

DISEÑO DE UNA E.R.A.R. EN ROQUETAS DEL MAR, CON REUTILIZACIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA



MIGMA 08/09

Beatriz Boyero Benito
Pilar Díaz Martín
Marta San Pedro Montero
Berta Yagüe Martín

*Q*uisiéramos dedicar unas breves palabras a todas aquellas personas sin las cuales no habríamos podido realizar este trabajo:

En primer lugar queremos dar nuestro agradecimiento al Dr. Juan Antonio Sainz Sastre, tutor de nuestro proyecto, por su incondicional apoyo y dedicación, así como por sus sugerencias sin las cuales no hubiese sido posible la elaboración de este proyecto.

A todos los profesores de la Escuela de Negocios EOI, que durante todo el año, día a día, nos han transmitido sus conocimientos y nos han preparado para salir al mundo laboral.

Y a nuestras familias, que soportan nuestra ausencia y al mismo tiempo son un pilar básico para nosotras.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. CARACTERÍSTICAS E HISTORIA DEL MUNICIPIO**
- 1.2. LA AGRICULTURA EN ROQUETAS DE MAR**
- 1.3. LA REUTILIZACIÓN DE AGUA DEPURADA**
- 1.4. LA REUTILIZACIÓN DE AGUA EN ANDALUCÍA**

2. LEGISLACIÓN APLICABLE

- 2.1. NIVEL COMUNITARIO**
- 2.2. NIVEL ESTATAL**
- 2.3. NIVEL AUTONÓMICO**

3. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO

- 3.1. LÍNEA DE AGUA**
- 3.2. LÍNEA DE FANGOS**
- 3.3. TRATAMIENTO TERCIARIO**

4. JUSTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

- 4.1. LÍNEA DE AGUA**
- 4.2. LÍNEA DE FANGOS**
- 4.3. TRATAMIENTO TERCIARIO**
- 4.4. LÍNEA DE GAS**

5. BASES DE DISEÑO

- 5.1. CÁLCULO DE LA POBLACIÓN**
- 5.2. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL A TRATAR**
- 5.3. LÍNEA DE AGUA**

- 5.4. *LÍNEA DE FANGOS*
- 5.5. *TRATAMIENTO TERCIARIO*

6. RESUMEN CÁLCULOS

- 6.1. *LÍNEA DE AGUA*
- 6.2. *LÍNEA DE FANGOS*
- 6.3. *TRATAMIENTO TERCIARIO*

7. BIBLIOGRAFÍA

8. ANEXOS

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CARACTERÍSTICAS E HISTORIA DEL MUNICIPIO :

Roquetas de Mar, situada a poniente de la ciudad de Almería por la costa, ocupa 16 Km. del litoral almeriense. En el año 2008, contaba con 77.423 habitantes, formando parte del área metropolitana de Almería-Poniente. Su extensión superficial es de 60 km² y tiene una densidad de 1.290,38 hab/km². Sus coordenadas geográficas son $36^{\circ}46'N$ $2^{\circ}36'O$ 36.767, -2.6. Se encuentra situada a una altitud de 10 metros y a 19 kilómetros de la capital de provincia, Almería.

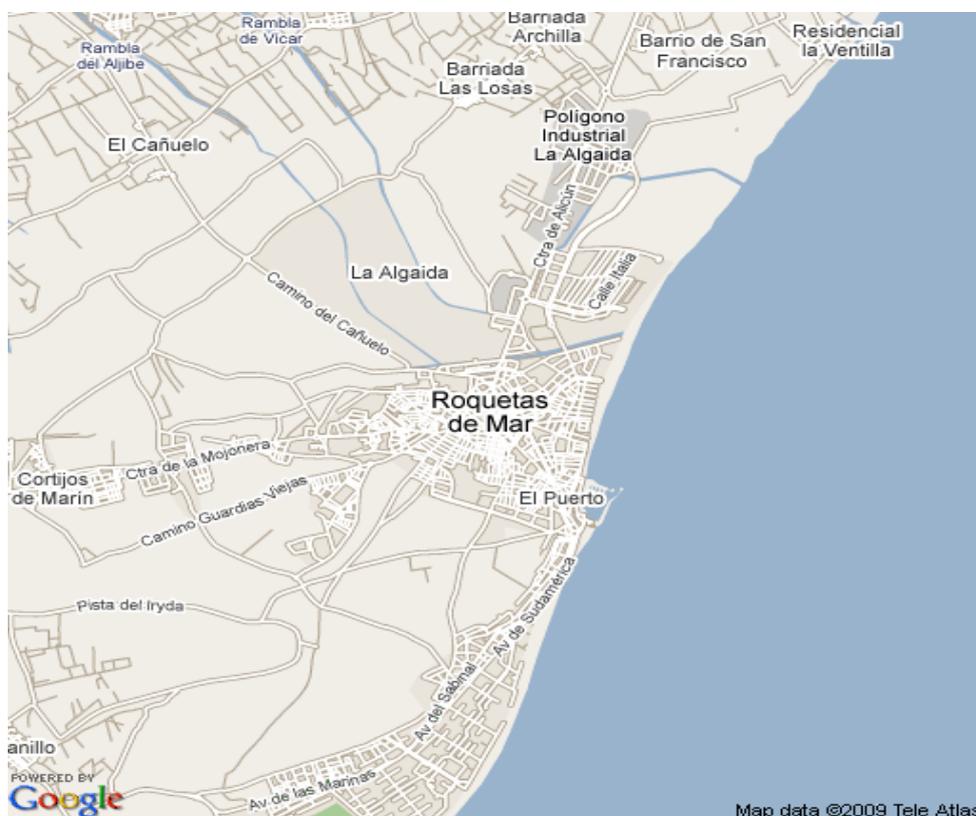


Figura 1.1. Mapa de Roquetas de Mar.

El clima es Mediterráneo subtropical, aunque la distribución estacional de la pluviometría lo define como Mediterráneo seco. Lo característico de este tipo de clima es el ambiente seco, debido no solamente a los escasos totales pluviométricos, sino a la escasez del número de días de precipitación y su disminución a medida que aumenta la temperatura, lo que origina una sequía estival. Por lo que respecta a la temperatura, las medias anuales son suaves, el verano es caluroso y el invierno nada frío. Las heladas son poco frecuentes.

Observando la tabla 1.1, se puede apreciar como la temperatura media de Roquetas de Mar es superior a media española entre 3° y 4°C, mientras que las precipitaciones son bastante inferiores a la media.

Clima de Roquetas De Mar (Almeria)

Temperatura Media en Roquetas De Mar (°C)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
España	7	7	11	13	16	22	24	24	20	16	10	7
Roquetas De Mar	12	12	15	17	20	25	26	27	24	21	15	12

Precipitación Media en Roquetas De Mar (mm)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
España	50	48	55	44	47	13	8	18	39	78	60	55
Roquetas De Mar	24	25	23	24	11	2	0	1	5	14	26	31

Tabla 1.1. Media de temperaturas y precipitaciones durante el año en Roquetas de Mar

Roquetas de Mar ha sido asentamiento de las culturas neolíticas, almeriense y artélica. Su litoral fue visitado por fenicios, griegos y romanos, aunque no será hasta el siglo XVIII cuando se hable de asentamientos permanentes. Cuando inició su andadura como entidad histórica, estaba constituida como casi todos los lugares musulmanes, por un Castillo defensivo a la orilla del mar y unos cortijos agrupados en torno al mismo.

La localidad, citada en la documentación existente con el nombre de “Las Roquetas”, pertenecía entonces al término municipal de Enix. Su economía se basaba en una agricultura de subsistencia y en una pesca sin demasiado volumen de capturas.

La Iglesia Parroquial se construye en 1.757. El Roquetas antiguo fue un pueblo pesquero. El campo dependía en gran parte de las lluvias, poco frecuentes en la zona. Entre Roquetas y Aguadulce se daba entonces el cultivo de la uva, en la zona conocida como Los Prrales.

Se conservan vestigios históricos de su pasado, que merecen ser visitados, como la Torre de Roquetas, recuerdo de la fortificación que se levantó a lo largo de toda la frontera marítima en el siglo XIV. En esta torre se levantó el Castillo de Las Roquetas o de Santa Ana, actualmente recuperado como centro cultural.

La transformación del pueblo se produce, como ha ocurrido en toda la comarca del Campo de Dalías o del Poniente, a lo largo del siglo XX, primero con la explotación de las dos Salinas y posteriormente con la llegada de la agricultura intensiva.

El gran despliegue económico de Roquetas se debe al Instituto Nacional de Colonización, que propició la transformación de esta zona de secano, pasando a contar con explotaciones de regadío. Este organismo, promovió la llegada de los primeros colonizadores a mediados de siglo, procedentes en su mayoría del interior y de la costa granadina.



Fue el primer municipio en el que se construyó un invernadero, lo que constituyó una experiencia tan novedosa y a la vez, productiva, que desencadenó un impresionante desarrollo de esta técnica de cultivo que ha dado fama a la provincia de Almería y en concreto a esta comarca.

La agricultura ha sido desde entonces, la principal fuente de riqueza del municipio, con una producción sumamente variada. También hay que destacar, por último, el desarrollo del turismo, sector que se ha convertido en otro de los pilares fundamentales sobre los que se asienta la economía de Roquetas de Mar. Su desarrollo arranca en 1.964 en Aguadulce, cuando este núcleo de población es declarado Centro de Interés Turístico Nacional.

Posteriormente se construyen la Urbanización de Roquetas y de Playa Serena, y en estos momentos se está desarrollando la zona de Las Salinas, entre Aguadulce y Roquetas, así como la Urbanización de Playa Serena Sur. Hoy, esta localidad es la segunda en importancia de la provincia de Almería y cuenta con unas expectativas de crecimiento muy importantes, especialmente en lo que se refiere al turismo.

1.2.LA AGRICULTURA EN ROQUETAS DE MAR:

En el ámbito de la agricultura, Almería se ha convertido en una de las zonas más importantes de explotación agrícola en toda Europa. Conocida como "*la huerta de Europa*", la provincia almeriense, tanto en la franja costera de Levante como en el marco de Poniente está formada por miles de hectáreas de cultivo bajo plástico.

La agricultura intensiva en la provincia de Almería es de la que más posibilidades de futuro ofrece por sus características, como así lo confirma el hecho de que cada vez es mayor la producción, dedicándose la misma en gran parte a la exportación, con amplios mercados en la Unión Europea y en continua búsqueda de nuevos mercados en el resto del mundo.

La producción agrícola representa en la provincia de Almería el 89,8 por ciento del total del sector agro-pesquero, estando representado el resto por la producción ganadera con el 8,8 por ciento y la pesquera, que apenas alcanza el 1,4 del total, porcentajes que, con ligeras alteraciones, se mantienen de forma estable en el tiempo.

Desglosando la producción agrícola por tipos de productos, se puede observar como los cultivos hortícolas, con un 24,3 por ciento de la superficie cultivada en la provincia, generan un 88,2 por ciento de la producción total y, lo que es más importante, el 91,8 por ciento del valor de esa producción. Otras producciones, que ocupan casi el doble de superficie cultivada por las hortalizas, como es el caso de los frutales (básicamente almendra en secano), apenas alcanzan el 2 por ciento de los ingresos; otros como los cereales, con una ocupación de tierras del 13,2 por ciento, sólo alcanzan el 0,3 del valor de la producción.

Si el peso del sector agrario en la economía de la provincia se hubiese basado únicamente en cultivos tradicionales de secano se podría afirmar que Almería era una zona económicamente deprimida y atrasada, donde no hubieran podido realizarse los incrementos de renta habidos en los últimos veinte años. Es precisamente el carácter intensivo en la utilización de factores de producción, tanto de trabajo como de capital, de sus cultivos bajo plástico lo que explica el desarrollo almeriense.

Analizando la evolución de la agricultura en la provincia a lo largo del siglo XX, desde la década de los 60 hasta el año 1992, el continuado aumento de la superficie de cultivo y de los rendimientos compensa la progresiva caída de precios manteniéndose el nivel de ingresos de los agricultores.

Por su parte, desde 1992 a 1998 se produce la época dorada de la agricultura almeriense; esta situación se explica, desde el punto de vista de los cultivos, por la mejora de las estructuras de producción, lo que permitió incorporar nuevas tecnologías en el proceso de producción y, usar nuevas variedades que se adaptan mejor a las condiciones de producción de Almería. Caso particular de esto último es el tomate, que se encontraba en claro retroceso y desde la aparición de nuevas variedades, incrementó su producción y sus exportaciones de forma muy intensa. Por último, un factor decisivo en este salto cualitativo de la agricultura de Almería es la incorporación de una nueva generación de agricultores con un mejor nivel de formación y una mayor amplitud de objetivos.

Desde el punto de vista de la demanda, se produce un aumento de la misma por la incorporación al consumo de los países PECOS y por la incorporación de hecho de las frutas y hortalizas españolas a la UE tras el fin del periodo transitorio, ambos hechos determinan que se coloquen fácilmente en los mercados los incrementos de producción.

Desde 1998 se interrumpe el acelerado proceso de crecimiento y parece que se inicia una nueva fase que será de consolidación del modelo como corresponde a una actividad madura. En estos años se ha reducido el número de hectáreas cultivadas, las toneladas producidas e incluso los rendimientos por hectárea aunque ligeramente. Sólo el aumento de los precios ha permitido mantener el nivel de ingresos de los agricultores. Con independencia, y paralelamente a la evolución de los cultivos, se ha producido un desarrollo similar en el proceso de comercialización que ha facilitado la salida de los mismos y que, a su vez, ha contribuido de forma notable a aumentar el valor añadido del conjunto de la provincia.

De existir una dependencia total de estructuras comerciales ajenas a la provincia en los años setenta, se ha pasado a comercializar directamente desde Almería la casi totalidad de los productos que acuden a los distintos mercados de consumo, tanto españoles como del resto del mundo. Para ello, se han desarrollado dos modos de comercialización, que se complementan entre ellos: inicialmente, la venta en origen mediante el sistema de subastas y, posteriormente, la

venta directa a los mercados consumidores mediante agrupaciones de agricultores en cooperativas o sociedades agrarias de transformación.

En la actualidad se plantean nuevos retos para la agricultura Almeriense ya no orientados hacia el aumento de la producción, sino hacia la sostenibilidad medioambiental de las diferentes actividades del sistema (aprovechamiento y gestión del agua, gestión de residuos, gestión de derechos de emisión de CO₂) en el largo plazo y a la mejora de la calidad de sus productos.

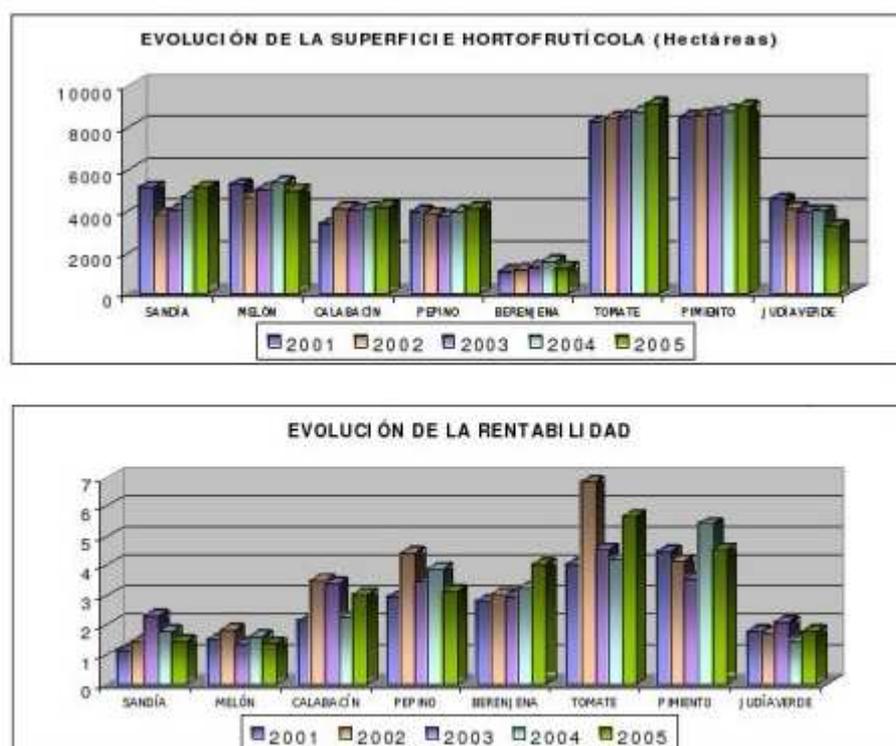


Figura 1.2. Evolución de la superficie hortofrutícola y evolución de la rentabilidad en Roquetas de Mar.

1.3.LA REUTILIZACIÓN DE AGUA DEPURADA :

En el último siglo, la demanda de agua en el mundo ha crecido un 60%; el aumento del censo y el desarrollo industrial han sido los responsables de este crecimiento. El acceso al agua limpia y la capacidad de aprovechamiento como recurso productivo ha condicionado el progreso humano. Alcanzar un desarrollo sostenible y generar una nueva cultura del agua es el desafío para todos los administradores de este recurso vital. Es necesario un cambio radical en la manera de pensar y actuar, tanto por parte de los gestores como de los usuarios del agua. No superar el ritmo de regeneración de los recursos y contribuir al desarrollo sostenible es el objetivo.

Todo lo anterior lleva a la reutilización del agua, entendida como el uso de unas aguas previamente utilizadas, como una fuente alternativa de recurso. El proceso de tratamiento necesario para que un agua depurada pueda ser reutilizada se denomina generalmente *regeneración* y el resultado de dicho proceso *agua regenerada*. De acuerdo con su significado etimológico, la regeneración de un agua consiste en devolverle, parcial o totalmente, el nivel de calidad que tenía antes de ser utilizada.

Las fuentes de abastecimiento tradicionales están resultando ser insuficientes, incluso en territorios con recursos hídricos, por tanto las aguas regeneradas se configuran como una fuente alternativa de abastecimiento, económica y segura desde el punto de vista sanitario y ambiental. En España, no estaba permitido legalmente, el uso de agua regenerada hasta la aparición del Real Decreto 1620/2007.

El agua regenerada en España se viene empleando para usos tales como: usos urbanos (jardinería, incendios, lavado de calles y automóviles), usos industriales (refrigeración, lavado de vagones de ferrocarril), riego agrícola y forestal, recreativos, mejora y preservación del medio natural y recarga de acuíferos. La reutilización para la agricultura y la jardinería es el aprovechamiento más extendido del agua regenerada, para cultivo de hortalizas (consumo crudo) como de cultivos de cereales, cítricos, y viñedos, mediante riego por aspersión, microaspersión y goteo, como por riego por inundación.

La reutilización de agua regenerada, tiene las ventajas de permitir recuperar caudales que serían vertidos al mar o a los ríos, mejorar la calidad en el vertido y el medio receptor (el tratamiento terciario en una EDAR será más eficiente cuanto más constante sea el agua del secundario, la cual depende directamente de la carga vertida al sistema que se debe tratar en la planta depuradora, al reutilizar el agua se produce una mejora indirecta de las cargas vertidas al sistema) así como constituir un componente esencial de la gestión integral de los recursos hídricos.

1.4.LA REUTILIZACIÓN DE AGUA EN ANDALUCÍA:

En la Comunidad Autónoma de Andalucía, según los datos recogidos en la Estrategia de Reutilización de Aguas residuales elaborada en marzo de 2007, se están reutilizando en torno a 53 hectómetros cúbicos anuales de aguas residuales urbanas recicladas (algo más del 15 por ciento del total español), cifra equivalente a la capacidad de regulación anual de dos embalses medios como Rules o Melonares.

De estos 53 hectómetros cúbicos, la mitad (un total de 27 hectómetros cúbicos) se corresponden al ámbito territorial de la Cuenca Mediterránea Andaluza. El peso específico del uso recreativo del agua (campos de golf y jardinería, fundamentalmente), la existencia de una pujante agricultura intensiva y así como la escasez de precipitaciones característica de parte de este territorio han motivado la consideración de las aguas residuales urbanas recicladas como fuente alternativa de obtención de recursos hídricos con anterioridad al resto de Andalucía. Tras la Cuenca Mediterránea Andaluza, la Cuenca del Guadalquivir y la Cuenca Atlántica Andaluza se reparten otros 25 hectómetros cúbicos. En la cuenca del Segura, en Almería, se localiza el hectómetro cúbico restante.

En marzo de 2007, una treintena de depuradoras andaluzas disponían de sistemas terciarios de depuración que facilitan la utilización de las aguas depuradoras para otros usos, con idea de ampliarlos en un futuro. La mayor parte de las depuradoras costeras impulsadas por la Agencia Andaluza del Agua que se encontraban en construcción ya incorporan sistemas terciarios para facilitar la reutilización de estos recursos. Destacan los ejemplos de las depuradoras de Benalmádena, Chipiona, Tarifa, Algeciras, ampliación de Chiclana o Bajo

Almanzora... Asimismo, el programa AGUA (Actuaciones para la gestión del agua en el Levante y el Poniente de Almería) del Ministerio de Medio Ambiente contempla la aportación de 20 hectómetros cúbicos al año adicionales en el Levante y el Poniente de Almería y de otros 30 hectómetros cúbicos al año en el litoral de Málaga mediante el desarrollo de sistemas terciarios de depuración. La puesta en servicio de estos sistemas permitirá multiplicar la disponibilidad de estos recursos en Andalucía

El uso principal es el riego de los campos de golf, que representa aproximadamente la mitad del caudal, seguido de los regadíos (38 por ciento). Estos caudales están permitiendo el riego de 3.500 hectáreas de invernadero en Almería y de 50 campos de golf en las provincias de Málaga, Almería y Cádiz, además de otros usos, como el riego de olivar en Jaén.



Figura 1.3. Uso del agua residual en Andalucía.

Las actuaciones en materia de reutilización y las potencialidades futuras en Andalucía se centran fundamentalmente en las zonas costeras del arco mediterráneo y suratlántico. Estas expectativas se deben a la existencia de un fuerte crecimiento poblacional (urbano y turístico) y agrícola -que genera una mayor demanda de recursos hídricos-, a la dificultad de obtener recursos adicionales a distancias razonables -debido al agotamiento y deterioro de las fuentes tradicionales-, la progresiva salinización de los acuíferos y las frecuentes sequías que asolan estas zonas.

En este sentido, es necesario considerar el importante avance del uso de las aguas residuales recicladas en el entorno metropolitano de Málaga y la Costa del Sol Occidental tras la publicación en noviembre de 2005 del decreto de sequía en esta zona, decreto que aun se encuentra vigente y que ha permitido alcanzar tasas históricas en el uso de agua reciclada al prohibirse expresamente el uso de otros recursos para actividades turísticas (campos de golf) o recreativas (jardinería pública y privada).

