fabricado en acero inoxidable AISI-304 y contiene todos los elementos que forman el tamiz rotativo, así como las bridas de entrada y salida del fluido. La entrada se comunica con la caja de distribución, que está colocada en la parte superior y es la encargada de repartir el afluente a lo largo de todo el tambor filtrante en flujo laminar. Por la parte inferior se encuentra el depósito receptor que recoge el líquido filtrado, y se comunica con la salida. Dispone además de otra salida embridada adicional, de rebosamiento.
- *Rascador:* es el elemento encargado de limpiar las partículas sólidas de la superficie del cilindro. Construido en latón, resistente a la abrasión, está fijado a una chapa articulada que, por medio de unos tensores montados en sus extremos, se ajusta perfectamente a la superficie del cilindro, consiguiendo arrancar los residuos retenidos en ella.
- *Grupo de accionamiento:* es el encargado de mantener el cilindro filtrante en movimiento. Está formado por un grupo moto-reductor de tornillo sinfín que proporciona la velocidad de giro adecuada al diámetro del tambor.

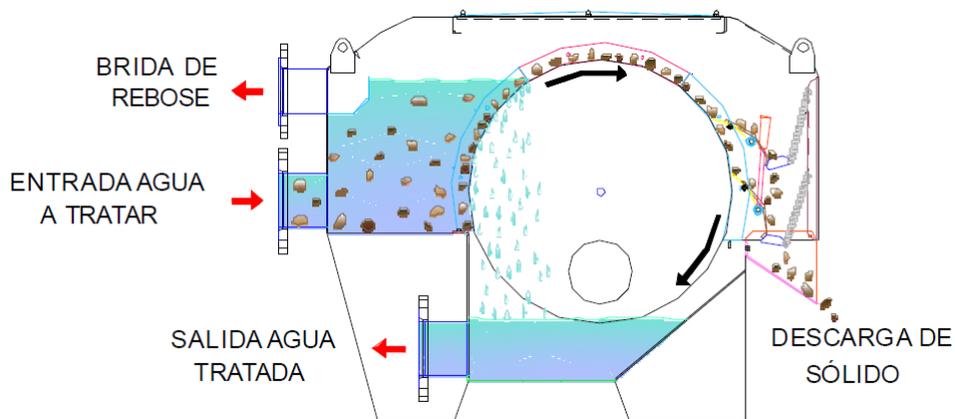


Figura 18: Esquema de funcionamiento de un tamiz rotativo
(Fuente: Procesos Auto-Mecanizados PAM)

Su funcionamiento es muy simple. El agua residual a filtrar entra al equipo por la toma de entrada y se reparte a lo largo de todo el filtro desde la caja de distribución. El líquido atraviesa el tambor filtrante, quedando las partes sólidas en su superficie. Como el cilindro se mueve constantemente, los sólidos son arrastrados hasta que se encuentran con el rascador, que los retira y los separa fuera del tamiz. En ocasiones, estos residuos son transportados hasta un contenedor por un tornillo sinfín, aunque también pueden recogerse directamente desde el tamiz. Por otro lado, el agua libre ya de sólidos, cae a la parte baja del equipo desde donde sale por la toma de salida, cuya brida puede ser lateral o estar orientada hacia abajo.

En comparación con el tamiz estático, el tamiz rotativo proporciona mucha más capacidad de filtrado para una misma anchura de elemento filtrante, consiguiendo eliminar las arenas gruesas y hasta porcentajes del 30% de grasas.

Parámetros de diseño

- Caudal a filtrar: 21,6 m³/h
- Tamaño máximo de sólidos en suspensión en efluente: 0,5 mm.

Dimensionado

- Tambor filtrante: Ø240 mm x longitud 490 mm.
- Malla filtrante: 0,5 mm.
- Caudal: 22 m³/h.
- Bridas de conexión: DN100 PN16.

Con estos parámetros, el equipo elegido para nuestra aplicación es el modelo 2450 de Urso, que da estas prestaciones con un contenido de sólidos en suspensión de hasta 350 ppm (especificaciones técnicas en "Anexos").

4.3.5. Depósito homogeneizador

Las aguas procedentes del tamiz rotativo irán a parar, por gravedad, a un depósito de almacenamiento, que servirá de homogeneizador de las aguas residuales. Este depósito irá enterrado, y su capacidad será suficiente como para almacenar el volumen máximo de aguas residuales vertido en un día.

Parámetros de diseño

- Capacidad mínima: 90 m³.

Dimensionado

- Medidas interiores: 10 m largo x 4 m ancho x 3 m alto.

El depósito estará construido en hormigón armado y dispondrá de tapas de registro en la parte superior que posibiliten el acceso a su interior.

Asimismo en dicho depósito se instalará una bomba sumergible, para impulsar las aguas residuales a los siguientes equipos de la depuradora, y unas boyas de nivel. Las prestaciones de esta bomba tendrán que permitir el correcto funcionamiento del separador de grasas colocado a continuación.

Parámetros de diseño

- Caudal máximo: 100 litros/min.
- Altura mínima de bombeo: 4 m.

Dimensionado

- Caudal: 120 litros/min.
- Altura de bombeo: 4,5 m.

El modelo elegido para esta tarea es el DGO 50/2/G50V B0BT/50 de la casa Zenit (ver hojas técnicas en “Anexos”), con motor trifásico 400 V/50 Hz de 2 polos a 2.900 rpm, de 0,5 CV de potencia útil entregada, capaz de ofrecer las siguientes prestaciones:

	<i>l/s</i>	0	2	4
	<i>l/min</i>	0	120	240
	<i>m³/h</i>	0	7.2	14.4
DGO 50/2/G50V B0CM(T)/50		6.0	4.5	2.3

Tabla 4: Prestaciones de la bomba del depósito homogeneizador

La bomba tiene una salida de 2” roscada. A ella conectaremos la tubería que desemboca en el separador de grasas. Esta tubería será del mismo tamaño que la salida de la bomba. Aplicando la fórmula de Manning, calculamos las pérdidas de carga:

$$h = 10,3 * n^2 * \left(\frac{Q^2}{D^{5,33}} \right) * L$$

- h: pérdida de carga o de energía (m)
- n: coeficiente de rugosidad (adimensional)
- D: diámetro interno de la tubería (m)
- Q: caudal (m³/s)
- L: longitud de la tubería (m)

Tubería de salida: PVC DN50 PN10

- \varnothing_{ext} : 63 mm.
- espesor pared: 3 mm.
- coeficiente de rugosidad: 0,01.

$$h = 10,3 * 0,01^2 * \left(\frac{0,002^2}{0,0575,33} \right) * 1 = 0,018 \text{ m}$$

Con este resultado podemos ver que la pérdida de carga en dicha tubería es despreciable para el caudal de trabajo de la bomba, y el recorrido que ha de hacer el agua hasta el siguiente equipo.

4.3.6. Separador de grasas

El separador de grasas es un equipo prefabricado de poliéster reforzado con fibra de vidrio, cuya misión es separar los aceites y grasas presentes en el agua residual, procedentes principalmente del restaurante, del resto de las aguas residuales. Su funcionamiento se basa en la diferencia de densidades del agua y de la grasa. Cuando el agua entra en el depósito se produce una pérdida de velocidad del influente que provoca una decantación de los sólidos y la separación de la parte líquida en dos fases: la superior, menos densa, de aceites y grasas, y la inferior, de más densidad, de agua. El efluente proveniente de este módulo se recoge de la parte intermedia del depósito, evitando de esta forma, la salida de las grasas.

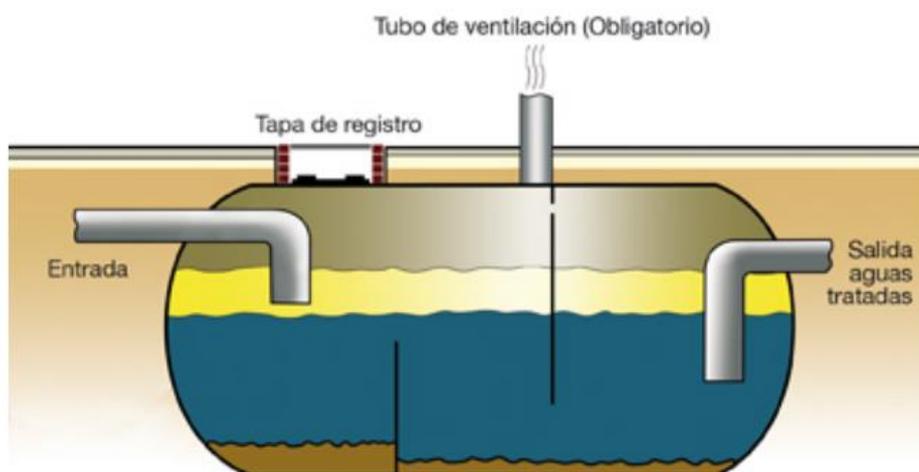


Figura 19: Separador de grasas
(Fuente: Tecnofiber S.L.)

Los datos de diseño de este equipo son los que se indican a continuación:

Parámetros de diseño

- Tiempo de retención: 4,2 minutos.

Dimensionado

- Volumen: 500 litros.
- Medidas: 700 mm de ancho x 1.500 mm de largo x 950 mm de alto
- Caudal: 2 litros/seg.

El modelo que cumple estas prestaciones es el SGH00500 producido por Tecnofiber S.L. Está fabricado con arreglo a la norma DIN 4040 y a la norma europea UNE-EN 1285, y consigue una importante reducción de grasas en el efluente resultante. Sus conexiones de entrada y salida son de PVC de 110 mm de diámetro exterior.

Parámetro	% de reducción
Grasas	90%

Tabla 5: Rendimiento del separador de grasas

4.3.7. Equipo de depuración de oxidación total

Esta parte del proceso de depuración se realiza en un módulo prefabricado de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), protegido por varias capas de pintura epoxi. Este equipo es la parte principal de toda la estación depuradora. Como ya hemos visto, utiliza el proceso de fangos activos de oxidación total para depurar las aguas residuales. Tiene dos partes diferenciadas: el reactor biológico, donde se oxida la materia orgánica, y el decantador clarificador, de donde se evacúa el agua ya depurada. Su funcionamiento ha sido descrito en el capítulo de la oxidación total.

Los datos de diseño de este equipo son los que se indican a continuación:

Parámetros de diseño reactor biológico

- Carga volúmica: 0,37 kg DBO₅/m³/día.
- Carga másica: 0,072 kg DBO₅/kg fangos/día.
- Tiempo de retención hidráulica en el reactor: 21,6 horas.

Dimensionado

- Volumen: 81,1 m³.

- Diámetro: 3.500 mm.
- Longitud: 10.870 mm.

Necesidades de oxígeno

- Coeficiente de transferencia: 2,2 kg O₂/DBO₅.
- Cálculo diario de oxígeno: 66 kg O₂/día.
- Rendimiento mínimo: 15%.
- Aporte diario de oxígeno: 440 kg O₂/día.

Parámetros de diseño decantador secundario

- Tiempo de retención en el decantador: 4 horas.
- Velocidad ascensional: 0,7 m³/m²/h.

Dimensionado

- Volumen: 28,6 m³.

El equipo que cumple con todos estos parámetros es la estación depuradora ecológica de oxidación total modelo ROX 450 de Recubrimientos y Moldeados S.A., más conocida como Remosa (ver especificaciones técnicas en "Anexos"). Como todos sus equipos de oxidación total, cumple con la normativa actual de vertido, el *Real Decreto 606/2003* que modifica la *Ley de Aguas*, así como con la normativa europea, la *Directiva de Consejo 91/271/CEE*.

