

# **DISEÑO DE LA ESTACIÓN REGENERADORA DE AGUAS RESIDUALES Y SU EMISARIO SUBMARINO EN EL MUNICIPIO DE NERJA**



**MÁSTER PROFESIONAL EN INGENIERÍA Y GESTIÓN  
MEDIOAMBIENTAL**

**CAROLINA CAFFARENA MARTÍN**

Madrid, Marzo 2010

**MÁSTER PROFESIONAL EN  
INGENIERÍA Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL**

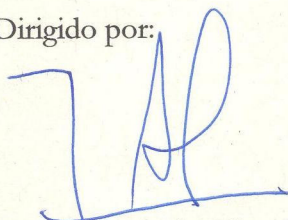
**DISEÑO DE LA ESTACIÓN  
REGENERADORA DE AGUAS RESIDUALES  
Y SU EMISARIO SUBMARINO EN EL  
MUNICIPIO DE NERJA**

Realizado por



Carolina Caffarena Martín

Dirigido por:



D. Juan Antonio Sáinz Sastre



D. Antonio Ruiz Mateo

Madrid, Marzo 2010

## **ÍNDICE**

1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Objetivos .....	4
1.2. Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas .....	4
1.3. Vertido de aguas residuales al mar.....	9
1.4. El ámbito de estudio. Nerja .....	11
2. ANTECEDENTES .....	20
2.1. Bases de partida .....	20
2.2. Límites en vertido / Aguas regeneradas .....	20
2.2. Legislación aplicable .....	21
3. DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.....	24
4. CÁLCULO Y DISEÑO DE LA EDAR .....	50
4.1. PARÁMETROS DE DISEÑO, Caudal y Composición .....	50
4.2. PRETRATAMIENTO .....	52
4.2.1. Desbaste.....	52
4.2.2. Desarenado .....	55
4.3. TRATAMIENTO PRIMARIO .....	57
4.3.1. Decantación .....	57
4.4. TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....	59
4.4.1. Equipos de aireación: Difusores cerámicos.....	63
4.4.2. Lodos activos .....	67
4.5. PROCESOS DE REGENERACIÓN DE AGUAS.....	70
4.5.1. Coagulación.....	71
4.5.2. Floculación.....	72
4.5.3. Decantación .....	73
4.5.4. Filtración.....	73
4.5.5. Desinfección .....	74
4.6. TRATAMIENTO DE FANGOS .....	75
4.6.1. Espesado.....	76
4.6.2. Digestión anaerobia.....	77
4.6.3. Deshidratación .....	79
5. CÁLCULO Y DISEÑO DEL EMISARIO .....	81
6. BIBLIOGRAFÍA .....	97
7. ANEXOS.....	99

# **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Objetivos**

El presente Proyecto describe el diseño de una Estación Regeneradora de Aguas Residuales (E.R.A.R.) y su emisario submarino, en el municipio de Nerja (Málaga).

El objeto del Proyecto es depurar las aguas residuales de un municipio costero y regenerarlas una vez depuradas para su reutilización en regadíos.

El Proyecto incluye también el diseño de un emisario submarino que vierte el exceso de aguas depuradas o regeneradas al mar, en caso de un elevado caudal de aguas residuales (picos en los meses de verano) o por estar fuera de servicio las unidades de regeneración.

### **1.2. Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas**

La actividad humana hace que la calidad del agua se modifique de tal modo que pueda considerarse contaminada. Es el caso de las aguas residuales urbanas o industriales generadas en núcleos de población o áreas industriales.

De forma global, se podría definir la contaminación del medio hídrico, como cualquier alteración de las características de tipo físico, químico, biológico, o simplemente estéticas, producidas por la actividad del hombre, ya sea de forma directa o indirecta sobre el agua.

La Organización Mundial de la Salud considera que el agua está contaminada cuando su composición o su estado natural se ve modificado de tal modo, que pierde las condiciones aptas para los usos a los que estaba destinada, o su función ecológica, presentando alteraciones físicas (temperatura, color, radioactividad) y químicas (composición).

Someter los vertidos de las aguas residuales urbanas, previamente a su evacuación, a una serie de tratamientos en instalaciones adecuadas, para limitar los efectos contaminantes de dichas aguas residuales, con el fin último de garantizar la protección del medio ambiente, es el objetivo de la Directiva 91/271/CEE, del Consejo, de 21 de mayo, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, en la cual se establece que los Estados

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que dichas aguas son tratadas correctamente antes de su vertido.

La Directiva obliga a las aglomeraciones urbanas a disponer, según los casos, de sistemas colectores para la recogida y conducción de las aguas residuales y, prevé distintos tratamientos a los que deberán someterse dichas aguas antes de su vertido a las aguas continentales o marítimas. Para determinar un tratamiento más o menos riguroso se tiene en cuenta si los vertidos se efectúan en zonas sensibles o zonas menos sensibles.

Dicha Directiva se transpone al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las Normas Aplicables al Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas.

A los efectos de este Real Decreto - Ley se entiende por:

Aguas residuales urbanas: Las aguas residuales domésticas o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.

Aguas residuales domésticas: Las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

Aguas residuales industriales: Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

El Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, desarrolla el anterior Real Decreto-Ley y determina los requisitos técnicos que deben cumplir las instalaciones de tratamiento de las aguas residuales, y a su vez es modificado por el Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre.

El Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, definiendo los siguientes conceptos:

Aguas depuradas: aguas residuales que han sido sometidas a un proceso de tratamiento que permita adecuar su calidad a la normativa de vertidos aplicable.

Aguas regeneradas: aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan.

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

Estación regeneradora de aguas: conjunto de instalaciones donde las aguas residuales depuradas se someten a procesos de tratamiento adicional que puedan ser necesarios para adecuar su calidad al uso previsto.

La depuración del agua consiste en un conjunto de procesos de extracción, tratamiento y control biológico de los productos de desecho que arrastra. Elimina cualquier clase de impurezas que ésta contenga, como contaminantes o microorganismos. El tipo y grado de tratamiento a que debe someterse el agua dependen del tipo y del grado de contaminación que contiene, de la capacidad de dispersión en el medio receptor, de la calidad y fragilidad de éste y de la función que se dará al agua resultante.

Los métodos de depuración de residuos se remontan a la antigüedad. Se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta, pero son las canalizaciones de desagüe construidas por los romanos las que todavía funcionan en nuestros días. Hacia finales de la Edad Media empezaron a usarse en Europa, primero, excavaciones subterráneas privadas y, más tarde, letrinas.

Unos siglos después se recuperó la costumbre de construir desagües, en su mayor parte en forma de canales al aire o zanjas en la calle. Al principio estuvo prohibido arrojar desperdicios en ellos, pero en el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si se eliminaban los desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida desaparición. Un sistema de este tipo fue desarrollado en Londres por Joseph Bazalgette entre 1859 y 1875 con el objeto de desviar el agua de lluvia y las aguas residuales hacia la parte baja del Támesis. Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos.

A comienzos del siglo XX algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales. Para el tratamiento en instalaciones públicas se adoptó primero la técnica del filtro de goteo. Durante la segunda década del siglo, el proceso de lodos activos, desarrollado en Gran Bretaña por Andern y Lockett, supuso una mejora significativa por lo que empezó a emplearse en muchas

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

localidades de dicho país y de todo el mundo. Este proceso cobró importancia progresivamente a partir de mediados del siglo pasado como resultado de la preocupación general expresada en todo el mundo sobre el problema, cada vez mayor, de la contaminación humana del medio ambiente.

La contaminación que los vertidos a los ríos o al mar producen tiene numerosos efectos nocivos tales como:

- Propagación de enfermedades transmisibles por vía hídrica. En los países subdesarrollados el 70% de las enfermedades y el 30% de los fallecimientos se producen por transmisión por el agua, al consumirse ésta sin estar adecuadamente tratada.
- Acción tóxica y carcinogénica.
- Efectos nocivos sobre la fauna y flora del cauce receptor, lo que puede llegar a causar la desaparición de determinadas especies.
- Inutilización para uso humano directo posterior debido a los complejos procesos de potabilización requeridos y de alto coste.
- Reducción de las posibilidades de empleo posterior del agua en la industria y agricultura así como limitación del uso del agua con fines recreativos.
- Incidencia directa o indirecta sobre productos alimenticios.

De ahí la importancia de tratar las aguas residuales, tanto las industriales como de origen doméstico, hasta alcanzar unos determinados niveles dados por la legislación, antes de verterlas a un cauce.

Actualmente el agua se somete a una serie de tratamientos físicos y biológicos, y, en ocasiones, químicos, antes de ser vertida o reutilizada. Las aguas residuales urbanas se recogen en la red de saneamiento y se transportan a través de ella hacia las estaciones de tratamiento donde son depuradas y, en su caso, regeneradas. Una vez que se han disminuido las concentraciones de contaminantes que lleva el agua hasta unos niveles adecuados, ésta es devuelta a la naturaleza o bien reutilizada. El vertido se realiza a ríos o bien al mar a través de conducciones de vertido que pueden ser emisarios submarinos o conducciones de desagüe.

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Los contaminantes presentes habitualmente en las aguas residuales urbanas son los siguientes:

- Contaminantes físicos: características organolépticas (color, olor, sabor), grasas y aceites, temperatura, sólidos, espumas.
- Contaminantes químicos: materia orgánica, pH, nitrógeno, fósforo, salinidad, gases.
- Contaminantes biológicos: microorganismos, gérmenes patógenos, coliformes, virus.

Las diferentes operaciones unitarias y procesos actuales que componen la depuración de aguas residuales se clasifican en los siguientes grupos:

- **Tratamientos previos o pretratamientos:** se llevan a cabo cuando el agua llega a la planta depuradora para evitar riesgos mecánicos y de funcionamiento al resto de las instalaciones. Se pueden incluir en los tratamientos físicos.
- **Tratamientos físicos:** se basan en la separación de determinados contaminantes, como sólidos en suspensión, aceites y grasas en estado libre o sólidos disueltos, por principios netamente físicos como la diferencia de densidad entre la partícula y el agua, tamaño, etc.
- **Tratamientos químicos:** los contaminantes se eliminan mediante una reacción tipo químico, ya sea de coagulación en alguna instalación, o precipitación del fósforo cuando se desea eliminar este contaminante. Aquí se incluye también la desinfección que es una oxidación mediante cloro, hipoclorito, ozono u otros oxidantes de la materia orgánica y, por tanto, de la naturaleza misma de los gérmenes patógenos a eliminar.
- **Tratamientos biológicos:** en ellos se lleva a cabo la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente, a través de reacciones de tipo bioquímico mediante microorganismos.
- **Tratamiento de fangos:** debido a algunos procesos de los tratamientos anteriores se producen unos fangos o lodos muy diluidos con gran cantidad de materia orgánica, y que es preciso concentrar hasta unos niveles que permitan su evacuación de la planta depuradora, en estado sólido, hasta su destino final, mediante camión u otro medio de transporte.



### 1.3. Vertido de aguas residuales al mar

El capítulo 17 de la Agenda 21, aprobada en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo celebrada en Río de Janeiro en 1992, trata, entre otros, sobre la protección de los océanos y los mares y de las zonas costeras, y en el apartado 27 del mismo, referido a las aguas residuales, se incluye el emplazamiento en las costas de bocas de desagüe de forma que se mantenga un nivel aceptable de calidad del medio ambiente y que las zonas de baño no estén expuestas al contacto con agentes patógenos.

Además de tener otros usos, del mar se puede aprovechar su capacidad depuradora para determinados tipos de contaminantes, como los restos de contaminación no eliminados en la estación depuradora, como un elemento más de un sistema completo de tratamiento de los residuos de la actividad humana y, concretamente, de las aguas residuales que se vierten desde tierra.

Siempre que se asegure la dilución inicial necesaria, el mar dispone del oxígeno disuelto necesario para neutralizar la DBO de un agua residual sin que su concentración baje a niveles que pueden producir problemas a la vida acuática (del orden de 4,5 mg oxígeno/l), cosa que en los ríos, por ejemplo, no es fácil conseguir. El agua del mar, por la agitación debida al oleaje, se encuentra casi siempre saturada de oxígeno.

El mar dispone además de una gran superficie. Si el entorno del punto de vertido no tiene fondos de especial valor ecológico y siempre que el efluente no contenga sustancias peligrosas (tóxicas, persistentes y bioacumulables), se puede aceptar que juegue el papel de un estanque de sedimentación si se acompaña de un adecuado programa de vigilancia.

Pero sobre todo, su elevada salinidad y su prolongada exposición a la radiación solar le confieren un poder bactericida que se ve reforzado por la acción de microdepredadores, la actividad antiséptica de las secreciones producidas por las algas y el antagonismo de las bacterias específicamente marinas.

Es muy habitual medir esta capacidad antiséptica mediante el parámetro  $T_{90}$ , que se define como el tiempo que tiene que transcurrir para que desaparezca el 90% del contaminante considerado. En el mar son corrientes valores del  $T_{90}$  del orden de algunas horas, mientras que en un río son del orden de un día, y en un estanque de lagunaje del

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

orden de varios días.

La importancia que tiene esta capacidad depuradora se hace más patente repasando las siguientes cifras: un efluente urbano de composición normal tiene una concentración de coliformes fecales del orden de  $10^8/100$  ml; una sedimentación primaria divide dicha concentración por la mitad y un tratamiento biológico la divide por cinco. Sin embargo, la concentración límite establecida como objetivo de calidad para aguas de baño es de 2.000/100 ml como valor imperativo (nivel de excedencia del 95%) y de 100/100 ml como valor guía. Los factores de reducción necesarios son, pues, del orden de  $10^5$  y aún así, las medidas experimentales realizadas en torno a emisarios submarinos en funcionamiento demuestran que se pueden conseguir a condición de que el efluente tenga una gran dilución inicial y que permanezca un tiempo suficiente en el agua del mar antes de llegar a las zonas de baño.

Naturalmente, la utilización del mar como parte de un sistema de tratamiento de aguas residuales constituye un uso del dominio público que puede entrar en conflicto con otros usos legítimos del mismo además de representar un riesgo para la ecología de la zona, razón por la cual debe estar sujeto a ciertas restricciones.

El Decreto 14/1996, de 16 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de la calidad de las aguas litorales, establece el régimen de vertido desde tierra a cualquier bien del dominio público marítimo-terrestre, realizado a través de un emisario submarino en desarrollo de las previsiones contenidas en la Ley 7/1994, de 18 de mayo, de Protección Ambiental (derogada por la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental), para la mejora de la calidad de las aguas litorales. Este Decreto se desarrolla por la Orden de 14 de febrero de 1997, por la que se clasifican las aguas litorales andaluzas y se establecen los objetivos de calidad de las aguas afectadas directamente por los vertidos.

En dicha orden, con objeto de establecer las limitaciones de vertidos contaminantes, los objetivos de calidad de las aguas litorales afectadas directamente por los mismos y el canon de vertido, se establecen cuatro tipos de aguas según su característica y necesidad de protección: Aguas especiales, aguas limitadas, aguas normales y aguas menos limitadas.

Las aguas del litoral del municipio de Nerja se clasifican como *aguas normales*, definiéndose como tales (...) *aquellas que debido a sus condiciones de renovación y/o a la cantidad de*

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

*sustancias contaminantes que reciben, puedan verse menos afectadas por fenómenos de eutrofización, acumulación de sustancias tóxicas, etc., no previéndose efectos negativos sobre las mismas y sus usos. 2. Se definen como aguas normales las aguas litorales distintas de las de estuarios, así como las bahías abiertas que se encuentran en la franja costera (...)*

La “Instrucción para el Proyecto de Conducciones de Vertidos desde Tierra al Mar”, aprobada por la Orden de 23 de julio de 1993, establece las condiciones técnicas para el proyecto y cálculo de las conducciones de vertido desde tierra al mar, y determina el mantenimiento de los objetivos de calidad establecidos en la normativa vigente.

En ella se define el concepto de Emisario submarino:

“Conducción cerrada que transporta las aguas residuales desde la estación de tratamiento hasta una zona de inyección en el mar, de forma que se cumplan las dos condiciones siguientes:

Que la distancia entre la línea de costa en bajamar máxima viva equinoccial y la boquilla de descarga, más próxima a esta, sea mayor de 500 m.

Que la dilución inicial calculada según los procedimientos que se indican más adelante, para la hipótesis de máximos caudal previsto y ausencia de estratificación, sea mayor de 100:1.”

### **1.4. El ámbito de estudio. Nerja**

La estación regeneradora de aguas residuales y su emisario submarino, objetos del Proyecto, se ubican en el término municipal de Nerja.

**NERJA:** Municipio de la provincia de Málaga, y el pueblo más oriental de la Comarca de la Axarquía. Es un destino turístico de la Costa del Sol. Casi un tercio de los residentes son extranjeros, predominantemente ingleses. Tiene una población de aproximadamente 35.000 habitantes equivalentes. Durante la primavera, la población se duplica (70.000 habitantes equivalentes), y en verano puede llegar a ser casi el triple de la población equivalente de otoño e invierno (100.000 habitantes equivalentes).

En las Figuras 1 y 2 se aprecia la localización de la planta en Nerja.

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja



Figura 1. Localización de la planta depuradora y regeneradora y su emisario



## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

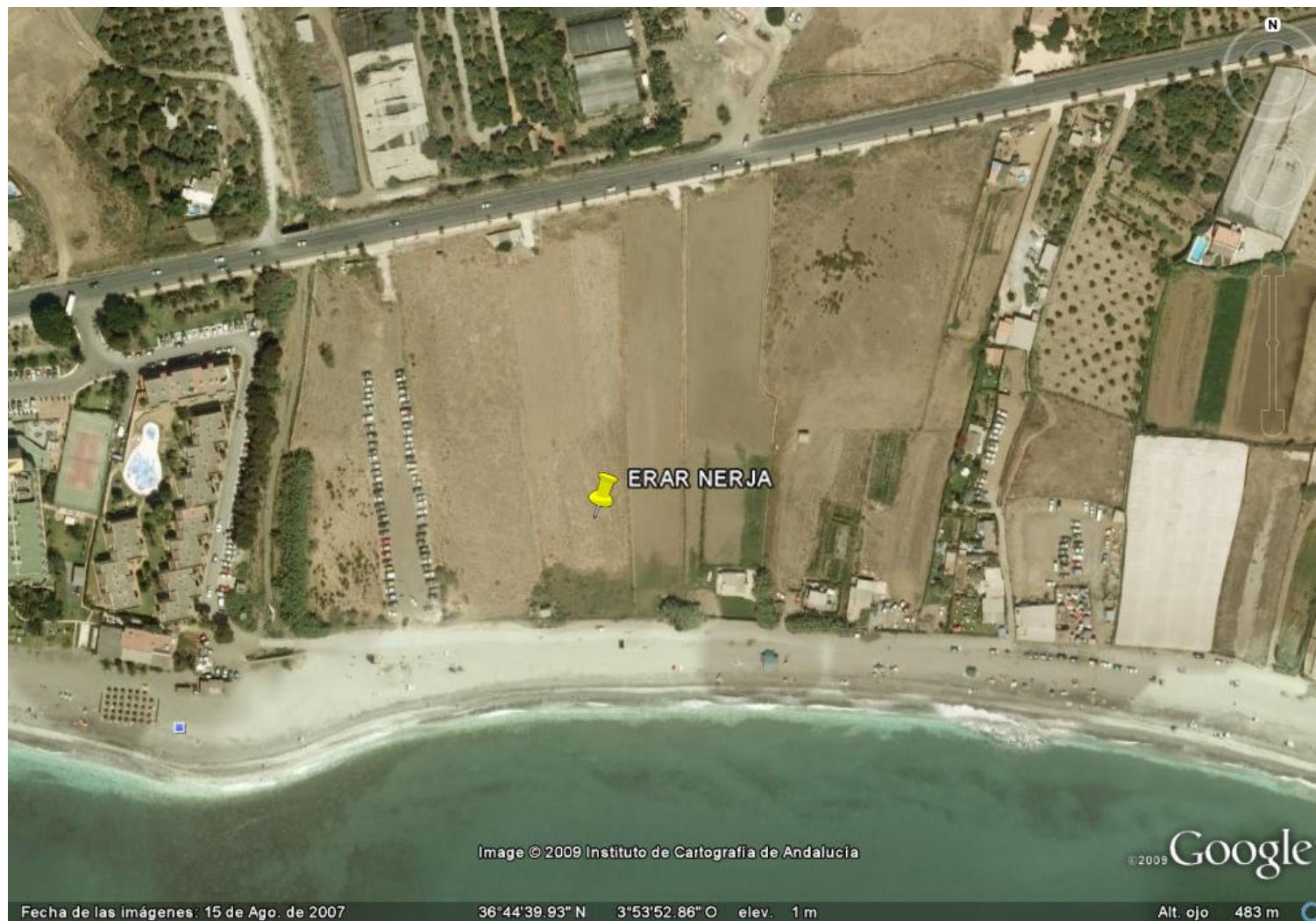


Figura 2. Localización de la planta depuradora y regeneradora y su emisario

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

La Axarquía es un territorio de antigua colonización, delimitada por la alineación montañosa del subbético que establecen las Sierras de Alhama, Tejeda y Almirajara por el Norte y Este, los Montes y Hoya de Málaga al Oeste y el Mediterráneo al Sur. Encierra una personalidad muy acusada, fruto tanto de sus características geográficas como de la conformación de su propio paisaje, resultado de las distintas culturas que lo han modelado.