En Febrero de 2009, la Junta de Andalucía comunicó su intención de incrementar la reutilización de las aguas depuradas hasta los 80 hectómetros más. Esta fuente alternativa de recursos incrementa la eficiencia en la gestión integral del agua y aumenta los usos de un recurso ya utilizado

En Andalucía, tras las obras en las instalaciones de la Costa del Sol Occidental y del Campo de Dalías en ejecución, se están utilizando 75 hectómetros anuales, correspondientes en su mayor parte al ámbito territorial del Distrito Hidrográfico Mediterráneo. En la actualidad, esta agua se está empleando para el riego de campos de golf, jardines y regadíos en general.

Resumiendo las principales características de Roquetas de Mar:

- Se encuentra en una zona de escasa pluviometría.
- Su principal motor económico es la agricultura de regadío, que requiere grandes cantidades de agua.
- El turismo también es una parte muy importante de su economía, aumentando considerablemente su población en la época estival.
- La Junta de Andalucía promueve la reutilización de agua en toda la Comunidad Autónoma.

Debido a esto, la reutilización de agua depurada para la agricultura se perfila como una alternativa idónea para garantizar una mejor gestión y aprovechamiento de la misma en este municipio.

2. **LEGISLACIÓN APLICABLE**

El agua, como motor de desarrollo y fuente de riqueza, ha constituido uno de los pilares fundamentales para el progreso del hombre. La Constitución Española, en su artículo 45, indica que los poderes públicos velarán por la utilización racional de todos los recursos naturales, con el fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva.

2.1. **NIVEL COMUNITARIO:**

A nivel europeo, algunas de las principales directivas en materia de agua son:

Directiva sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas (91/271/CEE):

- Tiene por objeto evitar daños al medio ambiente por vertidos de aguas residuales urbanas o de procesos industriales.
- En función de su tamaño y ubicación, todas las zonas edificadas tienen que disponer de sistemas colectores de aguas residuales urbanas antes de finales de 1998, 2000 ó 2005.
- El nivel de tratamiento tiene que ser primario, secundario o terciario en función de la vulnerabilidad de las aguas receptoras

De esta directiva surgen los principios y directrices siguientes:

- La primera acción es impedir la aparición de la contaminación. El proceso técnico debe tener en cuenta la protección del medio ambiente y la calidad de la vida. Esta consideración ambiental debe tener en cuenta su compatibilidad con el desarrollo económico y social.
- Los efectos sobre el medio ambiente deben considerarse en las distintas etapas de la planificación y toma de decisiones.
- El costo para la prevención o eliminación de la contaminación y sus efectos, debe, en principio, ser abonado por el contaminador
- El éxito de la política ambiental presupone, que todas las categorías de población y todas las fuerzas sociales ayuden a proteger y mejorar el medio ambiente
- En relación con los vertidos industriales debe establecerse la mejor solución técnica y económica.
- Deben eliminarse los vertidos tóxicos, persistentes y bioacumulables, debiendo prestar atención especial a su acción sobre las aguas.

Otras directivas posteriores son:

Directiva del Consejo 91/676/CEE, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias:

El objetivo de esta Directiva es reducir la contaminación causada o provocada por los nitratos de origen agrario, y actuar preventivamente contra nuevas contaminaciones de dicha clase.

Directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas en la Comunidad Europea.

Mediante esta Directiva marco, la Unión Europea organiza la gestión de las aguas superficiales, continentales, de transición, aguas costeras y subterráneas, con el fin de prevenir y reducir su contaminación, fomentar su uso sostenible, proteger el medio acuático, mejorar la situación de los ecosistemas acuáticos y paliar los efectos de las inundaciones y de las sequías.

Los Estados miembros deben especificar todas las cuencas hidrográficas situadas en su territorio e incluirlas en demarcaciones hidrográficas. Las cuencas hidrográficas que se extiendan por el territorio de más de un Estado se incorporarán a una demarcación hidrográfica internacional.

A más tardar cuando hayan transcurrido cuatro años desde la fecha de entrada en vigor de la Directiva, los Estados miembros deberán hacer un análisis de las características de cada demarcación hidrográfica, un estudio de la incidencia de la actividad humana sobre las aguas, un análisis económico del uso de las mismas y un registro de las zonas que necesiten una protección especial. Deberá elaborarse así mismo un registro de todas las masas de agua que se utilicen para la captación de agua destinada al consumo humano que proporcionen un promedio de más de 10 m³ diarios, o que abastezcan a más de cincuenta personas.

Nueve años después de la fecha de entrada en vigor de la Directiva, deberá elaborarse un plan de gestión y un programa de medidas en cada demarcación hidrográfica teniendo en cuenta los resultados de los análisis y estudios realizados.

Las medidas previstas en el plan de gestión de la demarcación hidrográfica tendrán por objeto:

- prevenir el deterioro, mejorar y restaurar el estado de las masas de agua superficiales, lograr que estén en buen estado químico y ecológico y reducir la contaminación debida a los vertidos y emisiones de sustancias peligrosas;
- proteger, mejorar y restaurar las aguas subterráneas, prevenir su contaminación y deterioro y garantizar un equilibrio entre su captación y su renovación;
- preservar las zonas protegidas.

Los objetivos anteriores deberán alcanzarse en el plazo de quince años desde la entrada en vigor de la Directiva, pero dicho plazo podrá retrasarse o modificarse siempre que se respeten las condiciones establecidas por la Directiva.

Los Estados miembros fomentarán la participación activa de todas las partes interesadas por la aplicación de esta Directiva, en particular en lo que se refiere a los planes de gestión de las demarcaciones hidrográficas.

El deterioro temporal de las masas de agua no constituirá una infracción de la presente Directiva si es consecuencia de circunstancias excepcionales e imprevisibles ligadas a un accidente, una causa natural o un caso de fuerza mayor.

A partir de 2010, los Estados miembros deberán garantizar que la política de tarificación incite a los consumidores a utilizar los recursos de forma eficaz y que los diferentes sectores económicos contribuyan a la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el uso del agua, incluidos los costes medioambientales y de recursos.

Los Estados miembros deben establecer regímenes que contemplen sanciones efectivas, proporcionadas y disuasorias en caso de infracción de esta Directiva marco.

Se ha creado, mediante un procedimiento que combina la vigilancia y la modelización, una lista de sustancias contaminantes prioritarias seleccionadas de entre las que presentan riesgos importantes para el medio acuático o que se propagan por éste. Esta lista constituye el anexo X de la Directiva. Se presentarán asimismo medidas de control de estas sustancias prioritarias, así como normas de calidad aplicables a las concentraciones de las mismas.

Decisión No 2455/2001/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de noviembre de 2001 por la que se aprueba la lista de sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE. Esta lista constituye el anexo X de la citada directiva.

2.2. NIVEL ESTATAL:

La **Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas**, supuso la necesaria puesta al día de la legislación española en la materia, al sustituir a la Ley de 13 de junio de 1879, que, con sus más de cien años de vida, si bien lógicamente modificada y completada por toda una serie de normas posteriores, ha configurado los elementos esenciales del régimen jurídico de las aguas continentales en España.

De esta manera, el texto de 1985 estableció el nuevo régimen jurídico del Dominio Público Hidráulico a la luz del sistema constitucional de distribución de competencias entre el Estado y las Comunidades Autónomas, fijando así un nítido marco normativo para todas las Administraciones públicas competentes, ratificado en esencia por la sentencia del Tribunal Constitucional 227/1988, de 29 de noviembre. Por otra parte, dicha ley configuró el agua como un recurso unitario renovable a través del ciclo hidrológico, no distinguiendo entre aguas superficiales y subterráneas, legalizó un complejo proceso de planificación hidrológica y vinculó la disponibilidad del recurso en cantidad suficiente a la exigencia de calidad del mismo.

Posteriormente, la Ley 29/1985 fue modificada por la **Ley 46/1999**, introduciendo mejoras y contemplando nuevos temas teniendo en cuenta la demanda tanto en calidad como en cantidad por parte de la sociedad.

El **Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas**, deroga las leyes anteriores excepto la disposición adicional primera de la Ley 46/1999. Este Real Decreto fue modificado por la **Ley 42/2007 del Patrimonio Cultural y la Diversidad**.

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, VII y VIII del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.

El **Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico**, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, modifica algunos aspectos del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, tales como la definición de cauce, la regulación de las zonas que lo protegen, la zona de servidumbre y la zona de policía, y la regulación de las zonas inundables. En todos estos elementos deben introducirse, además de otros específicos, criterios generales para su protección ambiental, garantizando, asimismo, la protección de las personas y bienes.

El Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica. La planificación hidrológica tendrá por objetivos generales conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas objeto del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, la satisfacción de las demandas de agua, el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.

Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional: son objetivos generales de la presente Ley:

- a. Alcanzar el buen estado del dominio público hidráulico, y en particular de las masas de agua.
- b. Gestionar la oferta del agua y satisfacer las demandas de aguas presentes y futuras a través de un aprovechamiento racional, sostenible, equilibrado y equitativo del agua, que permita al mismo tiempo garantizar la suficiencia y calidad del recurso para cada uso y la protección a largo plazo de los recursos hídricos disponibles.
- c. Lograr el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial, en aras a conseguir la vertebración del territorio nacional.
- d. Optimizar la gestión de los recursos hídricos, con especial atención a los territorios con escasez, protegiendo su calidad y economizando sus usos, en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.

Posteriormente, esta ley se modificó por la **Ley 11/2005, de 22 de junio, cambiando las** previsiones ligadas a las transferencias de agua entre el Bajo Ebro y las cuencas hidrológicas internas de Cataluña, del Júcar, del Segura y del Sur.

El **Programa A.G.U.A.** (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua) materializa la reorientación de la política del agua, mediante la explicación y difusión de las actuaciones concretas diseñadas para garantizar la disponibilidad y la calidad del agua en cada territorio. España, al formar parte de la Unión Europea, está obligada a cumplir las normas europeas: en materia de agua, la Directiva Marco 2000/60, así como todas las normas relativas a la calidad del agua y al cuidado del medio ambiente.

Dentro de este programa se desarrollan actuaciones ligadas a la **gestión, reutilización y al ahorro** de agua, con perjuicio mínimo para la estructura y condiciones de los ríos, sus desembocaduras o el litoral costero, y contribuye a la **regeneración ambiental** del dominio público hidráulico y marítimo y de los ecosistemas asociados a los mismos.

De este programa nació el **Real Decreto Ley 2/2004** de Actuaciones en el Litoral Mediterráneo.

Por otro lado, al encontrarnos en un municipio cercano a la costa, es de aplicación también la **Ley 22/1988 de 28 de Julio, de Costas**, publicándose posteriormente el **Real Decreto 1471/1989** por el que se aprueba el Reglamento General para Desarrollo y Ejecución de la citada Ley, para la determinación, protección, utilización y policía del dominio público marítimo-terrestre y especialmente de la ribera del mar. Relacionada con la ley de costas, se encuentra la **Ley 27/1992 de 24 de noviembre, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante**. En este proyecto se verterá a cauce y no a mar, por lo que esta ley no afecta al vertido de la depuradora.

Los Planes de Sequía son actuaciones con las que el Gobierno pretende crear un sistema objetivo que determine anticipadamente una situación de déficit hídrico en cada cuenca y que, según los casos, implique la toma de definidas medidas preventivas. Se ha determinado que los cortes de agua para el consumo humano son ineficaces. Estos planes de sequía se materializan en la Ley 9/1996, de 15 de enero, por la que se adoptan medidas extraordinarias, excepcionales y urgentes en materia de abastecimientos hidráulicos como consecuencia de la persistencia de la sequía.

Por la **Ley 7/2009, de 9 de julio**, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, se establecen las garantías de protección de la calidad ambiental del aire, agua y suelos. En relación a las aguas, se desarrolla lo dispuesto en la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

El **Real Decreto 1620/2007** establece los mecanismos legales que permiten disponer del agua residual depurada como recurso alternativo, impulsado a su vez planes de reutilización y de uso más eficiente del recurso hídrico.

La norma define el concepto de reutilización, introduce la denominación de aguas regeneradas, determina los requisitos necesarios para llevar a cabo la actividad de utilización de aguas regeneradas, los procedimientos para obtener la concesión exigida en la Ley e incluye disposiciones relativas a los usos admitidos y exigencias de calidad precisas en cada caso. Además, recoge los criterios de calidad mínimos obligatorios exigibles para la utilización de las aguas regeneradas según los usos.

Así mismo, incorpora el concepto de reutilización de las aguas como la aplicación, antes de la devolución al dominio público hidráulico y al marítimo-terrestre para un nuevo uso privativo de las aguas que han sido utilizadas, de los procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se va a destinar.

También se determinan los requisitos necesarios para llevar a cabo la actividad de utilización de aguas depuradas, los cuales establecen la necesaria concesión administrativa salvo en supuesto de que la reutilización fuera solicitada por el titular de una autorización de vertido de aguas residuales, en cuyo caso solamente se requerirá autorización administrativa.



Para usos agrícolas los valores permitidos son:

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
2.- USOS AGRÍCOLAS¹					
CALIDAD 2.1² a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.	1 huevo/10 L	100 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases ³ con los siguientes valores: n = 10 m = 100 UFC/100 mL M = 1.000 UFC/100 mL c = 3	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella spp.</i> 1.000 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización) Es obligatorio llevar a cabo la detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=1.000

¹ Características del agua regenerada que requieren información adicional: Conductividad 3,0 dS/m ; Relación de Adsorción de Sodio (RAS): 6 meq/L; Boro: 0,5 mg/L; Arsénico: 0,1 mg/L; Berilio: 0,1 mg/L; Cadmio: 0,01 mg/L; Cobalto: 0,05 mg/L; Cromo: 0,1 mg/L; Cobre: 0,2 mg/L; Manganeso: 0,2 mg/L; Molibdeno: 0,01 mg/L; Níquel: 0,2 mg/L; Selenio : 0,02 mg/L; Vanadio: 0,1 mg/L... Para el cálculo de RAS se utilizará la fórmula:

$$RAS(\text{meq} / \text{L}) = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca] + [Mg]}{2}}}$$

² Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados

³ Siendo n: nº de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
CALIDAD 2.2 a) Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior. b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne. c) Acuicultura.	1 huevo/10 L	1.000 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases ¹ con los siguientes valores: n = 10 m = 1.000 UFC/100 mL M = 10.000 UFC/100 mL c = 3	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Taenia saginata</i> y <i>Taenia solium</i> : 1 huevo/L (si se riegan pastos para consumo de animales productores de carne) Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia (<i>Salmonella</i> , etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000
CALIDAD 2.3 a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana. b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones. c) Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.	1 huevo/10 L	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L

¹ Siendo n: nº de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.

2.3. NIVEL AUTONÓMICO:

A nivel autonómico cabe destacar:

- el **Decreto 202/1995, de 1 de agosto**, por el que se crea el Consejo Andaluz del Agua, como órgano colegiado de carácter consultivo del Consejo de Gobierno de la Junta de Andalucía en materia de aguas;
- así como el **Decreto 241/2005, de 2 de noviembre**, por el que se crean las Direcciones Provinciales de la Agencia Andaluza del agua y se establecen sus funciones.

La **Ley 7/1994, de 18 de mayo, de Protección Ambiental** define el marco normativo y de actuación de la Comunidad Autónoma de Andalucía en materia de calidad de las aguas litorales estableciendo los objetivos de gestión para proteger, corregir y mejorar el espacio litoral andaluz como objetivo de primordial interés económico y ambiental.

Con el **Decreto 14/1996** se aprueba el Reglamento de la calidad de las aguas litorales en el que se incluyen las disposiciones necesarias para garantizar la plena efectividad de las previsiones de la Ley de Protección Ambiental en esta materia, dando cumplimiento al mandato legal en aquellas cuestiones concretas en que se ordenaba su posterior regulación reglamentaria.

De conformidad a lo establecido en el artículo 55 de la **Ley 3/2004, de 28 de diciembre**, de Medidas Tributarias, Administrativas y Financieras, se crea en cada provincia de Andalucía una Dirección Provincial de la Agencia Andaluza del Agua. Las Direcciones Provinciales son órganos territoriales de la Agencia Andaluza del Agua que dependen orgánicamente de la presidencia de la misma y, desarrollan sus funciones en el ámbito territorial correspondiente a cada una de las provincias de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Por el **Decreto 2/2009, de 7 de Enero**, se aprueban los estatutos de la Agencia Andaluza del agua. Esta Agencia surge como consecuencia de la asunción por la Administración de la Junta de Andalucía de las competencias sobre las aguas de la cuenca del Guadalquivir, y está basada en órganos directivos centrales con competencia sobre todo el territorio andaluz y Direcciones Provinciales.

En materia de aguas residuales, en el año 2003, se delimitan las aglomeraciones urbanas para el tratamiento de estas y, además se fijan las condiciones para el cumplimiento por las Entidades Locales de las disposiciones del **Real Decreto-Ley 11/95, de 28 de diciembre**, por el que se establecen las normas aplicables para el tratamiento de las aguas residuales, en transposición al ordenamiento jurídico interno del contenido de la **Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de mayo**, quedando todo esto recogido en el **Decreto 310/2003, de 4 de noviembre**.

Asimismo, es objeto de este Decreto la delimitación del ámbito territorial de los sistemas de gestión del ciclo integral urbano del agua en Andalucía, con la finalidad de que las Entidades Locales aúnen sus competencias y medios en la gestión de los mismos.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO

Se trata de una planta de depuración de aguas residuales, con reutilización de las mismas en la agricultura. Esta se situará en el municipio de Roquetas del Mar (Almería) y regenerará el agua de una población equivalente, en temporada baja de 189.500 habitantes, y en temporada alta de 289.500 habitantes. Está proyectada con un horizonte de veinticinco años y constará de:

1. Línea de agua.
2. Línea de fangos.
3. Tratamiento terciario.

3.1. LÍNEA DE AGUA

La línea de agua contará con:

- 1.1. Pozo de Gruesos.
- 1.2. Bombeo de entrada.
- 1.3. Rejas.
- 1.4. Desarenado.
- 1.5. Decantación Primaria.
- 1.6. Sistema Biológico.
- 1.7. Decantación Secundaria.

1.1. Pozo de Gruesos:

La primera operación que se realiza en todas las plantas depuradoras de aguas residuales, tanto urbanas como industriales, es la de desbaste.

El desbaste consiste en la separación de sólidos de volumen elevado, que de no ser eliminados generarían grandes problemas mecánicos en el funcionamiento de la planta. Asimismo el primer equipo encargado de retener sólidos de gran tamaño es el pozo de gruesos.

Los pozos de gruesos, consisten básicamente en una rebaja o foso realizado en la solera de una cámara de bombeo. Las paredes laterales tienen una pendiente próxima a 60°. Tanto las paredes como la solera del fondo tienen embebidos perfiles metálicos, con el fin de no dañar el hormigón en las operaciones de limpieza.

La forma de evacuar los materiales retenidos en el pozo de gruesos, es mediante una cuchara anfibia o bivalva de accionamiento electrohidráulico. Se trata de un mecanismo mecánico que gracias a su forma “de tenaza”, es capaz de recoger los residuos atrapados en el pozo. Esta cuchara se monta sobre un puente grúa y la capacidad suele ser desde 250 a 500 litros.

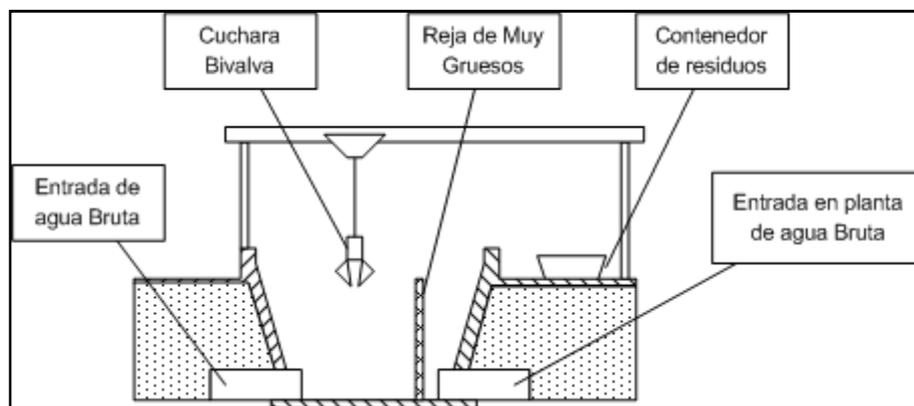
Los residuos separados en esta operación se almacenan en contenedores de escombros para la construcción siendo conveniente realizar unas perforaciones en el fondo del mismo, para

permitir el escurrido de los materiales extraídos. Por lo que el contenedor se apoya sobre una solera con pendientes hacia un sumidero, que recoge los escurridos y los devuelve al pozo de gruesos. Posteriormente el contenedor será transportado a un vertedero.

En este sistema la principal tarea consistirá en la retirada de estos sólidos de gran tamaño, para evitar que estos dificulten la llegada del agua residual al resto de la planta, y la de limpiar el fondo del pozo para que no se produzca anaerobiosis, y consecuentemente malos olores. También se debe vaciar el contenedor de forma regular, si esto no fuese posible entonces se utilizaría un contenedor tapado.

La limpieza del pozo debe de ser periódica, una o dos veces al día en tiempo seco y siempre que se produzcan lluvias, con el fin de evitar su colmatación y que deje de ser efectivo como pre-desarenado.

Se dispondrá también de una reja de muy gruesos para la protección del equipo de bombeo, es de limpieza manual y la separación entre barros va a depender del tipo de bombas a utilizar.



1.2. Bombeo de entrada:

Generalmente se utilizan tornillos de Arquímedes como sistema de bombeo para elevar el agua desde el pozo de gruesos.

El número de unidades en funcionamiento ha de adaptarse al caudal de agua residual que llegue en cada momento procedente de los colectores. Además ha de instalarse un equipo de reserva, que funcione en caso de avería.

Lo normal en plantas grandes es el empleo de unidades múltiples, con el fin de escalar los caudales y optimizar el consumo energético.

1.3. Rejas:

Las rejas son un conjunto de barras metálicas paralelas y de separación uniforme, situadas en un canal de hormigón, en posición transversal al flujo. Todas las barras de reja se encuentran fijadas en un marco para rigidizar el sistema.

El objetivo de este proceso es la eliminación de los sólidos en suspensión con un tamaño superior a la separación entre barros, con el fin de evitar obstrucciones en las líneas o problemas mecánicos en los equipos.