La entrada y la salida del equipo se hacen mediante tubería de 250 mm de diámetro exterior, colocadas en los extremos del equipo de manera opuesta. En la parte superior cuenta para el acceso a su interior con dos bocas de hombre de $\varnothing 500$ mm y una tercera rectangular de 1.170 mm x 710 mm que permite acceder al decantador.

El equipo incorpora dos elementos, que resultan imprescindibles para la realización de la depuración por el procedimiento de oxidación total. Estos elementos son:

- *Grupo soplante.*
- *Bomba de recirculación.*

Grupo soplante

Es el elemento encargado de introducir aire al reactor biológico para, por un lado, mantener las condiciones aeróbicas que permitan la oxidación de la materia orgánica por parte de los microorganismos, y, por otro, crear la agitación suficiente

que mantenga estos microorganismos en suspensión para favorecer el proceso de digestión. Está formado por un compresor, generador de aire comprimido, y unos difusores colocados en el fondo del reactor, a través de los que se aporta dicho aire.

Como se ha señalado las necesidades de oxígeno del proceso de oxidación total son de 440 kg O₂/día. Por razones económicas, introduciremos aire en el reactor en vez de oxígeno puro. Puesto que el contenido de oxígeno en el aire es del 21%, obtenemos el volumen de aire necesario:

$$440 \frac{\text{kg O}_2}{\text{día}} : \frac{21}{100} = 2095 \frac{\text{kg aire}}{\text{día}}$$

Para obtener el volumen de aire necesario, necesitamos utilizar el valor de su densidad. La densidad del aire varía con la temperatura. Mientras que a 0 °C es de 1,293 g/l, a 25 °C este valor desciende hasta los 1,185 g/l (a 1 atm de presión). Para el caso que nos ocupa utilizaremos el valor de la densidad del aire a 25 °C.

$$\rho_{\text{aire } 25^\circ\text{C}} = 1,185 \text{ g/l} = 1,185 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad V = \frac{m}{\rho}$$

$$V_{\text{aire}} = \frac{2095 \text{ Kg aire/día}}{1,185 \text{ Kg/m}^3} = 1768 \text{ m}^3 \text{ aire/día}$$

Como veremos más adelante el grupo soplante tiene un régimen de funcionamiento de 20 horas diarias, con lo que el caudal de aire que tiene que suministrar dicho equipo es de:

$$V_{\text{aire}} = \frac{1768}{20} = 88,4 \text{ m}^3 \text{ aire/hora}$$

El equipo elegido para este cometido es el grupo soplante PG30-F1 60.20 fabricado por Pedro Gil (ver "Anexos" para información técnica), con conexión DN50 y motor de 2,2 KW, capaz de suministrar un caudal de aire de 1,76 m³/min.

Bomba de recirculación

Está colocada en el fondo del decantador clarificador, y es la encargada de devolver al reactor biológico, parte de los fangos ya digeridos procedentes de la primera etapa. Los fangos recirculados, con gran cantidad de microorganismos, permiten mantener una colonia de dichos microorganismos en el reactor biológico suficiente para la realización del proceso de depuración.

La bomba utilizada en esta operación es la misma que la que hay instalada en el depósito homogeneizador: modelo DGO 50/2/G50V B0BT/50 de Zenit, con motor trifásico 400 V/50 Hz de 0,5 CV de potencia útil. Tiene un paso libre de 40 mm que permite el paso de sólidos de hasta ese tamaño sin que se produzcan obturaciones.

4.3.8. Arqueta de toma de muestras

Esta arqueta está situada justo antes del punto de vertido al cauce receptor y sirve de punto de control para determinar la calidad de los vertidos. Realizada en obra civil, con una tapa de registro de fundición, en ella se pueden recoger las muestras de las aguas depuradas, para ser analizadas y comprobar si los parámetros que presentan están dentro de lo que marca la legalidad vigente.

4.4. Rendimientos del sistema

El tratamiento de las aguas residuales del complejo hotelero utilizando los procesos y equipos descritos, permite reducir de forma significativa la carga contaminante que transportan, antes de su vertido final al río. Con la instalación de la estación depuradora de oxidación total los parámetros indicadores de la calidad del agua mejoran notablemente. En la siguiente tabla se pueden observar los porcentajes de reducción de dichos parámetros obtenidos entre la entrada y la salida de la depuradora:

<i>Parámetros</i>	<i>% de reducción</i>
DBO ₅	95%
MES	90%
DQO	80%

Tabla 6: Rendimiento de la estación depuradora

4.5. Régimen de funcionamiento de los equipos

La alimentación y el control de los equipos que forman la E.D.A.R. se realiza desde un cuadro eléctrico situado en una caseta de servicio habilitada para tal efecto (ver esquema eléctrico y *layout* correspondientes en el documento “Anexos” que acompaña a esta memoria). La alimentación del cuadro es la corriente alterna trifásica que proviene de la red 380 V/50 Hz. El cuadro posee un interruptor general de corte así como una seta de emergencia de seguridad, para poder dejar sin alimentación todos los elementos eléctricos de la depuradora. Asimismo, se dispone también de una segunda seta de emergencia instalada en el tamiz rotativo, por si fuera necesario detener el funcionamiento de esta máquina en algún momento determinado.

Ante eventuales intervenciones en los equipos por posibles averías, es necesario poder desconectar la alimentación total del sistema. Para ello se puede actuar sobre el interruptor general de corte, aunque lo más habitual es poder cortar la alimentación solamente de los equipos sobre los que es preciso trabajar. Por ello, se han colocado también elementos guardamotor para cada uno de los motores y bombas instalados, pudiendo desconectarse de forma individual, mientras que el resto de la instalación dispone de energía eléctrica. Estos guardamotors son a la vez los dispositivos de protección de dichos motores y bombas ante sobrecargas y cortocircuitos. Asimismo, el cuadro cuenta también con las debidas protecciones para evitar posibles funcionamientos de las bombas en vacío.

Centrándonos en la parte de control tenemos posibilidad de controlar todos los dispositivos eléctricos de forma manual o automática. Para ello se dispone de un selector de modo de funcionamiento y de mandos individuales para todos los elementos eléctricos que componen la estación, que actúan sobre cada uno de ellos, y mandos de marcha y paro para el funcionamiento automático. El cuadro eléctrico incorpora además unos temporizadores digitales, colocados en la puerta del mismo, con los que es posible modificar los tiempos de funcionamiento de algunas etapas de la depuradora.

Por último tenemos también colocadas en la puerta, las lámparas de señalización, con las que se indica la presencia de distintas tensiones de alimentación en el cuadro eléctrico, el correcto funcionamiento de los distintos elementos, los niveles mínimos de seguridad, así como la existencia de averías, o el disparo de algunas alarmas.

4.5.1. Funcionamiento manual

En el modo de funcionamiento manual es posible actuar sobre cada uno de los elementos eléctricos que forman la estación depuradora de forma individual. Cada uno de ellos dispone de dos pulsadores de accionamiento en el panel frontal del armario: uno que lo pone en marcha, y otro que lo para. La única restricción que se tiene que cumplir en los casos de accionamiento manual es la seguridad.

Las bombas sumergibles de aguas residuales tienen que estar siempre completamente sumergidas para poder funcionar, ya que el líquido que las rodea es el que les sirve de elemento refrigerador. Por ello, este tipo de bombas no pueden funcionar cuando no están completamente cubiertas de líquido. Algunos otros modelos pueden funcionar con una altura mínima de líquido sobre ellas, sin estar completamente sumergidas.

Para que, efectivamente, los arranques y los paros de la bomba se hagan respetando siempre esa sumersión de la bomba, se utilizan unos interruptores de nivel específicos para aguas residuales. Estos interruptores van encapsulados dentro de unas carcasas plásticas en forma de pera, y conmutan cuando se cambian de posición. Se colocan colgados a distintas alturas en el lugar de instalación de la bomba que tienen que proteger. Como las “peras” flotan en el agua y están sujetas por el cable a un elemento fijo, conforme sube el nivel de agua van cambiando de posición hasta que se produce la conmutación del interruptor, que abre un contacto normalmente cerrado y cierra un contacto normalmente abierto. Los interruptores de nivel usados en todos los elementos de la instalación son los fabricados por la casa AKO, en concreto, los modelos AKO-5312x (la última cifra indica la longitud del cable que se monta con el interruptor, pudiendo ser desde 6 hasta 30 metros; más información técnica en “Anexos”).

Todas las maniobras que realizan los interruptores de nivel AKO se han cableado de forma que se realizan con una tensión de alimentación de 24 V AC, por temas de seguridad ante eventuales roturas de dichos interruptores. De esta forma el contacto accidental de un cable con el agua sería a baja tensión. Un piloto luminoso en el cuadro indica la presencia de la tensión de 24 V AC para la alimentación de estas maniobras.

Por tanto, las bombas se podrán poner en marcha manualmente, siempre que exista un mínimo de líquido del lugar de extracción.

El compresor y el tamiz rotativo se podrán encender en cualquier momento que se desee. Además, el tamiz rotativo cuenta con unos botones de marcha y paro

duplicados, colocados en la misma máquina, para poder actuar sobre ella directamente en el mismo sitio donde está instalada, y no tener que desplazarse hasta la caseta donde está el cuadro de maniobra.

4.5.2. Funcionamiento automático

Exceptuando casos puntuales en los que se necesite actuar sobre algún elemento concreto de la E.D.A.R., como puestas en marcha, averías, comprobaciones de funcionamiento, etc., el régimen normal de funcionamiento de la estación depuradora será totalmente automático. Para poner en marcha todo el proceso se actuará sobre el pulsador de “marcha” y, para detenerlo, sobre el de “paro”.

○ *Bomba de pozo*

El primer elemento eléctrico presente en la depuradora es la bomba colocada en el pozo de bombeo. Es la encargada de alimentar de forma constante, con las aguas residuales que llegan hasta él, los equipos instalados aguas abajo del pozo que componen la estación depuradora, después de haber atravesado la reja de desbaste.

Igual que sucedía con el funcionamiento manual, el arranque y el paro de esta bomba están condicionados por el volumen de agua disponible en el pozo. En el pozo de bombeo hay instalados tres interruptores de nivel. El interruptor inferior es el de seguridad y marca el nivel mínimo de líquido que tiene que haber en el pozo para que la bomba se pueda poner en marcha (bomba completamente cubierta). El interruptor intermedio se coloca a la altura a la que se desea que la bomba se encienda y empiece a enviar agua a las siguientes etapas. El ciclo queda de la siguiente forma, siendo el interruptor bajo el ① y el interruptor intermedio el ②:

	BOYA ①	BOYA ②	ESTADO BOMBA
1	ON	OFF	PARO
2	ON	ON	MARCHA
3	ON	OFF	MARCHA
4	OFF	OFF	PARO
5	ON	OFF	PARO (se repite el punto 1)

Tabla 7: Ciclo de funcionamiento de la bomba de pozo

El tercer y último interruptor está colocado en un nivel superior al segundo y su función es la de elemento de aviso de alarma. Cuando este interruptor se activa se enciende una señal luminosa de aviso en el panel del cuadro. Esto sucede en el

momento en el que está entrando al pozo más cantidad de agua de la que la bomba puede evacuar, lo que puede indicar una avería o una obstrucción de la bomba.