Su clima, favorecido por la cadena subbética que impide la penetración de los aires fríos del norte y su orientación de solana que atempera la proximidad del Mediterráneo, ha sido un factor esencial de su temprano poblamiento.

La actividad económica de la comarca de la Axarquía ha estado tradicionalmente vinculada a la agricultura y ganadería, si bien en las dos últimas décadas han surgido nuevas oportunidades y problemas territoriales: el mantenimiento de cultivos tradicionales que singularizan el paisaje y sirven de freno a la erosión está seriamente amenazado por el abandono de la agricultura por parte de las capas más jóvenes de la población debido a las dificultades que plantean las explotaciones, tanto por su limitada extensión, como por las restricciones físicas derivadas de las fuertes pendientes del terreno. Aunque la introducción de cultivos subtropicales, la disponibilidad de agua y la generalización de la técnica asociada al cultivo de invernadero han supuesto una mejora, apreciándose mejores perspectivas económicas de futuro y por añadidura una recuperación de la población.

Esta evidente transformación territorial derivada de la agricultura se ha visto acompañada por el desarrollo de la actividad turística y de segunda residencia en el litoral, y más recientemente en el interior, lo que ha supuesto un incremento de la población estable en el ámbito deteniendo los procesos emigratorios.

En la Figura 3 se aprecia la distribución de la población estable y estacional de la comarca de la Axarquía, entendiéndose por población permanente o estable de un municipio o núcleo de población el número de habitantes residentes según el padrón municipal de habitantes, y por población estacional la capacidad de acogimiento de cada municipio o núcleo de población afectado, teniendo en cuenta las edificaciones de segunda residencia, las empresas de hostelería y otros alojamientos turísticos destinados a proporcionar habitación o residencia en épocas, zonas o situaciones turísticas. Como se observa, sólo un tercio de la población de Nerja es estable, mientras que las dos terceras partes corresponden a una población estacional (una parte de media y larga duración).

# Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

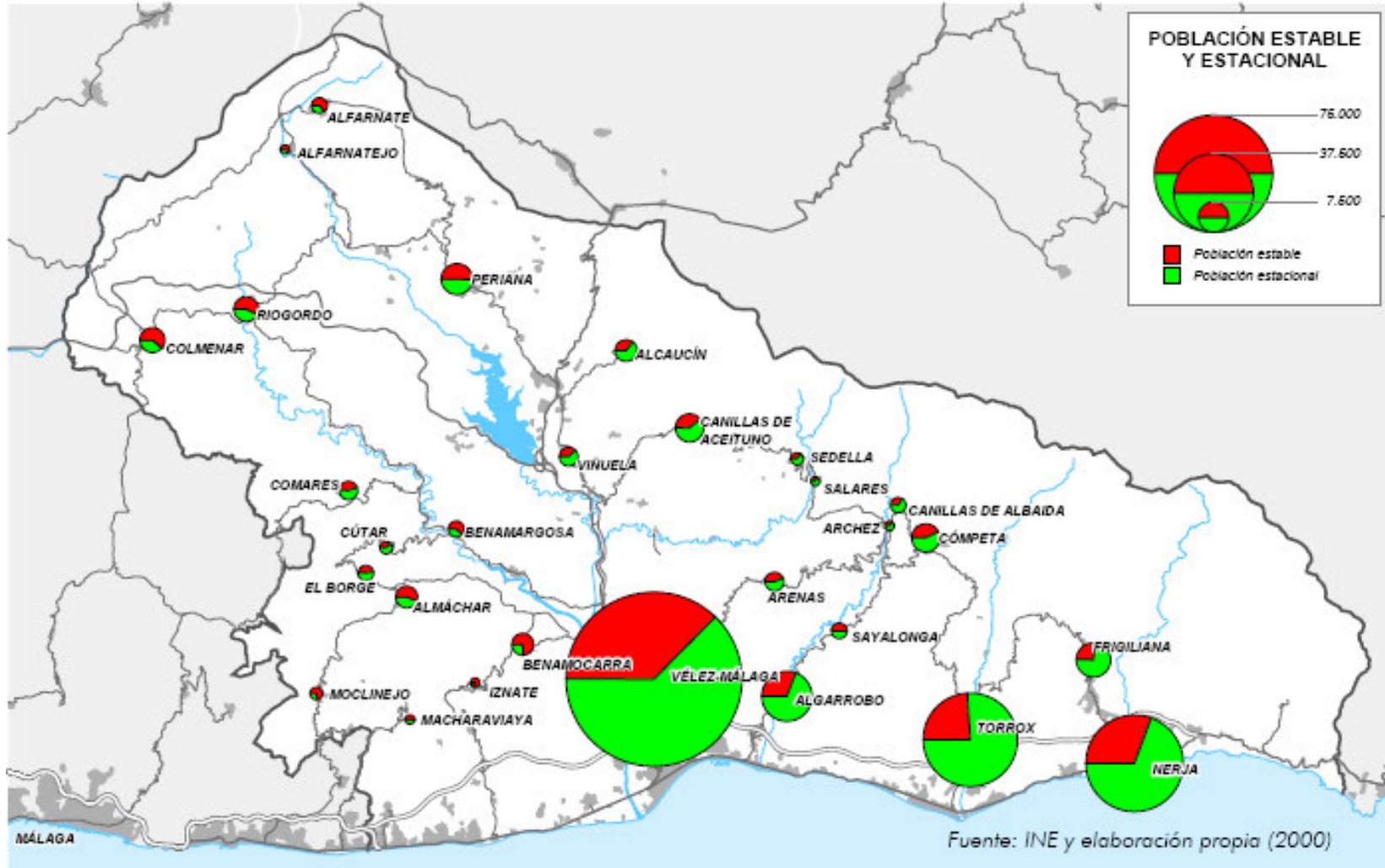


Figura 3. Población estable y estacional Axarquía.



## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

En el litoral, los procesos de cambio cobran en los últimos años un nuevo empuje como consecuencia del pulso que día a día gana el uso urbano-turístico frente al uso agrícola, de manera que este último comienza a convertirse en residual en zonas en que antes constituía la actividad principal, mientras que en otras áreas las expectativas de su entrada en el mercado inmobiliario han contribuido a su abandono o a la espera de mejores oportunidades para su transformación urbanística. En todo caso, el predominio absoluto, en términos generales, de la actividad residencial frente a los usos más netamente turísticos constituye una de las principales características del espacio litoral. La actividad residencial es, en buena medida, consecuencia del atractivo que supone este territorio.

Las condiciones de partida del ámbito para desarrollar un potente y dinámico sector turístico son excelentes. Al inmejorable clima de la Costa del Sol se añade un paisaje singular, basado en la configuración topográfica y en su textura de paisaje agrario rural. Además, la buena combinación existente entre el litoral (playas, acantilados, actividades náuticas), los espacios de interés natural y ambiental y los recursos culturales y antropológicos, diferencian netamente este territorio y le dotan de una fuerte personalidad.



Imagen 1. Litoral de Nerja.



Imagen 2: Nerja y acantilados de Maro.

Desde hace algún tiempo la situación del mercado europeo es especialmente favorable para las zonas que ofrecen condiciones para productos distintos. Por otra parte, el ámbito se encuentra ubicado en uno de los principales destinos turísticos europeos: la Costa del Sol, con facilidades para el acceso desde puntos lejanos (aeropuerto con múltiples conexiones) y conglomerado de empresas en su entorno que facilitan la venta de servicios turísticos a un grupo muy amplio de operadores y segmentos del mercado.



## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Frente al auge del turismo y aumento de la población estacional en la zona, el Plan de Ordenación del Territorio (POT) de la Costa del Sol Oriental-Axarquía (Julio 2006), en relación con las infraestructuras del ciclo del agua, tiene como objetivos promover una adecuada gestión de las infraestructuras hidráulicas mediante la agrupación de los municipios en sistemas de gestión, asegurar una gestión integral y sostenible del ciclo del agua, y depurar las aguas residuales de todos los núcleos urbanos.

En dicho Plan se establece la obligación de depurar las aguas residuales del municipio de Nerja: Todos los núcleos de población del ámbito deberán depurar sus aguas residuales de acuerdo con la Directiva Comunitaria 91/271, con sistemas de tratamiento acordes a la carga contaminante y características del medio receptor. A tal efecto, deberán depurar sus aguas residuales los núcleos de Arenas, Árchez, Benamargosa, Canillas de Albaida, Colmenar, Cútar, Iznate, Moclinejo, Nerja, Ríogordo, Salares, Torrox Costa-Algarrobo y La Viñuela.

En la Figura 4, se observan las inversiones previstas en dicho Plan para el Ciclo del Agua, que incluye la instalación de una Estación Depuradora en Nerja.

Subprograma	Acción	Organismo Responsable	Plazos		
			Corto	Medio	Largo
Articulación Espacio Agrario	Estudio Zona Regable del Plan Guaro	Consejería de Agricultura y Pesca		***	
	Adecuación caminos rurales	Consejería de Medio Ambiente	***	***	***
	Plan especial de mejora y acondicionamiento entorno embalse de La Viñuela	Consejerías de Obras Públicas y Transportes y de Medio Ambiente	***		
Ciclo del agua	11 Estaciones depuradoras de Bajo Coste	Consejería de Medio Ambiente	***		
	Estación depuradora de Torrox Costa-Algarrobo	Consejería de Medio Ambiente	***		
	<b>Estación depuradora de Nerja</b>	<b>Consejería de Medio Ambiente</b>	***		
	Estudio previo abastecimiento desde embalse La Viñuela a Colmenar, Ríogordo y Casabermeja	Consejería de Medio Ambiente	***		
	Estudio mejora de la gestión y ampliación abastecimientos a Benamocarra, Cútar, Comares, El Borge y Macharaviaya	Consejería de Medio Ambiente	***		
	Estudio de evaluación de los recursos hídricos subterráneos	Consejería de Medio Ambiente	***		
	Estudio de viabilidad de interconexión de recursos hídricos	Consejería de Medio Ambiente		***	
	Estudio de demanda de recursos hídricos	Consejería de Medio Ambiente	***		
	Mejora gestión integral del agua	Consejería de Medio Ambiente		***	
	Restauración hidrológico forestal	Consejería de Medio Ambiente	***	***	***
	Adecuación de cauces para avenidas	Consejería de Medio Ambiente	***	***	

Figura 4. Acciones inversoras previstas por el POT Costa del Sol Oriental-Axarquía (Julio 2006) para el Ciclo del Agua

En relación con el presente Proyecto, el POT de la Costa del Sol Oriental-Axarquía (Julio 2006) propone la flexibilización del uso del agua entre sus distintos usuarios (regadíos y ciudades) mediante reutilización efectiva de las aguas depuradas en las EDAR de los

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

municipios costeros.

Asimismo, el POT establece las condiciones para que todos los equipamientos complementarios turísticos de gran demanda de agua no potable se suministren de aguas regeneradas o, en su caso, adopten dispositivos para la reutilización continua del recurso.

En la Figura 5 se observan los usos e infraestructuras del agua en la Axarquía previstas en el POT Costa del Sol Oriental-Axarquía (Julio 2006).

Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

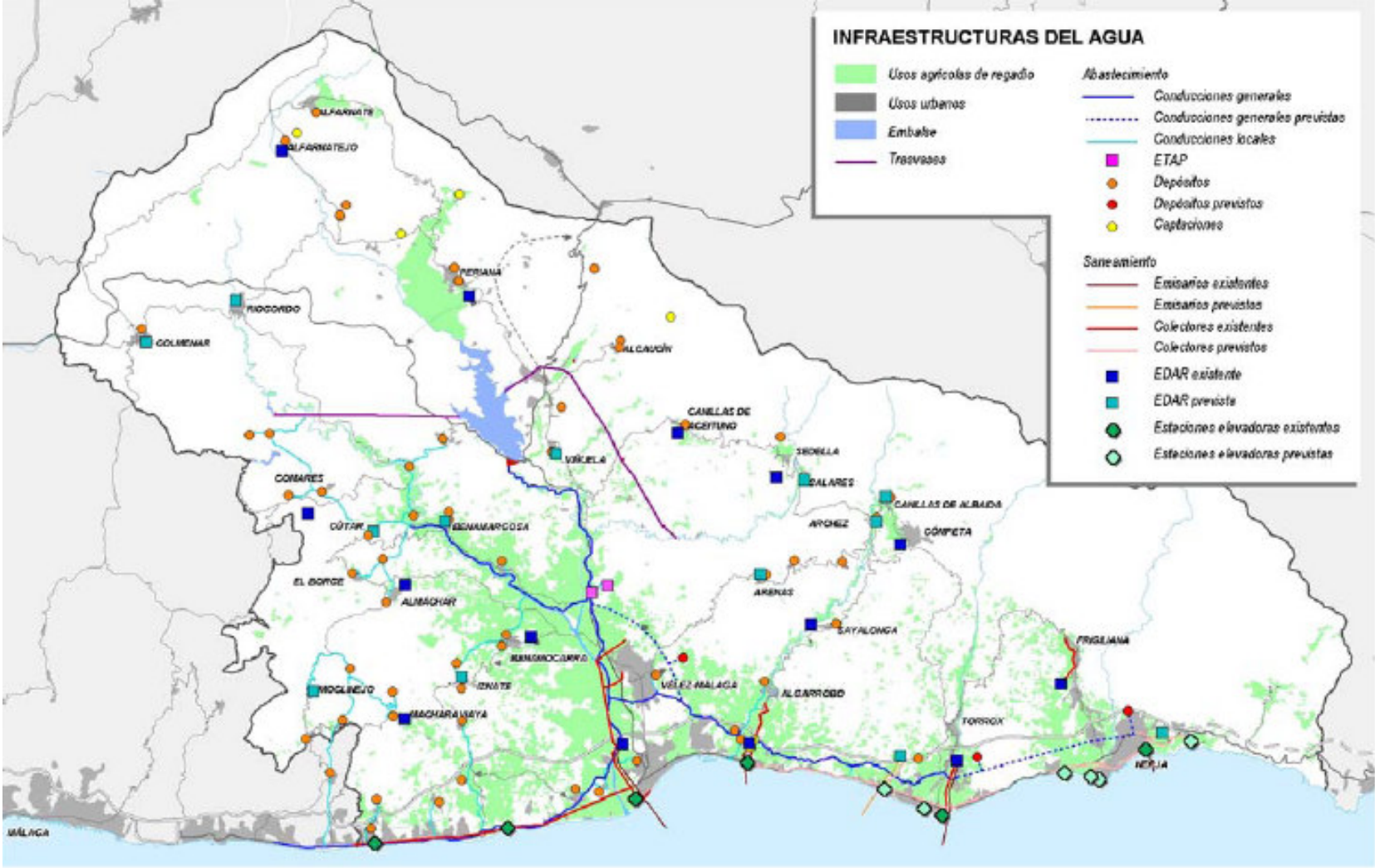


Figura 5. Usos e Infraestructuras del Agua en la Axarquía. Fuente: POT Costa del Sol Oriental-Axarquía (Julio 2006)

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1. Bases de partida**

El tratamiento de las aguas residuales supone la aplicación de unos procesos y operaciones unitarias, cuya secuencia y utilización vienen definidas entre otros factores, por los siguientes:

- Grado de depuración a alcanzar en el vertido.
- Características físicas, químicas y biológicas del agua a tratar.
- Caudales de diseño.
- Coste de las instalaciones, tanto en primera implantación, como en su posterior explotación y mantenimiento.

La mayor parte de los procesos a utilizar están variando de forma continua, existiendo en el mercado un gran número de equipos e instalaciones para abordar un mismo problema.

Más adelante se describen las diferentes operaciones unitarias y procesos a llevar a cabo en la depuración y regeneración de aguas residuales en una planta convencional.

### **2.2. Límites en vertido / Aguas regeneradas**

Los requisitos de los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas para la población equivalente y la zona de estudio, sujetos a lo dispuesto en los artículos 4 y 5 de la Directiva 91/721/CEE, de 21 de mayo, sobre tratamiento de aguas residuales urbanas, son los indicados en la Tabla 1.

<b>Contaminante</b>	<b>Concentración en vertido (ppm)</b>
DBO	$\leq 25$
SS	$\leq 35$
N	$< 15$
P	$< 2$

Tabla 1. Límites de vertido de aguas urbanas para la zona de estudio según la Directiva 91/721/CEE

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

El Anexo I del Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, recoge los criterios de calidad para la utilización de las aguas regeneradas según los usos previstos, que se clasifican en urbanos, agrícolas, industriales, recreativos y ambientales. Entre ellos destaca el uso agrícola para riego de cultivos, de gran importancia en la zona de la Axarquía. Asimismo el Anexo II contiene el modelo normalizado de solicitud que deben presentar quienes deseen obtener la concesión o autorización de reutilización de aguas depuradas.

La “Instrucción para el Proyecto de Conducciones de Vertidos desde Tierra al Mar”, aprobada por la Orden de 23 de julio de 1993, establece las condiciones técnicas para el proyecto y cálculo de las conducciones de vertido desde tierra al mar, y determina el mantenimiento de los objetivos de calidad establecidos en la normativa vigente, en este caso en el Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño. Dichos objetivos se recogen en la Figura 6.