Las rejas pueden ser: de gruesos, de finos y de medios. Dependiendo la utilización de uno u otro tipo del tamaño de los sólidos a separar. Normalmente se instala una reja de medios seguida de una de finos.

La eliminación de los residuos depositados en las rejas puede ser llevada a cabo de dos formas diferentes:

- Limpieza manual: se instalan en plantas de bajo caudal o de tipo industrial, y se basan en el empleo de un rastrillo con púas que encastran en los espacios abiertos de las rejas. El principal inconveniente de estos equipos, es que con el fin de evitar acumulaciones importantes de basuras, se deben vigilar frecuentemente.
- Limpieza automática: en este caso, la limpieza se lleva a cabo, mediante unos rastrillos que encastran entre los barrotes, y se deslizan a lo largo de los mismos. Estos se encuentran acoplados normalmente a una cadena sinfín. Este sistema de limpieza lleva a cabo su función de forma discontinua.

1.4. Desarenador:

El desarenado consiste en un proceso en el que se produce una separación por decantación diferencial o selectiva, de todos aquellos sólidos en suspensión de densidad elevada (compuestos inorgánicos), impidiendo la sedimentación de materia en suspensión de baja densidad (de naturaleza orgánica).

El término arena se emplea para referirse a las arenas propiamente dichas, a las gravas, cenizas y, cualquier otro material pesado cuya velocidad de sedimentación o peso específico sea considerablemente mayor al de los sólidos orgánicos susceptibles a la descomposición presentes en el agua residual.

En general, la mayor parte del material removido como arena es en esencia inerte. La densidad de las partículas de arena limpia alcanza valores de 2,7. Con un equipo adecuado y aireados muy buenas se va a sacar arena con un contenido en materia orgánica muy bajo. Generalmente la arena tiene que tener como máximo entre un 5 y un 7 % de materia orgánica.

Las arenas se remueven de las aguas residuales para:

- Proteger los equipos mecánicos de la abrasión y del excesivo desgaste.
- Reducir la formación de depósitos de sólidos pesados en unidades y conductos aguas abajo.
- Reducir la frecuencia de limpieza de los digestores por causa de acumulación excesiva de arenas.
- Mayor facilidad de evacuación de la planta depuradora, al tratarse de sólidos inertes, y poder ser su destino final los vertederos de inertes.
- Evitar la presencia de sólidos inertes en la línea de tratamiento de fangos.

Normalmente, los desarenadores se ubican después de las unidades que remueven sólidos gruesos, desbaste, y antes de tanques de sedimentación primaria.

Los principales sistemas utilizados en el proceso de desarenado son los siguientes:

- Desarenadores de flujo horizontal: son los más sencillos y se utilizan exclusivamente en plantas pequeñas por los bajos rendimientos que se obtienen. Además requieren mucha mano de obra.
- Desarenadores de sección cuadrada: estos sistemas han caído en desuso por los problemas mecánicos que presentan.
- Desarenadores aireados: este sistema no se ve afectado por las variaciones de caudal, y además, permite la obtención de una arena con un grado de lavado importante. Consiste en un canal de geometría determinada, que dispone de un colector provisto de unos difusores que originan un movimiento helicoidal del agua a su paso por el equipo. Variando la cantidad del aire inyectado, se varía la velocidad de giro.

1.5. Decantador primario:

La finalidad del tratamiento por decantación o sedimentación es eliminar los sólidos en suspensión presentes en el agua residual, obteniéndose un líquido claro sobrenadante en la superficie del equipo y, unos sólidos que son extraídos en forma de fangos o lodos por el fondo.

Los tanques de sedimentación primaria contribuyen de manera importante al tratamiento del agua residual. Cuando se utilizan como único medio de tratamiento y si se tienen más sistemas de tratamiento el objetivo es el mismo, su objetivo principal es la eliminación de:

- Sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de fango en las aguas receptoras.
- Parte de la carga orgánica vertida a las aguas receptoras.

Cuando los tanques se emplean como paso previo de tratamientos biológicos, como sucede en este proyecto, sus funciones son:

- Reducción de la carga afluente a los reactores biológicos.
- Proteger los procesos posteriores, sobre todo los de oxidación biológica de la presencia de fangos inertes.
- Evitar su vertido al cauce receptor, por la problemática que ocasionan en el mismo.

En aquellos casos en que los sólidos en suspensión sean de naturaleza orgánica y generen DBO, en el proceso de decantación va a tener lugar además de la eliminación de los mismos, la disminución de la DBO asociada a los sólidos, lo que redundará en unos procesos biológicos posteriores de menor tamaño, y una reducción del consumo energético. En las plantas urbanas esta eliminación es del 33-36%.

Los tipos de decantadores utilizados son:

- **Rectangulares:** son balsas rectangulares donde el agua entra por uno de los extremos y sale por el opuesto, siendo el flujo paralelo a la dimensión más larga. Los fangos se depositan en el fondo, de donde son arrastrados por un sistema de rasquetas. Estas rasquetas en su camino de vuelta, arrastran espumas y flotables, ya que lo hacen por superficie. La principal ventaja, de este tipo de equipos es su fácil acoplamiento.
- **Circulares:** consisten en una cuba de hormigón, en la cual, la alimentación se realiza por la parte central, y la salida del agua clarificada por un vertedero periférico. Los fangos que se generan son desplazados por unas rasquetas hasta una poceta central desde la que son purgados al exterior. Este tipo de decantadores son los utilizados de forma habitual.
- **Lamelas:** en este caso, se tiene una cuba de tipo rectangular, equipada con unos paquetes de palcas paralelas a través de los cuales se hace pasar el agua en régimen de flujo laminar y a una velocidad, que permita la decantación de los sólidos en suspensión presentes. Uno de los mayores problemas de este tipo de equipos, es el ensuciamiento, sobre todo, con fangos de tipo biológico, que requiere su limpieza de forma periódica, evitándose así la aparición de malos olores. En las depuradoras urbanas se utilizan exclusivamente en los tratamientos terciarios.

1.6. Tratamiento biológico :

El tratamiento biológico, también llamado secundario, es el encargado de degradar substancialmente el contenido biológico de las aguas residuales que se derivan de los desechos humana, restos de de comida, jabones y detergentes, disolución de materiales en limpieza de ropas, utensilios, y otras múltiples fuentes, etc. La mayoría de las plantas municipales e industriales tratan el contenido de materia orgánica biodegradable de las aguas residuales usando procesos biológicos aeróbicos, pero también los hay anaerobios. Estos procesos consisten en provocar el desarrollo de microorganismos capaces de asimilar la materia orgánica biodegradable, utilizándola como sustrato o fuente de alimentación, para que una parte la transformen en nuevos microorganismos y otra sea oxidada.

Los principales objetivos de dichos procesos son:

- Eliminación de la materia orgánica biodegradable del agua residual, y en consecuencia cumplir con la normativa legal en relación con el vertido a cauce.
- Evitar la biodegradación de la materia orgánica en el cauce receptor.
- Evitar condiciones anaerobias en el cauce receptor.
- También por vía de estos procesos se pueden eliminar otros contaminantes como el nitrógeno y el fosforo.

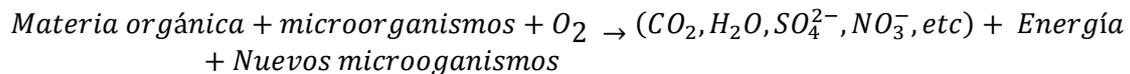
Como se ha mencionado anteriormente existen varios tipos de procesos:

- Procesos anaerobios
- Procesos aerobios

- Procesos anaerobios: la principal característica de este tipo de procesos es que se realiza la biodegradación de la materia orgánica biodegradable en ausencia de oxígeno disuelto. Este proceso se lleva a cabo a través de varias fases:
 1. La *hidrólisis* de los compuestos orgánicos que se encuentran en estado sólido o bien de elevado peso molecular, obteniéndose productos de cadena más corta y fácilmente solubles.
 2. La *acidogénesis* de los productos generados en la etapa anterior, de forma que estos son transformados en CO₂, H₂ y una mezcla de ácidos grasos volátiles.
 3. La *acetogénesis*, en la cual se genera ácido acético a partir de los ácidos anteriores.
 4. Y por último, tiene lugar la *metanogénesis*, en la que se obtiene metano. En las plantas urbanas este proceso se utiliza exclusivamente en la línea de fangos.

- Procesos aerobios: el mecanismo consiste en la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual utilizando el oxígeno disuelto en la misma.

La reacción que tiene lugar es la siguiente:



Existen varios procesos por vía aerobia entre los que se pueden destacar: lagunaje, lodos o fangos activos, filtros percoladores etc....

El proceso más utilizado es el de fangos activos, en el cual la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual se lleva a cabo a través de una biomasa o conjunto de microorganismos, que la utilizan como sustrato o fuente de alimentación, descomponiéndola vía anaerobia. La población de biomasa que se utiliza es elevada, lo que conlleva a unos tiempos reducidos y a una eliminación alta de la DBO.

Las unidades básicas de que se compone el proceso de lodos activos son:

- Reactor o balsa biológica.
- Decantador secundario.
- Recirculación del lodo activo.

El proceso de lodos activos consta básicamente de tres fases:

1. El agua residual que llega al sistema se introduce de forma continua en el reactor donde se mantiene a una concentración elevada de microorganismos en suspensión. Es aquí donde los microorganismos capturan la materia orgánica biodegradable presente, utilizándola como sustrato o alimentación, provocando su eliminación a través de reacciones bioquímicas de oxidación y síntesis. El nivel de concentración de microorganismos que se debe de mantener en el reactor va a depender de:
 - La concentración de la materia orgánica biodegradable en la alimentación.
 - Del tipo de proceso a utilizar.
 - Y del rendimiento que se desee obtener.

De esta manera cuando se obtienen las condiciones idóneas (temperatura, tiempo de retención, cantidad de oxígeno disuelto...) tiene lugar la oxidación por vía bioquímica del nitrógeno amoniacal, pasándolo primero a nitrito y posteriormente a nitratos.

2. El agua que llega al reactor desplaza la mezcla agua-biomasa, que pasará al decantador secundario. El fango que se decanta, está compuesto básicamente por microorganismos, que han escapado al reactor. Así que para mantener la concentración, estos lodos decantados son recirculados de nuevo al reactor para mantener la población necesaria.
3. Como se ha indicado anteriormente se crean nuevos microorganismos que hay que purgar para trabajar con una población fija.

El oxígeno preciso para los microorganismos se introducirá mediante difusores, que aparte de suministrar aire, provocan una agitación suficiente para mantener la biomasa en suspensión y aportan una buena mezcla con el agua a tratar. Existen varios tipos de difusores,

- Difusores de burbuja gruesa, con un tamaño de burbuja mayor de 6mm.
- Difusores de burbuja media, de 3 a 6 mm.
- Difusores de burbuja fina menores de 3mm.

Los difusores de burbuja fina obtienen un mayor rendimiento, ya que aumenta la transferencia de oxígeno al agua, al poseer una mayor superficie al formarse un mayor número de burbujas. También cabe destacar que la profundidad influye de una manera determinante en el rendimiento ya que a mayores profundidades, aumenta la presión de la lámina de agua y en consecuencia aumenta la solubilidad del oxígeno. También a mayor profundidad, la burbuja tarda más tiempo en alcanzar la superficie, lo que lleva consigo un mayor tiempo de contacto aire-agua y por tanto lleva consigo un incremento notable de la cantidad solubilizada.

Con el fin de evitar colmataciones en los difusores, se aconseja la instalación de filtros en la aspiración de las unidades suministradoras de aire.

Hay otros sistemas alternativos de introducir oxígeno en el agua como son los aireadores mecánicos, turbinas, rotores o cepillos, etc.

Del proceso de lodos activos anteriormente explicado existe una serie de variaciones de las cuales las más importantes son:

- Reactor mezcla completa.
- Aireación graduada.
- Aireación escalonada.
- Oxidación total
- En doble etapa A-B.
- Canales de oxidación.
- Proceso secuencial discontinuo (SBR).
- Biorreactores de membrana (BMR).

Asimismo la eliminación del nitrógeno, a través de un proceso de nitrificación-desnitrificación, se consigue por sistemas biológicos empleando variantes de los sistemas de fangos activos. Se basa en dos fases sucesivas:

- La primera consiste en transformar el nitrógeno orgánico y amoniacal del tanque de aireación en nitratos, cosa que se consigue al poner en contacto agua residual y fangos activos con oxígeno disuelto, después de un tiempo unas bacterias se encargan de llevar a cabo esta transformación.
- Una segunda fase se encarga de desnitrificar el agua, en este caso sin presencia de oxígeno disuelto, para facilitar que los nitratos sean transformados a compuestos gaseosos de nitrógeno, nitrógeno gas y óxidos de nitrógeno, que serían liberados espontáneamente a la atmósfera. La desnitrificación se produce gracias a unas bacterias que, ante la falta de oxígeno disuelto en el agua son capaces de usar los nitratos y nitritos para respirar.

1.7. Decantador secundario:

Los equipos de decantación secundaria se basan en los mismos principios que los decantadores primarios comentados anteriormente. En este caso se varían los parámetros del proceso, al tratarse de fangos de diferente naturaleza y características a los sólidos eliminados en los tratamientos primarios.

Estos decantadores se colocan después del tratamiento biológico, donde ha tenido lugar la eliminación de la materia orgánica biodegradable, mediante un proceso de oxidación y un proceso de síntesis, dando lugar este último a un incremento de la biomasa presente en el reactor.

Una característica de esta biomasa es, que si se introduce en un decantador, se produce una floculación o aglomeración de microorganismos sobre las partículas sólidas, de un tamaño identificable visualmente y con una densidad que permite su sedimentación.

3.2. LÍNEA DE FANGOS

En las plantas depuradoras de aguas residuales, se van a generar una serie de fangos que es necesario tratar, es por ello, que se instala una línea de tratamiento específica, la línea de fangos, cuyos objetivos principales son:

- Concentrar los fangos diluidos, de tal forma que los tratamientos posteriores resulten de menor tamaño.
- Estabilizar la materia orgánica biodegradable, con el fin de estabilizar los lodos.
- Y por último, deshidratar los fangos estabilizados, con el fin de conseguir un sólido, fácilmente transportable en camión a su destino final.

Los procesos que tienen lugar son:

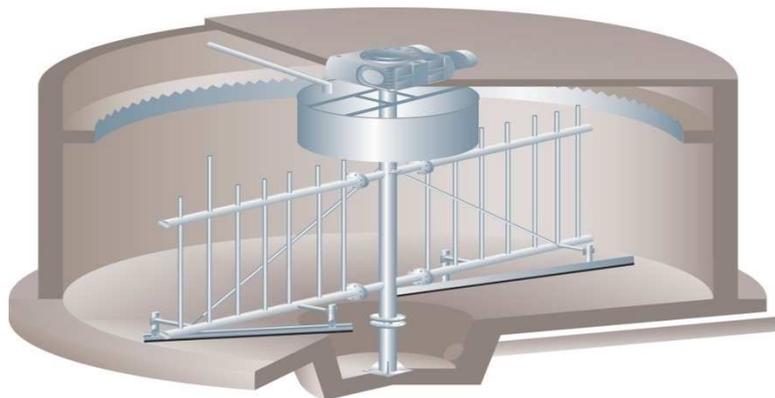
3.3. Espesamiento:

Este proceso consiste en aumentar la concentración de los sólidos en suspensión presentes en los fangos, con el fin de que los equipos de los tratamientos sucesivos resulten de menor tamaño.

Los procesos utilizados generalmente en el espesamiento de fangos son dos:

- Espesado por gravedad: Mediante este proceso se espesan los fangos procedentes del decantador primario en el caso de plantas grandes y la mezcla de primarios y secundarios en plantas pequeñas y medias. El proceso se basa, al igual que en la decantación, en la diferencia de densidad entre el agua y los sólidos a espesar. Se utilizan tanques cilíndricos, terminados en su parte inferior en forma cónica, con el fin de facilitar la descarga del fango espesado.

Estos equipos disponen de rasquetas en el fondo para ayudar a la salida de los fangos.



La concentración de los fangos a la salida del espesador es de aproximadamente un 5 – 8%, tomando en esta planta un valor del 6%.

- Espesado por flotación: Los fangos procedentes del sistema biológico, que presentan sólidos con baja densidad, se espesan por flotación.

Son también tanques circulares, por cuya parte inferior, se obtienen los fangos espesados, y por la superficie, el agua clarificada que será llevada a cabeza de tratamiento.

Dentro de los procesos utilizados el más empleado es de disolución de aire por presurización en la recirculación.

Estos fangos salen del espesador con una concentración del 3%.

Una vez espesados ambos fangos se unen, para ser estabilizados. En el caso, de instalaciones pequeñas, la mezcla de ambos fangos se espesa por gravedad como se ha comentado con anterioridad. A estos fangos se les denomina fangos mixtos.

3.4. Estabilización:

Con este proceso, se pretende destruir la materia orgánica biodegradable presente en los fangos espesados, con el fin de conseguir su estabilidad.

La estabilización se puede llevar a cabo de dos formas diferentes:

- Por vía química: en este caso la estabilización se consigue mediante la adición de determinados reactivos químicos, como la cal.

El proceso consiste en añadir cal al fango no digerido hasta alcanzar un pH entre 11 y 11,5, que provoca la muerte de los microorganismos presentes, evitando así su descomposición y consiguiendo un fango estable a la vez que desinfectado. Por otra parte, se consigue una buena deshidratación del fango no digerido.

La adicción de cal se lleva a cabo únicamente en plantas depuradoras de aguas industriales, en las cuales la producción de fangos sea baja. Además se hace necesario, que el fango sea evacuado en poco tiempo de la planta, ya que debido a que no hay eliminación de la materia orgánica, se puede producir una disminución del pH dando lugar a una descomposición biológica de la misma.

Este proceso es exclusivo de algunas plantas industriales.

- Por vía biológica: en este caso a la estabilización se le denomina digestión y, el mecanismo de destrucción de la materia orgánica es llevado a cabo mediante microorganismos. Los dos sistemas utilizados son por vía aerobia o bien por vía anaerobia.

Por vía anaerobia, es decir, en ausencia de oxígeno, el proceso es más lento que por vía aerobia, siendo los tiempos de retención de aproximadamente 10 días en cada uno de los digestores. Es práctica habitual utilizar dos tipos de digestores:

Los primeros suelen ser digestores de mezcla completa, provistos de agitación y calefacción, en los cuales, tiene lugar la eliminación de 90% de los sólidos en suspensión volátiles eliminados en el proceso de digestión.

Los digestores secundarios, no tienen ni agitación ni calefacción, y en ellos los fangos estabilizados se recogen por el fondo. En este digestor se finaliza la digestión, mandándose el sobrenadante que se obtiene por superficie a cabecera de la planta, por presentar elevadas concentraciones en DBO y sólidos en suspensión.

Como producto final de este proceso, se va a tener, además del fango estabilizado, biogás, compuesto mayoritariamente por metano y con un elevado poder calorífico. Este gas se quema en calderas instaladas para tal fin, con el objeto, de suministrar el calor necesario para mantener los digestores a una temperatura de entre 34 y 38°C. La eliminación de volátiles en esta etapa suele estar en torno al 45- 50%.

Si el proceso se lleva a cabo por vía aerobia, los fangos, sin espesar, se introducen en una balsa, a la que se aporta aire mediante habitualmente turbinas, y se mantienen el tiempo adecuado para que tenga lugar la oxidación de la materia orgánica biodegradable. Los productos finales que se obtienen son: CO₂, H₂O, NO₃, etc. Se suele emplear en plantas depuradora industriales debido a las cantidades reducidas de fangos que se generan. La eliminación de volátiles en este sistema está entre el 40-45%.

3.5. Deshidratación:

Los fangos una vez espesados y estabilizados, deben ser deshidratados hasta una concentración tal que permita su evacuación en estado sólido de la planta de tratamiento.

Normalmente, los sistemas de deshidratación en las plantas depuradoras no trabajan de forma continuada, sino que los procesos se llevan a cabo durante 8 horas diarias, 5 días a la semana, pudiéndose ampliar este horario en caso de necesitarlo, por ejemplo, durante los meses de verano, cuando se produce un aumento de la población.

La elección del sistema de secado va a venir dada, entre otros factores por:

- Los costes de transporte del fango deshidratado.
- Las limitaciones fijadas por el vertedero de destino.
- A mayor sequedad, mayor facilidad de manejo y menor volumen del lixiviado, sea su destino vertedero o compostaje.
- Y, en caso de que vaya a ser incinerado, es fundamental una buena deshidratación con el objetivo de reducir los costes energéticos.

Los diferentes sistemas de secado son:

1. Eras de secado:

Se emplean en depuradoras de aguas residuales urbanas de pequeño tamaño por la superficie y la mano de obra que requieren. Consisten en un lecho de arena sobre el que se vierten los fangos, produciéndose, en una primera etapa, la deshidratación por filtración del agua sobre la arena y, en una segunda fase, la evaporación del agua ligada al fango, por acción del sol y del aire.

Presentan una serie de ventajas como son: el bajo coste de implantación, el bajo mantenimiento, y la elevada sequedad que se puede alcanzar.

2. Filtros de vacío:

Consisten en un tambor giratorio, forrado de tela filtrante, parcialmente sumergido en el depósito en el que se encuentra el lodo. En la actualidad, estas unidades han quedado prácticamente en desuso, por el elevado coste de implantación y mantenimiento, la complejidad

del sistema y el elevado consumo de reactivos, ya que normalmente para conseguir una buena deshidratación se lleva a cabo una coagulación- floculación.

3. Centrifugación:

El proceso se lleva a cabo utilizando centrífugas que separan las partículas de mayor densidad que el agua presentes en el fango, debido a fuerzas de tipo centrífugo. Además, las partículas pequeñas también son retenidas, ya que se utilizan polielectrolitos sintéticos, que provocan su floculación.

Las centrífugas constan de un tambor en posición horizontal que gira sobre dos cojinetes sujetos a un bastidor. Su forma es cilíndrica y acaban en forma troncocónica. Montado sobre el mismo eje se encuentra un tornillo sinfín, que gira a menor velocidad para arrastrar el fango.

Las ventajas que presentan estos equipos son: fáciles de operar, bajo coste de instalación y necesidades mínimas de mano de obra.

Estos son los equipos más utilizados en la actualidad.

4. Filtros a presión:

En este proceso, la eliminación del agua se consigue por aplicación de presión sobre un medio filtrante.