- *Tamiz rotativo*

La función del tamiz rotativo es la de filtrar las aguas procedentes del pozo de bombeo. Por lo tanto su funcionamiento automático dependerá de cuando se esté bombeando agua desde el pozo de bombeo hacia el depósito homogeneizador. Esto quiere decir que el tamiz rotativo se pondrá en marcha y se parará al mismo tiempo que lo haga la bomba de pozo.

- *Bomba depósito homogeneizador*

Al depósito homogeneizador llega el agua por gravedad procedente del tamiz rotativo. Desde aquí las aguas residuales son enviadas hacia el separador de grasas por medio de una bomba sumergible instalada dentro del depósito. Esta bomba funciona, en modo automático, de forma análoga a como lo hace la bomba del pozo inicial de recogida de aguas residuales. El arranque y el paro de la bomba están comandados por tres interruptores de nivel tipo AKO-5312. Igual que en el caso del pozo de bombeo, el interruptor inferior manda el paro, el intermedio manda el arranque y el superior da una señal de alarma.

- *Grupo soplante*

El grupo soplante es el encargado del suministro de aire al reactor biológico, para mantener en su interior unas condiciones aeróbicas que permitan el desarrollo de los microorganismos encargados de la oxidación de la materia orgánica.

Este grupo tiene, siguiendo las recomendaciones del fabricante, un régimen de funcionamiento de 20 horas al día. El horario establecido de marcha de dicho grupo es desde las 06:00 h de la mañana hasta las 02:00 h. de la madrugada del día siguiente. Para realizar esta marcha de forma automática el equipo está conectado a uno de los temporizadores montados en el cuadro eléctrico. El horario puede variarse actuando sobre dicho temporizador.

- *Bomba de recirculación*

La bomba de recirculación está situada en el decantador secundario, y su función es la de devolver parte de los fangos sedimentados en él, hacia el reactor biológico, para el mantenimiento de la colonia de microorganismos.

El régimen de funcionamiento de este elemento se programa mediante el segundo temporizador instalado en el cuadro eléctrico. En principio, la bomba empezó funcionando en periodos de 30 minutos seguidos, cada tres o cuatro horas, aunque actualmente funciona de forma ininterrumpida. Del mismo modo que con el grupo soplante, estos valores pueden variarse actuando sobre este segundo temporizador.

Como en los bombeos anteriores también en este caso es preciso proteger la bomba contra su funcionamiento en seco. Nuevamente se utilizan también los interruptores de nivel de aguas residuales modelo AKO-5312, con la salvedad de que en este caso sólo empleamos uno de ellos, el de nivel mínimo. Este interruptor no permitirá el funcionamiento de la bomba, en ningún modo, si la bomba no está completamente sumergida. El de nivel superior no es necesario porque el arranque de la bomba es temporizado, y el de alarma tampoco, puesto que el volumen de líquido presente en el decantador será siempre el mismo.

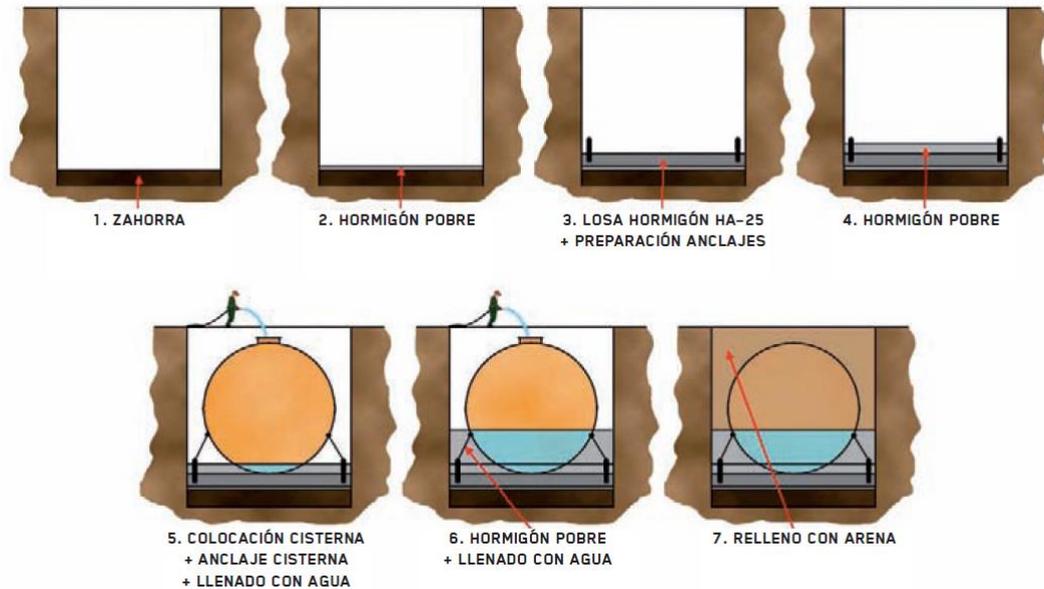
4.6. Operaciones de instalación

4.6.1. Instalación módulo de oxidación total

El módulo de oxidación total es un equipo fabricado en PRFV que está pensado para ser enterrado, de manera que las tierras de relleno donde se instale sirvan de soporte de parte del peso de la estación llena de agua, que de ninguna manera podrían soportar las paredes de poliéster reforzado por si solas. Por esta razón el equipo no podrá llenarse hasta que no esté perfectamente instalado. En su instalación deben seguirse fielmente las recomendaciones del fabricante pues de lo contrario el módulo de oxidación total podría dañarse seriamente.

En el fondo del foso que albergue la depuradora debe hacerse una losa de hormigón de 40 cm. de espesor con dos armaduras de acero, una superior y otra inferior, con hierro de 15 mm. de diámetro. Sobre ella se echará una capa de hormigón pobre de aprox. 35 cm. de altura. Antes de que fragüe se colocará el equipo sobre este hormigón al mismo tiempo que se va llenando de agua hasta un tercio de su capacidad. Una vez el equipo esté asentado y nivelado se conectarán las tuberías de

entrada y salida y se procederá a realizar su anclaje a la losa de hormigón mediante cables de acero unidos a las orejas de anclaje disponibles en el mismo. Después se continuará relleno el foso con hormigón pobre hasta alcanzar $\frac{1}{3}$ de la altura del equipo (aprox. 1,20 metros). El resto del relleno hasta alcanzar su parte superior se realizará con arena o gravilla menuda lavada, libre de objetos pesados gruesos que puedan dañar la superficie de la depuradora.



*Figura 20: Instalación enterrada de estación depuradora de oxidación total
(Fuente: Recubrimientos y moldeados S.A.)*

El equipo dispone en su parte superior de unas bocas de hombre de 500 mm. de diámetro para poder acceder al interior del reactor, y de otra boca de hombre rectangular de 1.170 x 710 mm. de acceso al decantador. Para llegar hasta estas bocas de hombre desde la superficie, se construirán sobre ellas unas arquetas de obra civil que se cerrarán por arriba con unas tapas de registro. Estas tapas serán la única parte visible desde el exterior del reactor de oxidación total.

4.6.2. Instalación separador de grasas

De la misma manera, siguiendo el mismo procedimiento que el utilizado para instalar el módulo de oxidación total y de una forma similar, al tratarse de un equipo fabricado también en poliéster reforzado con fibra de vidrio, se asentará y colocará el separador de grasas sobre el terreno.

4.6.3. Instalación caudalímetro electromagnético

El caudalímetro electromagnético se instalará siguiendo las instrucciones del fabricante. Para que este tipo de caudalímetro funcione correctamente y dé una medida de caudal fiable, tiene que operar siempre con la tubería llena de líquido, sin bolsas de aire. Por tanto tiene que colocarse en aquellos lugares de la tubería en los que se tenga certeza de que nunca se va a vaciar (ver figuras permitidas en “Anexos).

Asimismo, el flujo a su paso por el sensor de caudal tiene que ser laminar, generando error en la medida si es flujo turbulento. Por ello hay que asegurar un espacio mínimo “libre” antes y después del caudalímetro. Por “espacio libre” se entiende tubería recta sin ningún elemento como bombas o válvulas, ni codos que producen cambios de dirección. La longitud mínima de los tramos de tubería recta que exige el fabricante, entre los que hay que instalar el caudalímetro vienen dados por:

$$L_{anterior} \geq 5 * \phi_i \quad L_{posterior} \geq 3 * \phi_i$$

Se ve que estas longitudes dependen del diámetro interior de la tubería donde se instala el caudalímetro. En nuestro caso con tubería de PVC DN80 PN10 de ϕ_{ext} 90 mm y ϕ_{int} 81,4 mm, necesitamos un tramo recto mínimo previo al equipo de 407 mm y otro posterior con una longitud de al menos 244,2 mm.

4.7. Operaciones de mantenimiento

4.7.1. Mantenimiento de los equipos

- *Equipo de oxidación total*

El equipo de oxidación total deberá vaciarse de agua y fangos cuatro veces al año. No obstante, cuando esta operación se lleve a cabo, será preciso dejar, en la parte del decantador, una parte del volumen de fangos para la regeneración de la flora bacteriana. Además, una vez al año, el equipo deberá someterse a una limpieza general más intensa.

Después de estos vaciados puede ser necesaria una ayuda adicional para la regeneración del cultivo biológico. En el mercado existe un producto específico para ello que se comercializa en forma de polvo blanco y se suministra en unas pequeñas bolsitas. Realmente las bolsitas contienen bacterias que, al ser depositadas directamente en el equipo o aplicadas simplemente en un inodoro, permiten

umentar la velocidad de crecimiento de la colonia de microorganismos del reactor biológico.

- *Bombas sumergibles*

El mantenimiento de las bombas se hará según lo indicado por el fabricante. En general, se comprobará periódicamente su correcto funcionamiento para ver si las prestaciones que ofrecen se mantienen dentro de lo previsto, y no se producen ruidos extraños. En caso contrario, se sacarán de su emplazamiento para ver si existen posibles atascos u obturaciones. Esta operación se hará siempre con la alimentación eléctrica desconectada. Siempre que se saque una bomba de su lugar de instalación, deberá limpiarse y, si es posible, bombear agua limpia, para evitar posibles incrustaciones. En caso de avería, mandarla a reparar a un servicio técnico especializado.

- *Tamiz rotativo*

El tamiz rotativo es, en general, una máquina robusta que requiere poco mantenimiento. Habrá que seguir, no obstante, las recomendaciones al respecto del fabricante. Normalmente, se realizará una inspección visual de que el tambor gira correctamente y sin obstáculos o elementos que lo frenen, para no sobrecargar el motor. Asimismo, se controlará periódicamente que no existan obturaciones que hayan podido quedar de forma permanente en la malla del cilindro.

- *Separador de grasas*

El mantenimiento del separador de grasas consistirá en un vaciado completo del equipo retirando, por supuesto, los sólidos decantados, y una limpieza posterior con agua caliente de la grasa depositada en su interior. Una vez limpio se volverá a llenar con agua limpia. Esta operación se realizará de forma rutinaria una vez al año aunque, dependiendo de la cantidad de materia que llegue al equipo, es posible que esta limpieza se tenga que hacer con mayor frecuencia.

○ *Grupo soplante*

El mantenimiento del grupo soplante se hará siempre siguiendo el programa de mantenimiento recomendado por el fabricante. Las operaciones habituales en este tipo de programa son:

- Verificación del estado de las correas y retensado.
- Verificación del nivel y el estado del aceite y su cambio.
- Limpieza y sustitución del filtro.
- Limpieza rejillas de ventilación del equipo.
- Revisión visual para encontrar posibles fugas, tanto de aire como de aceite.