*Agua costera y de transición*

		Calidad			Unidad
		Suficiente **	Buena *	Excelente *	
01	Enterococos intestinales.	185	200	100	UFC o NMP/ 100 ml.
02	Escherichia coli.	500	500	250	UFC o NMP/ 100 ml.

Figura 6. Parámetros obligatorios y valores para la evaluación anual de las aguas costeras y de transición incluido en el Anexo I del Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño

### 2.2. Legislación aplicable

La normativa aplicable a la depuración y regeneración de aguas residuales urbanas, así como al vertido de aguas previamente tratadas al dominio público marítimo-terrestre, a las conducciones de vertido y a la calidad de las aguas litorales y de baño, viene dada por la siguiente legislación:

Directiva europea, y normativa estatal sobre tratamiento de aguas residuales:

- Directiva 91/271/CEE, de 21 de mayo, sobre tratamiento de aguas residuales urbanas.

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

- Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las Normas Aplicables al Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas. (Transposición al ordenamiento jurídico español de la Directiva 91/721/CEE, de 21 de mayo, sobre tratamiento de aguas residuales urbanas)
- Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las Normas Aplicables al Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas.
- Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las Normas Aplicables al Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas.

Ley de Aguas:

- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Real Decreto-Ley 4/2007, de 13 de abril, por el que se modifica el texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.

Directiva Marco del agua:

- 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
- Directiva 2008/32, de 11 de marzo, que modifica la Directiva 2000/60, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, por lo que se refiere a las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión. (DOUE núm. L81, de 20 de marzo de 2008).

Aguas regeneradas:

- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

Ley de Costas, vertidos de aguas residuales al mar y objetivos de calidad de las aguas litorales y de baño:

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

- Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Real Decreto 1471/1989, de 1 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General para desarrollo y ejecución de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Decreto 334/1994, de 4 de octubre, por el que se regula el procedimiento para la tramitación de autorizaciones de vertido al dominio público marítimo-terrestre y de uso en zona de servidumbre de protección.
- Decreto 14/1996, de 16 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de la calidad de las aguas litorales (deroga parcialmente el anterior Decreto).
- ORDEN de 14 de febrero de 1997, por la que se clasifican las aguas litorales andaluzas y se establecen los objetivos de calidad de las aguas afectadas directamente por los vertidos, en desarrollo del Decreto 14/1996, de 16 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de la calidad de las aguas litorales.
- Orden de 13 de julio de 1993, por la que se aprueba la “Instrucción para el proyecto de conducciones de vertido desde tierra al mar”.
- Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.



### **3. DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA**

A continuación se describen las diferentes operaciones unitarias y procesos a llevar a cabo en la depuración y regeneración de aguas residuales en una planta convencional.

#### **Tratamientos físicos**

##### **Tratamientos previos**

La primera operación que se lleva a cabo en cualquier estación depuradora de aguas residuales, ya sea urbana o industrial, es la de desbaste. El desbaste consiste en la separación de los sólidos de volumen elevado (trapos, palos, plásticos, piedras, etc.), que producirían gravísimas alteraciones en el normal funcionamiento de la planta, de ahí que sus principales objetivos sean la protección mecánica de los equipos, evitar posibles alteraciones a la circulación del agua residual a través de la planta, así como la obstrucción de las líneas y canales, evitar la presencia de sólidos inertes de gran tamaño en el tratamiento de fangos y la deposición de estos residuos en los canales y equipos.

A los sólidos de gran tamaño extraídos en el proceso de desbaste se les conoce en las depuradoras urbanas como basuras (por su composición parecida a las basuras urbanas), o residuos, siendo su destino final el envío a vertedero municipal.

Para llevar a cabo las funciones anteriores se utilizan diferentes procesos, siendo los más importantes los siguientes:

- Pozos de gruesos
- Rejas
- Tamices
- Dilaceladores

#### **Pozo de gruesos**

Se emplean en plantas depuradoras de aguas residuales urbanas grandes y cada vez con más frecuencia en todas las plantas. Se instalan antes de la unidad de bombeo para evitar que los elementos de volumen elevado y alta densidad (piedras, ladrillos, escorias, etc.) causen graves problemas en la misma.



## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Los pozos de gruesos consisten básicamente en un foso realizado en la solera de la cámara de bombeo y antes de estos equipos, con el fin de que una parte de las arenas y objetos de elevada densidad queden retenidos. Se fundamentan en la elevada diferencia de densidad entre el sólido a separar y el agua.

La forma de evacuar los materiales retenidos en el pozo de gruesos es mediante una cuchara bivalva que los deposita sobre un contenedor del tipo de escombros de construcción con el fondo perforado para permitir el escurrido de los materiales extraídos.

### Rejas

Las rejas consisten básicamente en un conjunto de barras metálicas de sección regular, paralelas y de separación uniforme entre ellas, situadas en un canal de hormigón, en posición transversal al flujo, de tal forma que el agua residual pase a través de ellas quedando retenidos todos los sólidos presentes cuyo tamaño sea superior a la separación entre barrotes.

Las rejas se clasifican según la separación o luz entre barrotes (Tabla 2), dependiendo la utilización de un tipo u otro de rejas del tamaño de los sólidos a retener.

Tipo	Luz (mm)
Reja de gruesos	>50
Reja de medios	15-50
Reja de finos	8-12

Tabla 2. Clasificación de las rejas según la luz o separación entre barrotes.

Cuanto menor sea la separación o luz entre barrotes, más cantidad de residuos se eliminarán.

En algunas plantas no demasiado grandes se sustituye la reja de finos por un tamiz.

La eliminación de los residuos depositados en las rejas puede realizarse por limpieza manual o por limpieza automática. En este Proyecto se utilizan rejas de finos con limpieza automática.

Habitualmente se instala una unidad de reserva de limpieza manual, sobre todo cuando se emplean equipos automáticos, y con compuertas de aislamiento de cada canal

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

para poder reparar en caso de avería.

El material de las rejas es normalmente acero al carbono o inoxidable. Los elementos de acero al carbono deberán estar pintados con dos capas de imprimación y dos de pintura epoxi bituminosa.

La evacuación de residuos de las rejas debe hacerse diariamente, pueden generarse olores desagradables.

### Tamices

Los tamices, al igual que las rejas, son equipos para la eliminación de sólidos en suspensión de gran tamaño, consistentes en hacer pasar el agua a través de una placa perforada con ranuras o perforaciones de 1 a 3 mm, o bien por una malla de acero inoxidable, con luz entre 0,5 y 2 mm.

Estos equipos tienen una capacidad de eliminación de basuras mucho mayor que las rejas debido a que la luz es muy inferior en éstos, llegando en las plantas depuradoras urbanas incluso a una eliminación en el 10-15% de los sólidos en suspensión.

La construcción de los diferentes tipos de tamices se realiza en acero inoxidable.

Los tamices, al igual que las rejas, basan su capacidad de retención de sólidos en el tamaño del sólido a retener, de tal modo que quedan retenidos aquellos cuyas dimensiones son superiores a la luz del tamiz.

Los tamices pueden ser:

- De disco o tambor, no utilizados en tratamientos de aguas en la actualidad.
- Estáticos de superficie curva, denominados en muchas ocasiones microtamices.
- Dinámicos o rotativos, con sistema de limpieza automática.
- De superficie móvil.

En plantas urbanas sólo se utilizan los de superficie móvil, y en algunas plantas de pequeño tamaño los rotativos o dinámicos. Los tamices a instalar en esta planta son de superficie móvil.

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

### Dilaceladores

Los dilaceladores o trituradores son dispositivos montados en canal que permiten el paso del agua residual y los sólidos gruesos presentes son troceados hasta reducirlos a un tamaño tal que sean arrastrados por el agua y no causen problemas en el resto de la planta.

Estos equipos no eliminan basuras sino que las acondicionan para su posterior eliminación por decantación como sólidos en suspensión, lo que lleva consigo un aumento considerable de los mismos y de la DBO, si el sólido se compone de materia orgánica, y en consecuencia del tamaño de los procesos posteriores así como del tratamiento de fangos.

Por este motivo generalmente no se admite su instalación en plantas depuradoras urbanas.

### **Desarenado**

Instalado en todas las depuradoras urbanas y a continuación del desbaste, 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), de peso específico igual o mayor de 2,65 y un tamaño de partícula superior a 0,15-0,2 mm, impidiendo la sedimentación de la materia en suspensión de baja densidad (de naturaleza orgánica).

Las partículas de naturaleza inorgánica eliminadas en este proceso son conocidas generalmente como arenas, incluyendo en dicha denominación otros productos presentes en el agua residual como escorias, gravas, cáscaras de huevo, objetos metálicos, etc.

Estos elementos inorgánicos separados son estables, por lo que no se van a generar descomposiciones posteriores.

Entre los fines más importantes encomendados al proceso de desarenado, se encuentran los siguientes:

- Evitar problemas de abrasión en los equipos mecánicos, al tratarse las arenas de compuestos de elevada dureza, aumentando con ello la vida de los diferentes equipos de la planta, y en consecuencia la vida útil de la depuradora.
- Evitar deposiciones en canales y tuberías.

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

- Evitar la presencia de sólidos inertes en la línea de tratamiento de fangos.
- Mayor facilidad de evacuación de la planta depuradora, al tratarse de sólidos inertes, y poder ser su destino final los vertederos de inertes.
- La no retirada de arenas en esta operación supondría su eliminación con los fangos primarios, depositándose en el fondo de los digestores, dando lugar a operaciones de limpieza engorrosas además de ocupar volumen inútilmente.

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

- Desarenadores de flujo horizontal, de aplicación exclusivamente en plantas pequeñas por los bajos rendimientos que se obtienen.
- Desarenadores de sección cuadrada. Han caído en desuso por los problemas mecánicos que presentaban.
- Desarenadores aireados: son los que se emplean de forma habitual en plantas urbanas de capacidad media o alta.

En este Proyecto se utiliza un desarenador aireado con separación de grasas y aceites que por su configuración no se ve afectado por las variaciones de caudal y de él se extrae por bombeo una arena con un grado de lavado importante (concentraciones mínimas de materia orgánica). En la unidad de desarenado-desengrasado conjuntas se instala una pantalla longitudinal para conseguir una zona de tranquilización y facilitar la separación de las grasas.

### Decantación

El proceso de decantación, también conocido como sedimentación, es una de las operaciones unitarias más antiguas que se conocen de las empleadas en el tratamiento de aguas residuales, así como una de las más utilizadas en la actualidad. Es un proceso netamente físico de eliminación de sólidos en suspensión por diferencia de densidad, de tal forma que las partículas con mayor densidad que el agua son separadas por la acción exclusiva de la gravedad.

En estas unidades no se separan aquellos sólidos en suspensión con un tamaño de partícula muy fino ni aquellos otros que se encuentren en estado coloidal, así como los que

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

tengan una densidad próxima o inferior a la del agua a tratar.

El objetivo del proceso de decantación es la eliminación de 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, con una concentración más o menos elevada por el fondo.

Entre los fines encomendados a este proceso se encuentran:

- 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.
- Cumplir la normativa legal vigente.
- En aquellos casos en que los sólidos en suspensión sean de naturaleza orgánica y generen DBO, como ocurre con una parte importante de los sólidos en las aguas urbanas, 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.

El proceso de decantación se basa en la diferencia de peso específico entre la partícula sólida a separar y el agua, de tal forma que una disminución de la velocidad ascensional del líquido a un valor menor que la de caída de los sólidos, permita que la materia sedimentable se deposite en el fondo del equipo.

Los tres tipos de decantadores utilizados son:

- Rectangulares
- Circulares
- De lamelas

La instalación de uno u otro tipo de equipos dependerá de factores como:

- Tamaño de la instalación
- Terreno disponible y sus condiciones
- Experiencia del proyectista

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

- Estimación de costes

Lo habitual es instalar equipos circulares en estaciones depuradoras y de lamelas en estaciones regeneradoras.

En este Proyecto se colocan dos decantadores circulares que trabajarán simultáneamente en temporada alta, uno trabajará en temporada media, y en invierno se trabaja sin decantación primaria.

### Tratamiento biológico

El objetivo fundamental de los procesos biológicos es la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales, a través de reacciones bioquímicas, en las que intervienen microorganismos vivos.

Las funciones más importantes llevadas a cabo por los procesos biológicos son las siguientes:

- Eliminación de la materia orgánica biodegradable del agua residual y en consecuencia cumplir la normativa legal vigente con referencia a este parámetro. Vía procesos biológicos pueden eliminarse otros contaminantes, como compuestos de nitrógeno y fósforo.
- Evitar que la biodegradación de la materia orgánica tenga lugar en el cauce receptor. La descarga de materia orgánica biodegradable produce en el cauce receptor una demanda o consumo de oxígeno y, en consecuencia, la disminución de este elemento en el agua puede provocar una disminución o eliminación de la vida en el cauce.
- Evitar condiciones anaerobias en el receptor. La presencia de las diferentes especies de seres vivos en el cauce receptor está condicionada por la concentración de oxígeno en el mismo.

Los procesos biológicos se clasifican en *aerobios* y *anaerobios*, dependiendo que se lleven a cabo en presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua, respectivamente.

A su vez, los tratamientos biológicos pueden dividirse en:

- Biomasa en estado libre o en suspensión: los microorganismos responsables del

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

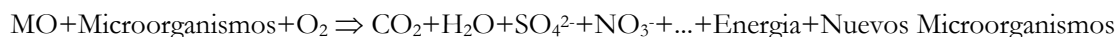
proceso se encuentran en mezcla íntima con el agua residual a tratar.

- Biomasa en lecho fijo: los microorganismos se encuentran fijados sobre un soporte físico, pasando el agua a través del mismo. Dentro de este grupo se encuentran los de soporte fijo (filtros percoladores), de soporte móvil (biodiscos, biotambores) y lechos fluidizados (la biomasa se encuentra fijada sobre un soporte formado por partículas sólidas, que se mantiene en suspensión por la velocidad ascensional del agua en el tanque).

### Procesos aerobios

La biodegradación de la materia orgánica biodegradable en procesos aerobios tiene lugar utilizando el oxígeno disuelto en el agua residual.

El mecanismo de la oxidación biológica aerobia consiste en la asimilación de la materia orgánica biodegradable (MO) presente en las aguas residuales por los microorganismos, en presencia de oxígeno y de acuerdo con la siguiente reacción:



El efluente de una unidad de tratamiento biológico es muy estable debido a los productos formados.

### Procesos anaerobios

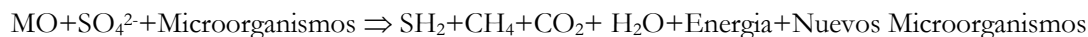
La principal característica de los procesos anaerobios es que la biodegradación de la materia orgánica biodegradable tiene lugar en ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual. Los microorganismos toman el oxígeno que precisan para su metabolismo de los compuestos orgánicos que lo contengan, o bien de sales inorgánicas.

En el caso de los nitratos, el mecanismo de la biodegradación anaerobia se puede representar por la reacción:

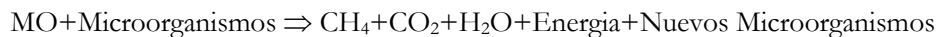


Los sulfatos pueden actuar como fuente de oxígeno para un grupo muy específico de bacterias, según la siguiente reacción:

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja



Igualmente, el metabolismo anaerobio utiliza el oxígeno presente en la propia materia orgánica según la reacción siguiente:



Los microorganismos responsables de estos procesos son fundamentalmente bacterias.

La digestión anaerobia de un agua residual se lleva a cabo a través de una serie de etapas o fases que son las siguientes:

- Hidrólisis de los compuestos orgánicos en estado sólido o de elevado peso molecular, obteniéndose productos de cadena más corta y fácilmente solubles.
- Acidogénesis: los productos generados en la etapa anterior son transformados en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  y una mezcla de ácidos grasos volátiles (orgánicos), por la acción de microorganismos de rápido crecimiento, muy resistentes al medio, a pH ligeramente ácido.
- Acetogénesis, o producción de ácido acético a partir de los ácidos orgánicos generados en la etapa anterior, por la acción de un grupo de bacterias especializadas.
- Metanogénesis: se obtiene metano a partir del ácido acético obtenido en la fase anterior, o bien por reacción del hidrógeno con el  $\text{CO}_2$  generado en la segunda etapa. Esta etapa es llevada a cabo por un grupo de bacterias anaerobias estrictas y de crecimiento lento.

En las líneas de agua de las E.D.A.R. los procesos biológicos que se utilizan son de tipo aerobio, debido a las concentraciones de DBO presentes, mientras que son habituales los sistemas anaerobios en la línea de fangos en instalaciones de una población mayor de 25-30.000 habitantes.

### Lodos activos

El objetivo fundamental del proceso de fangos o lodos activos es la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual.



## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Las funciones más importantes asignadas a este proceso, al igual que en el resto de los procesos biológicos, son las siguientes:

- Eliminación de la materia orgánica biodegradable.
- En determinados procesos específicos, la eliminación de compuestos de nitrógeno y fósforo vía bioquímica.

En el proceso de fangos activos se lleva a cabo la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, de igual forma que tiene lugar en la naturaleza, a través de una biomasa o conjunto de microorganismos que la utilizan como sustrato o fuente de alimentación, descomponiéndola vía aerobia. La reacción bioquímica que tiene lugar es la que ocurre en un proceso aeróbico.

A diferencia de los que ocurre en la naturaleza, la población de biomasa que se utiliza en este proceso es elevada, lo que conlleva que en unos tiempos reducidos tenga lugar la eliminación de cantidades importantes de DBO.

Las unidades básicas que componen el proceso de lodos activos son: un reactor o balsa biológica, un decantador secundario, y la recirculación del lodo activo.

El proceso que tiene lugar es el siguiente:

- El agua residual es introducida de forma continua en el reactor donde se mantiene una concentración elevada de microorganismos en suspensión. En esta etapa, 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 oxígeno preciso para los microorganismos se introduce mediante el empleo de difusores, aireadores mecánicos u otros sistemas que aportan el aire para el proceso (el 23% en peso del aire es oxígeno), al mismo tiempo que provocan la agitación suficiente para mantener la biomasa en suspensión y en mezcla íntima con el agua a tratar.

- El agua que llega al reactor provoca el desplazamiento de la mezcla agua-biomasa a un decantador instalado a continuación. En el decantador, los microorganismos se aglomeran sobre pequeñas partículas en suspensión, generando unos flóculos de varios milímetros fácilmente decantables, que sedimentan en el fondo del equipo.

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Este fango decantado está compuesto fundamentalmente por microorganismos que han escapado del reactor biológico. Para mantener la concentración en el reactor, esto lodos decantados son recirculados de nuevo al reactor y así mantener la población necesaria.

- En el proceso de síntesis que tiene lugar en el reactor se están formando continuamente nuevos microorganismos que es preciso purgar y extraer del sistema para trabajar con una población de microorganismos fija.

El agua que sale por el vertedero del decantador ya se encuentra tratada y es adecuada para su vertido, en el caso de que no disponga de algún otro tipo de contaminación.

En la Figura 7 se esquematiza el proceso de lodos activos con recirculación de los mismos.