Los filtros prensa, consisten en un conjunto de placas de sección ranurada, colocadas verticalmente y enfrentadas entre sí, sujetas en un bastidor. Sobre cada una de las caras se acopla una tela filtrante de tamaño de poro determinado. Durante el proceso el fango se introduce en la cámara existente entre las telas, y mediante la aplicación de presión se consigue el paso del líquido a través de la tela. Cuando el filtro se colmata, se procede a un soplado con aire, con el fin de aumentar la sequedad y desplazar el líquido de las líneas.

Con este sistema se consiguen unos grados de sequedad mayores que con otros equipos, sin embargo, es el que presenta un mayor coste inicial de implantación y precisa más mano de obra.

Estos equipos son los utilizados en plantas industriales que generen residuos clasificados como peligrosos al obtener mayor sequedad y en consecuencia menor volumen, teniendo en cuenta los costes de vertedero de seguridad. Igualmente son interesantes cuando el destino final de los fangos sea incineración.

5. Filtro de bandas:

Consiste en dos bandas de tela filtrante continuas entre las cuales se introduce el fango. El fango floculado, es vertido en la banda superior donde tiene lugar su deshidratación por gravedad. A continuación, los fangos caen a la banda inferior, donde continúa su deshidratación por compresión. En la última fase, las dos bandas hacen un recorrido a través de un conjunto de rodillos, aumentando así la presión de filtrado. Al final, las dos bandas se separan, utilizando un rascador para desprender el fango deshidratado.

Estos equipos trabajan en continuo, y tienen unos requerimientos de mano de obra medios.

3.4. TRATAMIENTO Terciario:

El tratamiento terciario se emplea para separar la materia residual de los efluentes de procesos de tratamiento biológico, en aquellas plantas con unos requerimientos importantes en el vertido o bien obtener la calidad adecuada para la reutilización, factor de importancia en la planeación de recursos hidráulicos donde el abastecimiento de agua potable es limitado, como ocurre en este caso con el municipio de Roquetas del Mar.

Este tratamiento consiste en un proceso físico-químico que utiliza la precipitación, la coagulación, floculación y decantación, filtración y la desinfección, normalmente mediante UV y la cloración con dosis de persistencia (entre otros) para reducir drásticamente los niveles de nutrientes inorgánicos, especialmente los fosfatos y nitratos del efluente final. El agua residual que recibe un tratamiento terciario adecuado no permite un desarrollo microbiano considerable.

De esta forma el tratamiento físico-químico se realiza con el objetivo de eliminar los sólidos en suspensión y coloidales así como la DBO y DQO asociada a los mismos, con el fin de permitir un funcionamiento correcto de las etapas posteriores.

Consta de tres etapas:

- Coagulación
- Floculación
- Decantación

3.5. Coagulación:

La coagulación se basa en reacciones químicas que tienen lugar por la adición de determinados productos químicos a una dispersión coloidal generalmente, produciendo la desestabilización de las partículas coloidales o emulsionadas, mediante la neutralización de las cargas eléctricas que tienden a mantenerlas separadas. El proceso de coagulación se puede realizar por dosificación de sales metálicas, fundamentalmente de hierro o aluminio.

3.6. Floculación:

Se conoce como floculación a la formación de partículas fácilmente sedimentables a partir de las partículas desestabilizadas de tamaño submicroscópico por agrupamiento entre ellas y formación de otras de mayor tamaño. De esta forma es posible la decantación de pequeñas partículas gracias a este proceso de reagrupación de las mismas en otras de mayor tamaño.

Cabe destacar que la floculación no es una reacción química, tiene lugar en el seno de una agitación moderada que no destruya los flóculos ya formados, pero que ponga en contacto las partículas con el reactivo, y mantenga los sólidos en suspensión. La agitación en la floculación se puede llevar a cabo mediante agitadores de baja velocidad o bien por inyección de aire con difusores de burbuja media (de 0,5 a 0,75 m³ aire/m³ h). En caso de utilizar agitación mecánica, es importante disponer de un variador de velocidad con el fin de ajustar la misma según el tipo de floculo.

Tanto el floculador como el coagulador se suelen sobredimensionar entre un 15-20% del volumen teórico obtenido en el cálculo. Esto es así por posibles salpicaduras.

3.7. Decantación:

Tras la formación de los flóculos es necesario decantarlos ya que ya han adquirido la densidad necesaria para que decanten. Existen varios tipos de decantadores como ya se ha visto anteriormente (los circulares, los rectangulares...) pero los más utilizados en el tratamiento terciario son los decantadores de tipo Lamelar debido a la pequeña superficie que ocupan respecto a los decantadores tradicionales.

Los flóculos se acumulan en las placas inclinadas y por gravedad resbalan al fondo, de donde son extraídos mediante diferentes mecanismos. Los decantadores de pequeño tamaño están contruidos de acero al carbono con recubrimientos epóxicos internos y externos, y los decantadores medianos o grandes se construyen mediante obra civil y las placas de algún material plástico

Los sólidos que han resbalado de las placas, se sedimentarán y acumularán en el fondo del equipo, por lo cual éste debe de estar provisto de una capacidad de almacenamiento de sólidos adecuada a la cantidad que se piensa se acumularán.

Se deben de tener en cuenta los siguientes condicionantes:

- Las lamelas se formarán con paquetes extraíbles de material plástico, disponiendo un sistema para su extracción.
- El fango extraído se enviará a centrifugación directamente o previo espesado en un equipo independiente de la línea de fangos de la planta
- Se debe disponer de un sistema de limpieza de lamelas por medio de aspersores o limpieza manual mediante manguero.



3.8. Filtros:

Generalmente después del físico-químico se dispone de unos filtros. Dependiendo del tipo de filtro así será la calidad del efluente final.

	<i>Velocidad de filtración (m³/m²/h)</i>	<i>Partícula eliminada(mm)</i>	<i>Lecho (m)/granulometría(mm)</i>	<i>Reducción turbidez (%)</i>	<i>Reducción SS (%)</i>	<i>Reducción E.coli(%)</i>	<i>Reducción nematodos (%)</i>
<i>Presión</i>	7-10	>0,01	0,8-1,2/0,8-1	20-30	30-50	50-95	95-99
<i>Gravedad</i>	7-10	>0,01	1-1,5/0,8-1	20-50	30-80	50-95	95-99
<i>Anillas</i>	1,5-3***	>0,02		20-30	20-30	50-60	90-95
<i>Lecho pulsante</i>	8	>0,01	0,25-0,30/0,45	40-50	75-85	40-80	95-99
<i>Puente móvil</i>	5	0,01	0,30-0,40/0,45	60-80	50-80	40-80	95-99
<i>Filtro tamiz</i>	10-14(10 micra)	>0,01	Poliéster 0,01-0,5	85-95**	60-80	50-95	Ausencia

influyente menor a 15ppm. *m³/h cartucho

Todos estos filtros tienen por objetivo conseguir una calidad del agua para una óptima calidad en el vertido y facilitar la desinfección si se emplean UV. La elección de uno u otro vendrá dada en función de los rendimientos exigidos, la fiabilidad de la tecnología y los costes de implantación y explotación.

A continuación se describirá brevemente los tipos de filtros más comúnmente utilizados.

Filtros de arena a presión y gravedad: Se basa básicamente en el paso del agua por un lecho de arena que puede estar abierto sobre una superficie donde el agua se filtra por gravedad o bien en filtros cerrados horizontales o verticales a presión. Estos filtros se lavan con agua y aire a contracorriente. En cambio los cerrados el lavado se realiza con una primera fase de agitación con aire durante unos 6 – 10 minutos, luego una fase de agua de lavado durante otros 6 – 10 minutos y por último una fase de aclarado, con dos volúmenes de lecho utilizado. Los filtros de arena cerrados pueden ser monocapa o multicapa.

El material del lecho varía bastante pero suele estar formado por una cama de arena de cuarzo.

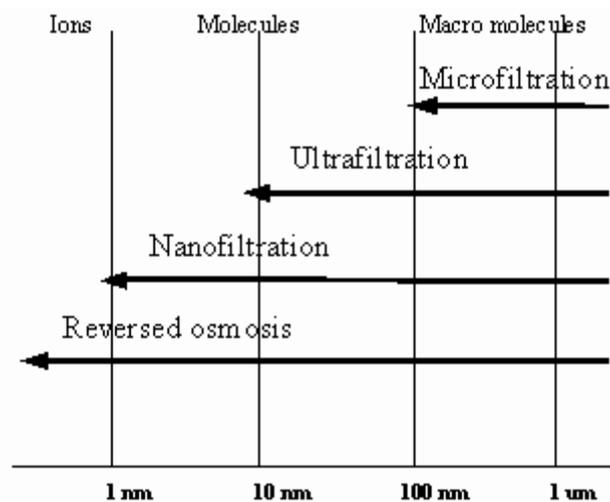
Filtros de lecho pulsante: El lecho del filtro se regenera en continuo durante el funcionamiento, y se mantiene el filtro en servicio incluso con variaciones de calidad del efluente de entrada. Gastan menos agua de lavado que la utilizada en un filtro convencional. De esta forma disponen de un sistema de lavado en continuo lo que supone un mayor gasto energético y por tanto económico. Además su fiabilidad es algo menor al existir partes móviles, al contrario que en el caso de los filtros por gravedad o presión.

Filtros de arena con puente móvil: Son similares a los filtros de arena por gravedad pero con un puente móvil que los limpia en continuo, entre sus principales características se encuentran que su funcionamiento es continuo, con una mínima pérdida de carga. No necesitan depósito de agua de lavado, ni arquetas de regulación, ni válvulas automáticas, y el consumo de energía eléctrica es mínimo.

Filtros de Tamiz: Se trata de un filtro constituido con paneles de tejido de poliéster con un rango de paso que puede variar entre 10-500 micras de poro absoluto. Sus ventajas se basan básicamente en su compacidad y relativa facilidad de instalación, aunque el coste de la instalación es bastante mayor que un filtro convencional. Actualmente se están instalando para evitar el paso de los huevos de nematodos.

Filtros de anillas: El elemento filtrante es un cartucho con anillas ranuradas, que se aprietan unas con otras, dejando pasar el agua y reteniendo aquellas partículas cuyo tamaño sea mayor al de paso de las ranuras. Asimismo los filtros de anillas retienen partículas de origen mineral y en menor medida de origen orgánico. La utilización de este tipo de filtros requiere del uso de un tamizado previo y una desinfección para evitar crecimientos bacterianos. La limpieza de los filtros de anillas se realiza desmontando el cartucho, separando las anillas y someténdolas a la acción de un chorro de agua a presión, que arrastra a las partículas retenidas, aunque también existen modelos de limpieza semi y automática

Una alternativa cada vez más utilizada es la filtración mediante membranas, la fuerza principal de esta tecnología es el hecho de que trabaja sin la adición de productos químicos y conducciones de proceso fáciles y bien dispuestas, a parte de una separación más eficaz y partículas de mucho menor tamaño que las de filtración convencional. Dentro de los sistemas de gran futuro se encuentran las biomembranas que de acuerdo con el tamaño de poro utilizado no solo eliminan los SS sino la DBO asociada y al ser el poro muy chico evitan el paso de microorganismos produciendo su desinfección. Otros sistemas podrían ser sistemas: la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración y la ósmosis inversa.



3.9. Desinfección:

La desinfección es la etapa más importante del tratamiento de la regeneración desde el punto de vista de la salud. Tres tipos de microorganismos deben de ser eliminados: bacterias, virus y protozoos.

Asimismo la desinfección se define como el proceso de eliminación de microorganismos patógenos mediante procesos físico-químicos, utilizando como indicador el grupo de los coliformes (*E. coli*).

Existen tres métodos:

- Desinfección mediante radiación ultravioleta.
- Desinfección por cloro.
- Desinfección mediante ozono.

1. Desinfección mediante radiación ultravioleta:

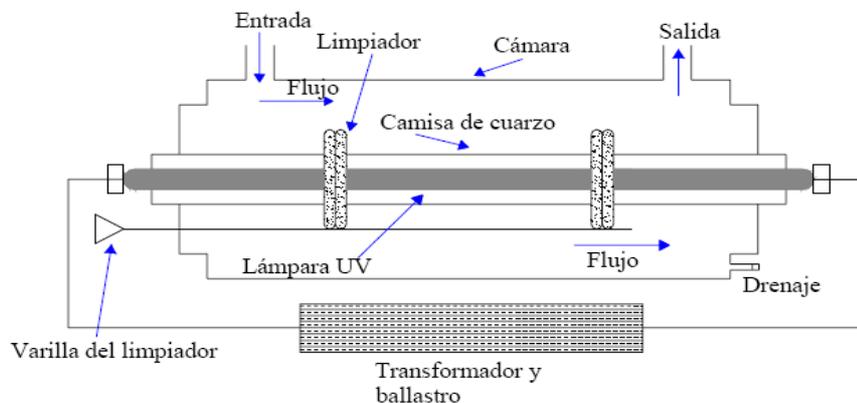
El mecanismo de desinfección se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético (ADN) de los microorganismos y los virus, y los destruye en corto tiempo, sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada.

Se cree que la inactivación por luz ultravioleta se produce mediante la absorción directa de la energía ultravioleta por el microorganismo y una reacción fotoquímica intracelular resultante que cambia la estructura bioquímica de las moléculas (probablemente en las nucleoproteínas) que son esenciales para la supervivencia del microorganismo. Está demostrado que independientemente de la duración y la intensidad de la dosificación, si se suministra la misma energía total, se obtiene el mismo grado de desinfección.

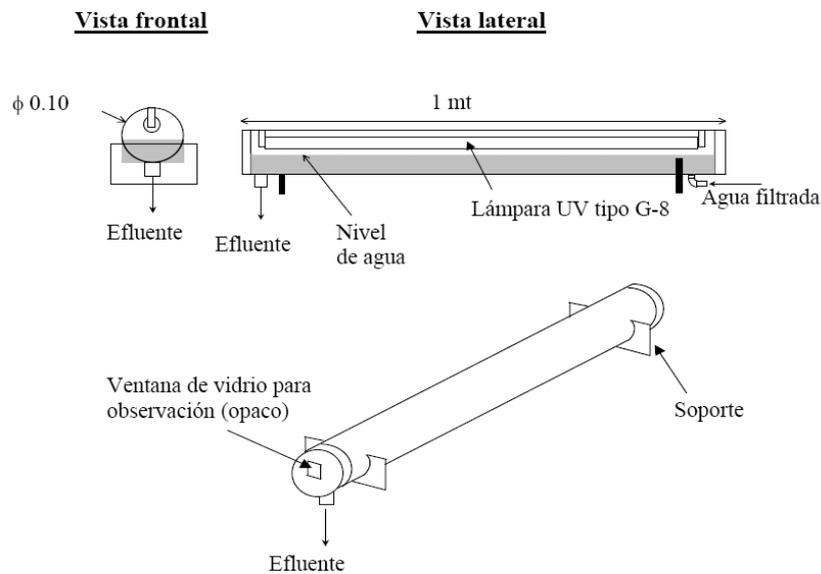
La luz ultravioleta se produce por medio de lámparas de vapor de mercurio de alta y baja presión, siendo más populares las últimas. En realidad, las lámparas ultravioletas son elaboradas por las grandes empresas que fabrican las lámparas fluorescentes estándar

Hay dos tipos básicos de cámaras de exposición del agua a la radiación ultravioleta. Aquellas en las que las lámparas están sumergidas en el agua y las que están fuera del agua. En las unidades de luz ultravioleta de lámparas sumergidas, se debe proveer un espacio aislado donde se ubica la lámpara, lo que se logra rodeando la misma con una camisa de cuarzo que es un material transparente a los rayos. Solo el cuarzo presenta esa característica, y de los plásticos, solo el PTFE (Teflón) es parcialmente transmisible.

En el segundo tipo, las lámparas están suspendidas sobre el agua que se está tratando, en forma casi rasante con el agua.



Instalación típica de un equipo de radiación UV con lámpara sumergida



Instalación típica de un equipo de radiación UV con lámpara fuera del agua

Las ventajas de este proceso son:

- El bajo costo de inversión inicial, así como también reducción de gastos de operación cuando se compara con tecnologías similares tales como ozono, cloro, etcétera.
- Proceso de tratamiento inmediato, ninguna necesidad de tanques de retención.
- Ningún cambio en el gusto, olor, pH o conductividad ni la química general del agua.
- La operación automática sin mediciones o atención especial.
- La simplicidad y facilidad de mantenimiento, período de limpieza y reemplazo anual de lámpara, sin partes móviles.
- Más efectivo contra virus que el cloro.

Entre los graves problemas que presenta es que no es persistente, lo que puede requerir una cloración posterior para mantenimiento de la capacidad de desinfección.

2. Desinfección por cloro:

El cloro es uno de los desinfectantes más utilizados. Es muy práctico y efectivo para la desinfección de microorganismos patogénicos. El cloro se puede utilizar fácilmente, medir y controlar. Es persistente en su justa medida y relativamente barato. El ácido hipocloroso (HOCl) y los iones hipoclorito (OCl⁻), eléctricamente negativos forman cloro libre, esto es lo que provoca la desinfección.

Ambas sustancias tienen un comportamiento muy distintivo. El ácido hipocloroso es un agente más reactivos y más fuerte que el hipoclorito. Se divide en ácido hipoclorito (HCl) y oxígeno atómico (O). El átomo de oxígeno es un desinfectante muy poderoso.

3. Desinfección por ozono:

El ozono es una molécula de carácter oxidante formada por tres átomos de oxígeno. Su uso se ha ido generalizando con el paso del tiempo en la desinfección de aguas, área donde muestra gran eficacia. Sus principales ventajas son que no deja residuos químicos y no confiere aromas u olores particulares al producto final, como ocurre con otros desinfectantes como el hipoclorito.

La capacidad desinfectante del ozono se basa en su potencial oxidante, produciendo una intoxicación intracelular que conduce a la muerte de los microorganismos. De idéntica manera, la temperatura del agua, la agitación, los sistemas de aporte de ozono, etc., pueden variar substancialmente los tiempos de contacto necesarios, debido a la facilidad para producir y disolver ozono en el agua de tratamiento.

4. JUSTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

A continuación se procede a justificar la elección de los equipos y procesos que se instalarán en la planta, indicando las dimensiones de los mismos y su modo de funcionamiento.

4.1. LÍNEA DE AGUA

1. Pozo de gruesos:

El agua bruta es recibida en la E.R.A.R. en un pozo de gruesos de planta rectangular y con un volumen de 122 m³.

El objetivo del pozo de gruesos es retener los materiales más pesados y/o de gran tamaño que pueden influir negativamente en el funcionamiento de las operaciones unitarias sucesivas y, que de pasar a los siguientes procesos pueden además provocar averías mecánicas graves en los equipos de tratamiento.

Como es un equipo que no se ve influenciado por las bajadas de caudal, se ha optado por colocar el pozo de gruesos diseñado para la temporada alta, que además coincide con la situación más desfavorable.

Los materiales retenidos en el fondo del pozo de gruesos se extraen por medio de una cuchara bivalva (modelo CP-300) de 300 litros de capacidad, de accionamiento hidráulico, con una potencia de motor de 2,2 KW y que se puede desplazar a lo largo del pozo de gruesos gracias a un polipasto de traslación y elevación por medio de sendos motores eléctricos.

Los sólidos separados se descargan en un contenedor de 5.000 l. con fondo perforado, que apoya sobre una solera con pendientes hacia un sumidero, que recoge los escurridos y los devuelve al pozo de gruesos.

Las dimensiones del pozo de grueso serán:

Volumen (m³)	122
Superficie (m²)	61
Altura (m)	2
Longitud₁ (m)	6,85
Longitud₂ (m)	8,90

2. Bombeo de entrada:

El bombeo se va a llevar a cabo mediante tres tornillos de Arquímedes de doble paso, con una capacidad de 425 l/seg. Se instalará además otra unidad de reserva.

Las dimensiones de estos equipos son:

Diámetro núcleo interior (mm)	720
Diámetro exterior (mm)	1.400

En invierno se utilizará una bomba cuando el caudal de llegada sea próximo al medio y dos cuando el caudal sea máximo.

En temporada alta se utilizarán dos unidades para bombear el agua cuando el caudal de llegada sea medio, y tres cuando el caudal sea máximo.

Siempre se dispondrá de una cuarta bomba de reserva.

3. Rejas:

A continuación de las bombas, se instalan las rejas, cuyo objetivo es la eliminación de los sólidos en suspensión presentes, con un tamaño superior a la separación entre barrotes. En este caso, se utiliza una reja de medios, con una luz de 20 mm, seguida de otra de finos, con un espesor entre barrotes de 8 mm.

La planta constará de cuatro canales. En temporada alta, se tendrá un canal de reserva con un sistema de limpieza manual (cuarto canal). En temporada baja, se tendrán dos canales de reserva, uno con un sistema de limpieza automática, correspondiente a la tercera reja en funcionamiento durante la temporada alta, y otra de limpieza manual.

Las dimensiones de las rejas de medios serán:

<i>Espesor entre barrotes (mm)</i>	20
<i>Superficie (m²)</i>	0,61
<i>Profundidad (m)</i>	0,91
<i>Anchura (m)</i>	0,70
<i>Lado (m) esto es lo mismo que profundidad</i>	0,91

Durante la temporada baja se utilizan únicamente dos de las cuatro unidades; utilizándose tres en verano.

Para las rejas de finos, las medidas que se tienen son las siguientes:

<i>Espesor entre barrotes (mm)</i>	8
<i>Superficie (m²)</i>	0,81
<i>Profundidad (m)</i>	1,13
<i>Anchura (m)</i>	0,76
<i>Lado (m)</i>	1,14

Al igual que ocurre con las rejas de finos, se utilizarán únicamente dos, y tres en los meses correspondientes a la temporada alta.

Se hará necesaria la construcción de un escalón de 0,44 m, entre ambas rejas, con el fin de compensar la diferencia de altura y la pérdida de carga en la reja de medios.

4. Desarenador:

El objetivo del proceso es eliminar los sólidos en suspensión de densidad elevada por los graves problemas que estos contaminantes pueden ocasionar a las instalaciones.

El tipo de desarenador utilizado en esta planta es aireado, el cual consiste en un canal provisto de una serie difusores, que inyectan aire creando un movimiento helicoidal del agua a su paso por el equipo. La velocidad de giro del agua va a venir determinada por la cantidad de aire inyectado. A mayor cantidad, mayor velocidad.

Cuando la fuerza de caída sea superior a la de arrastre las partículas se depositarán en el fondo, mientras que si es inferior las partículas serán arrastradas fuera del equipo.

Dado que estos equipos no se ven afectados por las variaciones de caudal se tomarán las dimensiones de diseño obtenidas en temporada alta, siendo dos, el número de unidades instaladas.