Ver el documento “Anexos” para más información y detalles en cuanto a la periodicidad de realización de estas operaciones. Asimismo, se recomienda enviar el equipo a un servicio de asistencia técnica oficial cada 3 años o 20.000 horas de funcionamiento, para el desmontaje de la máquina y la sustitución de elementos que presenten fatiga o desgaste, como cojinetes y elementos sellantes.

Todas las operaciones que impliquen acceder a algún elemento del grupo soplante se realizarán con la máquina libre de tensión eléctrica.

○ *Caudalímetro*

En principio, este dispositivo no requiere mantenimiento. Bajo condiciones idóneas este instrumento funcionará continuamente sin ningún tipo de intervención manual, ya que incorpora un test de verificación que se realiza de forma automática. No obstante se puede hacer una inspección periódica que puede incluir la comprobación de la integridad del sellado de las conexiones de entradas de cables y tornillos de la cubierta, así como la correcta puesta a tierra. Una puesta a tierra defectuosa puede dar lugar a mediciones de caudal inestables o erróneas.

4.7.2. Eliminación de residuos

Por último, dentro de las labores de mantenimiento, podemos englobar la eliminación de los residuos separados del agua depurada. Como se puede observar en el gráfico de la figura de la página 80, se generan residuos en cuatro puntos del proceso de depuración.

En primer lugar, en la reja de desbaste se quedan retenidos los sólidos como papel, restos de comida o cualquier otro tipo de sólido, que distinguimos llamándolos

“de gran tamaño”, que pueda llegar a la red de saneamiento. Estos sólidos serán retirados manualmente antes de que se pueda llegar a obstruir de manera importante, el paso de las aguas residuales hacia el pozo de bombeo, lo que provocaría el rebosamiento de las aguas residuales en la primera parte del pozo de recogida. Los sólidos ya retirados se depositarán en el contenedor general de basuras, que seguirá el camino habitual al vertedero.

Junto con estos restos, también serán enviados al vertedero los residuos procedentes del tamiz rotativo. Estos, compuestos por sólidos de menor tamaño que los primeros, se acumulan de forma automática en un contenedor situado en la salida de las partículas sólidas del tamiz, al limpiarse constantemente la malla del tambor filtrante que atraviesa el agua.

Por otro lado, en el separador de grasas, se quedan retenidos los aceites y grasas que son eliminados del agua residual. Aquí se almacenan hasta que son retirados por parte de un gestor autorizado. La periodicidad con la que se debe realizar esta limpieza es de unos 3 meses.

Por último, también los excedentes de fangos procedentes del decantador secundario serán retirados por un gestor autorizado.

5. INFLUENCIA DEL VERTIDO EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL LECHO RECEPTOR

En este capítulo analizaremos el impacto medioambiental del vertido y la influencia en la calidad de las aguas del río receptor, de las aguas residuales del complejo hotelero.

Como se ha visto anteriormente, este complejo está localizado en un entorno natural de montaña de alto valor ecológico y paisajístico. El vertido de las aguas residuales que allí se generan se realiza a un río, cuyas características son las de un río típico de montaña. Cuenta con aguas bien oxigenadas, con 8 mg/l de O₂ disuelto, un pH de aproximadamente 8 y una conductividad relativamente baja. Su caudal es irregular, con estiajes en invierno y en verano y aguas altas a finales de la primavera, oscilando el caudal medio anual entre los 10,5 y los 22,4 m³/s.

5.1. Caracterización del vertido

Según la empresa responsable del equipo de depuración, los datos correspondientes a una analítica representativa estimada del vertido del complejo son los que se pueden ver en la tabla 8:

PARÁMETROS	UNIDADES	ANALÍTICA REPRESENTATIVA
pH		7,2
M.E.S.	mg/l	350
DBO ₅	mg O ₂ /l	300
DQO	mg O ₂ /l	650
Aceites y grasas	mg/l	50
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/l	12
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	20
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	0,2
Nitrógeno total	mg/l	20,2
Fósforo total	mg/l	5

Tabla 8: Analítica representativa estimada del vertido del complejo hotelero

Los datos correspondientes al vertido, tomados a la salida de la EDAR tras la realización de varios análisis siguiendo la normativa correspondiente, con una diferencia entre ellos de dos meses, son los que aparecen reflejados en la siguiente tabla (tabla 9):

PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH		7,51	7,7	-
Temperatura	°C	25,5	18,9	10,7
Conductividad a 20 °C	µs/cm	1195	636	776
M.E.S.	mg/l	43	15	41
DBO₅	mg O ₂ /l	125	28	22
DQO	mg O ₂ /l	408	102	141
Aceites y grasas	mg/l	0,35	<0,02	<0,02
Oxígeno disuelto	mg O ₂ /l	2,9	5,6	6,2
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	41,5	17,95	1,14
Potencial Redox	mV	-251	52	53

Tabla 9: Resultados de las muestras analizadas a la salida de la EDAR

Según la tabla más exigente de los valores límites de los parámetros característicos que se deben considerar en el tratamiento de un vertido, recogida en el *Real Decreto 849/1986* de 11 de abril, publicado en el BOE núm. 103, de 30 de abril de 1986, todos los parámetros analizados en las tres muestras recogidas cumplen con los límites establecidos en ella, con excepción de los valores de la DBO₅ y la DQO de la primera muestra. Este incidente es debido a que esta muestra fue tomada al inicio de la actividad del complejo hotelero, cuando la estación depuradora todavía no funcionaba correctamente. No obstante, en las siguientes mediciones realizadas, cuando el rendimiento de la EDAR se acerca al de diseño, este resultado queda corregido, y el resto de valores sustancialmente mejorados, permitiendo de esta forma que el vertido sea legal al cumplir todos los límites establecidos al efecto.

5.2. Metodología utilizada para el estudio de calidad

Para conocer el impacto de las aguas residuales vertidas en el entorno natural, se va a realizar un estudio de calidad de las aguas del río receptor, tomando muestras de aquellas en dos puntos diferentes, con una distancia entre ellos de 400 metros

aproximadamente. El punto de vertido de las instalaciones del hotel se encuentra entre ambos puntos de muestreo, a unos 200 metros de cada uno de ellos. De esta forma seremos capaces de determinar si el vertido del hotel contribuye a aumentar la contaminación del cauce. No obstante, entre estos puntos, también se localiza el vertido de las aguas residuales de una población cercana, que no cuenta con ningún sistema de depuración, por lo que será necesario analizar con detenimiento los resultados obtenidos.

Para el estudio de calidad en cuestión se procederá a recoger distintas muestras de agua en los dos puntos de muestreo elegidos a lo largo de todo un año. Cada recogida se hará en una estación diferente del año, para que el análisis no se vea influenciado por la distinta climatología. Este análisis contempla el examen de distintos tipos de indicadores para obtener unos datos lo más indicativos posible del nivel de contaminación existente. Por ello se analizan no sólo parámetros físico-químicos, sino también biológicos e hidromorfológicos, siguiendo las indicaciones recogidas en las distintas normas UNE-EN.

Los indicadores físico-químicos ofrecen una visión puntual del estado de las aguas en el momento de la recogida de muestras. Aunque estos parámetros son buenos indicadores de la calidad del agua al permitirnos conocer con exactitud las concentraciones de las diferentes sustancias presentes en la misma, los resultados pueden ser la consecuencia de periodos de contaminación relativamente cortos, con lo que la lectura final de los datos no sería la que más se ajustara a la calidad real continuada de dicha agua. Es por ello que estos datos han de complementarse con otra serie de indicadores, como son los parámetros biológicos. Estos parámetros son evaluados mediante una serie de índices diferentes y estudian los grupos faunísticos de macroinvertebrados bentónicos. La fauna bentónica vive de forma continuada en el medio, y es sensible a la contaminación del agua. El análisis de dicha fauna incluye la comprobación de la existencia de determinadas familias de macroinvertebrados, así como su número, lo que permite obtener información de la contaminación continua de dicho medio. La comparación de los datos obtenidos mediante el uso de distintos índices (B.M.W.P., A.S.P.T., Verneaux-Tuffery, Menhinick, Margalef y Sorensen) persigue minimizar los posibles errores e incrementar la capacidad de detección de posibles alteraciones.

En cuanto a los aspectos hidromorfológicos del río, hacen referencia a la vegetación de ribera, que se ve influenciada por la contaminación de las aguas. Para su estudio se utiliza el Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR), de aplicación rápida y sencilla, que integra aspectos biológicos y morfológicos del lecho del río y su zona inundable, y los utiliza para evaluar la calidad ambiental de las riberas. Mediante su estructuración en distintos bloques, valora el grado de cubierta vegetal de las

riberas, la estructura vertical de la vegetación, la calidad y diversidad de la cubierta vegetal y el grado de naturalidad del canal fluvial.

Según la *Directiva 2000/60/CE Marco del Agua*, la clasificación del estado ecológico de la masa de agua superficial estará representada por el menor de los valores de los resultados del control biológico y físico-químico de los correspondientes indicadores de calidad, según la siguiente lista:

- *Muy buen estado*: No existen alteraciones antropogénicas en los valores de los indicadores de calidad físico-químicos e hidromorfológicos correspondientes al tipo de masa de agua superficial, o existen alteraciones de muy escasa importancia. Los valores de los indicadores de calidad biológicos correspondientes al tipo de masa de agua superficial reflejan los valores normalmente asociados con dicho tipo en condiciones inalteradas donde no se muestran indicios de distorsión o se muestran indicios de escasa importancia.
- *Buen estado*: Los valores de los indicadores de calidad biológicos correspondientes al tipo de masa de agua superficial muestran valores bajos de distorsión causada por la actividad humana, pero solo se desvían ligeramente de los valores normalmente asociados con el tipo de masa de agua superficial en condiciones inalteradas.
- *Estado aceptable*: Los valores de los indicadores de calidad biológicos correspondientes al tipo de masa de agua superficial se desvían moderadamente de los valores normalmente asociados con el tipo de masa de agua superficial en condiciones inalteradas. Los valores muestran signos moderados de distorsión causada por la actividad humana y se encuentran significativamente más perturbados que en las condiciones correspondientes al buen estado.
- *Estado deficiente*: Se observan indicios de alteraciones importantes de los valores de los indicadores de calidad biológicos correspondientes al tipo de masa de agua superficial. Las comunidades biológicas existentes se desvían considerablemente de las comunidades normalmente asociadas con el tipo de masa de agua superficial en condiciones inalteradas.
- *Mal estado*: Existen indicios de alteraciones graves de los valores de los indicadores de calidad biológicos correspondientes al tipo de masa de agua superficial. Están ausentes amplias proporciones de comunidades biológicas pertinentes normalmente asociadas con el tipo de masa de agua superficial en condiciones inalteradas.

Para reflejar la clasificación del estado ecológico de cada masa de agua se utilizará un código de colores acorde a lo indicado en la tabla 10:

Clasificación del estado ecológico	Código de colores
Muy bueno	Azul
Bueno	Verde
Aceptable	Amarillo
Deficiente	Naranja
Malo	Rojo

Tabla 10: Clasificación del estado ecológico de una masa de agua superficial según la Directiva Marco del Agua

5.3. Análisis de los resultados

Para el análisis de los datos recogidos y de los resultados obtenidos nos basaremos en un completo estudio de la calidad de las aguas del río donde se recogen los vertidos procedentes de las instalaciones del hotel, realizado entre los años 2005 y 2006, justo en el momento en el que empezó a funcionar el complejo hotelero objeto de estudio en este proyecto.