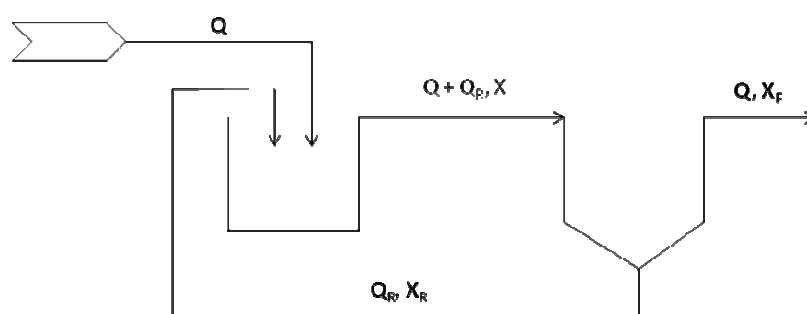


Figura 7. Proceso de lodos activos

En el proceso de fangos activos, es por tanto muy importante que los microorganismos asimilen la materia orgánica en el menor tiempo posible, y que formen unos flóculos fácilmente decantables.

El nivel de población o concentración de microorganismos que se debe mantener en el reactor va a depender, entre otros, de los siguientes factores:

- Concentración de materia orgánica biodegradable en la alimentación.
- Tipo de proceso a utilizar.
- Rendimiento que se desee obtener.

Cuando en un proceso de fangos activos desaparece la materia carbonosa y se dan

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

las condiciones adecuadas, como temperatura, tiempo de retención, etc., tiene lugar la oxidación por vía bioquímica del nitrógeno amoniacal, transformándolo en un primer paso en nitrito y posteriormente a nitratos.

En la práctica, la nitrificación puede conseguirse en el mismo reactor utilizado en el tratamiento de la materia orgánica carbonosa o bien en un reactor separado dispuesto a continuación de un proceso convencional de fangos activos.

Del proceso de lodos activos existen una serie de variantes o alternativas, de las cuales las más importantes son:

- Proceso convencional: flujo pistón con recirculación de fangos.
- Reactor de mezcla completa: mezcla uniforme en todo el reactor con condiciones de concentración constantes. Carga másica constante.
- Aeración graduada: flujo pistón en el que la introducción de oxígeno es más elevada a la entrada del tanque, disminuyendo progresivamente a medida que se avanza.
- Alimentación escalonada: flujo pistón donde el agua residual se introduce en varios puntos a lo largo del reactor. Carga másica constante.
- Contacto estabilización: dos etapas: adsorción de la materia orgánica (contacto), y posterior oxidación y síntesis de la misma (estabilización).
- Aeración prolongada / oxidación total: aeración en el reactor durante al menos 24 horas. Carga másica muy baja, concentración de biomasa elevada, rendimientos elevados, menor cantidad de fangos muy mineralizados.
- Empleo de oxígeno: introducción de oxígeno puro o mezclas enriquecidas de aire en oxígeno. Concentración de biomasa elevada.
- Tratamiento biológico en doble etapa A-B: en la primera etapa (A), se opera con carga másica muy alta y bajo rendimiento, y en la segunda etapa (B) media o baja carga másica.
- Canales de oxidación: canal con turbinas que al girar producen circulación y aireación del agua residual. Flujo pistón con cargas másicas bajas y elevados tiempos de retención.

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

- Proceso secuencial discontinuo (SBR): sistema de mezcla completa sin decantador secundario, en el que se llevan a cabo las diferentes etapas de forma discontinua.
- Nitrificación- desnitrificación: la oxidación del nitrógeno amoniacal tiene lugar en dos etapas: paso a nitritos, y paso de éstos a nitratos. Permite diferentes configuraciones como por ejemplo un reactor anóxico, seguido de un reactor aerobio (donde se produce la nitrificación) y un decantador secundario (con recirculación a la salida de las dos últimas unidades), o en canales de oxidación o sistemas SBR. La nitrificación tiene lugar en procesos de aireación prolongada u oxidación total.
- Eliminación de fosfatos vía biológica: igual que la anterior, permite diferentes configuraciones, añadiendo al comienzo un reactor anaerobio.
- Biorreactores de membrana (BMR): un sistema de filtración sobre membranas sustituye el decantador secundario.

La carga másica es la relación entre alimentación por día que entra en el reactor (materia orgánica biodegradable, Kg DBO/d) y biomasa que se tiene en el sistema (masa de microorganismos existentes en el reactor, Kg biomasa)

En este Proyecto se utiliza un proceso de aeración prolongada u oxidación total, trabajando en fase de respiración endógena y con cargas másicas muy bajas, obteniéndose en consecuencia rendimientos elevados, produciendo una menor cantidad de fangos muy mineralizados, lo que simplifica de forma importante la línea de tratamiento de lodos. La concentración de biomasa en el reactor biológico suele ser más elevada que en el resto de los procesos indicados anteriormente. Al trabajar con cargas másicas muy bajas, en este proceso se va a producir una nitrificación muy importante del nitrógeno amoniacal presente en el agua residual.

Este tipo de sistemas se adapta muy bien a las variaciones de caudal y composición.

En la Tabla 3 se define la relación existente entre la carga másica y el rendimiento del proceso del proceso en aguas urbanas:

Rendimiento %	CM (kg DBO/d)/kg MLSS
87	0,5
88	0,4
90	0,3

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Rendimiento %	CM (kg DBO/d)/kg MLSS
92	0,2
93	0,1
94	0,05

Tabla 3. Relación entre carga másica y rendimiento del proceso para aguas urbanas

Teniendo en cuenta que el reactor tendrá un volumen constante, se puede trabajar con una nueva concentración de biomasa más baja, o disminuir la carga másica aumentando así el rendimiento.

### Equipos de aireación

Los sistemas de aireación son los encargados de introducir el aire (oxígeno) en el reactor. Deben cumplir, entre otras, las siguientes misiones:

- Aportar el oxígeno necesario para las reacciones de síntesis, oxidación, nitrificación (en su caso).
- Mantener una concentración mínima de oxígeno en el reactor.
- Conseguir una agitación lo suficientemente buena en el reactor para mantener una mezcla íntima entre los microorganismos responsables del proceso y el agua residual.
- Tener la capacidad para asimilar las puntas de contaminación que se generen en el agua residual.

Se utilizan dos tipos de sistemas diferentes:

- Difusores: de burbuja gruesa (>6 mm), de burbuja media (3-6 mm), de burbuja fina (<3 mm). El rendimiento de transferencia de oxígeno es mayor cuanto más fina sea la burbuja por lo que sólo se emplean difusores de burbuja fina. A mayor profundidad del tanque de aireación, mayor transferencia de oxígeno. El aire que es capaz de inyectar cada difusor de la balsa varía entre 1 y 10 m<sup>3</sup>/h, dependiendo del tipo y suministrador.
- Aireadores mecánicos: además de suministrar oxígeno al reactor, deben producir una agitación elevada para mantener la biomasa en suspensión de forma homogénea en el agua. Se pueden clasificar en función de su velocidad de giro en

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

aireadores de baja velocidad o de alta velocidad. Los más utilizados normalmente son los siguientes:

- Aireadores de superficie
- Aireadores tipo rotor o cepillo
- Aireadores de turbina
- Aireadores sumergidos

Los difusores cerámicos de burbuja fina son los utilizados de forma generalizada, debido a su mayor transferencia de oxígeno, ya que para la misma cantidad de aire, cuanto más fina sea la burbuja mayor será el número de las formadas y en consecuencia la superficie agua-aire, aumentando la transferencia de oxígeno al agua. Un factor que influye de manera determinante en el rendimiento de transferencia de un sistema con difusores es la profundidad del tanque de la aeración ya que a mayores profundidades aumenta la presión de la lámina de agua y en consecuencia aumenta la solubilidad del oxígeno, y además la burbuja tarda más tiempo en alcanzar la superficie, lo que lleva consigo un mayor tiempo de contacto aire-agua y por tanto un incremento notable de la cantidad solubilizada.

En la Figura 8 se incluye una curva típica de difusores tipo cerámico, de la variación del rendimiento (transferencia %) frente a la profundidad de la balsa.

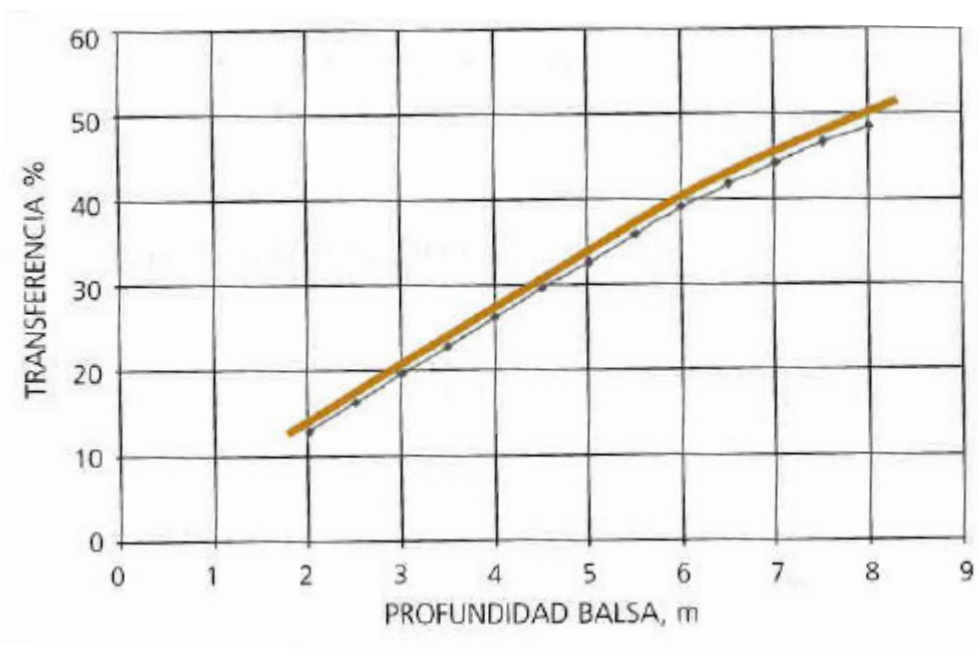


Figura 8. Variación del rendimiento frente a la profundidad de la balsa para difusores tipo cerámico

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

Cada difusor de burbuja fina proporciona normalmente un caudal de aire de 2-5 m<sup>3</sup>/h. El número total de difusores en el reactor biológico dependerá del caso crítico en el que sea mayor la necesidad de aire (oxígeno), trabajando con el caudal de aire máximo. Cuando la necesidad de aire sea menor, para el mismo número de difusores, se puede trabajar con un menor caudal de aire por difusor, asegurando siempre que se supera el mínimo caudal para el correcto funcionamiento del mismo.

### Decantación secundaria

Como ya se ha comentado, en el reactor biológico tiene lugar la eliminación de 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. Si esta biomasa se introduce en un decantador, se produce una floculación o aglomeración de microorganismos sobre partículas sólidas, de un tamaño identificable visualmente, y con una densidad que permite su sedimentación. Esta característica de la biomasa es fundamental, ya que el fango depositado en el fondo de los decantadores es extraído y enviado de nuevo al reactor con el fin de mantener la concentración apropiada o bien es purgado el fango en exceso.

Los equipos de decantación secundaria se basan en los mismos principios que los decantadores primarios, variando los parámetros de proceso al tratarse de fangos de diferente naturaleza y características a los sólidos eliminados en los tratamientos primarios. Al ser la mayor parte de su composición materia orgánica, su densidad es menor y en consecuencia su velocidad de decantación.

Por otra parte, el sistema de decantación secundaria es generalmente el último proceso antes del vertido del agua al cauce receptor, lo que lleva consigo que un mal funcionamiento de esta unidad deteriore la calidad del efluente final. Si se produce fuga de sólidos no sólo se incrementa este parámetro, sino también la demanda biológica de oxígeno, al tratarse de materiales de naturaleza orgánica.

Los equipos normalmente utilizados son de tipo circular, debiendo evitarse unidades de diámetro superior a 40-50 m, por los problemas mecánicos que pueden presentar. El sistema de extracción de fangos es mediante rasquetas, o, para unidades de diámetro mayor de 30-35 m, se deben utilizar unidades de succión que extraen los fangos

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

por toda la superficie de fondo de forma radial, con tiempos de retención de fangos menores.

### Producción de fangos en exceso. Recirculación de fangos

Una parte de la materia orgánica eliminada por el sistema se utiliza en la síntesis de nuevos microorganismos, lo que supone la generación de sólidos en suspensión, eliminados como fangos en la decantación secundaria y que para mantener el sistema en equilibrio hay que purgar del sistema.

Los fangos a purgar diariamente coinciden con la biomasa generada en dicho periodo de tiempo, una vez que el sistema está en equilibrio.

El agua que está llegando constantemente al reactor biológico desplaza la biomasa hacia el decantador secundario. Con el fin de mantener una concentración apropiada de biomasa en la balsa biológica, es necesario la recirculación de los fangos (biomasa) separados en el decantador secundario.

En procesos de carga másica media, el valor de la recirculación suele estar comprendido entre el 50 y el 100% del caudal del agua tratada. Para los procesos de baja carga, la recirculación varía entre 100 y 200%.

Los fangos biológicos decantados deben ser recirculados o purgados tan pronto como se obtengan, ya que por su naturaleza tienen tendencia a descomponerse si el tiempo de retención es elevado. Debido a que esta descomposición se lleva a cabo de forma anaerobia, hay desprendimientos de malos olores así como de los gases producidos, y al subir hacia la superficie de los decantadores secundarios pueden arrastrar sólidos deteriorando la calidad del efluente final de la planta depuradora.

Igualmente y sobre todo en procesos donde existe nitrificación, puede dar lugar en el fondo de los decantadores al proceso de desnitrificación, con formación de burbujas de nitrógeno que dan lugar a una problemática similar a la indicada anteriormente de flotación de los sólidos.

Es muy importante en la explotación de los sistemas biológicos, el control tanto de la recirculación como de la purga de los fangos, con el fin de mantener la concentración precisa de biomasa en el reactor y en consecuencia obtener los resultados previstos.



### Procesos de regeneración de aguas

#### **Coagulación-Floculación**

El objetivo de los procesos de coagulación-floculación es la neutralización de las cargas eléctricas de los coloides y emulsiones presentes en el agua residual, seguida de un reagrupamiento de las partículas, de tal forma que sea factible su separación posterior ya sea por decantación o por flotación.

Las funciones más importantes de este proceso son las siguientes:

- Neutralizar las cargas eléctricas presentes en partículas coloidales o emulsiones, eliminando las fuerzas de repulsión existentes al ser cargas del mismo signo y que impedían su decantación o flotación.
- Reagrupación de partículas de tamaño muy pequeño en otras de mayor tamaño más fácilmente decantables.
- Algunos compuestos orgánicos se eliminan en cantidades variables por adsorción sobre la superficie de los flóculos.
- Adecuar determinadas partículas para que sean eliminadas en procesos posteriores de decantación o flotación.

#### **Coagulación**

El proceso de coagulación consiste básicamente en la neutralización de las cargas eléctricas de los coloides y emulsiones presentes en el agua residual y que dan origen a unas fuerzas de repulsión que impiden su separación a través de los procesos de decantación o flotación.

La desestabilización o neutralización de las cargas eléctricas se consigue mediante la dosificación de reactivos químicos y agitación vigorosa, para favorecer la mezcla rápida e íntima entre el agua residual y el reactivo en el menor tiempo posible y que se lleve a cabo la reacción correspondiente.

Cuando la superficie de una partícula adquiere una carga eléctrica, algunos iones de carga contraria se adhieren a la superficie y quedan allí retenidos gracias a fuerzas electrostáticas y de Van der Waals.

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Si a un agua residual con materia coloidal se le hace pasar una corriente eléctrica continua, las partículas cargadas eléctricamente serán atraídas hacia uno u otro electrodo de acuerdo con el signo de su carga. Al potencial de la superficie de la nube se le denomina potencial zeta. El valor de este parámetro es limitado ya que varía según la naturaleza de los componentes de la solución. Cuando se produce la neutralización de las cargas eléctricas por coagulación, el potencial zeta se anula.

El proceso de coagulación se puede realizar por tres vías diferentes:

- Adición de iones que se adsorban o reaccionen con la superficie del coloide y en consecuencia disminuyan su potencial.
- Adición de un polielectrolito. Éstos se dividen en dos grandes familias, según su origen: naturales (almidón, celulosa, alginatos, etc.) y sintéticos (formados por monómeros simples que se polimerizan formando cadenas de muy alto peso molecular). Los polímeros también pueden ser aniónicos, catiónicos y no iónicos.
- Adición de sales metálicas, fundamentalmente de aluminio o hierro: producen una serie de reacciones de hidrólisis, formándose un conjunto de sustancias de tipo complejo de cargas multivalentes, que son los responsables del proceso de coagulación. Generalmente se utilizan sales metálicas de cationes con alta carga iónica de tal forma que cuanto mayor sea la carga del catión y menor el radio iónico, mejor será el rendimiento de la operación. Debido a la dosificación de sales metálicas, si la cantidad es importante puede ser necesaria la dosificación de álcali para compensar la bajada de pH.

### Floculación

Las partículas formadas en el proceso de coagulación son de un tamaño muy pequeño por lo que su decantación va a ser muy difícil debido a las bajas velocidades de decantación que precisan y a la resistencia que se origina a su paso a través de la masa de agua. Se hace necesaria por tanto, su reagrupación en otras partículas de mayor tamaño formando una especie de piña o ristra entre ellas que permita una mayor velocidad de decantación, lo que se denomina floculación.

Para mejorar de forma notable la formación de flóculos es habitual la dosificación

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

de polielectrolitos orgánicos consistentes en polímeros de alto peso molecular y larga cadena que fijan las partículas sólidas formando unas nuevas partículas de mayor tamaño, compactas y fácilmente decantables.

La floculación, al no ser una reacción química, tiene lugar en el seno de una agitación moderada que no destruya los flóculos ya formados pero ponga en contacto las partículas con el reactivo, y mantenga los sólidos en suspensión.

### Decantación

A continuación de un proceso de coagulación-floculación, el agua pasa por una decantación en la que los flóculos ya tienen un tamaño y velocidad de decantación adecuados. Los decantadores utilizados son similares a los utilizados en el tratamiento primario. En este caso se utilizan, sin embargo, decantadores de lamelas al tratarse de aguas muy limpias.

### Filtración

La sedimentación, con coagulación o sin ella, no proporciona ordinariamente un tratamiento suficientemente satisfactorio del agua. La obtención de agua clara y transparente, con la máxima garantía por lo que se refiere a la posible transmisión de enfermedades, requiere el empleo de un filtro.

En general, se considera la filtración como el paso de un fluido a través de un medio poroso que retiene la materia que se encuentra en suspensión y deja pasar el agua. En las principales instalaciones de filtración los filtros suelen ser abiertos, mientras los filtros cerrados suelen utilizarse para instalaciones pequeñas (menos de 40 m<sup>3</sup>/h).

En las estaciones de tratamiento de agua, el medio poroso suele ser generalmente arena, o arena y antracita, y la materia en suspensión está constituida por flóculos o microflóculos procedentes de la etapa anterior de decantación, o bien formados expresamente cuando se sigue el proceso conocido como *microfloculación sobre filtro* o *filtración directa*.

El espesor de la capa filtrante y la granulometría dependen de la velocidad de filtración, del tamaño y naturaleza de las partículas que van a ser retenidas y de la pérdida

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

de carga disponible.

Uno de los parámetros más indicativos del comportamiento del filtro es la turbidez del agua filtrada. Inicialmente ésta comienza a disminuir hasta un valor constante que mantiene durante un período de tiempo pasado el cual la turbidez vuelve a aumentar hasta el punto de máxima pérdida de carga, por lo que se procede al lavado del filtro.