<i>Volumen (m³)</i>	603
<i>Volumen real (m³)</i>	324
<i>Superficie (m²)</i>	161
<i>L(m) cada uno</i>	18
<i>Altura (m)</i>	4,0
<i>Anchura (m)</i>	4,5
<i>Qaire (m³/h)</i>	904,70
<i>Qaire real (m³/h)</i>	486

Se emplearán 49 difusores de tipo tubo, repartidos a lo largo de los 18m, por lo que cada uno, estará separado del siguiente 36 cm.

5. Decantador primario:

La elección del decantador más apropiado viene motivada por una serie de factores como son:

- Tamaño de la instalación.
- Terreno disponible y sus condiciones.
- Estimación de costes.

En base a esto, se elegirán decantadores circulares, construidos en hormigón.

La planta constará de tres decantadores circulares de 26 m de diámetro cada uno de ellos, en los que la alimentación se realiza por la parte central, y la salida del agua clarificada por la periferia.

<i>Volumen (m³)</i>	2.008
<i>Superficie (m²)</i>	536
<i>Diámetro (m)</i>	26
<i>Altura (m)</i>	3,75
<i>Caudal unidad (m³/h)</i>	805

Se instalan tres decantadores, de los cuales, dos sólo se utilizarán durante la temporada baja. En temporada alta funcionarán los tres.

Los fangos generados en este proceso son arrastrados por unas rasquetas hasta una poceta central, desde donde serán llevados a la línea de tratamiento de fangos, concretamente, al espesador por gravedad.

En la decantación primaria se va a producir la eliminación de los 2/3 de los sólidos en suspensión, por lo que las cantidades de sólidos purgados al día serán:

Temporada baja (Kg/d)	9.475
Temporada alta (Kg/d)	14.475

La cantidad de DBO eliminada es de 1/3 por lo que:

Temporada baja (Kg/d)	4.422
Temporada alta (Kg/d)	6.755

6. Reactor biológico:

En el biológico que se instalará en la planta se optará por un proceso de lodos activos, concretamente el de oxidación total, ya que permite trabajar con cargas másicas muy bajas produciendo por tanto una nitrificación muy importante del nitrógeno amoniacal presente en el agua residual. Así de esta manera se cumplirá con uno de los parámetros legales del Real Decreto 1620/2007 para la reutilización del agua en la agricultura.

Aunque el uso de la ecuación 3.3.6.1. indica unos rendimientos con unas cargas másicas del 0,3 y 0,7 respectivamente, se tomará como carga másica un valor de 0,15, para la temporada alta, ya que como se ha mencionado anteriormente es necesario incorporar un proceso de oxidación total, y necesita de esa carga, obteniendo por tanto un rendimiento del 92% y en consecuencia una bajada de la salida de la DBO de 25 ppm (como exige la legislación para vertido a cauce a 18 ppm). Posteriormente en el tratamiento terciario se bajará esta concentración hasta < 10 ppm para la reutilización.

En la planta se colocará un único reactor biológico que atienda a las necesidades en las dos temporadas y durante todo el año, por ello se ha decidido implantar el reactor con las dimensiones de verano, que corresponden a la siguiente tabla:

Volumen (m3)	17.320
Volumen zona anóxica (m3) *	3.464
Superficie (m2)	2.887
Largo (m)	80
Ancho (m)	36
Altura (m)	6

*Nota: El volumen de la zona anóxica corresponde a la adición del 20% del volumen total, con lo que el volumen total del reactor correspondería a un total de 20784 m³. Como se aprecia en la tabla en reactor tendrá una forma rectangular, con tres canales y se construirá con hormigón.

El reactor se dividirá en tres canales, de 12 metros de ancho cada uno de ellos, y cada uno dispondrá de un porcentaje diferente de difusores:

- en el primer canal, que corresponde justo a la entrada del agua residual procedente del decantador primario se colocarán el 42% del total, que corresponde teóricamente a un total de 1.158 difusores.
El número real de difusores será de 1.176.
- en el segundo canal se colocará el 34 %, que implicaría un total de 937 difusores.
En este caso, el número de filas es 13 y el de columnas 78, por lo que, el número real de difusores es de 1.014.
- y el último canal, contaría con 661 difusores teóricamente, es decir un 24%.
El número real de difusores es de 726.

La suma de todos ellos da un total de 2.757, que serían los teóricos, en cambio cuando se realiza la distribución de los mismos, saldrán el número de difusores reales a colocar. De este modo se obtiene un total de 2.916 que se distribuirán de la siguiente forma:

<i>Distribución de los difusores</i>	<i>Filas</i>	<i>Columnas</i>
<i>Primer canal</i>	14	84
<i>Segundo canal</i>	13	78
<i>Tercer canal</i>	11	66

Los tipos de difusores que se instalarán serán de tipo Domo, es decir, cerámicos de burbuja fina. Se ha optado por esta opción debido a un mayor rendimiento y mejor solubilización del oxígeno en el agua con este tipo de difusores.

Los fangos generados en este proceso y que serán mandados a la línea de tratamiento de lodos, para ser espesados por flotación, son:

<i>Temporada baja (Kg/d)</i>	9.693
<i>Temporada alta (Kg/d)</i>	6.173

7. Decantador secundario:

Debido a que su funcionamiento es similar a los decantadores primarios diseñándose de igual forma aunque con distintos parámetros, se colocarán decantadores circulares al igual que en los primarios, ya que son los más habituales.

<i>Volumen (m³)</i>	4.418
<i>Superficie (m²)</i>	1.607
<i>Diámetro (m)</i>	45
<i>Altura (m)</i>	3,0
<i>Caudal unidad (m³/h)</i>	805

Durante la temporada baja funcionarán únicamente dos de los tres decantadores. En verano funcionarán todos a la vez.

4.2. LÍNEA DE FANGOS

Tanto en el proceso de decantación primaria, como en los procesos biológicos que tienen lugar en la línea de tratamiento del agua, se van a generar una serie de lodos o fangos que son necesarios tratar, con objeto de conseguir un sólido final estable, que sea fácilmente evacuable de la planta.

Los procesos que van a tener lugar son:

1. Concentración de los fangos diluidos.
2. Destrucción de la materia orgánica biodegradable.
3. Y por último, deshidratación de los fangos estabilizados.

1. Espesamiento:

Los fangos recogidos en los procesos de depuración presentan unas concentraciones muy bajas de sólidos en suspensión, por lo que se hace necesaria su concentración reduciendo así su volumen, y por lo tanto, el tamaño de los equipos posteriores.

Los fangos procedentes del decantador primario se van a espesar mediante gravedad, y los fangos biológicos mediante flotación.

1.1. Espesamiento por gravedad:

Se utilizan unos tanques muy similares a los utilizados en decantación. Por el fondo de los mismos, se va a obtener el fango espesado, y por la superficie el líquido clarificado.

Las dimensiones de este equipo son las calculadas para la temporada alta, ya que no se va a ver afectado por el aumento del tiempo de retención:

Volumen (m³)	724
Superficie (m²)	207
Diámetro (m)	16
Altura (m)	3,50

La concentración de los fangos a la salida del espesador es de un 6% obteniéndose:

Temporada baja	158 m ³ /d
Temporada alta	241 m ³ /d

1.2. Espesamiento por flotación:

El espesamiento de los fangos procedentes del proceso biológico se lleva a cabo en espesadores por flotación con recirculación del aire disuelto. En estos espesadores, al estar el agua saturada en aire, existe menos tendencia a que aparezcan descomposiciones anaerobias y en consecuencia, a que se generen malos olores.

Las dimensiones adoptadas para este equipo serán:

Volumen (m³)	271
Superficie (m²)	109
Diámetro (m)	12
Altura (m)	2,5

Estos valores son los obtenidos para el caso más desfavorable, es decir, para la temporada alta.

A la salida del espesador los fangos presentan una concentración del 3%:

Temporada baja	211,5 m ³ /d
Temporada alta	323 m ³ /d

Una vez espesados ambos fangos de forma independiente, se juntan para los tratamientos posteriores.

2. Estabilización:

En este caso la estabilización se lleva a cabo de forma anaerobia, utilizando para ello, tres digestores primarios, y un digestor secundario.

En temporada baja, solamente funcionarán dos de los tres digestores primarios además del secundario, durante los meses de verano, funcionarán los cuatro digestores.

Los tiempos de retención serán de 10 días en cada uno de los digestores, y el volumen de cada uno de ellos será de 3.700 m³.

3. Deshidratación:

Para la deshidratación se utilizan dos centrifugas de capacidad 20 m³/h.

En temporada baja se trabajarán 40 horas a la semana, y se trata un caudal de 31,68 m³/h. Y en temporada alta, se trabajan 55 horas semanales, tratando un caudal de 35,11 m³/h.

4.3. TRATAMIENTO TERCIARIO

El tratamiento que ha de aplicarse, según el Real Decreto 1620/2007, para poder reutilizar el agua en el riego de cultivos es el siguiente:

1. Tratamiento físico- químico con decantación:

1.1. Coagulación.

El objetivo de este proceso es la eliminación del fósforo residual así como la neutralización de las cargas eléctricas de los coloides presentes en el agua, para ello se añade un reactivo químico, en este caso Sulfato de Alúmina.

En este caso, se utiliza un coagulador de sección cuadrada, siendo las dimensiones del mismo:

Volumen (m^3)	78
Volumen real (m^3)	94
Lado (m)	4,3
Altura (m)	4,8

1.2. Floculación:

La floculación tiene como fin la reagrupación de las partículas formadas en el proceso de coagulación, ya que estas tienen un tamaño muy pequeño, y su decantación va a ser muy difícil debido a las bajas velocidades que precisan y a la resistencia que se origina cuando pasan a través de la masa de agua.

Se van a instalar dos floculadores de sección rectangular en serie, con las siguientes dimensiones:

Volumen (m^3)	392
Lado (m)	9,10
Altura (m)	4,75
Número de unidades	2

1.3. Decantador lamelar:

Las dimensiones de este decantador vendrán dadas por el fabricante, en función del tipo de placas utilizadas, separación entre las mismas, ángulo de las placas, etc.

2. Filtración:

Los filtros que se utilizan son filtros de gravedad por arena, ya que por las dimensiones no se pueden instalar otro tipo de filtros, como por ejemplo, filtros verticales u horizontales, ya que se necesitaría un número muy elevado de unidades, ocupando por lo tanto, una gran extensión de terreno.

Otro de los motivos por los que se han elegido es por sus rendimientos, lo cual permite que el agua tratada cumpla las especificaciones exigidas por la legislación para que pueda ser utilizada en el riego e cultivos destinados al consumo humano.

Velocidad Filtración ($m^3/m^2/h$)	Partícula Eliminada (mm)	Reducción turbidez	Reducción SS(mg/L)	Reducción E.coli	Reducción Nematodos
10	>0,01	10 UNT	20	100UFC/ 100ml	1huevo/10L

Las medidas de estos filtros son las indicadas en la siguiente tabla:

Superficie (m ²) cada filtro	72
Base (m)	12
Ancho (m)	6
Agua lavado por filtro (m ³)	228
Número total filtros	6

3. Desinfección:

La desinfección se realiza mediante radiación ultravioleta, ya que con un sistema adecuadamente instalado se pueden obtener reducciones en el número de bacterias de 6 a 8 unidades logarítmicas.

El agua ya tratada, se hace pasar por un canal provisto de una serie de lámparas ultravioletas, cuya longitud de onda oscila entre los 250 y 280 nm. El tiempo de exposición será de al menos 15 segundos, y la distancia del agua a las lámparas no será mayor de 120 mm.

Además se añade hipoclorito sódico, en pequeñas cantidades, para asegurar una completa desinfección.

4.4. **LÍNEA DE GAS**

El empleo del digestor anaerobio para la estabilización de los fangos en la línea de tratamiento de fangos, da como resultado biogás rico en metano (CH₄) que tiene una capacidad calorífica de 5.200 kcal/m³.

Se dispondrá de un gasómetro para acumulación y regulación del gas.

Este gas se emplea para la agitación de los digestores anaerobios, y para mantener la temperatura de los mismos entre 34 y 38°C, de manera que sea un proceso autosuficiente energéticamente.

La cantidad de biogás producido será:

Temporada baja	4.983.300 L biogás	4.484.970.000 Kcal
Temporada alta	6.851.700 L biogás	35.628.840.000 Kcal

El gas no utilizado para calentamiento de los digestores y obtención de agua caliente para los servicios de la planta, se quemará en una antorcha.

5. DATOS DE DISEÑO

5.1. CÁLCULO DE LA POBLACIÓN

Roquetas de Mar es un municipio turístico, por lo que el número de habitantes es diferente en la época de invierno con respecto a los meses de verano. Se va a hallar la población tanto para la temporada alta como para la baja, para poder tener un funcionamiento adecuado de la ERAR durante todo el año.

AÑO	POBLACIÓN
1997	37.237
1998	40.582
1999	42.333
2000	44.370
2001	47.570
2002	50.954
2003	53.815
2004	58.519
2005	65.886
2006	71.740
2007	71.279
2008	77.423

Tabla.5.1.1. Datos de la población respecto a los años

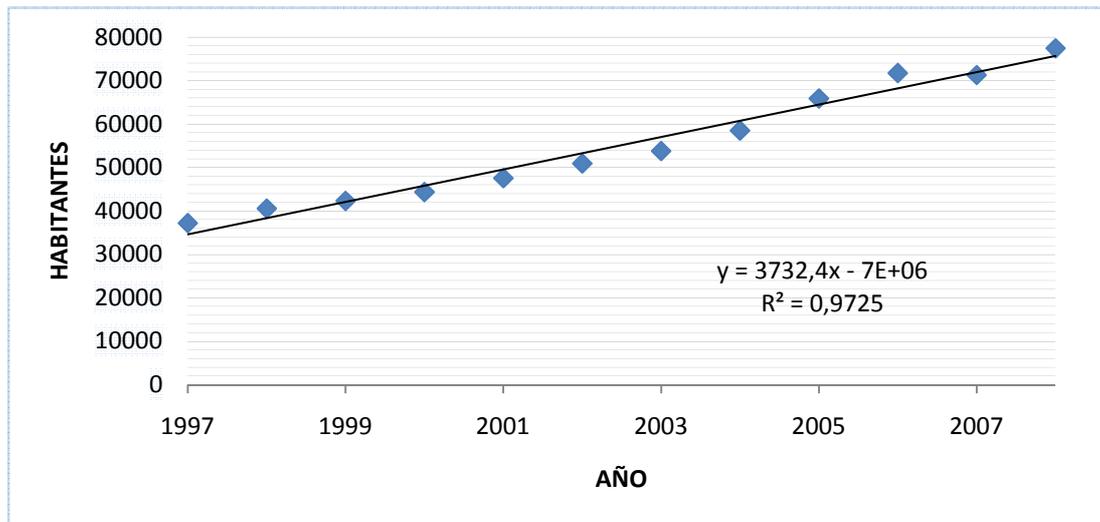


Figura.5.1.2. Representación gráfica de los habitantes con los años

Suponiendo que, la planta va a tener una vida media de 25 años se calcula la población para el año 2.034 y se diseña de acuerdo a la población estimada.

Según la ecuación obtenida en el gráfico, se sabe que $x = 25$ años, obteniendo 157.917 habitantes. El resultado es lógico debido a que se puede observar que durante doce años la población aumenta aproximadamente 40.000 habitantes. Se calculan los habitantes equivalentes multiplicando por 1,2 obteniéndose un resultado de 189.500 habitantes equivalentes para la temporada baja. Se va a estimar 100.000 habitantes más para los dos meses de verano, dando lugar a 289.500 habitantes equivalentes.

Población (habitantes)	Dotación (l/hab·d)
2000	150-200
2000-5000	200-250
50000-500000	250-300
<500000	300-350

Tabla.5.1.3. Dotación con respecto a la población

Observando la *tabla 3.1.3.* y según la población calculada, la dotación estaría entre 250-300 l/hab·d, pero se va a tomar 200 l/hab·d, debido a que en la provincia de Almería la dotación es más pequeña ya que la población está más concienciada con el ahorro del agua.

Conocida la dotación y el número de habitantes equivalentes se halla el caudal medio mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{medio}} \text{ (m}^3\text{/h)} = N^{\circ}\text{hab} \cdot \text{Dot}/1000 \quad \text{Ecuación 1.1.}$$

Conocido el caudal medio se halla el caudal máximo para ambas temporadas:

$$Q_{\text{máximo}} = Q_{\text{medio}} \cdot \left(1,15 + \frac{2,575}{(Q_{\text{medio}})^{0,25}}\right) \quad \text{Ecuación 1.2.}$$

Obteniéndose los siguientes valores:

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
$Q_{\text{medio}} \text{ (m}^3\text{/h)}$	1.580	2.415
$Q_{\text{máximo}} \text{ (m}^3\text{/h)}$	2.460	3.660

La relación del caudal máximo respecto del caudal medio para cada una de las temporadas se encuentra dentro del rango 1,5-2,0 de acuerdo a la documentación. [Tecnologías para la sostenibilidad, procesos y operaciones unitarias en la depuración de aguas residuales].

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
$Q_{\text{máximo}}/Q_{\text{medio}}$	1,56	1,52

5.2. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA Y DE VERTIDO

El agua residual de tipo urbano del municipio de Roquetas de Mar contiene fundamentalmente los siguientes contaminantes con unos valores fijados en función de la población y características del agua a tratar.

	<i>Entrada</i>		<i>Salida</i>	
			<i>A cauce</i>	<i>A reutilización</i>
DBO	70 g/he-d	350 ppm	25 ppm	< 10 ppm
Sólidos en suspensión	75 g/he-d	375 ppm	35 ppm	< 5 ppm
NTK	12 g/he-d	60 ppm	10 ppm	5 ppm
P	4,5 g/he-d	22,5 ppm	1 ppm	1 ppm

Tabla.2.1. Características del agua residual tratada

Los valores de diseño se encuentran dentro de los valores medios que se obtienen para núcleos de población de este tamaño. Los valores de salida, corresponden a los fijados por la legislación vigente, tanto de vertido a cauce como de reutilización en agricultura.

5.3. LÍNEA DE AGUA

1. Pozo de gruesos

El pozo de gruesos es un foso en el que se retienen los sólidos de gran tamaño y alta densidad que podrían afectar al sistema de bombeo posterior.

Tiene como sistema de limpieza, una cuchara bivalva que recoge una cantidad importante de arenas.

El volumen del pozo de gruesos vendrá dado por:

$$\text{Vol. (m}^3\text{)} = \frac{Q_{\text{m}á\text{x}}\left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \times Tr(\text{min})}{60 \left(\frac{\text{min}}{\text{h}}\right)} \quad \text{Ecuación 1.1.}$$

Siendo:

- tiempo de retención de 2 minutos a caudal máximo;
- carga hidráulica con un valor de $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$.

La superficie sería:

$$S (\text{m}^2) = \frac{Q_{\text{m}á\text{x}}\left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{60 \left(\frac{\text{min}}{\text{h}}\right) \times CH \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{min}}\right)} \quad \text{Ecuación 1.2.}$$

De donde se obtiene la altura del mismo:

$$h (\text{m}) = \frac{\text{Vol}}{S (\text{m}^2)} \quad \text{Ecuación 1.3.}$$

Obteniéndose los siguientes resultados:

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Vol (m³)</i>	82	122
<i>S (m²)</i>	41	61
<i>h (m)</i>	2	2

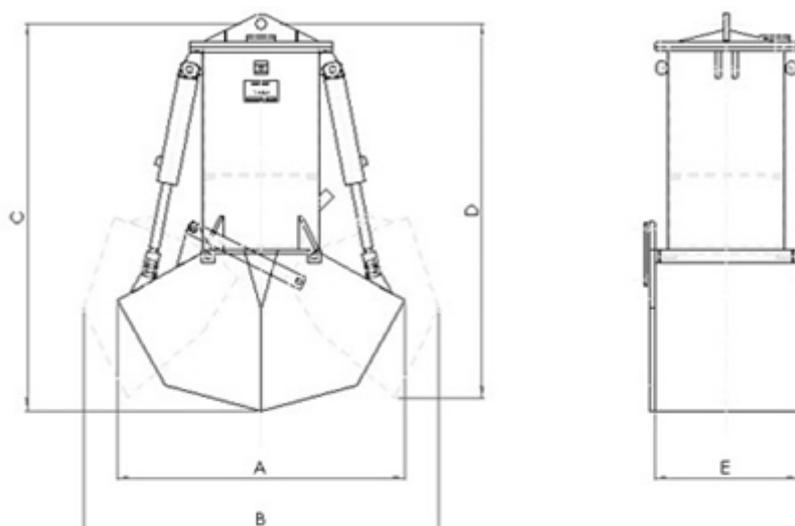
Se instalará un pozo de gruesos de 2 m de altura y una superficie de 61 m², que corresponde al caso más desfavorable (en verano) y, así sirva para todo el año. Ya que este sistema de tratamiento no se va a ver afectado en su rendimiento por la disminución de caudal en invierno.

Las dimensiones serán:

- L₁= 6,85m
- L₂= 8,90 m

➤ **Información técnica de de la cuchara bivalva**

A continuación se incluye el diseño y la información técnica de la cuchara bivalva proporcionada por un suministrador de estos equipos.



TIPO	CAPACIDAD (Litros)	MOTOR (Kw)	PRESIÓN (Bar)	PESO (Kg)	DIMENSIONES (mm)				
					A	B	C	D	E
CP-100	100	1,1	120	450	870	1080	1175	1136	438
CP-150	150	1,5	100	550	956	1250	1275	1162	500
CP-300	300	2,2	100	610	1220	1580	1545	1438	620
CP-500	500	3	120	630	1520	2000	2020	1833	766
CP-600	600	4	100	670	1520	2000	2080	1920	800
CP-900	900	5	100	925	1720	2250	2340	2160	900
CP-1200	1200	7,5	100	1250	1920	2500	2600	2400	1000
CP-1500	1500	7,5	100	1350	2060	2680	2800	2580	1080
CP-1800	1800	10	100	1675	2200	2750	3000	2760	1160

Figura5.3.1. Características de la cuchara bivalva

El pozo de gruesos va a tener una cuchara bivalva, cuyo modelo es CP-300 que tiene las siguientes características:

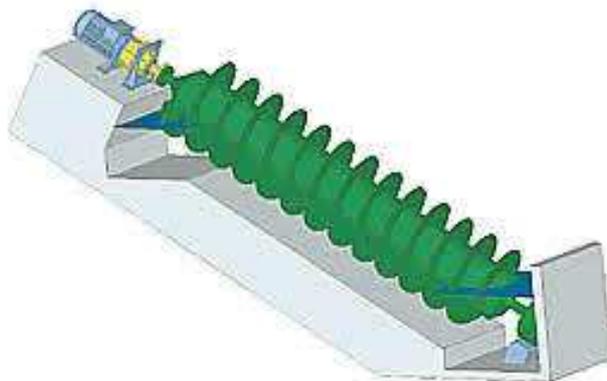
- capacidad de 300 litros,
- potencia motor de 2,2 kW
- presión de trabajo 100 bar

Las dimensiones son de acuerdo con la documentación anterior:

<i>Dimensiones (mm)</i>				
A	B	C	D	E
1.220	1.580	1.545	1.438	620

2. Bombas de alimentación a la instalación :

Se utiliza un sistema de bombeo mediante tornillos de Arquímedes:



Se tiene un caudal máximo para verano de 3.660 m³/h, por lo que, se instalarán 4 bombas (incluida una de reserva) de doble paso con una capacidad de paso de 425 dm³/s, ya que:

<i>Diámetro núcleo interior (mm.)</i>	720
<i>Diámetro exterior (mm.)</i>	1.400

El esquema de funcionamiento sería el siguiente:

- Una bomba hasta caudal medio en invierno.
- Dos bombas caudal máximo en invierno o caudal medio verano.
- Tres bombas caudal máximo en verano.
- Cuarta bomba en reserva de las tres anteriores.