5.3.1. Parámetros físico-químicos

Según los valores de los distintos parámetros físico-químicos de una masa de agua, se puede clasificar ésta en unas determinadas categorías de calidad, desde C1 a C5, según se recoge en la siguiente tabla:

CRITERIOS DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICOS		
CATEGORÍA	SIGNIFICADO	CODIGO DE COLOR
C1	MUY BUENA	
C2	BUENA	
C3	REGULAR	
C4	MALA	
C5	MUY MALA	

Tabla 11: Clasificación de la calidad del agua según los parámetros físico-químicos

A la vista de las muestras recogidas, la mayoría de los parámetros físico-químicos obtenidos de ellas, tanto en el primer punto de muestreo como en el segundo, están por debajo del límite que marca el estado de calidad de las aguas como

muy bueno o C1. No obstante, hay algunos parámetros que se salen de estos límites en alguna de las campañas de recogida, y que analizamos un poco más en profundidad, junto con aquellos que dan lecturas muy diferentes entre los dos puntos de muestreo.

En la primera campaña de recogida de muestras, realizada en primavera, se observa un alto contenido de plomo en las aguas, que ya se presenta en el primer punto de muestreo. También un alto contenido de cobre (procedente del sulfato de cobre presente en los pesticidas), que, no obstante, se rebaja en el segundo punto por una mayor dilución de su concentración, al aportarse volumen de agua al río por parte del complejo hotelero y de una población cercana. El nivel de cadmio, aunque no preocupante, sobrepasa el límite establecido en el punto 2 y clasifica las aguas como de “mala calidad” o C4. El cadmio procede de los compuestos utilizados en algunos plaguicidas, como los fungicidas, o en los fertilizantes fosfatados artificiales utilizados en la agricultura.

En la segunda campaña también el nivel de cobre supera lo esperado para aguas de muy buena calidad, aunque también hay que tener en cuenta, que es en esta época del año cuando el río lleva menos caudal. Debido, precisamente, a esta reducción de caudal se observa un bajo contenido de oxígeno disuelto en el agua, lo que se magnifica con la mayor presencia de detergentes en la misma, procedentes en su mayoría de un camping situado aguas arriba del primer punto de muestreo.

Aparece en esta campaña la presencia de cianuro en concentraciones elevadas, lo que reduce la calidad de las aguas a C5, la peor de todas. El cianuro está presente en muchos insecticidas aplicados en la agricultura en el momento de la siembra, que suele ser la primavera. Una vez aplicado, queda retenido en el suelo, hasta que es arrastrado al río por las lluvias y escorrentías. Su concentración se rebaja en el segundo punto, por efecto de dilución, gracias a los aportes del propio hotel y de la población. No obstante, se incrementa entre los dos puntos, los niveles de concentración de amonio y nitrato, debido a la acción de ciertas bacterias y hongos, en su acción de degradación del cianuro.

En la tercera campaña tan solo el valor de la Demanda Química de Oxígeno o D.Q.O. se halla por encima de los valores permitidos para clasificar las aguas como C1 o de “muy buena calidad”, siendo mayor en el punto 1 que en el 2.

Por último en la campaña de invierno, se vuelve a encontrar cadmio en el agua, lo que hace suponer que hay un vertido continuo de este elemento aguas arriba del primer punto de muestreo. También se vuelve a registrar un bajo contenido de oxígeno disuelto en el agua. En este caso, el caudal del río no es tan bajo como en

verano, por lo que este descenso se achaca a la existencia de otro contaminante no presente anteriormente. Este contaminante no es otro que el alto contenido de fosfatos, igual en los dos puntos de muestreo, que indica la presencia de detergentes y fertilizantes. La alta presencia de detergentes en el punto 2, superior a la concentración encontrada en el punto 1, se debe a las aguas residuales aportadas al río por la población, ya que el hotel depura sus aguas de manera correcta, según los análisis realizados a la salida de la EDAR del mismo.

Como hemos visto anteriormente, según marca la Directiva 2000/60/CE Marco del Agua, la clasificación anual teórica de las aguas del río, corresponderá con la peor clasificación obtenida en uno de los parámetros físico-químicos analizados en alguna de las campañas realizadas. Esta clasificación se hará para ambos puntos de muestreo, de forma que podamos compararlos.

En el siguiente gráfico se recogen, tanto las clasificaciones de todas las campañas en ambos puntos de muestreo, como la clasificación teórica anual de la calidad de las aguas del río receptor del vertido del complejo hotelero. Las numeraciones indicadas en el eje de ordenadas como del 1 al 5 corresponden con las categorías ya expuestas de clasificación en función de los parámetros físico-químicos C1 a C5, respectivamente.

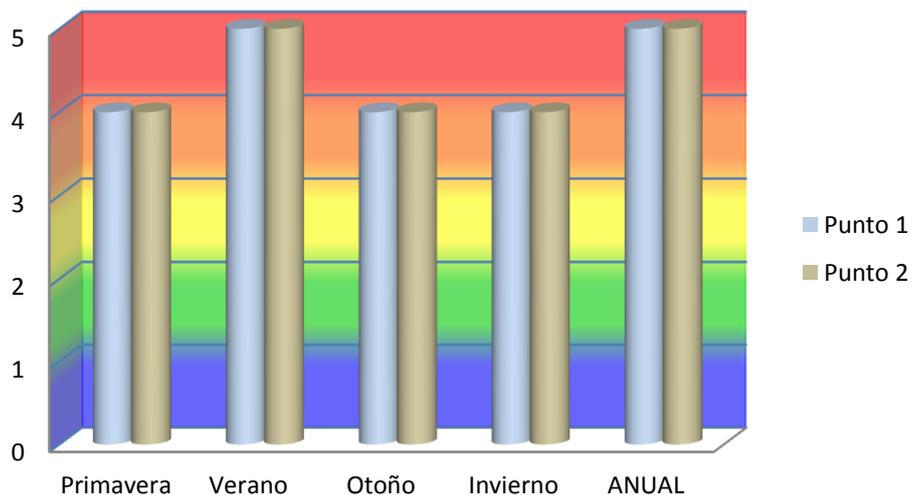


Figura 21: Calidad físico-química de las aguas del lecho receptor

Como se puede apreciar en el gráfico, aunque las calidades resultantes no sean las esperadas en un río de montaña debido a los malos valores de alguno de los parámetros físico-químicos analizados, no hay variación de los resultados entre los dos puntos de muestreo elegidos. Esto demuestra, que aunque la calidad de las aguas es mejorable, el vertido procedente del complejo hotelero está correctamente depurado y no es el causante de generación de contaminación en el río.

5.3.2. Parámetros biológicos

Para analizar la calidad de las aguas en profundidad, además de los parámetros físico-químicos, es preciso estudiar las comunidades o grupos faunísticos de macroinvertebrados bentónicos, y evaluarlos según una serie de índices, explicados a continuación:

- *Índice B.M.W.P'*: es un índice de contaminación de las aguas basado en la ausencia o presencia de una serie de determinados organismos. Según una tabla predeterminada, adaptada a la fauna española, a cada familia de invertebrados se le asigna un valor, más alto cuanto más sensible es a la contaminación. El valor del índice se obtiene sumando los valores de todas las familias encontradas en el tramo objeto de estudio. Un valor alto de este índice indica una buena calidad del agua.
- *Índice A.S.P.T'*: se trata, más que de un índice, de un ponderador del índice biótico. Se calcula dividiendo el índice B.M.W.P' entre el número de taxones que han intervenido. Un valor alto de este índice indica un mayor porcentaje de taxones sensibles a la contaminación de tipo orgánico.
- *Índice de Verneaux-Tuffery*: este índice ofrece información sobre las condiciones generales del ecosistema del río, ayudando a detectar posibles alteraciones. Valora, no solo el número de macroinvertebrados encontrados, sino también el número de grupos faunísticos presentes con mayor o menor contaminación y el número de familias encontradas pertenecientes a cada uno de esos grupos.
- *Índices de diversidad*: describen la estructura de las comunidades de organismos. La contaminación modifica esta estructura, por lo que el grado de modificación sufrido sirve para medir el nivel de polución que lo ha originado. Se utilizan dos:
 - *Índice de Menhinick*: relaciona el número total de especies con el número total de individuos.

$$D = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

S: número total de especies

N: número total de individuos

- *Índice de Margalef*: relaciona el número total de familias con el número total de individuos.

$$D = \frac{S^{-1}}{\log N}$$

S: número total de familias

N: número total de individuos

- *Índices comparativos*: este tipo de índices se usan para comparar el grado de similitud entre una comunidad sometida a contaminación y una población natural, y de esta forma, sirven para evaluar el impacto de la contaminación sobre la composición faunística de las comunidades. El índice utilizado en este caso es el *Índice de Sorensen*:

$$I = \frac{2c}{(a + b)}$$

a: número de familias en el punto 1.

b: número de familias en el punto 2.

c: número de familias comunes.

Los datos del número de organismos y familias procedentes de las diferentes muestras recogidas en las distintas campañas, así como los resultados obtenidos tras aplicar los diferentes índices biológicos en los dos puntos de muestreo, permiten clasificar la calidad de las aguas resultante en dichas campañas. Estas clasificaciones junto con un resumen de los datos más relevantes se pueden ver recogidas en las dos tablas siguientes:

	ÉPOCA DEL AÑO			
	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO
Nº total de ejemplares	56	78	476	165
Riqueza de familias	9	18	23	22
Nº total de familias EPT	5	8	8	10
B.M.W.P.´	50	108	120	111
A.S.P.T.´	6,2	7,2	6,7	6,5
Índice de Verneaux-Tuffery	5	7	7	7
Índice de Menhinick	1,20	2,04	1,05	1,71
Índice de Margalef	4,57	8,98	8,22	9,47
Índice de Sorensen	0,5	0,39	0,63	0,44
Calidad de las aguas	CLASE III	CLASE I	CLASE I	CLASE I

Tabla 12: Resultados biológicos y calidad de las aguas en el punto 1

	ÉPOCA DEL AÑO			
	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO
Nº total de ejemplares	57	132	172	245
Riqueza de familias	15	16	21	23
Nº total de familias EPT	10	7	11	7
B.M.W.P.´	96	108	112	96
A.S.P.T.´	6,9	7,2	7	6,4
Índice de Verneaux-Tuffery	7	7	7	6
Índice de Menhinick	1,99	1,39	1,60	1,47
Índice de Margalef	7,97	7,07	8,95	9,21
Índice de Sorensen	0,5	0,39	0,63	0,44
Calidad de las aguas	CLASE II	CLASE I	CLASE I	CLASE II

Tabla 13: Resultados biológicos y calidad de las aguas en el punto 2

Analicemos con un poco de detenimiento los datos contenidos en estas tablas. El número de familias EPT es un buen indicador de la calidad de las aguas, ya que corresponde con taxones poco o muy poco tolerantes a la contaminación. En ambos puntos de muestreo el porcentaje más alto de familias EPT con relación al número total de familias encontradas se da en la campaña de primavera con un 55% en el punto 1 y un 66% en el punto 2. Los menores porcentajes se dan en la campaña de otoño en el punto, con un 35%, y en la campaña de invierno en el punto 2, con un 30%. En el resto de campañas, en ambos puntos, los valores están en torno al 45%.