Para conseguir una tasa o velocidad de filtración constante se pueden utilizar filtros que operan a nivel constante, con regulación aguas arriba y abajo mediante flotadores, válvulas de mariposa o sifones, o bien, emplear filtros de nivel variable en los cuales este nivel va aumentando a medida que aumenta la pérdida de carga como consecuencia del atascamiento o colmatación del lecho filtrante.

La elección de un medio filtrante debe basarse en su durabilidad, el grado de purificación deseado, la duración de los ciclos de filtración y facilidad de lavado a contracorriente. El medio ideal deberá ser de tamaño y naturaleza tales que sea capaz de producir un efluente de calidad satisfactoria, retener la máxima cantidad de sólidos y poder limpiarse con facilidad empleando la mínima cantidad de agua para el lavado. El tamaño del medio filtrante viene determinado por su tamaño efectivo que es el del tamiz, expresado en milímetros, que deja pasar un 10% del peso.

La arena es medio filtrante más utilizado, debe estar libre de suciedad, ser dura y resistente, y preferiblemente estar constituida por cuarzo o cuarcita.

En aquellos casos en que sea preciso un mayor grado de filtración, se emplean filtros de anillas.

### **Desinfección**

La desinfección del agua consiste en la exterminación de las bacterias patógenas que pueda contener. En el proceso se destruirán también los colibacilos y se reducirá considerablemente la cantidad de otras bacterias.

Como agentes desinfectantes se suelen utilizar normalmente cloro y productos del mismo, y ozono, aunque también pueden servir el yodo y el bromo. Otras técnicas empleadas en desinfección utilizan los rayos ultravioletas, los ultrasonidos, los valores extremos de pH, iones metálicos, compuestos cuaternarios de amoníaco y otros agentes

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

oxidantes.

Los rayos ultravioletas son efectivos en la destrucción de todo tipo de bacterias y virus. Parece ser que el mecanismo que tiene lugar es la destrucción de los ácidos nucleicos por medio de los rayos generados en lámparas de vapor de mercurio-cuarzo. Las ventajas de este tipo de desinfección incluyen la automatización del proceso, no tener que manejar producto químico alguno, cortos tiempos de contacto, ausencia de productos secundarios, no le afectan los cambios de temperatura y pH del agua, no presenta riesgos de sobredosificación, tiene bajos costes de mantenimiento y nulos efectos sobre las características químicas del agua.

Esta solución es adecuada siempre que el agua este exenta de sólidos en suspensión, como ocurre con al agua después de su filtración.

### **Tratamiento de fangos**

A lo largo de algunos de los procesos de depuración anteriores se van a producir unos lodos o fangos con unas concentraciones de sólidos en suspensión muy diluidas, que hay que concentrar y tratar antes de su evacuación de la planta de tratamiento de aguas residuales, dando lugar a una línea de tratamiento específica, que por su complejidad y coste tanto de primera implantación como de explotación y mantenimiento, va a tener una gran importancia en la planta.

Básicamente, los objetivos que tienen asignados los diferentes procesos de tratamiento de fangos son los siguientes:

- Concentrar los fangos diluidos obtenidos en diferentes procesos de la planta depuradora, de tal forma que los tratamientos posteriores de fangos resulten de menor tamaño, al disponer de menor volumen.
- Destruir o estabilizar la materia orgánica biodegradable presente en los fangos espesados para estabilizarlos.
- Deshidratar los fangos estabilizados de forma que se obtenga un sólido fácilmente transportable en la caja de un camión a destino final.

Para llevar a cabo los anteriores objetivos se utilizan habitualmente los procesos de

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

espesado, estabilización y deshidratación.

### Espesado

Los lodos o fangos purgados en los diferentes procesos de depuración presentan unas concentraciones muy bajas en sólidos en suspensión, siendo preciso aumentar dicha concentración con el fin de que los equipos de los sucesivos tratamientos de fangos resulten de menor tamaño.

Igualmente, si el proceso de estabilización es por vía anaerobia, el espesado va a disminuir de forma muy importante las necesidades energéticas para el calentamiento del fango.

Los sistemas de espesamiento de fangos utilizados normalmente son por gravedad o por flotación, dependiendo del tipo de fangos a tratar. En las plantas urbanas de gran tamaño, los fangos procedentes de decantación primaria se espesan por gravedad, mientras que los fangos biológicos lo hacen por flotación. En instalaciones medias o pequeñas, la mezcla de ambos fangos (mixtos) se concentra exclusivamente por gravedad, por razones de operatividad y económicas.

- Espesado por gravedad: se lleva a cabo en unos tanques similares a los utilizados para decantación, obteniéndose por el fondo un fango espesado y por superficie un líquido clarificado que se envía a cabeza de tratamiento. Es un proceso basado en la diferencia de densidad entre el agua y los sólidos en suspensión a espesar, siendo el más utilizado en espesamiento.

Los equipos muy pequeños son estáticos, de forma cilíndrica y con forma cónica en la parte inferior, para facilitar la descarga del fango espesado. Los de mayor tamaño son muy parecidos a los decantadores, con un sistema de piquetas sobre las rasquetas barredoras que se desplazan suavemente generando caminos de salida para el agua que se queda ocluida entre el fango espesado.

- Espesado por flotación: se puede utilizar, en su modalidad de aire disuelto en la recirculación, en los casos en que la densidad de los sólidos presentes en los fangos a espesar sea baja, como en los fangos biológicos.

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

### Estabilización del fango

Una parte importante de los lodos, sobre todo los procedentes de tratamientos biológicos, está compuesta por materia orgánica biodegradable, siendo precisa su estabilización antes de su evacuación final.

Los sistemas de estabilización pueden llevarse a cabo por vía biológica (aerobia o anaerobia) o por vía química.

- **Digestión anaerobia:** la estabilización o biodegradación tiene lugar en tanques cerrados, con tiempos de retención elevados y a temperatura alta para acelerar el proceso. Como producto final, además del fango estabilizado, se obtiene biogás, compuesto principalmente por metano y con un poder calorífico importante, que puede producir el calor necesario para la calefacción del digestor.

Se utiliza un reactor de mezcla completa y alta carga. El proceso se lleva a cabo generalmente en dos etapas:

1. Digestor primario, tipo mezcla completa con agitación y calentamiento del fango. Se elimina el 90% de los VSS (sólidos en suspensión volátiles) eliminados en el proceso de digestión.
  2. Digestor secundario, sin agitación ni calefacción. Fin del proceso con espesamiento de los lodos y obtención de un líquido clarificado que se envía a cabecera de planta. En él se puede almacenar el fango y, si dispone de techo flotante también el gas.
- **Digestión aerobia:** consiste básicamente en la introducción de los fangos sin espesar en una balsa o tanque y la aportación de aire mediante turbinas o difusores, manteniéndolos el tiempo adecuado para que la oxidación de la materia orgánica biodegradable tenga lugar. Los productos finales en este proceso son  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , etc.

Este tipo de procesos se emplea principalmente en plantas urbanas de tamaño pequeño, como mucho 20.000-30.000 habitantes, debido al elevado consumo energético que conlleva.

- **Acondicionamiento químico del fango:** consiste en la dosificación de cal al fango no digerido hasta alcanzar un pH próximo a 11,0-11,5, valor no adecuado para la

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

supervivencia de los seres vivos, consiguiendo en consecuencia evitar su descomposición al eliminar los microorganismos responsables de la biodegradación. En este proceso se obtiene un fango desinfectado aunque con mayor volumen, y no hay eliminación de materia orgánica. El tiempo de retención no debe ser inferior a 2-3 horas. Este proceso no se emplea nunca en depuradoras urbanas, siendo empleado en algunas depuradoras industriales al generar unas cantidades superiores de fangos.

### Deshidratación

Los fangos, una vez espesados y estabilizados, deben ser deshidratados hasta una concentración que permita su evacuación en fase sólida de la depuradora, mediante camión u otro medio de transporte.

Las concentraciones en materia seca de las tortas deben ser superiores a un 20-25 % para una buena evacuación.

Es práctica habitual que los sistemas de deshidratación en las plantas depuradoras no trabajen de forma continua, llevando a cabo los procesos entre 8 y 16 horas diarias y durante 5 ó 6 días a la semana, siendo en consecuencia preciso prever algún sistema para la acumulación de fangos.

La elección del sistema adecuado de deshidratación de los fangos va a estar condicionada entre otros por los siguientes factores:

- Costes de transporte del fango deshidratado. A mayor sequedad de la torta menor peso transportado y en consecuencia menor coste.
- A medida que aumenta la sequedad del fango deshidratado, mayor facilidad de manejo, y menor volumen de lixiviado, tanto si el destino final es vertedero como compostaje.
- Limitaciones fijadas por el vertedero de destino.
- En caso de que el destino final de los fangos sea incineración, es fundamental una buena deshidratación para reducir los costes energéticos.

Para mejorar el proceso es fundamental un acondicionamiento químico previo que



## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

neutralice los coloides presentes y flocule los finos.

Los sistemas utilizados en deshidratación son:

- Eras de secado
- Filtros de vacío
- Centrifugación
- Filtración a presión
- Filtros de bandas

En este Proyecto se utilizan centrifugas para deshidratar. Según el caudal de fangos a tratar, la concentración y el tipo de fango, se determina el modelo, siendo éstas de tipo decantadoras o “decanter”.

La deshidratación por centrifugación consiste en la separación de las partículas sólidas de mayor densidad que el agua presentes en el fango, debido a fuerzas de tipo centrífugo, y utilizando una fuerza entre 500 y 3.000 veces la gravedad.

Las centrifugas son máquinas que separan las partículas de acuerdo con su densidad y tamaño, de tal forma que las partículas más pequeñas se perderían con el efluente, sin embargo debido a la utilización de polielectrolitos sintéticos se consigue su floculación y en consecuencia una mayor retención de partículas así como mayor sequedad de la torta.

Básicamente una centrifuga decantadora consta de un tambor o cuba en posición horizontal que gira sobre dos cojinetes sujetos al bastidor. Su forma es cilíndrica finalizando en forma troncocónica. Montado en el mismo eje se encuentra un sinfín, que gira a menor velocidad para arrastre del fango.

El líquido clarificado se envía a cabeza de tratamiento y el lodo, con una concentración próxima al 25%, a destino final.

#### **4. CÁLCULO Y DISEÑO DE LA EDAR**

##### **4.1. PARÁMETROS DE DISEÑO, Caudal y Composición**

**NERJA**: Población: 35.000 habitantes equivalentes

Durante la primavera, la población duplica (70.000 habitantes equivalentes), y en verano puede llegar a ser casi el triple de la población equivalente de otoño e invierno (100.000 habitantes equivalentes).

Habitante equivalente: la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días ( $DBO_5$ ) de 60 g de oxígeno por día.

**Dotación: 220 l/hab.día**

##### **Caudal**

Cálculo del Caudal Medio para cada época del año:

$$Q_{med 1} = 220 \text{ l/hab.día} * 35.000 \text{ hab} * 1 \text{ día}/24 \text{ horas} * 1 \text{ m}^3/1.000 \text{ l}$$

$$Q_{med 1} = 321 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{med 2} = 220 \text{ l/hab.día} * 70.000 \text{ hab} * 1 \text{ día}/24 \text{ horas} * 1 \text{ m}^3/1.000 \text{ l}$$

$$Q_{med 2} = 642 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{med 3} = 220 \text{ l/hab.día} * 100.000 \text{ hab} * 1 \text{ día}/24 \text{ horas} * 1 \text{ m}^3/1.000 \text{ l}$$

$$Q_{med 3} = 917 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para el cálculo del Caudal Máximo se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_{med} x \left[ 1,15 + \frac{2,575}{Q_{med}^{0,25}} \right]$$

Teniendo en cuenta que:

$$\frac{Q_{m\acute{a}x}}{Q_{med}} = 1,6 - 2$$

Se calculan los caudales máximos:

$$Q_{m\acute{a}x 1} = 320,83 x \left[ 1,15 + \frac{2,575}{321^{0,25}} \right]$$

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$Q_{\text{máx } 1} = 564 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{máx } 2} = 687,50 \times \left[ 1,15 + \frac{2,575}{642^{0,25}} \right]$$

$$Q_{\text{máx } 2} = 1.142 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{máx } 3} = 916,67 \times \left[ 1,15 + \frac{2,575}{917^{0,25}} \right]$$

$$Q_{\text{máx } 3} = 1.483 \text{ m}^3/\text{h}$$

### Composición

La carga de los contaminantes presentes en el agua residual es la establecida en la Tabla 4:

Contaminante	g/hab.día
DBO	75
SS	90
NTK	15
Ptotal	4,5

Tabla 4. Carga de contaminantes a la entrada a la planta

Se calculan las concentraciones de cada contaminante:

$$[\text{DBO}] (\text{ppm}) = \frac{\text{Carga DBO (g/hab.día)}}{\text{Dotación (l/hab.día)}} \times 1.000 \frac{l}{\text{m}^3}$$

$$[\text{DBO}] (\text{ppm}) = \frac{75 \text{ (g/hab.día)}}{220 \text{ (l/hab.día)}} \times 1.000 \frac{l}{\text{m}^3}$$

$$[\text{DBO}] = 340 \text{ ppm}$$

$$[\text{SS}] (\text{ppm}) = \frac{\text{Carga SS (g/hab.día)}}{\text{Dotación (l/hab.día)}} \times 1.000 \frac{l}{\text{m}^3}$$

$$[\text{SS}] (\text{ppm}) = \frac{90 \text{ (g/hab.día)}}{220 \text{ (l/hab.día)}} \times 1.000 \frac{l}{\text{m}^3}$$

$$[\text{SS}] = 410 \text{ ppm}$$

$$[\text{NTK}] (\text{ppm}) = \frac{\text{Carga NTK (g/hab.día)}}{\text{Dotación (l/hab.día)}} \times 1.000 \frac{l}{\text{m}^3}$$

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$[\text{NTK}] (\text{ppm}) = \frac{15 (\text{g/hab.día})}{220 (\text{l/hab.día})} \times 1.000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3}$$

$$[\text{NTK}] = 68 \text{ ppm}$$

$$[\text{Ptotal}] (\text{ppm}) = \frac{\text{Carga Ptotal} (\text{g/hab.día})}{\text{Dotación} (\text{l/hab.día})} \times 1.000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3}$$

$$[\text{Ptotal}] (\text{ppm}) = \frac{4,5 (\text{g/hab.día})}{220 (\text{l/hab.día})} \times 1.000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3}$$

$$[\text{P}_{\text{total}}] = 21 \text{ ppm}$$

En resumen, para el agua residual de entrada a la estación, los valores de concentración de contaminantes son los dados en la Tabla 5:

Contaminante	Concentración entrada (ppm)
DBO	340
SS	410
NTK	68
Ptotal	21

Tabla 5. Concentración de contaminantes a la entrada de la planta

Dichas concentraciones han de reducirse a la salida de la estación hasta alcanzar los valores indicados en la Tabla 1 del Apartado 2.2. del presente Proyecto.

## **4.2. PRETRATAMIENTO**

### **4.2.1. Desbaste**

Se instala un pozo de gruesos con capacidad suficiente para tratar el volumen máximo de agua residual correspondiente a la población de verano ya que no se verá afectado cuando llegue menos caudal (en invierno).

El pozo de gruesos se diseña a partir de las siguientes ecuaciones:

$$V = \frac{Q_{\text{máx}} \cdot Tr}{60(\text{min}/h)}$$

$$S = \frac{Q_{\text{máx}}}{60(\text{min}/h) \cdot CH}$$

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Dónde:

V: volumen del pozo de gruesos ( $m^3$ )

$Q_{m\acute{a}x}$ : caudal máximo ( $m^3/h$ );  $Q_{m\acute{a}x} = 1.483 m^3/h / 3 \times 1000 l/m^3 \times 1h/3600 sg = 137,32 l/sg$   
para el cálculo del ancho de los tornillos

Tr: tiempo de retención (min); Tr= 1,5 min

S: superficie ( $m^2$ )

CH: carga hidráulica ( $m^3/m^2 \cdot h$ ); CH= 1  $m^3/m^2 \cdot h$

Con los datos anteriores se calcula el pozo de gruesos:

$$V = \frac{1.483 \cdot 1,5}{60(\text{min}/h)} \quad V = 37 m^3$$

$$S = \frac{1.483}{60(\text{min}/h) \cdot 1} \quad S = 25 m^2$$

Aquí se coloca a continuación la estación de bombeo, utilizando tornillos de Arquímedes. Se colocan tres tornillos y uno de reserva con 500  $m^3/h$  ( $\sim 140 l/s$ ). Con estos datos de caudal máximo y las bombas de tornillos comerciales (Anexos, Bomba por Tornillo de Arquímedes), se calcula un ancho óptimo para los tornillos de triple paso o entrada resultando de 800 mm de diámetro externo, con diámetro interno de 400 mm. Sabiendo la anchura y número de los mismos y la distancia entre ellos (25 cm) se puede conocer el ancho del pozo de gruesos que será 4,5 metros. Para una superficie de 25  $m^2$ , la longitud del mismo será 5,6 metros.

La altura del pozo de gruesos, conocidos el volumen y la superficie, será de 1,48 m.

A continuación se colocan rejas de desbaste en paralelo. Debido a la gran influencia del caudal en el diseño y la necesidad de trabajar dentro de márgenes, se ha previsto el empleo de tres canales en paralelo, que trabajarán uno en invierno, dos en temporada media y tres en temporada alta, y una reja manual de reserva. Para el cálculo de su superficie se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = \frac{Q}{v} \times \frac{L+e}{L} \times \frac{1}{C}$$

Donde:

S: superficie de la reja ( $m^2$ )

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s).  $Q_{med} = 321 \text{ m}^3/\text{h} = 0,089 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_{max} = 571 \text{ m}^3/\text{h} = 0,159 \text{ m}^3/\text{s}$

v: velocidad de paso (m/s).  $v = 0,8 \text{ m/s}$  (a  $Q_{med}$ );  $v = 1,2 \text{ m/s}$  (a  $Q_{max}$ );

L: luz o separación entre barrotes (m).  $L = 12 \text{ mm}$

e: espesor del barrote (m).  $e = 8 \text{ mm}$

C: coeficiente de colmatación, tanto por uno.  $C = 0,7$

$$S_{med} = \frac{0,089}{0,8} \times \frac{12+8}{12} \times \frac{1}{0,7} \quad S_{med} = 0,26 \text{ m}^2$$

$$S_{max} = \frac{0,159}{1,2} \times \frac{12+8}{12} \times \frac{1}{0,7} \quad S_{max} = 0,32 \text{ m}^2$$

Se elige la sección mayor de las calculadas anteriormente, en este caso la sección por el caudal máximo.

La reja de reserva sería de finos y manual con una separación entre barrotes de 10 mm. Su cálculo es como sigue:

C: coeficiente de colmatación, tanto por uno.  $C = 0,7$

$$S_{med} = \frac{0,089}{0,8} \times \frac{10+8}{10} \times \frac{1}{0,7} \quad S_{med} = 0,29 \text{ m}^2$$

$$S_{max} = \frac{0,159}{1,2} \times \frac{10+8}{10} \times \frac{1}{0,7} \quad S_{max} = 0,34 \text{ m}^2$$

Se elige la sección mayor de las calculadas anteriormente, en este caso la sección por el caudal máximo. Por tanto, la reja manual de reserva tendrá una superficie de 0,34 m<sup>2</sup>.