Debido a que las bombas tienen un diámetro exterior de 1.400 mm, y el espaciado entre las mismas será de 250 mm, el dimensionado del pozo de gruesos será:

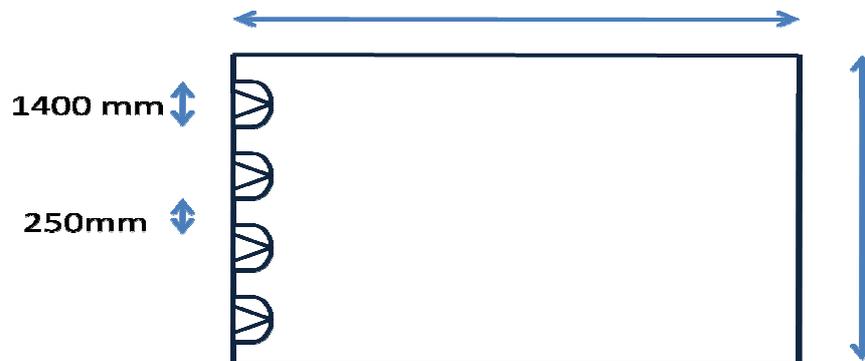
➤ **Longitud L_1 :**

$1400 \text{ mm} \times 4 \text{ bombas} + 250\text{mm} \times 5 \text{ mm (espacios entre bombas)} = 6.850 \text{ mm.}$

➤ **Longitud L_2 :**

Si la superficie total es de 61 m^2 , entonces el valor de la anchura L_2 tendrá un valor de:

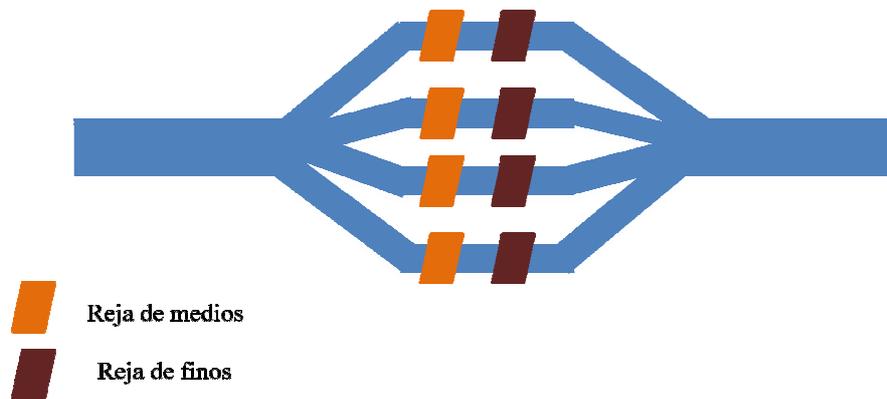
$$L_2 = \frac{61}{7} = 8,90 \text{ m}$$



3. Rejas :

Las rejas son un dispositivo con aberturas generalmente de tamaño uniforme, utilizado para retener los sólidos de cierto tamaño que arrastra el agua residual. Los elementos separadores son barras paralelas de acero inoxidable AISI 314. Asimismo este equipo se utiliza para proteger bombas, válvulas, conducciones y otros elementos contra posibles daños y para evitar que se obstruyan por trapos u objetos de gran tamaño.

En la planta se construirán cuatro canales (uno de reserva), los cuales poseerán respectivamente una reja de medios seguida de una de finos. Todas las rejas serán de tipo automático, salvo las del canal de reserva que serán de tipo manual.



3.1. Reja de medios

Las rejas de medios tendrán una separación entre barrotos o luz de 20 mm, por lo que todos los sólidos mayores a esas dimensiones quedarán retenidos en las mismas.

DIMENSIONADO

Para calcular la superficie se utiliza la siguiente expresión:

$$S = \frac{Q}{V} \times \frac{L+e}{L} \quad \text{Ecuación 3.1.1.}$$

Siendo:

S: superficie, m²

Q: caudal, m³/h

V: velocidad de paso a través de la reja, m/s

Y los parámetros de diseño utilizados:

<i>C: coeficiente de colmatación</i>	0,70
<i>e: espesor del barrote, mm</i>	10,00
<i>L: luz o separación entre barrotos, mm</i>	20,00
<i>L+e/L</i>	1,50

La superficie se calcula tanto para el caudal medio como para el máximo, adoptándose el mayor de los valores obtenidos.

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Nº unidades funcionamiento</i>	2	3
<i>S (m²) para Q_{med}</i>	0,59	0,60
<i>S (m²) para Q_{máx}</i>	0,61	0,61
<i>v_{paso} (m/s) para Q_{med}</i>	0,80	0,80
<i>v_{paso} (m/s) para Q_{máx}</i>	1,20	1,20
<i>D (m)</i>	0,91	0,91
<i>B (m)</i>	0,70	0,70
<i>L(m)</i>	0,91	0,91
<i>Q_{tratado por reja} (m³/h)</i>	790	1.220

➤ *Superficie mojada*

Ya que los equipos se van a colocar formando un ángulo de 80° con la vertical, resulta necesario calcular la superficie mojada:

$$S_{\text{mojada}} (\text{m}^2) = \frac{S (\text{m}^2)}{\text{sen}\alpha} \quad \text{Ecuación 3.1.2.}$$

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Para Q_{med}</i>	0,62	0,63
<i>Para Q_{máx}</i>	0,64	0,64

Siendo α el ángulo de la reja con la solera del canal con el valor de 80°.

Se colocarán unas rejas de medios con las dimensiones obtenidas para la temporada alta. De esta forma en invierno funcionarán, como ya se ha indicado anteriormente, dos de los cuatro canales, utilizando dos rejas de 0,61 m² cada una, y en verano, tres unidades, siendo la cuarta reja reserva de las tres anteriores. Esta cuarta unidad podría ser manual, ya que solo será reserva en los meses de verano, porque en invierno se dispondrá de la tercera reja como reserva.

Se fija una anchura de canal de 0,70 m, que corresponde con las rejas de finos, con la finalidad de que el canal tenga una anchura uniforme y facilite la obra civil.

➤ **Pérdida de carga:**

La pérdida de carga a través de la reja puede ser determinada a partir de la siguiente ecuación:

$$H \text{ (m)} = \frac{v^2 \left(\frac{m}{s}\right) - v^2 \left(\frac{m}{s}\right)}{2x g \left(\frac{m}{s^2}\right) x C} \quad \text{Ecuación 3.1.3.}$$

Siendo:

H: pérdida de carga, m.c.a.

v: velocidad del agua en el canal, m/s

V: velocidad del agua de paso en la reja, m/s

g: gravedad, m/s²

C: coeficiente de colmatación

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Para Q_{med}</i>	0,03	0,05
<i>Para Q_{máx}</i>	0,09	0,11

3.2. *Rejas de finos*

Las rejas de finos tendrán una luz de 8mm.

Los parámetros de diseño utilizados son, en este caso:

<i>C: coeficiente de colmatación</i>	0,70
<i>e: espesor del barrote, mm</i>	8,00
<i>L: luz o separación entre barrotes, mm</i>	8,00
<i>L+e/L</i>	2,00

La superficie se calcula igual que en el caso anterior, y los datos obtenidos son los siguientes:

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Nº unidades funcionamiento</i>	2	3
<i>S (m²) para Q_{med}</i>	0,78	0,80
<i>S (m²) para Q_{máx}</i>	0,81	0,81
<i>v_{paso} (m/s) para Q_{med}</i>	0,80	0,80
<i>v_{paso} (m/s) para Q_{máx}</i>	1,20	1,20
<i>D (m)</i>	1,13	1,12
<i>B (m)</i>	0,76	0,75
<i>L(m)</i>	1,139	1,128
<i>Q_{tratado por cada reja} (m³/h)</i>	790	1.220

➤ **Superficie mojada:**

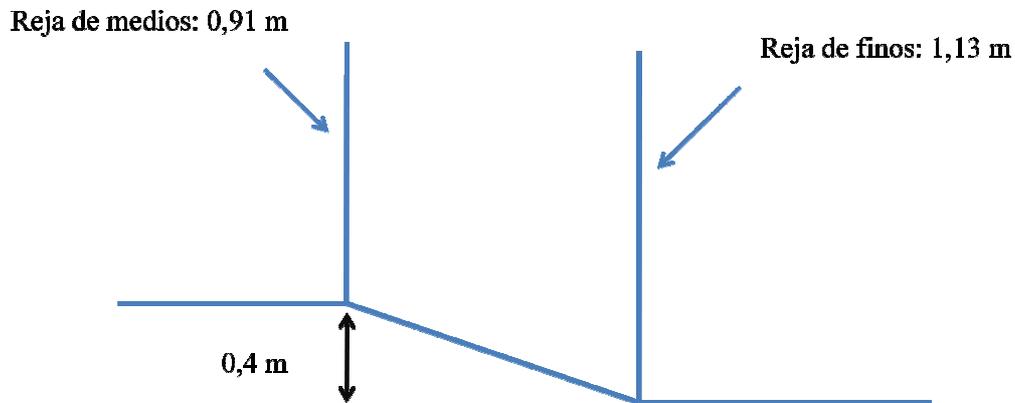
Dado que la inclinación de las rejillas es de 80°, es necesario calcular la superficie mojada:

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Para Q_{med}</i>	0,82	0,84
<i>Para Q_{máx}</i>	0,86	0,85

Al igual que en el caso anterior se instalarán las rejillas de mayor superficie, que coinciden con las rejillas de verano. Así mismo, a la vista de los resultados, funcionarán dos unidades en invierno y tres en verano, con una rejilla manual de reserva. Las rejillas tendrán una superficie cada una de ellas de 0,81 m².

➤ **Perdida de carga:**

A medida que los sólidos, mayores de 20 mm (en las rejillas de medios) y 8 mm (en las rejillas de finos) quedan retenidos en las respectivas rejillas van generando **un cierto grado de colmatación de la superficie de paso**, afectando al agua residual entrante, y creando por tanto, una **mayor** pérdida de carga. Esta pérdida se medirá mediante un medidor de nivel en el canal indicando cuando se debe realizar la limpieza de las rejillas, para evitar el desbordamiento del canal y restablecer las condiciones normales de funcionamiento. Por esta razón se debe construir un pequeño escalón de 0,4 m que viene dado por la siguiente ecuación de pérdida de carga.



$$\Delta P = (1,13 - 0,91) + 0,22 = 0,44 \text{ metros.}$$

El sistema de limpieza va a ser automático excepto en el canal de reserva para verano que será de limpieza manual, ya que en invierno la reserva será realizada por el canal de verano parado durante la época invernal.

Los residuos se evacuarán en contenedores de escombros para la construcción cedidos por el Excelentísimo Ayuntamiento de Roquetas del Mar.

4. Desarenador:

El desarenador instalado es de tipo aireado y se coloca a continuación del desbaste; con el fin de eliminar los sólidos de suspensión de densidad elevada, por los graves problemas que estos contaminantes pueden ocasionar a las instalaciones.

Se pretende que se eliminen todos aquellos sólidos en suspensión con un peso específico igual o superior de 2,65 y un tamaño de partícula superior a 0,15-0,2 mm.

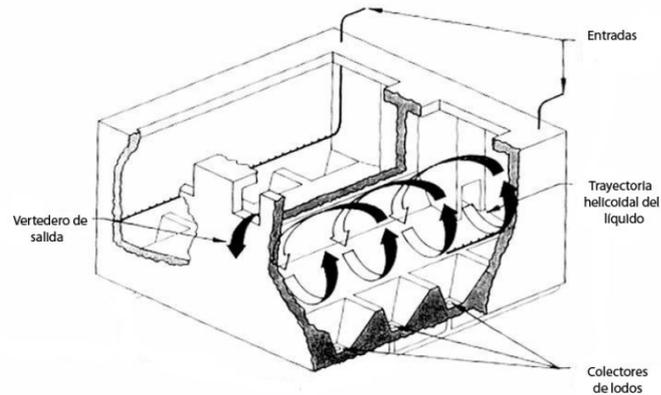


Figura 5.3.4.1. Modelo de flujo helicoidal en un desarenador aireado.

En los desarenadores aireados, las arenas se remueven por causa del movimiento en espiral que realiza el agua residual. Debido a su masa, las partículas de arena se aceleran y abandonan las líneas de flujo hasta que en últimas alcanzan el fondo del tanque, ya que el flujo en espiral es un campo con aceleración variable inducido por el aire inyectado.

La velocidad de giro o agitación determina las partículas removidas de acuerdo con su gravedad específica. Si la velocidad es excesiva, las partículas de arena serán arrastradas fuera del desarenador; por otra parte, a velocidades bajas se promueve la remoción de material orgánico particulado. Con ajuste apropiado de las condiciones de operación es posible obtener un 100% de remoción para un tamaño de partícula determinado y conseguir arena muy limpia. La sección transversal se diseña para crear un flujo en espiral, por eso incluye un canal colector de arenas de unos 0,9 m de profundidad, con paredes laterales muy inclinadas, ubicado a lo largo del fondo del tanque justo debajo de los difusores de aire. Los difusores se ubican entre 0,45 y 0,6 m por encima del fondo del tanque. Para mejorar la eficiencia en la remoción de arenas se ubican deflectores tanto a la entrada como a la salida y así ejercer un control hidráulico sobre el elemento.

DIMENSIONADO

Para el dimensionado de este equipo se fijan los valores de carga hidráulica y tiempo de retención:

- para caudal máximo: $T_R=10\text{min.}$ y $C.H.= 25 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hora}$
- y para caudal medio: $T_R= 15\text{min}$ y $C.H. = 15 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hora}$

La superficie horizontal del equipo viene dada por la siguiente expresión:

$$S_h (\text{m}^2) = \frac{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{C.H. \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}\right)} \quad \text{Ecuación 5.4.1.}$$

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
$V(\text{m}^3) Q_{med}$	395	603
$V(\text{m}^3) Q_{máx}$	410	610
$S (\text{m}^2) Q_{med}$	105	161
$S (\text{m}^2) Q_{máx}$	98	146
$L (m) \text{ cada uno}$	18	18
$h (m)$	3,9≈4,0	3,8≈ 4,0
$Anchura (m)$	4,5	4,5
$Q_{aire} (\text{m}^3/\text{h})$	615,27	904,69

Se van a emplear dos desarenadores-desengrasadores en la planta. Trabajando en invierno igualmente las dos unidades, ya que a este equipo no le afectan las variaciones de caudal, siempre que sean menores que las de diseño.

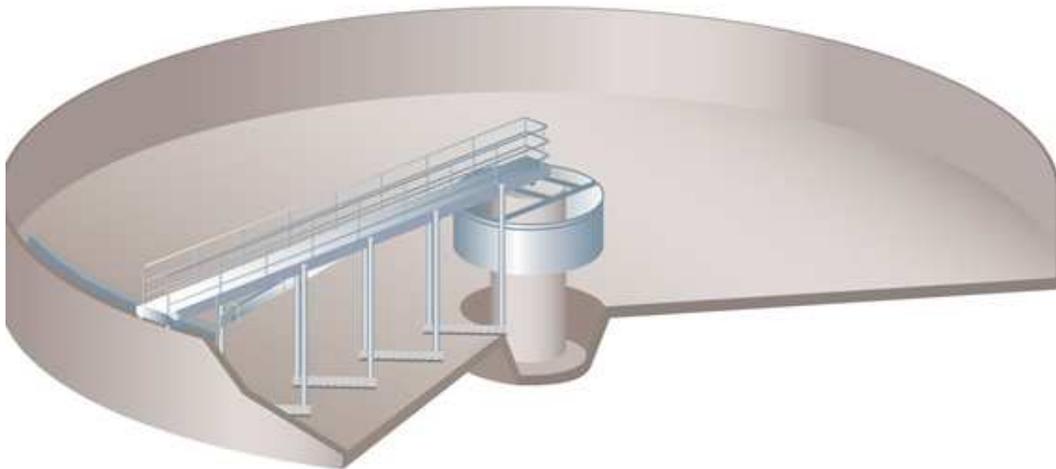
Las dimensiones del desarenador serán las correspondientes a las obtenidas en la temporada alta.

- **Volumen real**= 4m (h)x 18m (L)x4,5m (A)=324m³
- **Caudal de aire**=324m³x 1,5=486m³/h
- **Difusores tipo tubo**: 10-12 m³/h; por lo que, $\frac{486\text{m}^3/\text{h}}{10\text{m}^3/\text{h}}=49$ difusores

18m de longitud/49 difusores= 0,36 m cada difusor = 36 cm.

5. Decantador primario:

El decantador primario tiene como finalidad la eliminación de los sólidos en suspensión presentes en un agua residual, obteniéndose un líquido claro sobrenadante en la superficie del equipo y unos sólidos que son extraídos en forma de fangos, con una concentración más o menos elevada por el fondo.



DIMENSIONADO

El área del decantador viene dada por:

$$S_h \text{ (m}^2\text{)} = \frac{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{V \left(\frac{\text{m}}{\text{h}}\right)} \quad \text{Ecuación 5.1.}$$

Siendo:

S_h : superficie (m²)

Q : caudal (m³/h)

V_c : velocidad ascensional del agua, o carga hidráulica (m/h) con valores entre 1,5- 2,5 m³/m²·h

En función del tiempo de retención hidráulico, es posible calcular el volumen del tanque:

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times T_R \text{ (h)} \quad \text{Ecuación 5.2.}$$

Siendo:

Vol : volumen del decantador, m³

Q : caudal, m³/h

T_R : tiempo de retención, que estará comprendido entre 1,5 -2,5 horas.

Y también su altura:

$$h \text{ (m)} = \frac{\text{Vol}(\text{m}^3)}{S h \text{ (m}^2\text{)}} \quad \text{Ecuación 5.3.}$$

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Nº unidades funcionamiento</i>	2	3
<i>V(m³) Q_{medio}</i>	1.974	2.008
<i>V(m³) Q_{max}</i>	1.846	1.812
<i>S (m²)Q_{medio}</i>	526	536
<i>S (m²)Q_{max}</i>	492	488
<i>d(m)</i>	26	26
<i>h (m)</i>	3,75	3,75
<i>Caudal unidad (m³/h)</i>	790	805

Se observa que la altura de los decantadores se encuentra dentro de 2,5-4 m. Se van a instalar tres decantadores primarios de superficie 536 m² y un volumen de 2.008 m³. Con una altura de 3,75 m cada equipo y un diámetro de 26 m. La forma de trabajo será de tres unidades operativas durante el verano y dos en invierno.

La salida del agua clarificada se realiza por la superficie del tanque, a través de un vertedero periférico, mientras que la extracción de los fangos se lleva a cabo por el fondo, mediante unas rasquetas que desplazan los lodos hasta una poceta central, desde donde son llevados a la línea de fangos para su estabilización.

En el decantador primario se va a producir la eliminación de 2/3 de los sólidos en suspensión presentes, lo que supone:

$$375 \times 2/3 = 250 \text{ ppm}$$

La cantidad de sólidos purgados diariamente será:

$$\text{➤ } 250 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1.580 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{24\text{h}}{1\text{d}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \times \frac{1.000\text{L}}{1\text{m}^3} = 9.475 \text{ Kg/d en invierno.}$$

Estos fangos serán llevados a la línea de fangos para ser tratados en el espesador por gravedad, que es donde se tratan los fangos procedentes del decantador primario.

$$\text{➤ } \text{Y } 250 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 2.415 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{24\text{h}}{1\text{d}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \times \frac{1.000\text{L}}{1\text{m}^3} = 14.475 \text{ Kg/d en verano.}$$

Por lo que los sólidos en suspensión que pasan al reactor biológico:

$$375\text{ppm}-250\text{ppm}=125\text{ppm}$$

La DBO eliminada en esta etapa va a ser 1/3:

$$\text{DBO}_{\text{eliminada}} = \text{DBO}_{\text{influyente}} \times \%_{\text{DBO decantada}} = 350 \text{ ppm} \times 1/3 = 117 \text{ ppm}$$

$$\text{➤ } 117 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1.580 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{24\text{h}}{1\text{d}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \times \frac{1.000\text{L}}{1\text{m}^3} = 4.422 \text{ Kg/d en invierno}$$

$$\text{➤ } 117 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 2.415 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{24\text{h}}{1\text{d}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \times \frac{1.000\text{L}}{1\text{m}^3} = 6.755 \text{ Kg/d en verano}$$

ppm – 117 ppm = **233 ppm** es la cantidad de DBO_5 que pasa al reactor biológico.

6. Reactor biológico:

En el sistema biológico se eliminará la fracción de materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. Para ello se empleará procesos aerobios, concretamente el proceso de lodos o fangos activos cuyo objetivo es estabilizar la materia orgánica biodegradable mediante la producción de una masa activa de microorganismos.

Así mismo el agua residual se tratará mediante un reactor de aireación prolongada u oxidación total. Este mecanismo permite trabajar con cargas másicas muy bajas, obteniéndose en consecuencia unos rendimientos elevados, produciéndose la nitrificación del nitrógeno amoniacal presente en el agua residual, lo cual cumple el objetivo de obtener un agua regenerada para el riego agrícola.

Otra ventaja de la utilización de este proceso es que se obtienen unos fangos muy mineralizados, lo que facilita el tratamiento posterior de los mismos.