Por otro lado, observando el índice B.M.W.P´, se puede ver que en ambos puntos se produce un descenso del mismo en la campaña de invierno, tras el máximo valor alcanzado en la campaña de otoño. Relacionando este hecho, con el número de macroinvertebrados de las diferentes familias encontrados en las distintas campañas, si bien es normal que se produzca una reducción del número de individuos en invierno debido a las bajas temperaturas, queda de manifiesto, no obstante, que existe algún tipo de contaminante que afecta por igual a ambos puntos de muestreo y que es vertido aguas arriba del primero de ellos.

El índice A.S.P.T.´ corrobora esta hipótesis, ya que sus mayores valores, indicadores de mayores porcentajes de taxones sensibles a la contaminación y, en consecuencia, de aguas de buena calidad, se alcanzan en la campaña de verano en el punto 1, y en las campañas de primavera, verano y otoño en el punto 2.

El índice de Verneaux-Tuffery se mantiene estable en casi todas las campañas. Las alteraciones que presenta en primavera en el punto 1 y en invierno en el punto 2, probablemente están relacionadas con los vertidos de un camping situado aguas arriba del primer punto y de la población cercana que vierte al río sin ningún tipo de depuración.

Los índices de diversidad de Menhinick y Margalef son los indicadores de la estructura de las comunidades de macroinvertebrados, de forma que valores bajos de estos se relacionan directamente con aguas contaminadas. En nuestro estudio ambos índices presentan patrones similares con constantes cambios en las diferentes campañas. En primavera son bajos los valores en el punto 1 por los vertidos existentes aguas arriba, que al cesar en la campaña de verano permite que se eleven. En el punto 2, en cambio, se produce un descenso en esta segunda campaña, debido a un mal funcionamiento de la depuradora del hotel. A partir de aquí, ambos valores se empiezan a recuperar, terminando con valores altos y similares en la campaña de invierno, indicando un buen nivel de diversidad.

Por último, el índice de Sorensen, indicador de la similitud o diferencia entre los dos puntos de muestreo elegidos, registra valores en torno al 50%, que indican episodios de contaminación que modifican levemente la calidad de las aguas. La campaña en la que más diferencia hay entre los dos puntos es la de verano, lo que implica vertidos de componentes contaminantes.

Con el análisis de los parámetros biológicos realizado hasta ahora, la calidad ecológica de las aguas del río, en función del índice B.M.W.P.´ queda como se indica en el siguiente gráfico:

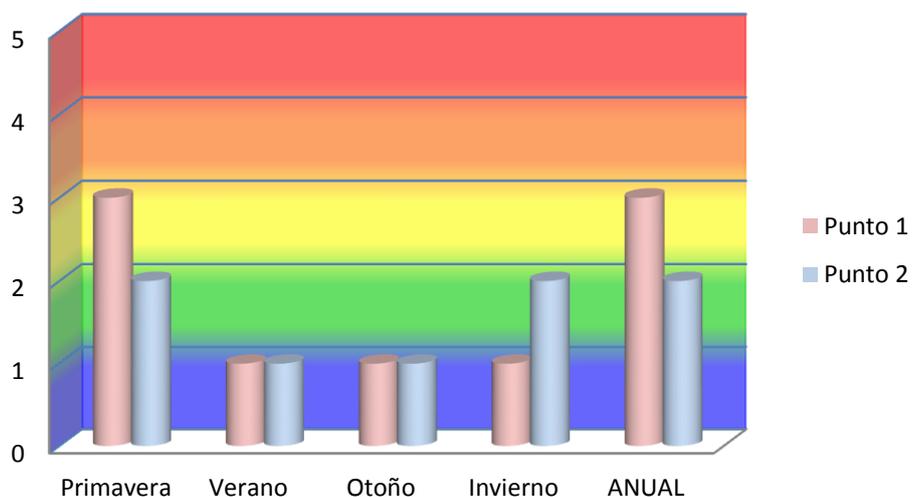


Figura 22: Calidad de las aguas del lecho receptor en función de los parámetros biológicos

5.3.3. Parámetros hidromorfológicos

Para el estudio de los aspectos hidromorfológicos, se utiliza, como hemos visto el índice QBR. Este índice resulta de la suma de las distintas puntuaciones que se otorgan a los siguientes apartados:

- *Grado de cobertura vegetal de la zona ribereña.*
- *Estructura de la cubierta.*
- *Calidad y diversidad de la cubierta.*
- *Grado de naturalidad del canal fluvial.*

El valor del índice QBR resultante se compara con la tabla 14 donde se recogen distintos valores, para obtener el nivel de calidad de la ribera estudiada.

VALOR DEL ÍNDICE QBR	NIVEL DE CALIDAD	COLOR
≥ 95	Bosque de ribera sin alteraciones, estado natural Calidad muy buena	
75-90	Bosque ligeramente perturbado Calidad buena	
55-70	Inicio de alteración importante Calidad intermedia	
30-50	Alteración fuerte. Calidad mala	
≤ 25	Degradación extrema Calidad pésima	

Tabla 14: Rango de calidad según el índice QBR

En el análisis de las riberas del río, el grado de cobertura vegetal es de entre el 50 y el 80%, similar en ambos puntos de muestreo, con un recubrimiento de árboles de entre el 25 y el 50%, con bastantes especies autóctonas, y de arbustos que superan el 25%. La existencia de esta masa vegetal en la orilla del río es muy necesaria ya que estabiliza los márgenes y las orillas reduciendo la erosión que se produce por la fuerza de la corriente. Además absorben una importante proporción de nutrientes disueltos en las aguas, procedentes de los fertilizantes de las zonas agrícolas, reduciendo los procesos de eutrofización.

La alteración más importante de las riberas, es la existencia de una escollera, tanto en el punto 1 como en el punto 2, construida para la protección de la población asentada en las zonas anexas al río. Asimismo existe además un talud en el punto 1 y se han realizado unas modificaciones en unas terrazas adyacentes al río en el punto 2.

Según lo expuesto y, tras analizar en profundidad todos los apartados que componen el índice QBR, la puntuación obtenida es la siguiente:

	ÍNDICE QBR	COLOR
PUNTO 1	58	Q3
PUNTO 2	60	Q3

Tabla 15: Índice QBR resultante en los puntos de estudio

Como se puede ver la calidad hidromorfológica del río es similar en ambos puntos de muestreo con inicio de alteraciones importantes en la vegetación de ribera, por lo que la calidad resultante según el índice QBR es intermedia. Esta calidad es debida principalmente a la acción del hombre, con la construcción de distintas infraestructuras que modifican las orillas del río, más que a la falta de vegetación ribereña.

5.4. Recapitulación y conclusiones

Según todos los parámetros observados y analizados en el estudio de la calidad del río durante todo un año, los principales problemas detectados que la afectan, son los siguientes:

- *Calidad físico-química:* dentro de este grupo, las afecciones más importantes a la calidad de las aguas provienen de dos fuentes diferenciadas. Por un lado, situado entre los dos puntos de muestreo elegidos, se encuentra el vertido urbano de una población cercana al hotel, que empeora considerablemente la calidad físico-química de las aguas e influye decisivamente en la reducción de oxígeno disuelto en el agua. Por otro lado, aguas arriba del primer punto de muestreo, existe uno o varios puntos de contaminación producidos por vertidos de tipo agrícola que aportan al agua compuestos químicos procedentes de pesticidas y fertilizantes.
- *Calidad biológica:* aunque está relacionada con la calidad físico-química de las aguas, la calidad biológica de éstas no puede ser definitiva con los datos de los muestreos realizados en solo un año. En principio el número de macroinvertebrados encontrados es elevado, lo que se traduce en un valor alto del índice B.M.W.P.'. Esto a su vez, es indicador de una baja contaminación, pero tal y como hemos visto, cuando la calidad físico-química de las aguas empeora, existe una serie de familias de macroinvertebrados indicadoras que desaparecen, dejando paso a otro tipo de familias más tolerantes con valores inferiores de calidad de las aguas.
- *Calidad hidromorfológica:* en este punto, la vegetación de las riberas del río, aunque afectada por la mano del hombre, se encuentra en buen estado. No

sucede lo mismo con la vegetación de las orillas del río, que ha desaparecido por la existencia de escolleras en el cauce del río. Esto influye tanto en la fauna acuática como en los nutrientes que transporta el agua y la temperatura de la misma. Asimismo en algunas zonas hay caminos que rompen la conectividad de las orillas con el bosque de ribera, así como poca vegetación autóctona. De hecho, en la zona del hotel, la poca vegetación existente está formada por olivos y algunas especies de flores que han sido replantadas por el propio hotel.

La calidad ecológica resultante final del río, tomando como referencias todos los resultados obtenidos, tanto de parámetros físico-químicos, biológicos e hidromorfológicos, quedará como se refleja en el siguiente gráfico:

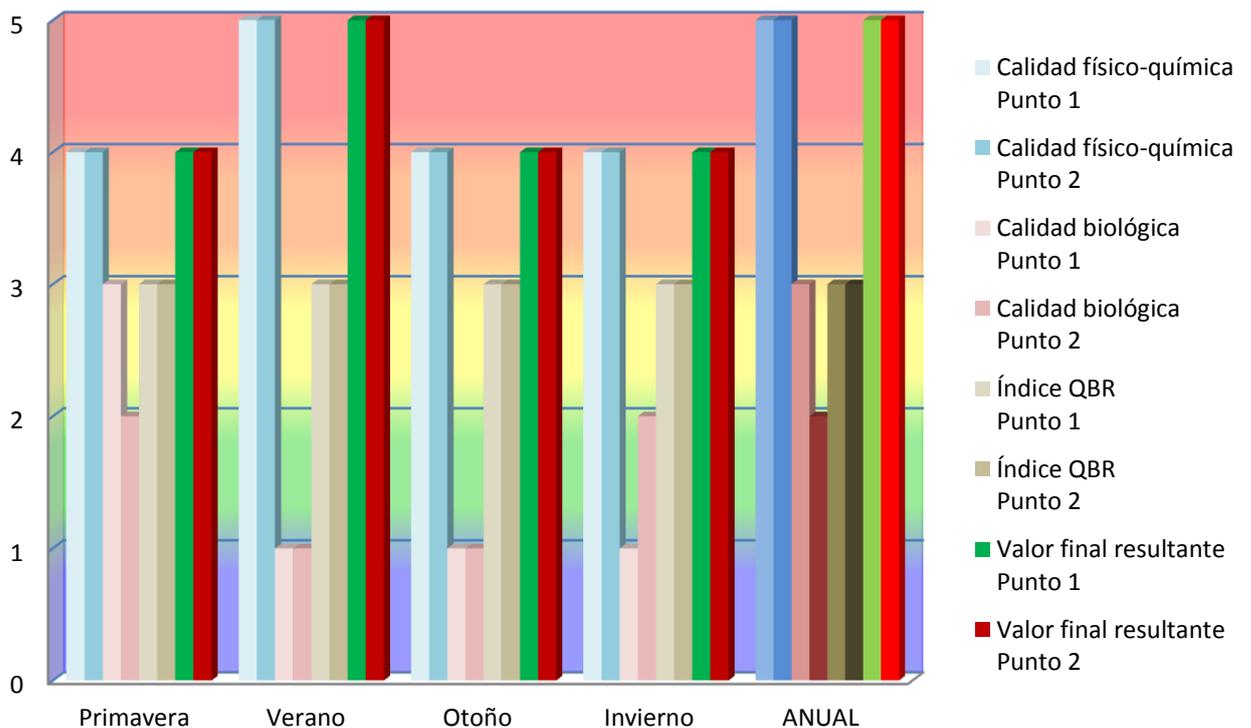


Figura 23: Calidad ecológica del río tomando como referencia todos los parámetros estudiados

Como se puede ver en este gráfico, el estudio realizado concluye que la calidad ecológica del río en ambos puntos de muestreo es mala. Esta calificación viene determinada, sobre todo por los parámetros físico-químicos, ya que el resto de parámetros estudiados no llegan a calificar con tan mala puntuación el estado ecológico del río. Los resultados obtenidos de estos parámetros son debidos a contaminación difusa proveniente de algún punto aguas arriba del primer punto de muestreo, que afectan a los dos puntos elegidos para el estudio. En todo caso, en el segundo punto, los valores pueden verse mejorados por efecto de dilución debido al aporte de agua al río por parte del complejo hotelero y de la población.