Los tamices, calculados según el caudal y datos de los fabricantes (Anexos, Tamiz Autolimpiante SCM), miden 0,6 metros de ancho y 0,6 metros de alto. El ancho de las rejillas será el mismo que el de los tamices.

Conociendo la sección y la anchura de las rejillas, podemos conocer su altura:

$$h = \frac{0,32}{0,6} \quad h = 0,5 \text{ m}$$

Del mismo modo, la altura de la reja manual de reserva será 0,6 m.

La forma de automatizar las rejillas es por medida de la diferencia de altura entre antes y después de la reja. A mayor colmatación mayor diferencia, fijando en 15-20 cm la

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

diferencia máxima permitida. Teniendo en cuenta dicha diferencia junto con la altura de las rejas y su elevación con respecto a los tamices, la pérdida de carga total a través de las rejas es:

$$H = 0,3 \text{ m.c.a.}$$

### 4.2.2. Desarenado

Se instala un desarenador aireado con separación de grasas y aceites, con capacidad suficiente para tratar el volumen máximo de agua residual correspondiente a la población de verano ya que puede seguir funcionando igualmente en las estaciones con menor caudal.

Para el dimensionado del desarenador se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$S_h = \frac{Q}{CH}$$

$$V = \frac{Q \times Tr}{60 \text{ min/h}}$$

$$h = \frac{V}{S_h}$$

Donde:

$S_h$ : superficie horizontal ( $m^2$ )

$Q$ : caudal a tratar ( $m^3/h$ ).  $Q_{m\acute{a}x} = 1.483 \text{ m}^3/h$ ;  $Q_{med} = 917 \text{ m}^3/h$

$CH$ : carga hidráulica ( $m^3/m^2 \cdot h$ ).  $CH = 15-25 \text{ m}^3/m^2 \cdot h$

$Tr$ : tiempo de residencia (min);  $Tr = 10-15 \text{ min}$

$V$ : volumen del equipo ( $m^3$ )

$H$ : altura (m)

De forma que:

$$S_h = \frac{Q}{CH}$$

$$S_{h\text{M}\acute{a}x} = \frac{1.483}{25} \quad S_{h\text{M}\acute{a}x} = 59 \text{ m}^2$$

$$S_{h\text{Med}} = \frac{917}{15} \quad S_{h\text{Med}} = 61 \text{ m}^2$$

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

De las dos superficies calculadas se trabaja con la mayor, en este caso la debida al caudal y carga hidráulica medios.

Se calcula el volumen para los caudales máximo y medio, según sus respectivos tiempos de residencia:

$$V_{\text{máx}} = \frac{1.483 \times 10}{60} \quad V_{\text{máx}} = 247 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{med}} = \frac{917 \times 15}{60} \quad V_{\text{med}} = 229 \text{ m}^3$$

En este caso, se elige el volumen debido al caudal máximo.

Por tanto, la altura:

$$h = \frac{247}{61} \quad h = 4 \text{ m}$$

La cantidad de aire que se introduce en el desarenador aireado viene dado por la siguiente expresión:

$$Q_{\text{aire}} (\text{m}^3/\text{h}) = V (\text{m}^3) * 1,5 \text{ m}^3/\text{m}^3 * h$$

$$Q_{\text{aire}} = 247 * 1,5$$

$$Q_{\text{aire}} = 371 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dado que en un desarenador aireado la relación longitud/anchura debe oscilar entre 2,5 y 5, con la superficie calculamos dichos parámetros:

$$S = \text{largo} \times \text{ancho} = (4 \times \text{ancho}) \times \text{ancho}$$

$$\text{Anchura} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Longitud} = 16 \text{ m}$$

A la salida del desarenador se debe instalar un canal Parshall para medir el caudal con capacidad para los caudales mínimo y máximo. Según los datos proporcionados a los suministradores se puede colocar un canal Parshall (Figura 9) de polipropileno de 300 mm de tamaño y altura máxima 885 mm, cuyas dimensiones son las siguientes:



## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

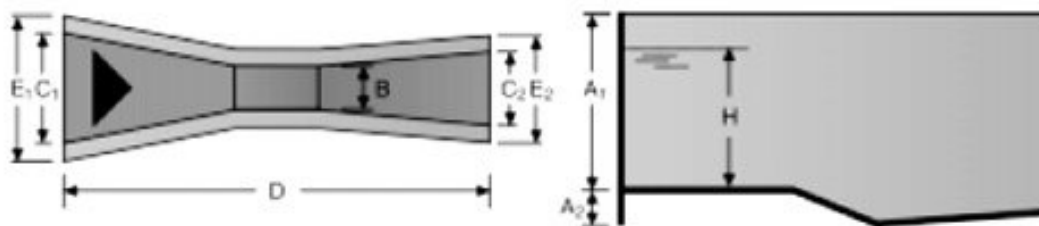


Figura 9. Canal Parshall. Dimensiones

A1: 914 mm; A2: 270 mm

B: 304,8 mm; C1: 845 mm

C2: 610 mm; D: 2.867 mm

E1: 965 mm; E2: 730 mm

### 4.3. TRATAMIENTO PRIMARIO

#### 4.3.1. Decantación

Para la eliminación de los sólidos en suspensión se instalan decantadores. En este caso se colocan dos decantadores circulares que trabajarán simultáneamente en temporada alta, uno trabajará en temporada media, y en invierno se trabaja sin decantación primaria.

Para el dimensionado de los decantadores primarios se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$S_h = \frac{Q}{CH}$$

$$V = Q \cdot T_r$$

$$h = \frac{V}{S_h}$$

Donde:

S: superficie horizontal (m<sup>2</sup>)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/h)

Q<sub>med 2</sub> = 642 m<sup>3</sup>/h; Q<sub>max 2</sub> = 1.142 m<sup>3</sup>/h

Q<sub>med 3</sub> = 917 m<sup>3</sup>/h; Q<sub>max 3</sub> = 1.483 m<sup>3</sup>/h

CH: carga hidráulica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*h). CH = 1,5-2,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*h

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

V: volumen de cada decantador ( $m^3$ )

Tr: tiempo de retención (h); Tr=1,5-2,5 h

h: altura del decantador (m)

La sección de calcula para los cuatro caudales máximo y medio, según sus respectivas cargas hidráulicas:

$$S_{h \text{ Máx}3} = \frac{1.483}{2,5} \quad S_{h \text{ Máx}3} = 593 \text{ m}^2 \sim 600 \text{ m}^2$$

$$S_{h \text{ Máx}2} = \frac{1.142}{2,1} \quad S_{h \text{ Máx}2} = 544 \text{ m}^2$$

$$S_{h \text{ Med}3} = \frac{917}{1,8} \quad S_{h \text{ Med}3} = 509 \text{ m}^2$$

$$S_{h \text{ Med}2} = \frac{642}{1,5} \quad S_{h \text{ Med}2} = 428 \text{ m}^2$$

En este caso se elige la sección debida al caudal máximo en la temporada alta, que es la mayor.

Como hay dos decantadores, la superficie se divide entre los dos, teniendo cada uno una superficie de  $300 \text{ m}^2$ , y se puede calcular el diámetro de cada decantador con la fórmula de una superficie circular:

$$S_h = \pi * r^2$$

$$r = 10 \text{ m}$$

$$D = 20 \text{ m}$$

Que cumple la condición de ser <40-50 m

El volumen de cada uno de los decantadores viene dado por los siguientes cálculos:

$$V_{\text{máx}3} = 1.483 * 1,5; V_{\text{máx}3} = 2.225 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{máx}2} = 1.142 * 1,8; V_{\text{máx}2} = 2.056 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{med}3} = 917 * 2,1; V_{\text{med}3} = 1.926 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{med}2} = 642 * 2,5; V_{\text{med}2} = 1.605 \text{ m}^3$$

Siendo en este caso el volumen mayor el debido al caudal máximo en temporada

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

alta.

La altura de cada uno de los equipos será:

$$h = \frac{2.225}{600} \quad h = 3,71 \text{ m} \sim 4 \text{ m}$$

Que cumple la condición de ser  $>2,5$  m

### 4.4. TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Para la eliminación de la materia orgánica biodegradable se utiliza un proceso de aeración prolongada u oxidación total, trabajando, por tanto, con cargas másicas muy bajas y rendimientos elevados.

En la decantación primaria se elimina el 33% de la DBO inicial. Como se ha visto anteriormente, en invierno la planta trabaja sin decantación primaria por lo que no se elimina nada de DBO en esta época. Por tanto, la cantidad diaria de DBO que entra al tanque de aireación,  $L$ , según la estación del año, es la siguiente:

$$\text{Temporada baja: } L_1 = 0,34 \text{ kg DBO/m}^3 * 321 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/d}$$

$$\mathbf{L_1 = 2.620 \text{ kg DBO/d}}$$

$$\text{Temporada media: } L_2 = 0,34 \text{ kg DBO/m}^3 * 0,66 * 642 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/d}$$

$$\mathbf{L_2 = 3.458 \text{ kg DBO/d}}$$

$$\text{Temporada alta: } L_3 = 0,34 \text{ kg DBO/m}^3 * 0,66 * 917 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/d}$$

$$\mathbf{L_3 = 4.939 \text{ kg DBO/d}}$$

El rendimiento de la etapa de biodegradación en el caso de operar sin decantación primaria, teniendo en cuenta la concentración de DBO a la entrada y a la salida del tanque, se calcula como sigue:

$$\eta = 100 - \frac{\text{DBO}_{in}}{\text{DBO}_{out}}$$

$$\eta = 100 - \frac{25 \cdot 100}{340}$$

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$\eta = 92,65\%$$

En la Tabla 2 del Capítulo 3 se define la relación existente entre la carga másica y el rendimiento del proceso del proceso en aguas urbanas. Se observa que para el rendimiento obtenido al trabajar en temporada baja sin decantación primaria (92,65%), la carga másica es aproximadamente 0,15 (kg DBO/d)/kg MLSS, que entra dentro de los parámetros típicos para trabajar en oxidación total: la carga másica debe ser  $\leq 0,15$  (0,15-0,05) (kg DBO/d)/kg MLSS pudiendo así nitrificarse de manera importante el nitrógeno amoniacal.

El volumen del tanque de aireación se calcula con la ecuación:

$$V = \frac{DBO_{in}}{CM \cdot X}$$

Donde:

$DBO_{in}$ : kg DBO a la entrada del tanque;  $L_3 = 4.939$  (kg/d) para temporada alta

CM: carga másica = 0,15 (kg DBO/d)/kg MLSS

X: concentración de MLSS en el reactor (kg MLSS/m<sup>3</sup>);  $X_3 = 2,5-6$  kg MLSS/m<sup>3</sup>

Para el caudal máximo:

$$V = \frac{4.939}{0,15 \cdot 5,5} \quad V = 5.987 \text{ m}^3 \sim 6.000 \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta que el reactor tendrá este volumen se puede obtener una nueva concentración de biomasa más baja para el caso de trabajar sin decantación primaria, o disminuir la carga másica aumentando así el rendimiento.

Para la temporada baja:

$$6.000 = \frac{2.620}{0,15 \cdot X_1} \quad X_1 = 2,9 \text{ kg MLSS/m}^3$$

Para la cantidad de DBO que entra en el reactor biológico en temporada media, la concentración de licor mezcla puede ser:

$$6.000 = \frac{3.458}{0,15 \cdot X_2} \quad X_2 = 3,8 \text{ kg MLSS/m}^3$$

A partir del volumen obtenido para el reactor, puede determinarse el tiempo de residencia hidráulico de acuerdo con:

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

Donde:

Tr: tiempo de residencia hidráulico (h)

V: volumen del tanque de aireación (m<sup>3</sup>)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/h)

Con los caudales medios se calcula el tiempo de residencia para cada época del año:

$$Tr_1 = \frac{V}{Q_{med1}} \quad Tr_1 = 18,65 \text{ h}$$

$$Tr_2 = \frac{V}{Q_{med2}} \quad Tr_2 = 9,33 \text{ h}$$

$$Tr_3 = \frac{V}{Q_{med3}} \quad Tr_3 = 6,53 \text{ h}$$

Debido a que en la corriente de entrada hay nitrógeno amoniacal y que durante la etapa biológica tiene lugar la nitrificación del mismo, el oxígeno requerido en el sistema para la eliminación de la DBO viene dado por la siguiente ecuación:

$$OR = a \times L \times \frac{R}{100} \times 1,2 + b \times M + 4,57 \times Ln$$

Donde:

OR: oxígeno requerido (kg/d)

a: coeficiente de síntesis

L: DBO en el influente (kg/d)

R: rendimiento del proceso

1,2: factor de corrección para aguas urbanas y oxidación total

b: coeficiente de respiración endógena

M: biomasa en el reactor (kg MLSS)

4,57: la cantidad teórica de oxígeno para la oxidación total del nitrógeno amoniacal es 4,57 veces la cantidad de nitrógeno oxidado

Ln: nitrógeno amoniacal eliminado en el reactor (kg/d)

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Los valores de los coeficientes de síntesis y respiración endógena vienen dados según la carga másica en la Tabla 6:

Carga másica	a	b
1	0,500	0,136
0,7	0,500	0,131
0,5	0,500	0,123
0,4	0,530	0,117
0,3	0,555	0,108
0,2	0,590	0,092
0,1	0,652	0,066
0,05	0,660	0,041

Tabla 6. Coeficientes de síntesis y respiración endógena según la carga másica

Dado que la carga másica con la que trabaja el reactor biológico es 0,15, los valores de dichos parámetros serán los siguientes:

$$a = 0,621$$

$$b = 0,079$$

Los valores de DBO en el influente se han calculado con anterioridad:

$$L_1 = 2.620 \text{ kg DBO/d}$$

$$L_2 = 3.458 \text{ kg DBO/d}$$

$$L_3 = 4.939 \text{ kg DBO/d}$$

Según la Tabla 2, como la carga másica debe ser 0,15, el rendimiento del proceso para todas las estaciones será 92,65%.

Conociendo la carga másica en (kg DBO/d)/kg MLSS, y la cantidad diaria de DBO que entra al reactor, L en kg DBO/d, podemos calcular M, la cantidad de biomasa en el reactor para cada estación en kg MLSS:

$$M_1 = 17.467 \text{ kg MLSS}$$

$$M_2 = 23.053 \text{ kg MLSS}$$

$$M_3 = 32.927 \text{ kg MLSS}$$

La cantidad de biomasa también se puede calcular multiplicando la concentración de biomasa en el reactor por el volumen del mismo para cada temporada.

Teniendo en cuenta que todo el nitrógeno que entra en el reactor biológico se

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

elimina en el mismo, para el cálculo del término  $L_n$  se utiliza el nitrógeno que entra al reactor biológico que se ha reducido aproximadamente un 10-15% en la etapa de decantación primaria. Por tanto:

$$\text{Temporada baja: } 15 \text{ g/hab} \cdot \text{d} \times 35.000 \text{ hab} \times 1 \text{ kg}/1.000 \text{ g}$$

$$\mathbf{Ln_1 = 525 \text{ kg/d}}$$

$$\text{Temporada media: } 15 \text{ g/hab} \cdot 0,9 \cdot \text{d} \times 70.000 \text{ hab} \times 1 \text{ kg}/1.000 \text{ g}$$

$$\mathbf{Ln_2 = 945 \text{ kg/d}}$$

$$\text{Temporada alta: } 15 \text{ g/hab} \cdot 0,9 \cdot \text{d} \times 100.000 \text{ hab} \times 1 \text{ kg}/1.000 \text{ g}$$

$$\mathbf{Ln_3 = 1.350 \text{ kg/d}}$$

Se calcula la necesidad de oxígeno para cada estación ya que depende de la DBO de entrada al reactor.

$$OR_1 = 0,621 \times 2.620 \times \frac{92,65}{100} \times 1,2 + 0,079 \times 17.467 + 4,57 \times 525$$

$$\mathbf{OR_1 = 5.588 \text{ kg/d}}$$

$$OR_2 = 0,621 \times 3.458 \times \frac{92,65}{100} \times 1,2 + 0,079 \times 23.053 + 4,57 \times 945$$

$$\mathbf{OR_2 = 8.527 \text{ kg/d}}$$

$$OR_3 = 0,621 \times 4.939 \times \frac{92,65}{100} \times 1,2 + 0,079 \times 32.927 + 4,57 \times 1.350$$

$$\mathbf{OR_3 = 12.181 \text{ kg/d}}$$

El caso más desfavorable es el de temporada alta, que es cuando se precisa más cantidad de oxígeno, por tanto, se diseña el sistema para ese valor.

### 4.4.1. Equipos de aireación: Difusores cerámicos

Se necesita conocer el volumen total de aire que pasa a través de los difusores, para conocer el número de éstos. Conocido el consumo de oxígeno, OR (Kg/d), se puede calcular la cantidad de aire total que ha de pasar a través de los difusores:

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$Aire' = OR \frac{kg}{d} \cdot \frac{1d}{24h} \cdot \frac{100kgaire}{23kgO_2}$$

$$Aire_1' = 1.012 \text{ kg aire/h}$$

$$Aire_2' = 1.535 \text{ kg aire/h}$$

$$Aire_3' = 2.193 \text{ kg aire/h}$$

Para una altura del reactor biológico de 6 metros se calcula, mediante el gráfico de la Figura 8 del Capítulo 3, el rendimiento del difusor que resulta entorno a un 40% para agua limpia a nivel del mar. En condiciones reales se multiplica por un coeficiente de 0,6, de manera que el rendimiento real del difusor funcionando para aguas residuales es del 24%.

La cantidad de aire real que pasa a través de los difusores teniendo en cuenta este rendimiento es la siguiente:

$$Aire = Aire' \cdot \frac{100}{24} \cdot \frac{kgaire}{h}$$

$$Aire_1 = 4.217 \text{ kg aire/h}$$

$$Aire_2 = 6.396 \text{ kg aire/h}$$

$$Aire_3 = 9.138 \text{ kg aire/h}$$

Dichas cantidades de aire son en peso. Conocida la densidad del aire,  $\rho=1,23 \text{ kg/m}^3$ , se puede calcular el volumen del mismo.

$$Volumen \frac{m^3}{h} = \frac{Peso \frac{kgAire}{h}}{Densidad \frac{kgAire}{m^3}}$$

$$V_{Aire1} = 3.514 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{Aire2} = 5.330 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{Aire3} = 7.615 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cada difusor da 2-5  $\text{m}^3$  de aire/h. Para el caso del máximo consumo, teniendo en cuenta que cada difusor puede hacer pasar como máximo 5  $\text{m}^3$  de aire/h, se necesitan el siguiente número de difusores, según la temporada:



## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$N^{\circ} \text{ Difusores} = \frac{V_{\text{Aire}} \frac{m^3 \text{ Aire}}{h}}{5 \frac{m^3 \text{ Aire}}{h}}$$

$$N^{\circ} \text{ Difusores}_1 = 703$$

$$N^{\circ} \text{ Difusores}_2 = 1.066$$

$$N^{\circ} \text{ Difusores}_3 = 1.523$$

Se colocan 1.523 difusores que es el caso crítico para el mayor volumen de aire que se dará en temporada alta, y en condiciones de de trabajo de máximo caudal de aire.