El rendimiento del reactor biológico viene dado por:

$$\eta = 100 - \frac{100 \times \text{DBO}_{\text{out}}}{\text{DBO}_{\text{in}}} \quad \text{Ecuación 6.1.}$$

$$\text{➤ } \textit{Para invierno} \quad \eta = 100 - \frac{100 \times 948 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{d}}\right)}{9.475 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{d}}\right)} = 89,9\%$$

$$\text{➤ } \textit{Para verano} \quad \eta = 100 - \frac{100 \times 2.196 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{d}}\right)}{14.475 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{d}}\right)} = 84,8\%$$

Teniendo en cuenta que la DBO en la salida es de 25 ppm, y de acuerdo con el valor de la entrada, el rendimiento teórico del sistema para la temporada baja sería 90%, lo que supondría una carga másica de 0,3. En cambio para la temporada alta el rendimiento será de 84,8 con una carga másica de 0,7, (extrapolando).

Ahora bien, como se precisa tener nitrificación desnitrificación, es preciso trabajar en oxidación total, que marca una carga másica del 0,15 (**CM=0,15 (kgDBO/d/kg MLSS)**). Y un rendimiento de eliminación de DBO del 92,5 %, con lo que la DBO en la salida del sistema biológico será de 18 ppm.

El diseño del reactor de oxidación total viene definido por:

➤ Para verano:

$$\text{Vol (V)} = \frac{L \left(\frac{\text{Kg}}{\text{d}} \right)}{\text{CM} \times X \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = \frac{13.510 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{d}} \right)}{0,15 \times 5,20 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 17.320 \text{ m}^3 \quad \text{Ecuación 6.2.}$$

$$\text{T}_R \text{ (h)} = \frac{V \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)} = \frac{17.320 \text{ m}^3}{2.415 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)} = 7,18 \text{ h} \quad \text{Ecuación 6.3.}$$

$$\text{Carga Volumétrica (CV)} = \frac{L \left(\frac{\text{Kg}}{\text{d}} \right)}{V \left(\text{m}^3 \right)} = \frac{13.510 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{d}} \right)}{17.320 \text{ m}^3} = 0,78 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3 \times \text{d}} \quad \text{Ecuación 6.4.}$$

➤ Para invierno:

Donde L son los Kg/día de DBO que queda en el agua residual tras la primera decantación y habiendo adoptado una concentración de biomasa en el reactor de 5.200 ppm.

Debido a la necesidad que requiere la calidad del agua regenerada es necesaria la eliminación del nitrógeno, a través de un proceso de nitrificación-desnitrificación, se consigue por sistemas biológicos empleando variantes de los sistemas de fangos activos.

Se basa en dos fases sucesivas:

- La primera consiste en transformar el nitrógeno orgánico y amoniacal del tanque de aireación en nitratos, cosa que se consigue al poner en contacto el agua residual y fangos activos con oxígeno disuelto, después de un tiempo unas bacterias se encargan de llevar a cabo esta transformación.

- Una segunda fase se encarga de desnitrificar el agua, en este caso sin presencia de oxígeno disuelto, para facilita que los nitratos sean transformados a compuestos gaseosos de nitrógeno, nitrógeno gas y óxidos de nitrógeno, que serían liberados espontáneamente a la

atmósfera. La desnitrificación se produce gracias a unas bacterias que, ante la falta de oxígeno disuelto en el agua son capaces de usar los nitratos y nitritos para respirar.

El volumen del reactor biológico es

- $Vol = 17.320m^3$,
- $Vol\ zona\ anóxica = 3.464m^3$,

es decir, el 20% del total del volumen del reactor, se emplearán para la zona anóxica.

Por otra parte como se trata de un proceso de de lodos activos, una parte de la materia orgánica eliminada por el sistema, se usa en la síntesis de nuevos microorganismos. Esto supone una generación de sólidos en suspensión que son eliminados como fangos en el decantador secundario. De esta manera para mantener el sistema en equilibrio, es necesario purgar el sistema. Los fangos que hay que purgar, corresponden por tanto a la biomasa generada en el tiempo de reacción del mezclador.

La cantidad de Fangos a purgar viene dada por la formula de Huisken:

$$\text{Fangos a purgar (AS)} = 1,2 \times L_e \times CM^{0,23} = 1,2 \times 12.496,75 \times 0,15^{0,23} = 9.693,47 \frac{Kg}{d}$$

Donde L_e corresponde a la DBO eliminada en el proceso en Kg/día considerando un rendimiento real del 92,5%.

Así el caudal de fangos a purgar será:

$$Q_{purga} = \frac{9.693,47 \times 100}{0,6 \times 1.000 \times 24} = 67,32 \frac{m^3}{h} \quad \text{Ecuación 6.5.}$$

El caudal que se recircula se define por:

$$(Q + Q_R) \times 5,2 = Q_R \times 6$$

$$(2413 + Q_R) \times 5,2 = Q_R \times 6$$

$$Q_R = 15.697,5 \frac{m^3}{h}$$

Para finalizar, a la salida del tratamiento biológico y del decantador secundario, se tendrá el caudal de fangos que se muestra en la siguiente tabla. Estos fangos se mandarían a la línea de tratamiento de fangos, que se explicará posteriormente.

Kg fango / día	
Decantador 2º	9.693,47

Para invierno el reactor tendrá las mismas dimensiones que en el reactor de verano, pero lo que cambiará será la carga másica (CM=0,15), y la concentración de MLVSS en el reactor (X=0,29 Kg/m³).

Los parámetros de funcionamiento para invierno serán por tanto:

<i>L (kg/día)</i>	8.843
<i>Tiempo de Residencia (h)</i>	14,36
<i>Carga Volumétrica (Kg/m3 d)</i>	0,39
<i>AS (kg/d) Fangos a purgar</i>	6.173
<i>Le ((kg/d)</i>	7.958
<i>Qpurga (m3/h)</i>	42,87
<i>Q recirculación (m3/h)</i>	3.158

➤ **Aireación del reactor:**

$$OR(Kg/d) = 1,2 \cdot a \cdot L \cdot \frac{R}{100} + b \cdot V \cdot X + 4,57 \cdot Ln \quad \text{Ecuación 6.6.}$$

Para la aireación de la balsa se elige instalar difusores de tipo cerámico de burbuja fina, a elegir entre los de tipo domo, tubo o membrana. Se van a elegir difusores de tipo domo. A continuación se calcula el número de difusores a instalar:

<i>OR</i>	18.989,52 KgO ₂ /d
<i>Porcentaje en peso del O₂ en el aire</i>	23 %
<i>Densidad del aire</i>	1,3 Kg/m ³
<i>Transferencia de O₂ para una balsa de 6 m de altura</i>	40%
<i>Eficacia real de transferencia de O₂ en aguas residuales</i>	60%
<i>Aire inyectado por un difusor tipo domo</i>	1-5 m ³ /h (4 m ³ /h)



Oxígeno a inyectar	$791,23/(0,6 \cdot 0,4) = 3.297 \text{KgO}_2/\text{h}$
Aire a inyectar	$3.297 \cdot 100/23 = 14.334 \text{Kg/h}$
	$1.4334 / 1,3 = 11.026 \text{m}^3/\text{h}$
Número de inyectoros tipo domo	2.757

Como se ha mencionado anteriormente se instalará un único reactor biológico con las siguientes dimensiones:

Volumen (m3)	17.320
Superficie (m2)	2886,76
Lado (m)	80
Ancho (m)	36
Altura (m)	6

El reactor se dividirá en tres canales, de 12 metros de ancho cada uno de ellos, y cada uno dispondrá de un porcentaje diferente de difusores:

- en el primer canal, que corresponde justo a la entrada del agua residual procedente del decantador primario se colocarán el 42% del total, que corresponde a un total de 1.158 difusores;
- en el segundo canal se colocará el 34 %, que implica un total de 937 difusores;
- y el último canal, contará con 661 difusores, es decir un 24%.

La distribución de los difusores es la siguiente:

- En el primer canal:

$$6x^2 = 1.158; x = \sqrt{\frac{1.158}{6}}; x=14 \text{filas}$$

$$6x=84 \text{ columnas}$$

- En el segundo canal:

$$6x^2 = 937; x = \sqrt{\frac{937}{6}}; x=13 \text{filas}$$

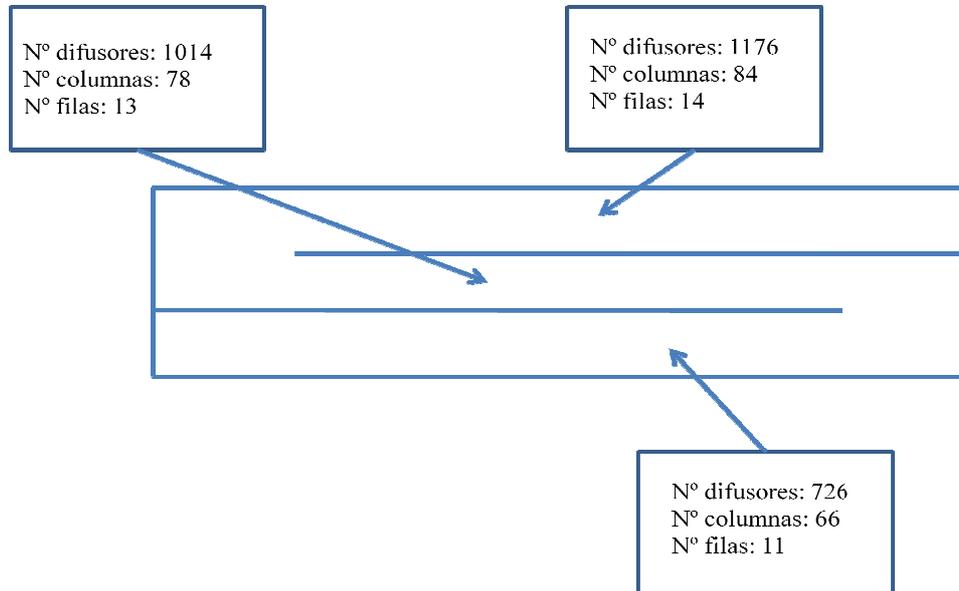
$$6x=78 \text{ columnas}$$

- En el tercer canal:

$$6x^2 = 661; x = \sqrt{\frac{661}{6}}; x=11 \text{filas}$$

$$6x=66 \text{ columnas}$$

De este modo se obtiene un total de 2.916 difusores reales.



7. Decantador secundario :

Tras el tratamiento biológico, es necesario decantar los sólidos en suspensión restantes, para ello se utilizará decantadores circulares, utilizando el mismo procedimiento que se ha seguido para diseñar los decantadores primarios.

Por lo que se obtiene:

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>N° de decantadores</i>	2	3
<i>Q tratado (m³/h)</i>	790	805
<i>V(m³) medio</i>	4.343	4.418,5
<i>S (m²) medio</i>	1.579	1.606,7
<i>h (m)</i>	2,75	2,75
<i>Diámetro (m)</i>	44,9	45,24

➤ En invierno:

Como la altura debe de ser como mínimo de 3 metros el volumen real del decantador será por tanto de 4.737, 5 m³.

➤ **En verano:**

Como sucede en el primer caso, la altura debe de ser como mínimo de 3 metros por lo que el volumen real del decantador será de 4.820,175 m³. Así mismo para verano se utilizarán tres decantadores (dos de ellos para invierno y el tercero para temporada alta).

Se instalarán tres unidades con las dimensiones de la temporada alta, de tal forma que en invierno solamente se utilizarán dos unidades y en verano los tres decantadores.

5.4. LÍNEA DE TRATAMIENTO DE FANGOS

El tratamiento de fangos se lleva a cabo mediante los siguientes procesos:

1. **Espesamiento:**

Los lodos que se purgan en los diferentes procesos de la depuradora, presentan una concentración muy baja en sólidos en suspensión, siendo preciso su concentración previa a cualquier tratamiento posterior, con el fin de reducir su volumen y facilitar los trabajos posteriores.

Los sistemas de espesamiento utilizados dependen el tipo de fango de que se trate, así los fangos procedentes de la decantación primaria se espesan por gravedad, mientras que los fangos biológicos lo hacen por flotación.

DATOS DE PARTIDA:

➤ ***Caudales de purga:***

	<i>Datos Invierno</i>		<i>Datos Verano</i>	
<i>Qpurga₁</i>	474 m ³ /d	20 m ³ /h	724 m ³ /d	30 m ³ /h
<i>Qpurga₂</i>	1.057 m ³ /d	44 m ³ /h	1.616 m ³ /d	67m ³ /h
<i>Qpurga total</i>	1.513 m ³ /d	64 m ³ /h	2.334 m ³ /d	97m ³ /h

Qpurga₁= caudal de purga del decantador primario

Qpurga₂ = caudal de purga sistema biológico

➤ ***Fangos purgados:***

	<i>Datos Invierno</i>	<i>Datos Verano</i>
<i>A₁</i>	9.475 kg/d	14.475 kg/d
<i>A₂</i>	6.345 kg/d	9.693 kg/d
<i>Atotal</i>	15.820 kg/d	24.168 kg/d

A₁= fangos purgados del decantador primario

A₂=fangos purgados del sistema biológico

1.1. Espesamiento por gravedad

Se lleva a cabo en unos tanques de forma cilíndrica y terminados en su parte inferior de forma cónica. Por el fondo se obtiene el fango espesado y, por la superficie, un líquido clarificado que se envía a cabeza de tratamiento.

<i>C.M. (Kg/m²*d)</i>	70
<i>T_R (h) para verano</i>	24
<i>T_R (h) para invierno</i>	30

DIMENSIONADO

La superficie del equipo se determina mediante la cantidad de fangos purgados, (A, Kg/d), y la Carga de Sólidos (C.S., Kg/m²*d):

$$S \text{ (m}^2\text{)} = \frac{A \left(\frac{\text{Kg}}{\text{d}}\right)}{CS \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{d}}\right)} \quad \text{Ecuación 1.1.1.}$$

El volumen de la unidad vendrá dado por:

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times T_R \text{ (h)} \quad \text{Ecuación 1.1.2.}$$

Siendo:

Q= caudal, m³/h

T_R = tiempo de retención, horas

A partir del volumen y de la superficie se determina la altura:

$$H \text{ (m)} = \frac{\text{Vol (m}^3\text{)}}{S \text{ (m}^2\text{)}} \quad \text{Ecuación 1.1.3.}$$

Por último, el diámetro se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S \text{ (m}^2\text{)} = \pi \times r^2$$

$$r = d/2$$

$$\longrightarrow \quad d = \sqrt{\frac{4 \times S \text{ (m}^2\text{)}}{\pi}}$$

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>S (m²)</i>	135	207
<i>Vol (m³)</i>	592	724
<i>h (m)</i>	4,40	3,5
<i>d (m)</i>	13	16

Las dimensiones finales de este equipo serán las de verano, ya que no se va a ver afectado por el aumento el tiempo de retención.

Para evitar malos olores, se construirá cerrado.

La concentración de los fangos a la salida de este espesador es de aproximadamente un 6%, por lo que:

$$9.475 \frac{\text{Kg}}{\text{d}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1.000\text{Kg}} \times \frac{100}{6} = 158 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \text{ en invierno}$$

$$14.475 \frac{\text{Kg}}{\text{d}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1.000\text{Kg}} \times \frac{100}{6} = 241 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \text{ en verano}$$

1.2. Espesador por flotación

Se utiliza para el espesado de los fangos procedentes del sistema biológico, en los que los sólidos presentes tienen una densidad baja.

➤ **Para invierno:**

$$6.345 \text{ Kg/d} \times \frac{1\text{d}}{24 \text{ h}} = 264,38 \text{ Kg/h}$$

$$264 \text{ Kg/h} \times 0,04\text{Kg aire/Kg}_{\text{SS}} = 10,56\text{Kg aire/h}$$

Para una temperatura de 15°C la solubilidad del aire en el agua es de 20,75 ppm (calculado mediante interpolación), y dado que se trabaja a una presión de 5 kg, se tiene:

$$20,75\text{ppm} \times 5\text{Kg} = 103,75 \times 0,6(\text{solubilidad agua residual}) = 62,25 \text{ g/m}^3 = 0,06225 \text{ Kg/m}^3$$

$$\frac{10,56 \frac{\text{Kg aire}}{\text{h}}}{0,06225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 169,64 \text{ m}^3/\text{h} \approx 170 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\mathbf{Q_{\text{purga}_2} + Q_{\text{recirculación}} = 44 \text{ m}^3/\text{h} + 170 \text{ m}^3/\text{h} = 214 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Se utilizan como parámetros fijos para diseñar el flotador:

- el tiempo de retención, que será de 60 minutos;
- y la Carga Hidráulica, que tomará un valor de $2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.



	<i>Temporada baja</i>
<i>S (m²)</i>	85,60
<i>Vol (m³)</i>	214
<i>h (m)</i>	2,5
<i>d(m)</i>	10,44

➤ Para verano:

$$9.693 \text{ Kg/d} \times \frac{1d}{24 h} = 403,87 \text{ Kg/h}$$

$$404 \text{ Kg/h} \times 0,04 \text{ Kg aire/Kg SS} = 16,16 \text{ Kg aire/h}$$

$$\frac{16,16 \frac{\text{Kg aire}}{h}}{0,06225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 258,60 \text{ m}^3/\text{h} \approx 260 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{purga}_2} + Q_{\text{recirculación}} = 67 \text{ m}^3/\text{h} + 260 \text{ m}^3/\text{h} = 327 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se utilizan los mismos parámetros que en el caso anterior, que son:

- un tiempo de retención de 50 minutos;
- y una Carga Hidráulica, que tomará un valor de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.

	<i>Temporada alta</i>
<i>S (m²)</i>	109
<i>Vol (m³)</i>	271
<i>h (m)</i>	2,5
<i>d(m)</i>	12

Se instalará un espesador por flotación para el caso más desfavorable, que en este caso será el calculado para la época estival, por lo tanto, sus dimensiones serán:

- **Altura:** 2,5 m
- **Diámetro:** 12 m

A la salida de este espesador, los fangos presentan una concentración del 3%:

- Para invierno: $6.345 \frac{Kg}{d} \times \frac{1 m^3}{1.000Kg} \times \frac{100}{3} = 211,5 \frac{m^3}{d}$
- Para verano: $9.693 \frac{Kg}{d} \times \frac{1 m^3}{1.000Kg} \times \frac{100}{3} = 323 \frac{m^3}{d}$

Una vez espesados de forma independiente ambos fangos, se juntan para tratamientos posteriores.

- $158 \frac{m^3}{d} + 211,5 \frac{m^3}{d} = 369,5 \frac{m^3}{d}$ en invierno
- $241 \frac{m^3}{d} + 323 \frac{m^3}{d} = 564 \frac{m^3}{d}$ en verano

2. Estabilización:

Con este proceso, lo que se pretende es estabilizar o destruir la materia orgánica biodegradable presente en los fangos espesados, con el fin de conseguir su estabilidad.

Se va a llevar a cabo mediante una digestión de tipo anaeróbico, en la que además de obtener un fango estabilizado, como producto final se va a obtener biogás.

El biogás es un gas combustible que contiene principalmente metano, y otra serie de gases en mucha menos medida, además presenta un poder calorífico importante, que podrá ser utilizado para la obtención del calor necesario para mantener los digestores a una temperatura adecuada, entre los 34-38°C.

Se van a utilizar dos tipos de digestores:

1. **Digestor primario:** digestor de mezcla completa, provisto de calefacción y agitación. Se utilizan tres unidades con un tiempo de retención de 10 días en cada una de ellos.
2. **Digestor secundario:** sin calefacción ni agitación, para que tenga lugar el espesamiento de los sólidos, que se retiran por el fondo, y la finalización de la digestión. Por superficie, se obtiene un sobrenadante que se envía a cabecera de la EDAR. Se utiliza una unidad con un tiempo de retención de 10 días.

DIMENSIONADO

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times T_R \text{ (h)}$$

Ecuación 2.1.

$$T_R = 10 \text{ días}$$

$$\text{En invierno: Vol (m}^3\text{)} = 369,5 \frac{m^3}{d} \times 10 \text{ d} = 3.695 \text{ m}^3$$

$$\text{En verano: Vol (m}^3\text{)} = 564 \frac{m^3}{d} \times 10 \text{ d} = 5.640 \text{ m}^3$$

Se instalarán, por tanto, cuatro digestores de aproximadamente 3.700 m^3 , de los cuales, 3 serán de tipo primario y uno de tipo secundario. Durante el invierno, únicamente funcionarán dos de los digestores primarios, además del secundario, y durante la temporada alta, se trabajará con los cuatro digestores.

➤ **Temporada baja:**

Entran $15.820 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}}$, de los cuales el 70% es materia orgánica:

$15.820 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}} \times \frac{70}{100} = 11.074 \frac{\text{Kg materia orgánica}}{\text{día}}$ de los cuales, el 45 % se va a eliminar en forma de sólidos volátiles en suspensión:

$$11.074 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}} \times \frac{45}{100} = 4.983 \frac{\text{Kg materia orgánica}}{\text{día}} \text{ eliminada}$$

En invierno, los fangos que salen del estabilizador son:

$$11.074 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}} - 4.983 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}} = \mathbf{6.091} \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}}$$

Por cada Kg de materia orgánica eliminada se obtienen 900 litros de biogás, por lo tanto, el metano producido será:

$$5.537 \frac{\text{Kg materia orgánica}}{\text{día}} \text{ eliminada} \times 900 \text{ L biogás} = 4.983.300 \text{ L biogás}$$

$$4.983.300 \text{ L biogás} \times 5.200 \text{ Kcal} = 4.484.970.000 \text{ Kcal}$$

➤ **Temporada alta:**

De los $24.168 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}}$ que entran, si el 70% es materia orgánica:

$$24.168 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}} \times \frac{70}{100} = 16.918 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}} \text{ y de esta, se elimina el 45\% en forma de SSV}$$

entonces:

$$16.918 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}} \times \frac{45}{100} = 7.613 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}} \text{ eliminada}$$

El biogás producido será entonces:

$$7.613 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}} \text{ eliminada} \times 900 \text{ L de biogás} = 6.851.700 \text{ L de biogás}$$

$$6.851.700 \text{ L de biogás} \times 5.200 \text{ Kcal} = 35.628.840.000 \text{ Kcal.}$$

Por lo que, $24.168 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}} - 7.613 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}} = 16.555 \frac{\text{Kg fangos}}{\text{día}}$ son los fangos que salen del equipo de estabilización.

Si los fangos que salen el digestor-espesador, presentan una concentración del 6%, esto quiere decir que el 94% restante es agua. A partir de estos datos se podrá calcular el caudal de agua que se envía a cabecera de planta.

3. Deshidratación:

Los fangos una vez espesados, y estabilizados deben ser deshidratados hasta una concentración que permita su evacuación en fase sólida mediante un camión.