No obstante, aunque la calidad resultante del estudio realizado ha sido más baja de lo que pudiera esperarse, ha quedado demostrado que las aguas residuales procedentes del hotel y del resto de instalaciones anexas, piscinas, zona spa y zona de bungalows no contienen ni componentes peligrosos ni ninguno que supere los valores límite establecidos en la actual legislación vigente. Además dichas aguas residuales son convenientemente tratadas en una estación depuradora construida a tal efecto, y el resultado es el vertido al cauce del río, de unas aguas correctamente depuradas, que no contribuyen de ninguna manera a generar un mayor nivel de contaminación en dicho cauce.

6. NORMAS DE SEGURIDAD E HIGIENE

Cuando en una población no hay estación de depuración de aguas residuales, existe siempre un riesgo sanitario de infección, por no haberse aplicado ningún tipo de tratamiento a dichas aguas. No obstante, la dispersión de los vertidos en distintos puntos, favorece paradójicamente desde un punto de vista microbiológico, los procesos naturales de autodepuración. Evidentemente, las zonas de vertido estarán contaminadas y serán peligrosas, pero el índice de infecciosidad dependerá de la densidad de la contaminación.

Para evitar esta contaminación, como se ha podido ver en este estudio, son necesarias las estaciones de depuración o EDAR, pero a condición de que su funcionamiento sea regular y perfecto. Si esto no sucede, una estación depuradora se convierte en un auténtico peligro para la salud pública porque canaliza todos los microorganismos infectantes de las heces fecales, con gran potencial de contagio, a una zona de vertido muy localizada. En dicha zona se crea una situación de máximo riesgo de infección. Por ello es sumamente importante mantener las estaciones depuradoras en permanente y correcto funcionamiento.

Al mismo tiempo, hay que tener en cuenta la salud de los trabajadores de las plantas depuradoras. Como industria dedicada a la retirada y eliminación de los productos de contaminación, el interior de dichas plantas tiene zonas sucias con potenciales peligros sanitarios para las personas que allí trabajan, por lo que se tendrán que establecer unas condiciones de seguridad en el trabajo y actuaciones a seguir en caso de accidente. A estos riesgos de higiene industrial, se suman, como en la mayoría de plantas industriales, los riesgos existentes por materia de seguridad y otros directamente relacionados con los puestos de trabajo, como pueden ser ruidos, esfuerzos físicos, etc.

De forma general, en una estación depuradora de aguas residuales nos encontramos con distintas clases de riesgos laborales, que analizamos a continuación.

6.1. Riesgos biológicos

Debido a la multitud de agentes patógenos presentes en las aguas residuales, las EDAR son lugares con numerosas zonas donde es probable contraer algún tipo de infección. Los agentes biológicos más habituales que se pueden encontrar en las aguas residuales son las bacterias, los virus y los hongos, así como algún otro tipo de parásito. En caso de infección, pueden generar desde pequeñas molestias a graves

enfermedades. Las infecciones pueden contraerse a través de varias vías: vía respiratoria, vía digestiva o vía cutáneo-mucosa.

En la medida de lo posible, deberán eliminarse las operaciones de mayor riesgo de infección así como el tiempo de exposición en las operaciones que no puedan ser suprimidas. Los trabajadores deberán estar debidamente formados e informados de los riesgos a los que se exponen. Para evitar posibles infecciones deberán utilizar una vestimenta adecuada para evitar todo tipo de proyecciones y salpicaduras, y los equipos de protección individual (EPIs) necesarios para las tareas a realizar. En general, se deberán seguir las medidas de higiene dispuestas en el Real Decreto 664/1997 de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo. Como medidas higiénicas se seguirán las indicadas en dicho Real Decreto:

- Prohibir que los trabajadores coman, beban o fumen en las zonas de trabajo en las que exista dicho riesgo.
- Proveer a los trabajadores de prendas de protección apropiadas o de otro tipo de prendas especiales adecuadas.
- Disponer de retretes y cuartos de aseo apropiados y adecuados para uso de los trabajadores, que incluyan productos para la limpieza ocular y antisépticos para la piel.
- Disponer de un lugar determinado para el almacenamiento adecuado de los equipos de protección y verificar que se limpian y se comprueba su buen funcionamiento, si fuera posible con anterioridad y, en todo caso, después de cada utilización, reparando o sustituyendo los equipos defectuosos antes de un nuevo uso.
- Especificar los procedimientos de obtención, manipulación y procesamiento de muestras de origen humano o animal.

También, según se establece en este Real Decreto, el empresario puede ofrecer la posibilidad de la vacunación a los trabajadores, siempre que existan vacunas para los casos concretos y sean eficaces.

Asimismo, las zonas de trabajo peligrosas deberán estar delimitadas y señalizadas, a la vez que ordenadas y limpias. Los EPIs de obligado uso también tendrán que estar señalados:



Figura 24: Señales de obligación de utilización de Equipos de Protección Individual
 (Fuente: http://www.uclm.es/cr/EUP-ALMADEN/aaaeupa/boletin_informativo/pdf/boletines/14/12.-SE%C3%91ALIZACION%20DE%20SEGURIDAD.pdf, 21-05-2013)

6.2. Riesgos por manejo de productos químicos

En algunas de las distintas fases de los tratamientos que se dan en una EDAR puede ser necesario utilizar productos químicos, que habrán de ser manipulados con el EPI adecuado, compuesto por ropa de trabajo especialmente indicada para el trabajo con productos químicos, guantes y gafas de seguridad. Se deberán tener las fichas de seguridad de los productos utilizados, así como disponer en las zonas de manipulación o trasvase de estos productos, de duchas de emergencia y lavaojos.

6.3. Riesgos generales de seguridad

Como en toda instalación donde haya estructuras a distinto nivel, pozos, plataformas y escaleras, existe un riesgo potencial de caída. Para evitarlo, las zonas peligrosas deberán estar provistas de elementos de protección como barandillas y piso antideslizante. Las zonas de paso deberán estar limpias para evitar resbalones y libres de obstáculos. Igualmente puede existir riesgo por caídas de cargas sobre los trabajadores en ciertas zonas como almacenes o talleres de mantenimiento de maquinaria. También estas zonas deberán estar debidamente señalizadas. Será obligatorio el uso de casco y botas de seguridad con suela antideslizante.

En determinados equipos o maquinaria, puede existir el riesgo de atrapamiento por ciertos elementos móviles. Las zonas de la maquinaria con peligro potencial, no podrán tener acceso directo, siendo necesario realizar el desmontaje de los elementos

de protección, a la hora de acceder a las zonas peligrosas de la máquina, para tareas de mantenimiento o reparación. A la hora de realizar estos trabajos, se tendrá que asegurar que la máquina o equipo no puede entrar en funcionamiento de forma accidental, desconectando la alimentación eléctrica, neumática, bloqueando los elementos de mando, etc.

Los trabajadores pueden estar también sometidos, por el funcionamiento de los equipos, motores, bombas, soplantes, etc., a ruidos ambientales excesivos. Si se ha de permanecer habitualmente en zonas de alto nivel sonoro, el trabajador deberá ir equipado con protectores auditivos para evitar daños en el oído, o estrés.

En aquellos casos en los que haya que levantar cargas pesadas, como motores, bombas y similares, se utilizarán polipastos o puentes grúa, que se habrán previsto a tal efecto. Esto será habitual en labores de mantenimiento y sustitución.

Ante el riesgo de incendio, deberán instalarse extintores o mangueras contra incendios repartidos convenientemente, cuya ubicación estará debidamente señalizada.



Figura 25: Señales relativas a la lucha contra incendios

(Fuente: http://www.uclm.es/cr/EUP-ALMADEN/aaaeupa/boletin_informativo/pdf/boletines/14/12.-SE%C3%91ALIZACION%20DE%20SEGURIDAD.pdf, 21-05-2013)

También se señalizarán las vías de evacuación, las salidas de emergencia y el punto de encuentro.



Figura 26: Señales indicadoras de vías de salida

(Fuente: http://www.uclm.es/cr/EUP-ALMADEN/aaaeupa/boletin_informativo/pdf/boletines/14/12.-SE%C3%91ALIZACION%20DE%20SEGURIDAD.pdf, 22-05-2013)

6.4. Riesgos eléctricos

Los cuadros eléctricos de control de los equipos de la instalación deberán estar cerrados con llave y su manipulación deberá llevarse a cabo exclusivamente por personal autorizado y con formación eléctrica. Todas las intervenciones se harán, en la medida de lo posible, con los cuadros libres de tensión. En los casos en los que no pueda ser así, la intervención se realizará entre dos personas. Todas las zonas con potencial riesgo eléctrico se indicarán con la siguiente señal de advertencia:



Figura 27: Señal de Riesgo Eléctrico

(Fuente: <http://profex.educarex.es/profex/Ficheros/RiesgosLaborales/Senalizacion.pdf>, 22-05-2013)

Asimismo, cuando haya que reparar o manipular cualquier equipo conectado a la corriente eléctrica, se desconectará previamente de la alimentación, y se asegurará mediante llave o candado de bloqueo, que no se le puede dar servicio accidentalmente por parte de alguna persona ajena al trabajo que se esté realizando.

6.5. Primeros auxilios

En la planta se dispondrá de uno o varios botiquines con el material sanitario necesario para la prestación de primeros auxilios. Deberán incluir, entre otros, apósitos, vendas y gasas, desinfectantes y antisépticos, esparadrapo, tijeras, guantes, etc. Su ubicación, así como la de otros elementos ya descritos, se indicará utilizando señalización del tipo que se indica:



Figura 28: Señales de salvamento o socorro

(Fuente: http://www.uclm.es/cr/EUP-ALMADEN/aaaeupa/boletin_informativo/pdf/boletines/14/12.-SE%C3%91ALIZACION%20DE%20SEGURIDAD.pdf, 22-05-2013)

7. CONCLUSIONES

El presente proyecto pone de manifiesto la influencia que la acción del hombre tiene en el medio ambiente, y la importancia de su cuidado y la preservación de la naturaleza y su biodiversidad. Como se ha podido ver, incluso un río de montaña, aparentemente virgen, enclavado en un entorno natural bien conservado, en una zona sin presión demográfica, cuyas aguas, en principio, invitarían a pensar a la mayoría de nosotros que están libres de cualquier tipo de contaminación, resulta tener una clasificación ecológica “de mala calidad”.