Cuando se trabaje en temporada media y baja, el caudal de aire a través de cada difusor vendrá dado por la siguiente relación:

$$\frac{V_{\text{Aire}} \frac{m^3 \text{ Aire}}{h}}{N^{\circ} \text{ Difusores}}$$

$$\text{TemporadaBaja} = \frac{3.514 \frac{m^3 \text{ Aire}}{h}}{1.523 \text{ Difusores}} = 2,3 \frac{m^3}{h \cdot \text{Difusor}}$$

$$\text{TemporadaMedia} = \frac{5.330 \frac{m^3 \text{ Aire}}{h}}{1.523 \text{ Difusores}} = 3,5 \frac{m^3}{h \cdot \text{Difusor}}$$

En temporada baja el volumen de aire es menor, así como el caudal de aire, que está por encima del caudal mínimo, con lo cual se asegura el funcionamiento adecuado de los difusores.

Como se conocen el volumen ( $6.000 \text{ m}^3$ ) y la altura (6 m) del reactor, se puede calcular la superficie que es, por tanto, de  $1.000 \text{ m}^2$ . La anchura es aproximadamente 24 m y la longitud 42 m.

El reactor se divide en tres canales que hacen que su funcionamiento se asemeje a un flujo pistón. Cada canal tiene 8 metros de ancho y 42 de largo, por tanto, la relación anchura:longitud de cada canal es aproximadamente 1:5, por cada fila de difusores, x, hay cinco columnas, 5x. En el canal de entrada se colocan mayor número de difusores porque el agua entra con mayor DBO, y el número de los mismos va disminuyendo conforme el

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

agua avanza por el reactor y es menor su DBO. Así, la proporción de difusores en cada canal será la siguiente: 42%, 34% y 24%, lo cual se representa en la Figura 10.

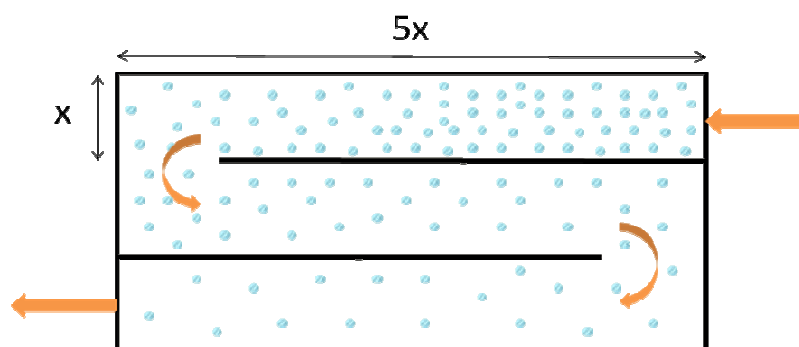


Figura 10. Reactor biológico con difusores

En el primer canal, se encuentran el 42% de los difusores, por tanto:

$$1.523 \times 0,42 = 640 \text{ difusores}$$

En dicho canal, la proporción de difusores es la siguiente:

$$x \cdot 5x = 640$$

$$x = 11 \text{ difusores por fila}$$

$$5x = 55 \text{ difusores por columna}$$

En el segundo canal, se encuentran el 34% de los difusores, por tanto:

$$1.523 \times 0,34 = 518 \text{ difusores}$$

En este segundo canal, los difusores se distribuyen de la siguiente manera:

$$x \cdot 5x = 518$$

$$x = 10 \text{ difusores por fila}$$

$$5x = 50 \text{ difusores por columna}$$

En el tercer canal, con el 24% de los difusores:

$$1.523 \times 0,24 = 365$$

La distribución de los difusores en este último canal es la siguiente:

$$x \cdot 5x = 365$$

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$x = 9 \text{ difusores por fila}$$

$$5x = 45 \text{ difusores por columna}$$

### 4.4.2. Lodos activos

#### **Producción de fangos en exceso**

Una parte de la materia orgánica eliminada por el sistema se utiliza en la síntesis de nuevos microorganismos, lo que supone la generación de sólidos en suspensión, eliminados como fangos en la decantación secundaria y que para mantener el sistema en equilibrio hay que purgar del sistema.

Los fangos a purgar diariamente coinciden con la biomasa generada en dicho periodo de tiempo, una vez que el sistema está en equilibrio.

La cantidad de fangos a purgar, puede determinarse mediante la fórmula empírica de Huisken que se indica a continuación:

$$AS = 1,2 \times Le \times CM^{0,23}$$

Donde:

AS: cantidad de fangos a purgar (kg/d)

Le: DBO eliminada en el proceso (kg/d)

CM: carga másica;  $CM = 0,15 \text{ (kg DBO/d)/kg MLSS}$

La cantidad de materia orgánica eliminada en la etapa biológica, Le, se calcula por diferencia entre la DBO de entrada al reactor, y la DBO que debe salir:

La DBO a la entrada se ha calculado anteriormente:

$$L_1 = 2.620 \text{ kg DBO/d}$$

$$L_2 = 3.458 \text{ kg DBO/d}$$

$$L_3 = 4.939 \text{ kg DBO/d}$$

La DBO a la salida para cada estación, se calcula con el caudal y la concentración máxima de salida permitida:

$$L_1' = 321 \text{ m}^3/\text{h} \times 25 \text{ g/m}^3 \times 1 \text{ kg}/1.000 \text{ g} \times 24 \text{ h/día}$$

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$L_1' = 193 \text{ kg/d}$$

$$L_2' = 642 \text{ m}^3/\text{h} \times 25 \text{ g/m}^3 \times 1 \text{ kg}/1.000 \text{ g} \times 24 \text{ h/día}$$

$$L_2' = 385 \text{ kg/d}$$

$$L_3' = 917 \text{ m}^3/\text{h} \times 25 \text{ g/m}^3 \times 1 \text{ kg}/1.000 \text{ g} \times 24 \text{ h/día}$$

$$L_3' = 550 \text{ kg/d}$$

Con estos datos se obtiene  $L_e$ , la cantidad de materia orgánica eliminada en el proceso diariamente:

$$L_e: \text{DBO eliminada} = \text{DBO}_{\text{entra}} - \text{DBO}_{\text{sale}} = L - L'$$

$$L_{e1} = 2.427 \text{ kg/d}$$

$$L_{e2} = 3.073 \text{ kg/d}$$

$$L_{e3} = 4.389 \text{ kg/d}$$

Ya se puede calcular la cantidad de fangos a purgar según la temporada:

$$AS_2 = 1,2 \times L_{e2} \times CM^{0,23}$$

$$AS_2 = 2.397 \text{ kg/d}$$

$$AS_3 = 1,2 \times L_{e3} \times CM^{0,23}$$

$$AS_3 = 3.423 \text{ kg/d}$$

En el caso de la temporada baja, como no hay decantación primaria, hay que añadir un término a la ecuación anterior, equivalente a los fangos no eliminados pero teniendo en cuenta que una parte de estos sólidos es materia orgánica biodegradable que es destruida en el reactor biológico. La fórmula queda, por tanto, de la siguiente manera:

$$AS_1 = 1,2 \times L_{e1} \times CM^{0,23} + (B-0,6) \times L_{e1}$$

Donde:

B: concentración de SS/concentración DBO a la entrada del reactor biológico

$$B = 410 \text{ ppm}/340 \text{ ppm}$$

$$AS_1 = 3.353 \text{ kg/d}$$

El volumen de fangos a purgar puede obtenerse a partir de los sólidos a purgar y concentración de los mismos, que es aproximadamente 0,6%.

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$Q_{purga} = \frac{100 \cdot AS}{1.000 \times X_n \times 24}$$

Donde:

$Q_{purga}$  = caudal de purga ( $m^3/h$ )

AS: cantidad de fangos a purgar ( $m^3/h$ )

$X_n$  = concentración de purga;  $X_n = 0,6\%$

$$Q_{purga1} = \frac{100 \cdot AS_1}{1.000 \times X_n \times 24} \quad Q_{purga1} = 23 \text{ m}^3/h$$

$$Q_{purga2} = \frac{100 \cdot AS_2}{1.000 \times X_n \times 24} \quad Q_{purga2} = 17 \text{ m}^3/h$$

$$Q_{purga3} = \frac{100 \cdot AS_3}{1.000 \times X_n \times 24} \quad Q_{purga3} = 24 \text{ m}^3/h$$

El mayor volumen de fangos es el debido a la temporada alta, aunque muy semejante al de temporada baja, por lo que el sistema se diseña para este volumen crítico.

### Recirculación de fangos

El agua que llega continuamente al reactor biológico desplaza la biomasa hasta el decantador secundario, siendo necesario recircular ésta de nuevo a la balsa biológica para mantener su concentración a un nivel apropiado. El balance de dicha transferencia de materia está definido en la siguiente ecuación:

$$Q \cdot X + Q_R \cdot X = Q_R \cdot X_R$$

Donde:

Q: caudal medio ( $m^3/h$ );  $Q = Q_{med}$

X: concentración de MLSS en el reactor biológico ( $kg \text{ MLSS}/m^3$ )

$Q_R$ : caudal de recirculación ( $m^3/h$ )

$X_R$ : concentración de MLSS en la recirculación ( $kg \text{ MLSS}/m^3$ )

Como los fangos recirculados se extraen del decantador secundario al igual que los

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

purgados, su concentración es la misma, por lo que  $X_R = X_n = 6 \text{ kg/m}^3 = 6.000 \text{ ppm}$ .

Con estos datos se puede calcular el caudal de recirculación para cada temporada:

$$Q_{R1} = \frac{Q_{med1} \cdot X_1}{X_R - X_1} \quad Q_{R1} = 300 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{R2} = \frac{Q_{med2} \cdot X_2}{X_R - X_2} \quad Q_{R2} = 1.109 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{R3} = \frac{Q_{med3} \cdot X_3}{X_R - X_3} \quad Q_{R3} = 10.087 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal de recirculación mayor se da en temporada alta, por lo que el sistema se diseña para este punto crítico.

### 4.5. PROCESOS DE REGENERACIÓN DE AGUAS

#### **Balsa de regulación**

Las dimensiones de la balsa de regulación se calculan teniendo en cuenta la diferencia de caudales entre la hora punta y el caudal medio de diseño, sobredimensionando y considerando un tiempo de permanencia en la misma mínimo de unas 2 horas.

De esta manera se obtiene una balsa de unos  $5.000 \text{ m}^3$ . Por razones prácticas y económicas, ésta estará adosada a la balsa biológica, con lo que sus proporciones serán muy semejantes: 6 metros de profundidad y 42 metros de longitud, con una anchura de 20 metros.

Para tener una cierta homogeneización y mezcla y sobre todo condiciones aerobias, se pueden colocar difusores en la balsa, que introduzcan  $0,3-0,4 \text{ m}^3$  de aire por cada  $\text{m}^3$  de balsa y hora, de lo que se obtiene un volumen de aire de  $1.500 \text{ m}^3/\text{h}$ . El número de difusores se calcula de la misma forma que para el reactor biológico, conocido el caudal máximo de aire que proporciona cada difusor.

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$N^{\circ} \text{ Difusores} = \frac{V_{\text{Aire}} \frac{m^3 \text{ Aire}}{h}}{5 \frac{m^3 \text{ Aire}}{h}}$$

$$N^{\circ} \text{ Difusores}_{\text{balsa regulación}} = 300$$

### 4.5.1. Coagulación

El cálculo del volumen del coagulador se lleva a cabo a partir del tiempo de retención del agua en el equipo. El volumen del mismo vendrá dado por:

$$V = \frac{Q \times Tr}{60 \text{ min/h}}$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/h)

Tr: tiempo de retención (min)

V: volumen del equipo (m<sup>3</sup>)

Este cálculo se realiza para los caudales:

$$Q_{\text{med}} = 642 \text{ m}^3/\text{h}; Q_{\text{máx}} = 917 \text{ m}^3/\text{h}$$

siendo los tiempos de retención a aplicar: Tr = 2 min, y Tr = 1 min, respectivamente.

$$V_{\text{med}} = \frac{642 \times 2}{60 \text{ min/h}} \quad V_{\text{med}} = 21,4 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{917 \times 1}{60 \text{ min/h}} \quad V_{\text{máx}} = 15,28 \text{ m}^3$$

Se utiliza el mayor de los volúmenes obtenidos que corresponde al caudal medio.

Este equipo se debe sobredimensionar en un 10-15%, por lo que el volumen total sería aproximadamente 25 m<sup>3</sup>.

Como el equipo es de sección cuadrada, cada uno de los lados vendrá dado por la ecuación:

$$L = \sqrt[3]{V}$$



## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Donde:

V: volumen del equipo (m<sup>3</sup>)

L: lado del equipo (m)

De modo que:

$$L = \sqrt[3]{25} \quad L = 2,92 \text{ m}$$

La altura calculada hay que incrementarla en unos 50 cm para evitar salpicaduras debidas a la agitación vigorosa, por tanto, la altura (y lado) del coagulador es aproximadamente 3,5 m.

### 4.5.2. Floculación

El cálculo del volumen del floculador se determina a partir del tiempo de retención del agua en el equipo. El volumen del equipo será por tanto:

$$V = \frac{Q \times Tr}{60 \text{ min/h}}$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/h)

Tr: tiempo de retención (min)

V: volumen del equipo (m<sup>3</sup>)

Este cálculo se realiza, al igual que para el coagulador, para los caudales:

$$Q_{\text{med}} = 642 \text{ m}^3/\text{h}; \quad Q_{\text{máx}} = 917 \text{ m}^3/\text{h}$$

siendo los tiempos de retención a aplicar: Tr = 15 min, y Tr = 10 min, respectivamente, ya que son aguas muy limpias y con muy pocos sólidos por lo que los tiempos no son muy elevados.

$$V_{\text{med}} = \frac{642 \times 15}{60 \text{ min/h}} \quad V_{\text{med}} = 161 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{917 \times 10}{60 \text{ min/h}} \quad V_{\text{máx}} = 153 \text{ m}^3$$

Se utiliza el mayor de los volúmenes obtenidos que corresponde al caudal medio.

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Este equipo se debe sobredimensionar en un 10-15%, por lo que el volumen total sería aproximadamente 177 m<sup>3</sup>.

Como el equipo es de sección cuadrada, cada uno de los lados vendrá dado por la ecuación:

$$L = \sqrt[3]{V}$$

Donde:

V: volumen del equipo (m<sup>3</sup>)

L: lado del equipo (m)

De modo que:

$$L = \sqrt[3]{177} \quad L = 5,61 \text{ m}$$

La altura calculada hay que incrementarla en unos 30 cm para evitar salpicaduras debidas a la agitación vigorosa, por tanto, la altura (y lado) del floculador es aproximadamente 6 m.

### **4.5.3. Decantación**

Para la regeneración, al tratarse de aguas muy limpias, se utiliza un decantador de tipo lamelar, que se compra directamente, según los datos del fabricante, para el caudal de diseño a tratar. El diseño lo hace el fabricante según la separación entre placas, la inclinación, el tamaño...

En este caso, para el caudal a tratar, según el fabricante (Anexos, Decantadores Lamelares Compactos) se compran tres equipos portátiles que se trasladan e instalan en la planta directamente. Cada uno de ellos tiene una capacidad de hasta 300 m<sup>3</sup>/h, por lo que con dicho número de equipos se cubre todo el caudal máximo en temporada alta, que es el caudal crítico en este caso.

### **4.5.4. Filtración**

Se emplean filtros abiertos, con arena como material filtrante.

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Para calcular la superficie total de filtración se utiliza la ecuación siguiente:

$$S = \frac{Q}{CH}$$

Donde:

S: superficie (m<sup>2</sup>)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/h); Q<sub>med</sub> = 642 m<sup>3</sup>/h; Q<sub>máx</sub> = 917 m<sup>3</sup>/h

CH: carga hidráulica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*h); CH = 6-9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*h

$$S = \frac{642}{6} \quad S = 107 \text{ m}^2$$

$$S = \frac{917}{9} \quad S = 102 \text{ m}^2$$

La superficie de filtración se diseña en función del caudal medio.

Como el tamaño de los filtros no debe exceder de 12x6, se han de utilizar como mínimo dos filtros que pueden ser de de 12x5, con un tercero de reserva para que haya siempre dos en servicio mientras el otro se está lavando.

### 4.5.5. Desinfección

La desinfección es una oxidación mediante cloro, hipoclorito, ozono u otros oxidantes de la materia orgánica, y, por tanto, de la naturaleza misma de los gérmenes patógenos a eliminar, así como calor radiaciones.

En este Proyecto se utiliza un equipo de radiación ultravioleta. En este método, la desinfección se produce por la acción fotoquímica de la radiación UV sobre el ADN, induciendo la ruptura de enlaces y la formación de puentes entre bases de tiamina adyacentes, perdiendo los microorganismos su capacidad de reproducirse o de sintetizar proteínas esenciales. En el mercado existen lámparas de baja y de media presión.

La unidad de desinfección por radiación ultravioleta se compra directamente según los datos del fabricante.

**4.6. TRATAMIENTO DE FANGOS**

En la línea de fangos se unen los lodos que provienen de la decantación primaria y los que salen del decantador secundario tras el reactor biológico. Por tanto, el caudal de lodos que entra en los espesadores y luego en los digestores anaerobios de esta línea de tratamiento, es la suma de las dos etapas anteriores para cada estación.

Se hace el balance de los caudales (m<sup>3</sup>/h) y cargas másicas (kg/h) para las tres temporadas, aunque de entrada parece lógico que en verano estén los valores críticos en los que se base el dimensionamiento del biodigestor anaerobio.