Los sistemas de deshidratación van a trabajar únicamente 8 horas al día durante 5 días a la semana.

➤ Temporada baja:

$$10.837 \text{ kg/d} \times 1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ kg} \times 100 / 6 = 181 \text{ m}^3 / \text{d}$$

$$181 \text{ m}^3 / \text{d} \times 7 \text{ d} = 1.267 \text{ m}^3 \text{ a la semana}$$

$1.267 \text{ m}^3 / 40 \text{ horas} = 31,68 \text{ m}^3 / \text{h}$, este es el caudal que se deshidrata a la hora en el sistema.

➤ Temporada alta:

$$16.555 \text{ Kg/d} \times 1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ Kg} \times 100 / 6 = 276 \text{ m}^3 / \text{d}$$

$$276 \text{ m}^3 / \text{d} \times 7 \text{ d} = 1.931 \text{ m}^3 \text{ a la semana}$$

11 horas al día x 5 días a la semana = 55 horas a la semana

$$1.931 \text{ m}^3 / 55 \text{ horas} = 35,11 \text{ m}^3 / \text{h}$$

La deshidratación se lleva a cabo en dos centrífugas de capacidad 20 m³/h cada una.

En verano se trabajan 11 horas al día en lugar de 8 como se hace en invierno. En caso de que se averíe una de las centrífugas durante la temporada baja, existe otra de reserva; en verano, en caso de avería, tendrían que trabajarse más horas al día

5.5. TRATAMIENTO Terciario

Los diferentes métodos han sido escogidos de acuerdo al Real Decreto 1620/2007 por el que determina la calidad de tipo 2.1. “Riego de cultivos para alimentación humana en fresco, con sistemas de aplicación que permita el contacto directo del agua con partes comestibles”. Así mismo posee una calidad de tipo B, debiendo seguir por tanto el siguiente tratamiento:

- Físico- químico con decantación.
- Filtración.
- Desinfección (UV).

1. Coagulador- floculador:

La adición de un tratamiento físico químico (coagulador-floculador) se debe a que es en este proceso donde se eliminará el fosforo del agua residual, así como una neutralización de los posibles coloides que permitan su decantación posterior. La eliminación de los compuestos de fósforo (desfosfatación) se consigue, generalmente, haciéndolos precipitar a base de algún agente coagulante, como el cloruro férrico (III) o sulfato de Alúmina (en este caso se empleará Sulfato de Alúmina que no aporta coloración al agua). Luego mediante un floculador se generarán los floculos que son más fácilmente sedimentables. Como decantador posterior se colocara uno de tipo Lamelas. (Diseño viene dado por el fabricante)

El coagulador vendrá determinado por:

$$Vol (m^3) = \frac{Q \left(\frac{m^3}{h} \right) \times Tr}{60 \frac{h}{min}} \quad \text{Ecuación 1.1.}$$

$$L(m) = \sqrt[3]{Vol(m^3)} \quad \text{Ecuación 1.2.}$$

T_R máximo (min)	2
T_R medio (min)	3

Estos datos se utilizan para calcular las dimensiones del coagulador tanto en invierno como en verano.

Para el cálculo de las dimensiones del coagulador se tendrá en cuenta que:

- El caudal máximo corresponderá al caudal medio de la temporada alta.
- El caudal medio, en cambio corresponderá con el caudal medio de invierno.

Esto se realiza así para no sobredimensionar los equipos, ya que en verano habrá agua que no pase por el terciario debido al aumento del caudal de tratamiento.

Por lo tanto las dimensiones del coagulador serán:

Volumen (m³)	78
Lado (m)	4,3
Altura (m)	4,8

El volumen es el teórico, ya que se debe sobredimensionar en un 15-20% (20%) del volumen, por lo que el volumen real para el coagulador será de 94 m³.

De esta forma se colocará un único coagulador de 94 m³ de capacidad.

El floculador posee los mismos parámetros de diseño, salvo los tiempos de residencia, por lo que:

T_R máximo (min)	20
T_R medio (min)	30

Por lo tanto, y en base a estos parámetros, las dimensiones que se obtienen son las siguientes:

Volumen (m³)	784,42
Lado (m)	9,20
Altura (m)	9,50

El volumen real será un 20% más del volumen teórico: 941 m³.

Como la altura del floculador es muy grande y por cuestiones de obra civil, resulta más sencillo y económico realizar una obra de menor altura se opta por realizar dos floculadores con la mitad de altura, colocados en serie para el correcto funcionamiento del tratamiento físico químico. Las dimensiones de cada uno de estos floculadores serán:

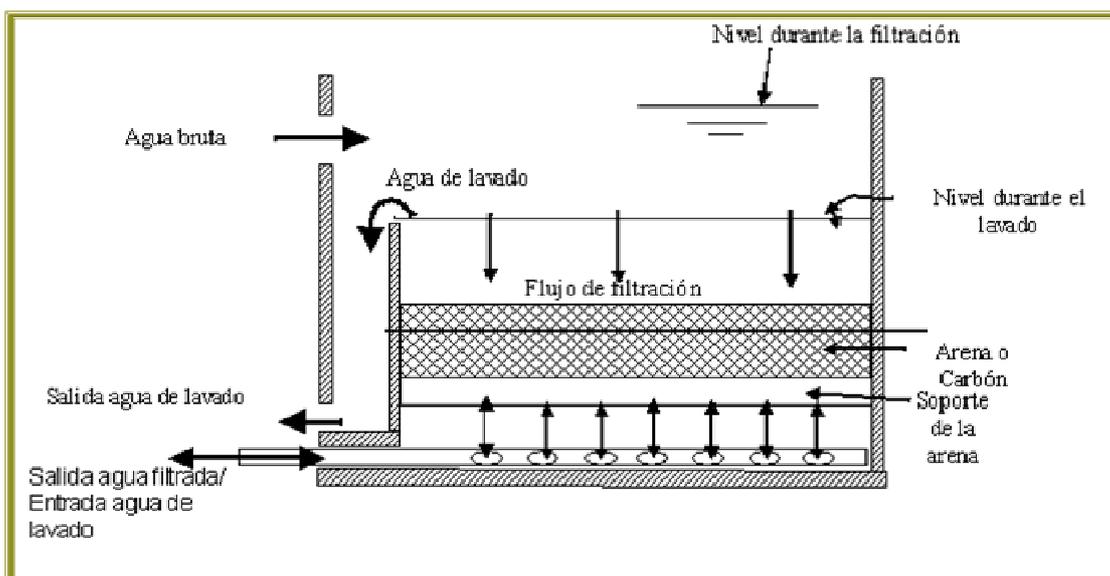
Número de Floculadores	2
Volumen (m³)	392
Lado (m)	9,10
Altura (m)	4,75

2. Filtros de arena por gravedad:

Los filtros de arena por gravedad se diseñan para la temporada alta como para la temporada baja. Tomando para su diseño el caudal máximo de invierno y el caudal medio de verano y tomando el caso más desfavorable. Al realizar los pertinentes cálculos, el caso más desfavorable es el de invierno, por lo que los parámetros de diseño son:

<i>C.H.</i> ($m^3/m^2 \cdot h$)	6
<i>Q</i> _{medio} (m^3/h)	2.461
<i>Superficie total</i> (m^2)	410
<i>Superficie de cada filtro</i> (m^2)	72
<i>Base</i> (m)	12
<i>Ancho</i> (m)	6
<i>Agua de lavado</i> (m^3)	1.368
<i>Agua de lavado por filtro</i> (m^3)	228
<i>Aire lavado</i> (m^3)	$40m^3/m^2 \cdot h$ (10min)
<i>Nº total de filtros</i>	6

Se obtiene un total de 6 filtros, cuya superficie es cuadrada, con un agua de lavado de $1.367 m^3/h$. Por lo tanto, de cada filtro se obtendrá un agua de lavado con una capacidad de $240 m^3/h$.



El agua filtrada se envía a un canal donde están instaladas las lámparas de UV para su desinfección, a continuación se dosifica cloro para mantener una concentración del mismo de 2 ppm en el agua.

Posteriormente el agua ya regenerada y lista para su reutilización se almacena en un tanque de amortiguación de 302 m³ con un tiempo de residencia de 8 horas.

6. RESUMEN CÁLCULOS

➤ Datos de partida:

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Habitantes Equivalentes</i>	189 500	289 500
<i>Q_{medio} (m³/h)</i>	1.580	2.415
<i>Q_{máximo} (m³/h)</i>	2.460	3.660

➤ Características del agua residual tratada:

	<i>Entrada</i>		<i>Salida</i>	
			<i>A cauce</i>	<i>A reutilización</i>
DBO	70 g/he-d	350 ppm	25 ppm	< 10 ppm
Sólidos en suspensión	75 g/he-d	375 ppm	35 ppm	< 5 ppm
NTK	12 g/he-d	60 ppm	10 ppm	5 ppm
P	4,5 g/he-d	22,5 ppm	1 ppm	1 ppm

6.1. LÍNEA DE AGUA

1. Pozo de gruesos

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
Vol (m³)	82	122
S (m²)	41	61
h (m)	2	2

Las dimensiones del pozo de gruesos serán:

- Altura: **2m**
- Superficie: **61 m²**
- L₁= **6,85m**
- L₂= **8,90 m**

2. Bombas de alimentación

Se tiene un caudal máximo para verano de 3.660 m³/h, por lo que, se instalarán 4 bombas (incluida una de reserva) de doble paso con una capacidad de paso de 425 dm³/s, ya que:

<i>Diámetro núcleo interior (mm.)</i>	720
<i>Diámetro exterior (mm.)</i>	1.400



3. Rejas

3.1. Reja de medios:

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Nº unidades funcionamiento</i>	2	3
<i>S (m²) para Q_{med}</i>	0,59	0,60
<i>S (m²) para Q_{máx}</i>	0,61	0,61
<i>v_{paso} (m/s) para Q_{med}</i>	0,80	0,80
<i>v_{paso} (m/s) para Q_{máx}</i>	1,20	1,20
<i>D (m)</i>	0,91	0,91
<i>B (m)</i>	0,70	0,70
<i>L(m)</i>	0,91	0,91
<i>Q_{tratado} por cada reja (m³/h)</i>	790	1.220

➤ Superficie mojada:

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Para Q_{med}</i>	0,62	0,63
<i>Para Q_{máx}</i>	0,64	0,64

Se colocarán cuatro canales, en invierno se utilizarán dos de los cuatro canales, utilizando dos rejas de **0,61 m²** y en verano, tres unidades, siendo la cuarta reja reserva de las tres anteriores.

➤ Pérdida de carga:

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Para Q_{med}</i>	0,03	0,05
<i>Para Q_{máx}</i>	0,09	0,11

3.2. Rejas de finos:

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Nº unidades funcionamiento</i>	2	3
<i>S (m²) para Q_{med}</i>	0,78	0,80
<i>S (m²) para Q_{máx}</i>	0,81	0,81
<i>v_{paso} (m/s) para Q_{med}</i>	0,80	0,80
<i>v_{paso} (m/s) para Q_{máx}</i>	1,20	1,20
<i>D (m)</i>	1,13	1,12
<i>B (m)</i>	0,76	0,75
<i>L(m)</i>	1,139	1,128
<i>Q_{tratado} por cada reja (m³/h)</i>	790	1.220

La superficie de las rejillas será de **0,81 m²**, colocándose 4 canales al igual que en las rejillas de medios.

➤ Superficie mojada:

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Para Q_{med}</i>	0,82	0,84
<i>Para Q_{máx}</i>	0,86	0,85

Para evitar problemas debido a la colmatación de las rejillas se debe de construir un pequeño escalón de **0,4 m**.

4. Desarenador

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>V(m³) Q_{med}</i>	395	603
<i>V(m³) Q_{máx}</i>	410	610
<i>S (m²) Q_{med}</i>	105	161
<i>S (m²) Q_{máx}</i>	98	146
<i>L (m) cada uno</i>	18	18
<i>H (m)</i>	3,9≈4,0	3,8≈ 4,0
<i>Anchura (m)</i>	4,5	4,5
<i>Q_{aire} (m³/h)</i>	615,27	904,69

Para el cálculo del número de difusores se utiliza el volumen real y el caudal de aire que se inyecta:

<i>Volumen real (m³)</i>	324
<i>Caudal de aire (m³/h)</i>	486
<i>Difusores tipo tubo</i>	49

Se emplearán 49 difusores, repartidos a lo largo de 18 m, por lo que cada uno estará separado del siguiente 36 cm.



5. Decantador primario

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Nº unidades funcionamiento</i>	2	3
<i>V(m³) Q_{medio}</i>	1.974	2.008
<i>V(m³) Q_{max}</i>	1.846	1.812
<i>S (m²)Q_{medio}</i>	526	536
<i>S (m²)Q_{max}</i>	492	488
<i>d(m)</i>	26	26
<i>h (m)</i>	3,75	3,75
<i>Caudal unidad (m³/h)</i>	790	805

Se van a instalar tres decantadores primarios de superficie **536 m²** y un volumen de **2.008 m³**. Con una altura de **3,75 m** cada equipo y un diámetro de **26 m** cada una. La forma de trabajo será de tres unidades operativas durante el verano y dos en invierno.

6. Reactor biológico

Se trabajara con un reactor con las dimensiones obtenidas para verano variando los parámetros de funcionamiento:

<i>Volumen (m3)</i>	17.320
<i>Superficie (m2)</i>	2886,76
<i>Lado (m)</i>	80
<i>Ancho (m)</i>	36
<i>Altura (m)</i>	6

Los parámetros de funcionamiento son:

	Biológico Invierno	Biológico verano
<i>L (kg/día)</i>	8.843	13.510
<i>Tiempo de Residencia (h)</i>	14,36	7,18
<i>Carga Másica (kgDBO/d/kg MLSS)</i>	0,29	0,15
<i>Le (kg/d)</i>	7.958	12.496,75
<i>Q recirculación (m³/h)</i>	3.158	15.697,5

Los fangos purgados en este proceso van a ser:

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>AS (Kg/d)</i>	9.693	6.173
<i>Q_{purga} (m³/h)</i>	67,32	4.287



➤ Aireación del reactor:

Para la aireación de la balsa se elige instalar difusores de tipo cerámico de burbuja fina, de tipo domo. El número de difusores que a instalar va a ser de 2.916 y la distribución de los mismos se recoge en la siguiente tabla:

<i>Distribución de los difusores</i>	<i>Filas</i>	<i>Columnas</i>
<i>Primer canal</i>	14	84
<i>Segundo canal</i>	13	78
<i>Tercer canal</i>	11	66

7. *Decantador secundario*

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Nº de decantadores</i>	2	3
<i>Q tratado (m³/h)</i>	790	805
<i>V(m³) medio</i>	4.343	4.418,5
<i>S (m²) medio</i>	1.579	1.606,7
<i>h(m)</i>	2,75	2,75
<i>d(m)</i>	44,9	45,24

- En invierno:
Como la altura debe de ser como mínimo de 3 metros el volumen real del decantador será por tanto de **4.737,5 m³**.
- En verano:
Como sucede en el primer caso, la altura debe de ser como mínimo de 3 metros por lo que el volumen real del decantador será de **4.820,175 m³**.

6.2. **LÍNEA DE FANGOS**

1. *Espesamiento*

➤ Caudales de purga:

	<i>Datos Invierno</i>		<i>Datos Verano</i>	
<i>Qpurga₁</i>	474 m³/d	20 m³/h	724 m³/d	30 m³/h
<i>Qpurga₂</i>	1.057 m³/d	44 m³/h	1.616 m³/d	67m³/h
<i>Qpurga total</i>	1.513 m³/d	64 m³/h	2.334 m³/d	97m³/h

Qpurga₁= caudal de purga del decantador primario

Qpurga₂ = caudal de purga sistema biológico

➤ Fangos purgados:

	<i>Datos Invierno</i>	<i>Datos Verano</i>
A_1	9.475 kg/d	14.475 kg/d
A_2	6.345 kg/d	9.693 kg/d
<i>Atotal</i>	15.820 kg/d	24.168 kg/d

A_1 = fangos purgados del decantador primario

A_2 =fangos purgados del sistema biológico

1.1. Espesado por gravedad

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
$S (m^2)$	135	207
$Vol (m^3)$	592	724
$h (m)$	4,40	3,50
$d (m)$	13	16

Las dimensiones del tanque serán las correspondientes a la temporada alta.

1.2. Espesado por flotación

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
$S (m^2)$	85,60	109
$Vol (m^3)$	2.14	271
$h (m)$	2,5	2,5
$d(m)$	10,44	12

Las dimensiones del tanque serán las correspondientes a la temporada alta.

Los fangos espesados por gravedad presentan una concentración del 6% a la salida del mismo, sin embargo, los fangos biológicos espesados por flotación presentan una concentración del 3%:

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
$Q_{salida} (m^3/h)$ e. gravedad	158	241
$Q_{salida} (m^3/h)$ e. flotación	211,5	323
<i>Total (m³/h)</i>	369,5	564

2. Estabilización

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Volumen digestor (m³)</i>	3.695	5.640
<i>Fangos purgados (Kg/d)</i>	10.837	16.555
<i>Qsalida (m³/h)</i>	181	276
<i>Cantidad calor producido (Kcal)</i>	4.484.970.000	35.628.840.000

Se instalan 3 digestores primarios de 3.700 m³ con agitación y calefacción, y uno de tipo secundario, con el mismo volumen pero desprovisto tanto de agitación como de calefacción.

3. Deshidratación

Los sistemas de deshidratación van a trabajar únicamente 8 horas al día durante 5 días a la semana. En verano se trabajan 11 horas al día en lugar de 8 como se hace en invierno.

La deshidratación se lleva a cabo en dos centrífugas de capacidad **20 m³/h** cada una

	<i>Temporada baja</i>	<i>Temporada alta</i>
<i>Q deshidratados (m³/h)</i>	31,68	35,11

6.3. TRATAMIENTO TERCIARIO

1. Tratamiento físico- químico:

1.1. Coagulador-floculador

Las dimensiones del coagulador son:

<i>Volumen (m3)</i>	78
<i>Lado (m)</i>	4,3
<i>Altura (m)</i>	4,8

El número de floculadores instalados será de dos y sus dimensiones se recogen en la tabla siguiente:

<i>Número de Floculadores</i>	2
<i>Volumen (m3)</i>	392
<i>Lado (m)</i>	9,10
<i>Altura (m)</i>	4,75

1.2. Decantación

Se lleva a cabo mediante un decantador de tipo lamelar. Las dimensiones de este decantador vendrán dadas por el fabricante, en función del tipo de placas utilizadas, separación entre las mismas, ángulo de las placas, etc.

2. Filtración:

Los filtros que se utilizan son filtros de gravedad por arena, ya que por las dimensiones no se pueden instalar otro tipo de filtros.

Las medidas de estos filtros son las indicadas en la siguiente tabla:

<i>C.H. (m³/m²·h)</i>	6
<i>Q_{medio} (m³/h)</i>	2.461
<i>Superficie total (m²)</i>	410
<i>Superficie de cada filtro (m²)</i>	72
<i>Base (m)</i>	12
<i>Ancho (m)</i>	6
<i>Agua de lavado (m³)</i>	1.368
<i>Agua de lavado por filtro (m³)</i>	228
<i>Aire lavado (m³)</i>	40m ³ /m ² *h (10min)
<i>Nº total de filtros</i>	6

Se obtiene un total de 6 filtros cuya superficie es cuadrada, con un agua de lavado de **1.367 m³/h**. Por lo tanto, de cada filtro se obtendrá un agua de lavado con una capacidad de **240 m³/h**.

3. Desinfección:

El agua filtrada se envía a un canal donde están instaladas las lámparas de UV para su desinfección, así como un dosificador de cloro que suministre 2 ppm de cloro para mantenimiento.

Posteriormente el agua ya regenerada y lista para su reutilización se almacena en un tanque de amortiguación de **302 m³** con un tiempo de residencia de 8 horas.

La calidad del agua a la salida del tratamiento terciario será la siguiente:

<i>DBO (ppm)</i>	< 10
<i>Sólidos en suspensión (ppm)</i>	< 5
<i>NTK (ppm)</i>	5
<i>P (ppm)</i>	1

7. BIBLIOGRAFÍA

- <http://elzocolaprimeraalaizquierda.org/revista/ciencia-y-medio-ambiente/el-zoco-verde/la-reutilizacion-de-las-aguas-residuales-agua-regenerada/>
- <http://es.kyero.com/weather/2754-roquetas-de-mar-tiempo>
- <http://iagua.es/2009/02/andalucia-quiere-reutilizar-80-hectometros-cubicos-antes-de-2012/>
- <http://www.besos.cat/rdi/DOCUMENTACIO/16.pdf>
- <http://www.cotragua-sl.es/Equipos/equipos/bivalva/bivalva.htm>
- http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento
- <http://www2.cbm.uam.es/jalopez/personal/SeminariosVarios/ERARtexto.htm>
- <http://www.supercable.es/~urso/lamelar.htm>
- <http://www.lenntech.com/espanol/Tecnologia-de-membrana.htm>
- <http://www.lenntech.com/espanol/Desinfeccion-del-agua/desinfectantes-cloro.htm>
- Tecnologías para la sostenibilidad, *Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales*. Juan Antonio Sainz
- *Ingeniería Sanitaria: tratamiento, evaluación y reutilización de aguas residuales*/ Metealf & Eddy.



ANEXOS

Bomba por tornillo de Arquímedes

Página 2 de 3

Reductor de Engranajes. El reductor, de ejes paralelos, está construido en fundición aleada. Los engranajes son helicoidales con cojinetes de rodillos, y bajo pedido, se suministra con dispositivo antirretroceso o motovariador.

TABLA DE CAUDALES CON ÁNGULO DE 30°			
Diámetros (mm) Ø - Ø	RPM	Doble paso o entrada (l/s)	Triple paso o entrada (l/s)
400-215	90	21	25
500-270	80	36	42
600-320	70	55	68
700-355	63	85	102
800-400	58	113	140
900-450	55	152	200
1000-500	50	195	235
1100-560	46	240	290
1200-600	44	290	355
1300-700	41	335	410
1400-720	40	425	515
1500-750	38	520	630
1600-800	36	590	715
1700-820	35	695	845
1800-900	34	770	935
1900-920	33	880	1070
2000-1010	32	960	1170
2100-1030	31	1100	1350
2200-1100	30	1200	1450
2300-1130	29	1400	1750
2400-1200	28	1500	1800
2500-1300	27	1600	1900
2600-1330	26	1800	2150
2700-1355	26	2000	2400
2800-1400	25	2120	2500

<http://www.iaf.es/enciclopedia/asinfin/bta.htm>

19/04/2005