En el inconsciente colectivo tenemos la idea de que un río contaminado es aquel que discurre por ciudades muy pobladas o zonas industriales que, como consecuencia de todos los vertidos que recibe, cuenta con aguas muy turbias de color oscuro, grisáceo o amarronado, malolientes, que arrastran basura y que, por supuesto, no cuentan con vida piscícola. Por el contrario, tendemos a pensar que un río de montaña, rodeado de vegetación y con aguas transparentes, es un río libre de contaminación, con aguas de muy buena calidad que albergan un elevado número de peces, que cuenta con una gran riqueza biológica, con la fauna y la flora propios del ecosistema en perfecto equilibrio. Aunque realmente, los ríos con mucha o poca contaminación, se sitúan con más probabilidad en los entornos descritos, también es cierto que la actividad del ser humano tiene su influencia negativa en el medio ambiente, y que sus residuos, muy a menudo van a parar, sin ningún tipo de control y tratamiento, a los cauces de los ríos, ya se encuentren en zonas urbanas con gran densidad de población, o en zonas rurales con población dispersa.

En el caso que nos ocupa, el río que aparentemente está en buen estado, transporta varios contaminantes, procedentes en su mayoría de productos utilizados en la actividad agrícola, como pesticidas y fertilizantes. Estos contaminantes se acumulan en el suelo de los campos donde son utilizados, hasta que las lluvias los arrastran y los hacen llegar hasta el cauce del río, probablemente, sin plena consciencia por parte de las personas que los emplean. A este hecho hay que sumarle, además, que el río recibe también las aguas residuales brutas procedentes de una población, así como las generadas en un camping situado en las proximidades, que contribuyen a esa “mala calidad”.

La calidad del río se vería mejorada, si todas estas aguas residuales fueran depuradas. En el caso de la población y el camping, que generan vertidos asimilables a vertidos urbanos, con estaciones depuradoras similares a la planteada en este proyecto. En el caso de los contaminantes procedentes de la actividad agrícola, el tema es más complejo, aunque existen soluciones como la agricultura ecológica, que

evita este tipo de contaminación al no usar productos con componentes contaminantes en el cuidado de las plantaciones.

En el siglo XXI cualquier nuevo proyecto de características similares al estudiado, debería contemplarse como un círculo cerrado, en semejanza al ciclo del agua que se da en la naturaleza. En unas instalaciones como las que se han descrito en este trabajo, se necesitan suministros de agua y de energía. A su vez, se generan como deshechos aguas residuales y basuras, que deben ser convenientemente tratadas y recogidas, pensando en la reutilización y en la generación del mínimo impacto posible en el medio ambiente.

Esto es, precisamente, lo que se pretende conseguir con el tratamiento de las aguas residuales generadas en el complejo hotelero. Como ha quedado patente, las características de las aguas vertidas al río se mejoran sustancialmente con respecto a las aguas residuales brutas generadas en las instalaciones. De esta forma, como han corroborado los distintos análisis, su impacto en la calidad ecológica del río es mínimo, y su vertido no contribuye, de ninguna manera, a disminuir la calidad de las aguas receptoras. Por tanto, y tal y como se indicaba en el primer capítulo de este proyecto, se mantienen los potenciales usos que, aguas abajo, se haga del río y sus aguas, bien se trate de abastecimiento a poblaciones o a industrias o de actividades relacionadas con el esparcimiento y disfrute turístico y recreativo, sin que tenga que pagarse por ello ningún incremento económico debido a la contaminación.

A nivel personal, el presente proyecto me ha servido para introducirme en el mundo de la depuración de las aguas residuales urbanas. Me he familiarizado con conceptos y parámetros propios utilizados para la medición del nivel de contaminación de las aguas residuales. He podido aprender distintos métodos de depuración utilizados con normalidad y los procesos, tanto a nivel físico como químico, que tienen lugar en ellos. Consecuentemente, esto me ha permitido conocer las distintas fases y operaciones que se llevan a cabo en una EDAR, así como el funcionamiento de los distintos equipos y componentes que allí nos podemos encontrar.

Por otro lado, también he tenido que adentrarme en la parte legislativa relacionada con el tema, con la que hasta ahora no había tenido ocasión de trabajar, e igualmente, me ha sucedido con las normas de seguridad y la prevención de los riesgos laborales, parcelas en las que no había profundizado anteriormente.

En la parte técnica, se han introducido nuevos equipos no previstos en el primer diseño que se hizo de la depuradora, que sirven para mejorar y optimizar el proceso de depuración. También se ha rediseñado completamente todo el sistema eléctrico y el cuadro de control correspondiente. Todos los interruptores de nivel se

han cableado con tensión de 24 V para prevenir posibles accidentes de electrocución ante eventuales averías. Asimismo, se ha modificado el régimen de funcionamiento automático de todos los equipos para adaptarlo a los nuevos componentes que integran ahora la EDAR y a las nuevas condiciones de funcionamiento del complejo hotelero, distintas de las previstas en el anteproyecto inicial, y se ha establecido un nuevo calendario y protocolo de mantenimiento de todos los equipos. Aunque la EDAR funcione correctamente y el vertido cumpla con el objetivo inicialmente marcado, hay que tener muy en cuenta que el descuido en las operaciones de mantenimiento de aquella puede acarrear consecuencias negativas para la calidad del lecho receptor.

BIBLIOGRAFIA

- ❖ HERNÁNDEZ MUÑOZ, Aurelio (1992²): Depuración de aguas residuales. Madrid, Paraninfo S.A. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- ❖ METCALF & EDDY (2000³): Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Ed. McGraw-Hill.
- ❖ PEÑALBER CÁMARA, Luis; SIERRA ANTIÑOLO, José (1989): La reutilización de las aguas residuales. Acondicionamiento y uso. MOPU: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Gabinete de Formación y Documentación. Centro de Estudios de Puertos y Costas, col. "Monografías CEDEX", volumen 15.
- ❖ RAMALHO, Rubens Sette (1996): Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté.
- ❖ SEOÁNEZ CALVO, Mariano (1994): Tecnologías naturales para el uso y tratamiento de las aguas residuales urbanas. Ediciones J.L.S.

INTERNET:

- JÁCOME, A.; SUÁREZ, J.; TEJERO, I.; TEMPRANO, J. (2004): Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Editado por E.T.S. de Ing. de Caminos de Santander.
- Wikibooks: Ingeniería de aguas residuales / Versión para imprimir
http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%EDa_de_aguas_residuales/Versi%F3n_p ara_imprimir.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
http://www.magrama.gob.es/es/agua/legislacion/legislacion_nacional.aspx
- http://noticias.juridicas.com/base_datos/
- Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado
http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2012-11779

- Síntesis de la legislación de la Unión Europea
http://europa.eu/legislation_summaries/environment/water_protection_management/
- Gobierno de Aragón – Instituto Aragonés del Agua
<http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Organismos/InstitutoAragonesAgua/AreasGenericas/Normativa>
- Anexo: Señalización
<http://profex.educarex.es/profex/Ficheros/RiesgosLaborales/Senalizacion.pdf>
- Guía para la mejora de la gestión preventiva. Señalización de seguridad
http://www.uclm.es/cr/EUP-ALMADEN/aaaeupa/boletin_informativo/pdf/boletines/14/12.-SE%C3%91ALIZACION%20DE%20SEGURIDAD.pdf
- Manual básico de Prevención de Riesgos Laborales
http://www.llegarasalto.com/docs/manuales_prl/MANUAL_QUIMICA_Q.pdf
- <http://alojamientos.us.es/grupotar/master/formacion/edar/temario/edar.htm>
- <http://hidrometalica.com/category/aguasresiduales>
- <http://aguaymascosas.blogspot.com.es/2012/05/1-nitrificacion-desnitrificacion.html>
- http://editorial.dca.ulpgc.es/instalacion/6_ANEXOS/I612.htm
- HERVÁS MARTÍNEZ, Carolina, Estación Depuradora de Aguas Residuales Los Montesinos – Alicante, anejo nº 4.
<http://sirio.ua.es/proyectos/proyecto1/0106.pdf>
- Junta de Extremadura. Pesca y ríos en Extremadura. Seguimiento de los ríos extremeños. Metodologías.
<http://pescayrios.juntaextremadura.es/pescayrios/web/guest/seguimiento-de-los-rios-extremenos>

ÍNDICE DE IMÁGENES, FIGURAS Y GRÁFICOS

Figura 1: Croquis E.D.A.R: Línea de agua y línea de fangos	19
Figura 2: Partes que componen un pozo de muy gruesos	21
Figura 3: Distintos tipos de tamices.....	22
Figura 4: Esquema pretratamiento.....	26
Figura 5: Diagrama de un proceso físico de depuración	30
Figura 6: Esquema tratamiento primario	36
Figura 7: Partes que componen un lecho bacteriano.....	39
Figura 8: Esquema funcional de un lecho bacteriano	40
Figura 9: Diagrama de proceso de los lechos bacterianos	41
Figura 10: Diagrama de proceso de los fangos activos	46
Figura 11: Diagrama de flujo general para el tratamiento y evacuación del fango	61
Figura 12: Diagramas de flujo típicos del tratamiento del fango con digestión biológica y tres procesos diferentes de deshidratación: (a) filtros prensa; (b) centrifugación y (c) eras de secado	62
Figura 13: Diagramas de flujo típicos del tratamiento no biológico del fango: (a) tratamiento térmico con deshidratación por filtro de vacío; (b) incineración en hornos de pisos múltiples y (c) incineración de lecho fluidizado.....	63
Figura 14: Plano esquemático de las instalaciones	72
Figura 15: Plano complejo hotelero y redes de saneamiento y pluviales	74
Figura 16: Estación depuradora de oxidación total para medianas comunidades.....	78
Figura 17: Elementos que componen la estación depuradora de aguas residuales	80
Figura 18: Esquema de funcionamiento de un tamiz rotativo	84
Figura 19: Separador de grasas	87
Figura 20: Instalación enterrada de estación depuradora de oxidación total .	97
Figura 21: Calidad físico-química de las aguas del lecho receptor	108
Figura 22: Calidad de las aguas del lecho receptor en función de los parámetros biológicos	112
Figura 23: Calidad ecológica del río tomando como referencia todos los parámetros estudiados.....	115
Figura 24: Señales de obligación de utilización de Equipos de Protección Individual	119
Figura 25: Señales relativas a la lucha contra incendios.....	120

Figura 26: Señales indicadoras de vías de salida.....	120
Figura 27: Señal de Riesgo Eléctrico	121
Figura 28: Señales de salvamento o socorro	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Métodos de tratamiento y evacuación de fangos.....	58
Tabla 2: Caudales de vertido de la instalación.....	76
Tabla 3: Prestaciones de la bomba sumergible del pozo de bombeo	81
Tabla 4: Prestaciones de la bomba del depósito homogeneizador	86
Tabla 5: Rendimiento del separador de grasas	88
Tabla 6: Rendimiento de la estación depuradora.....	91
Tabla 7: Ciclo de funcionamiento de la bomba de pozo.....	94
Tabla 8: Analítica representativa estimada vertido del complejo hotelero ..	102
Tabla 9: Resultados de las muestras analizadas a la salida de la EDAR....	103
Tabla 10: Clasificación del estado ecológico de una masa de agua superficial según la Directiva Marco del Agua	106
Tabla 11: Clasificación de la calidad del agua según los parámetros físico- químicos	106
Tabla 12: Resultados biológicos y calidad de las aguas en el punto 1	110
Tabla 13: Resultados biológicos y calidad de las aguas en el punto 2	111
Tabla 14: Rango de calidad según el índice QBR	113
Tabla 15: Índice QBR resultante en los puntos de estudio.....	114