En temporada baja no hay decantación primaria, luego dicho balance queda tal como se indica en la Tabla 7:

	Caudal, m <sup>3</sup> /h	Carga Másica, kg/d	Carga Másica, kg/h
Decantación 1 <sup>a</sup>	-	-	-
Decantación 2 <sup>a</sup>	23	3.353	140
TOTAL	23	3.353	140

Tabla 7. Balance de lodos en temporada baja

En temporada media, la cantidad de lodos que salen del decantador primario se calcula teniendo en cuenta el caudal de entrada y la concentración, y que en esta etapa se eliminan dos tercios de los sólidos en suspensión y el fango está al 2%:

$$SS_{EntradaDecantac.1^a} = 642 \frac{m^3}{h} \cdot 410 \frac{gSS}{m^3} \cdot \frac{1kg}{1.000g} = 263,22 \frac{kgSS}{h} = 6.317 \frac{kgSS}{d}$$

$$SS_{EliminadosDecantac.1^a} = 6.317 \frac{kgSS}{d} \cdot \frac{2}{3} = 4.211 \frac{kgSS}{d}$$

$$\frac{4.211 \frac{kg}{d} \cdot \frac{1d}{24h} \times 100}{2 \times 1.000 \frac{kg}{m^3}} = 8,8 \frac{m^3}{h}$$

El balance de lodos en temporada media es, por tanto, el dado por la Tabla 8:

	Caudal, m <sup>3</sup> /h	Carga Másica, kg/d	Carga Másica, kg/h
Decantación 1 <sup>a</sup>	8,8	4.211	176
Decantación 2 <sup>a</sup>	17	2.397	100
TOTAL	26	6.608	276

Tabla 8. Balance de lodos en temporada media

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Para temporada alta, los cálculos son los siguientes:

$$SS_{\text{EntradaDecantac.1}^a} = 917 \frac{m^3}{h} \cdot 410 \frac{gSS}{m^3} \cdot \frac{1kg}{1.000g} = 376 \frac{kgSS}{h} = 9.023 \frac{kgSS}{d}$$

$$SS_{\text{EliminadosDecantac.1}^a} = 9.023 \frac{kgSS}{d} \cdot \frac{2}{3} = 6.015 \frac{kgSS}{d}$$

$$\frac{6.015 \frac{kg}{d} \cdot \frac{1d}{24h} \times 100}{2 \times 1.000 \frac{kg}{m^3}} = 12,5 \frac{m^3}{h}$$

Obteniéndose el balance como sigue en la Tabla 9:

	Caudal, m <sup>3</sup> /h	Carga Másica, kg/d	Carga Másica, kg/h
Decantación 1 <sup>a</sup>	12,5	6.015	251
Decantación 2 <sup>a</sup>	24	3.423	143
TOTAL	36,5	9.438	394

Tabla 9. Balance de lodos en temporada alta

### 4.6.1. Espesado

Hay que mezclar los lodos procedentes de las decantaciones primaria y secundaria y, en primer lugar, espesarlos por gravedad, en unos tanques similares a los utilizados para decantación. Para determinar las dimensiones de estos equipos se emplean las siguientes ecuaciones:

$$S = \frac{A}{CS}$$

Donde:

S: superficie del tanque (m<sup>2</sup>)

A: kilos de sólido por día (kg SS/d)

CS: carga de sólidos (kg SS/m<sup>2</sup>\*d); CS: 20-40 kg SS/m<sup>2</sup>\*d

$$V = Q * Tr$$

Donde:

V: volumen del tanque (m<sup>3</sup>)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/h)

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Tr: tiempo de retención (h); Tr: 24-36 h

$$H = \frac{V}{S}$$

Donde:

H: altura (m)

Para el dimensionamiento del espesador se coge el caudal mayor, es decir, el suministrado en temporada alta.

$$S = \frac{9.438}{30} \quad S = 315 \text{ m}^2$$

$$V = 36,5 * 30 \quad V = 1.095 \text{ m}^3$$

$$H = \frac{1.095}{315} \quad H = 3,5 \text{ m}$$

### 4.6.2. Digestión anaerobia

Los fangos que salen espesados de esta etapa tienen una concentración del 6%. A continuación, éstos pasan a los digestores anaerobios, que en este caso son tres digestores primarios que trabajarán alternándose dos en temporada baja y tres las otras dos temporadas, y uno secundario que operará continuamente.

El caudal que entra en esta etapa, para cada temporada es el siguiente:

$$Q_1 : \frac{3.353 \frac{kg}{d} \times 100}{6 \times 1.000 \frac{kg}{m^3}} = 56 \frac{m^3}{d}$$

$$Q_2 : \frac{6.608 \frac{kg}{d} \times 100}{6 \times 1.000 \frac{kg}{m^3}} = 110 \frac{m^3}{d}$$

$$Q_3 : \frac{9.438 \frac{kg}{d} \times 100}{6 \times 1.000 \frac{kg}{m^3}} = 157 \frac{m^3}{d}$$

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Para calcular el volumen de los digestores anaerobios primarios se utiliza la fórmula siguiente:

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

Donde:

Tr: tiempo de residencia hidráulico (h) en cada digestor; Tr: 6 días para verano y 10 días en invierno

V: volumen del digestor (m<sup>3</sup>)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/d)

A partir de esta ecuación, con los datos de las tres temporadas, se calcula el volumen crítico que será el mayor:

$$V_1 = Tr * Q_1 = 10 * 56 = 560 \text{ m}^3; \quad 560 * 2 = 1.120 \text{ m}^3 \text{ total}$$

$$V_2 = Tr * Q_2 = 10 * 110 = 1.100 \text{ m}^3; \quad 1.100 * 2 = 2.200 \text{ m}^3 \text{ total}$$

$$V_3 = Tr * Q_3 = 10 * 157 = 1.570 \text{ m}^3; \quad 1.570 * 2 = \mathbf{3.140 \text{ m}^3 \text{ total}}$$

Considerando el volumen total mayor se construirán tres digestores primarios de 1.200 m<sup>3</sup> cada uno, trabajando dos en invierno y tres en verano y temporada media.

Para el cálculo del digestor anaerobio secundario se toma el caso más desfavorable, que es la temporada alta, y este digestor estará siempre en funcionamiento.

Con la misma ecuación anterior, y un tiempo de residencia de 10 días para la temporada media y 6 días para temporada alta, se calcula el volumen de dicho digestor:

$$\text{Temporada media: } V_2 = Tr * Q_2 = 10 * 110$$

$$\mathbf{V_2 = 1.100 \text{ m}^3}$$

$$\text{Temporada alta: } V_3 = Tr * Q_3 = 6 * 157$$

$$V_3 = 942 \text{ m}^3$$

En este caso, el volumen crítico del digestor secundario se da con el caudal equivalente a la temporada media, 1.100 m<sup>3</sup>, y ya que la diferencia de tamaño no es muy significativa, para ser prácticos, lo diseñamos del mismo tamaño que los digestores primarios, de 1.200 m<sup>3</sup>.

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

### 4.6.3. Deshidratación

Para el cálculo del caudal de fangos a deshidratar se tiene en cuenta la temporada alta que es el caso crítico.

Los sólidos que entran en el digestor en temporada alta son 6.015 kg/d del primario y 3.423 kg/d del secundario.

	Caudal, m <sup>3</sup> /h	Carga Másica, kg/d	Carga Másica, kg/h
Decantación 1 <sup>a</sup>	12,5	<b>6.015</b>	251
Decantación 2 <sup>a</sup>	24	<b>3.423</b>	143
TOTAL	36,5	<b>9.438</b>	394

Tabla 9. Balance de lodos en temporada alta

De estas cantidades el material volátil u orgánico será del 65% en los lodos primarios y del 75% en los secundarios, con lo que los volátiles que entran serán:

$$6.015 \cdot 0,65 + 3.423 \cdot 0,75 = 6.477 \text{ kg/d}$$

De estos volátiles, en el digestor se eliminan en temporada alta un 45%, de lo que se obtiene la cantidad de lodos eliminados:

$$6.477 \text{ kg/d} \cdot 0,45 = 2.915 \text{ kg/d eliminados}$$

Los totales que entran (9.438 kg/d) menos los eliminados (2.915 kg/d), dan los que salen (6.523 kg/d) y se encuentran a un 6% al espesar en el digestor secundario.

Con lo que se determina el volumen de fangos que se tratan en deshidratación:

$$Q: \frac{6.523 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 100}{6 \times 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 109 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 108.723 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Como en las plantas se deshidrata como máximo 8 horas al día y cinco días a la semana, el caudal diario de fangos es el siguiente:

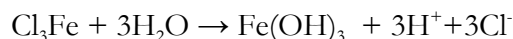
$$\frac{109 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 7 \frac{\text{d}}{\text{semana}}}{5 \frac{\text{d}}{\text{semana}} \times 8 \frac{\text{h}}{\text{d}}} = 19,075 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

A estos fangos se deben añadir los eliminados en el tratamiento terciario, que serán los sólidos que se eliminan a la salida de la depuradora, 35 ppm, suponiendo que se



## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

eliminan todos, junto con el hidróxido férrico formado según la reacción:



que tiene lugar cuando se adiciona el cloruro férrico como agente coagulante en la deshidratación.

Suponiendo 30 ppm de  $\text{Cl}_3\text{Fe}$ , se obtiene la siguiente cantidad de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ :

$$30 \text{ ppm} \times \frac{PM_{\text{Cl}_3\text{Fe}}}{PM_{\text{Fe}(\text{OH})_3}} = 30 \times \frac{162,5}{107} = 45,56 \text{ ppm} = 45,56 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

Se tienen entonces  $35 \text{ ppm} + 46 \text{ ppm} = 81 \text{ ppm}$

Como estos sólidos se encuentran al 2%, y teniendo en cuenta el caudal máximo diario que llega a la unidad en temporada alta:

$$\frac{81 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 1.483 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{24\text{h}}{\text{d}} \times 100}{2 \times 1.000 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,44 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Al igual que antes, se calcula lo que se genera diariamente de hidróxido férrico y se determina el caudal del mismo a tratar 8 horas al día y cinco días a la semana:

$$\frac{1,44 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 7 \frac{\text{d}}{\text{semana}}}{5 \frac{\text{d}}{\text{semana}} \times 8 \frac{\text{h}}{\text{d}}} = 0,25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Sumando este último caudal con el de los fangos diarios,  $19,075 \text{ m}^3/\text{h}$ , se obtiene la capacidad de tratamiento que ha de tener la centrífuga:  $19,33 \text{ m}^3/\text{h} \sim 20 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Conocido el caudal que ha de tratar la centrífuga, queda determinada su capacidad. Según los modelos suministrados por los fabricantes, para el caudal a tratar en este Proyecto se puede utilizar una centrífuga tipo Decanter modelo Jumbo 1 de la casa Pieralisi (Anexos, Datos técnicos Jumbo Series), que tiene una capacidad hidráulica máxima de  $25.000 \text{ l/h}$  ( $25 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

## **5. CÁLCULO Y DISEÑO DEL EMISARIO**

Según la Instrucción para el Proyecto de Vertidos de Aguas Residuales desde Tierra al Mar, para el diseño del emisario submarino, se han de tener en cuenta ciertos parámetros característicos del medio receptor

En este caso pueden tomarse los siguientes:

Temperatura: 24°C

Salinidad: 37,5 psu (1 psu ~ 1 g sal/kg agua marina)

T<sub>90</sub> para coliformes fecales: 2,5 horas

En el Mar Mediterráneo las mareas son despreciables.

Se utilizará la notación indicada en el apartado B.1 del Apéndice B de la Instrucción para el Proyecto de Vertidos de Aguas Residuales desde Tierra al Mar. Los símbolos no incluidos en dicha relación son los siguientes:

L: Longitud del tramo submarino del emisario, desde el arranque hasta el primer elevador o boca de descarga (m).

H<sub>T</sub>: Profundidad del fondo del mar en el punto medio del tramo difusor (m).

n: Número de bocas de descarga.

s: Separación entre elevadores (m).

h<sub>0</sub>: Elevación de la boca de descarga sobre el fondo (m).

β: Ángulo que forma el tramo difusor con el emisario (°).

X<sub>0</sub>: Distancia horizontal entre la boca de descarga y el punto de surgencia (m).

X<sub>zb</sub>: Distancia entre el punto de surgencia y el límite de la zona de baños (m).

A partir de la carta batimétrica de la zona de Nerja donde se ha de instalar el emisario submarino (Figuras 11 y 12) se obtiene el perfil transversal a la cota del mar representado en la Figura 13, necesario para los cálculos del emisario.



Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

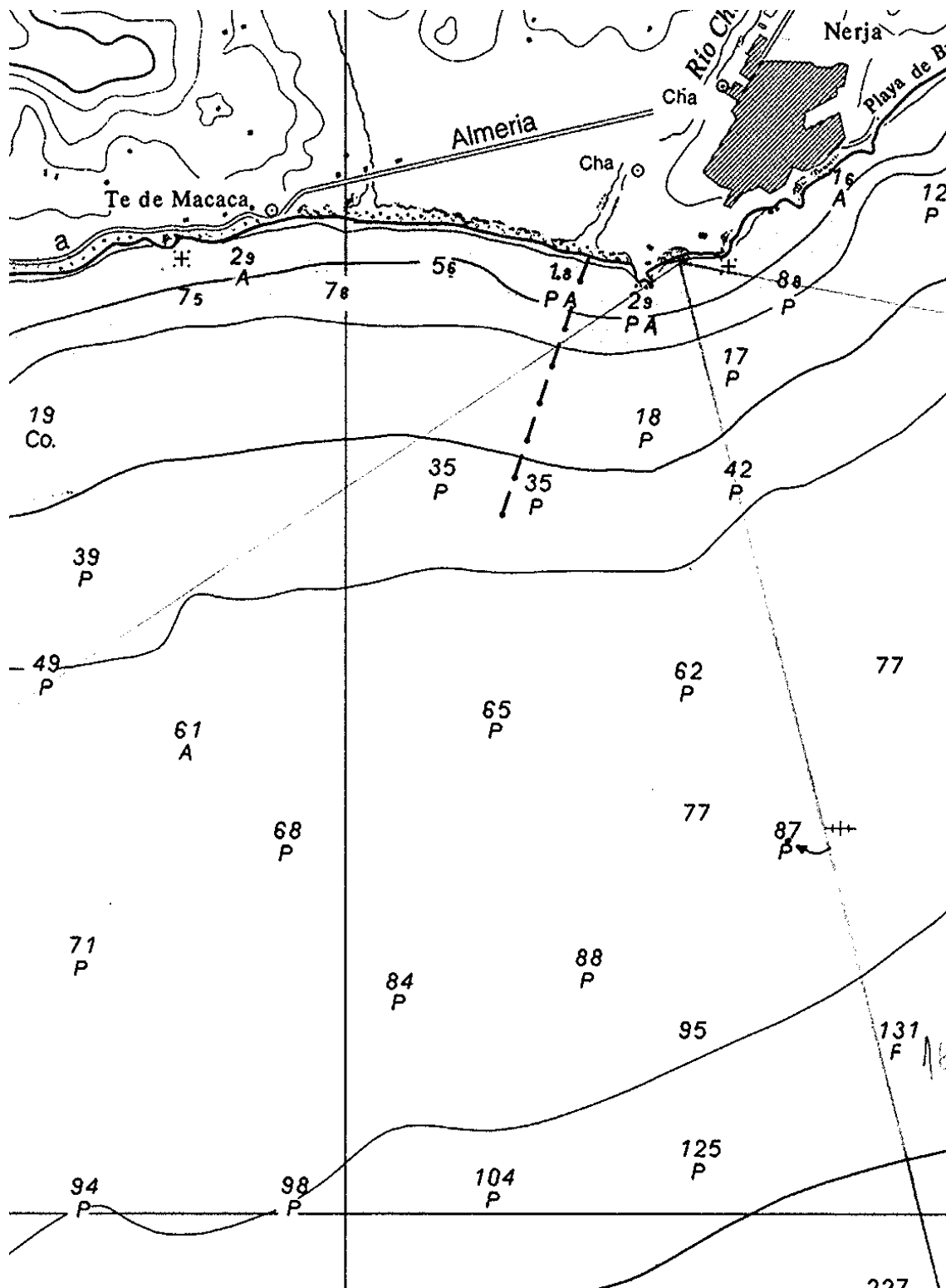


Figura 12. Batimetría de la zona a ubicar el emisario submarino

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

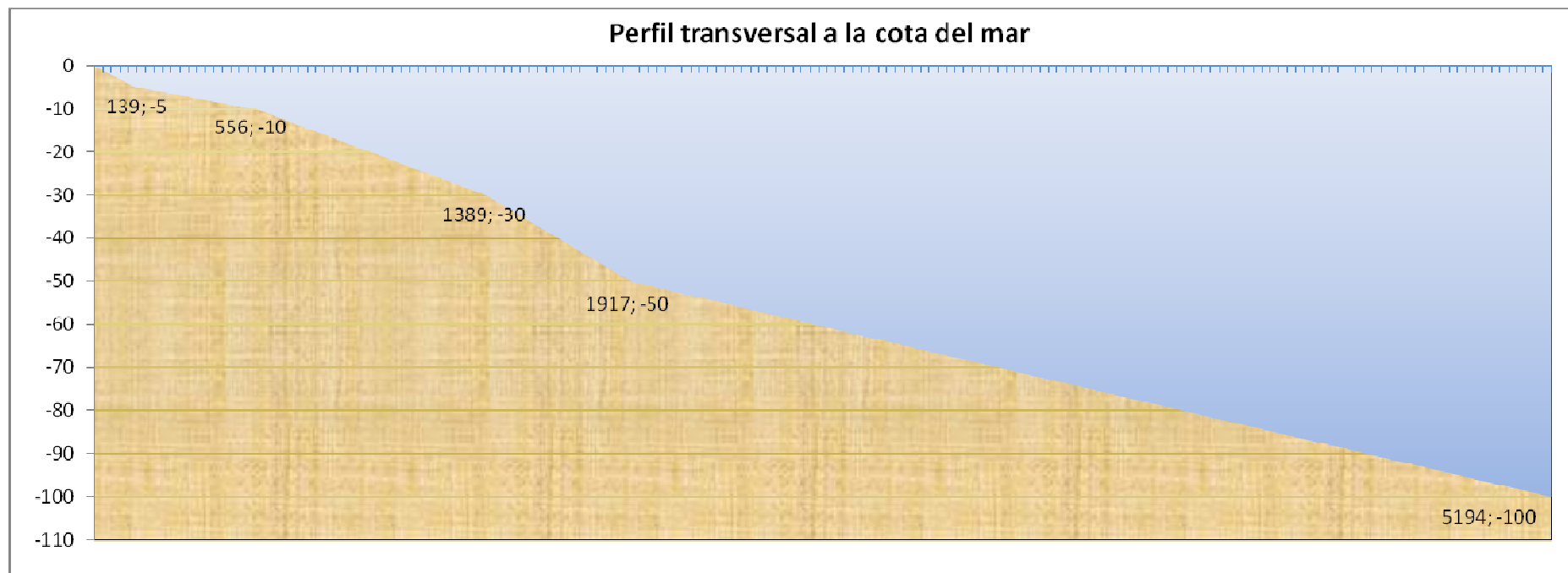


Figura 13. Perfil transversal a la cota del mar

<b>x</b>	<b>y</b>
0	0
139	-5
556	-10
1389	-30
1917	-50
5194	-100

x: distancia a la línea de costa en bajamar máxima viva equinoccial; y: profundidad del fondo marino

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Del perfil transversal representado en la Figura 10 se obtienen las siguientes ecuaciones y valores dados por la Tabla 10:

Tramo		Ecuación de la recta	H	
Distancia	Profundidad		x	y
0-139	0-5	$y=-0,04x$		0
139-556	5-10	$y=-0,012x-3,33$	200	-3,33 $H_{zb}$
556-1389	10-30	$y=-0,024x+3,34$		3,34
1389-1917	30-50	$y=-0,04x+22,61$	1825,63	-50,4152
1917-5194	50-100	$y=-0,015x-20,75$	2100,76	-52,2614 $H_{T-1^a}$ iteración
			2436,12	-57,2918 $H_{T-2^a}$ iteración
			2636,12	-60,2918 $H_{T-3^a}$ iteración

Tabla 10. Valores obtenidos a partir del perfil transversal a la cota del mar

Para el primer tanteo se suponen los siguientes valores:

$$L = 2.000 \text{ m}$$

$$n = 20$$

$$s = 15 \text{ m}$$

Diámetro interior de la boca de descarga:  $d = 0,15 \text{ m}$

$$h_0 = 1,5 \text{ m}$$

$$\beta = 45^\circ$$

### CÁLCULOS

Dilución inicial (Apartado B.2 de la Instrucción)

$$\text{Longitud total del tramo difusor: } L_T = (n-1) \cdot s = 285 \text{ m}$$

$H_T$  se obtiene del gráfico del perfil transversal a la costa con el valor de la distancia a la costa dado por la siguiente ecuación:

$$L_{PM} = L + \frac{L_T}{2} \cdot \cos \beta = 2.000 + \frac{385}{2} \cdot \cos 45^\circ = 2.136,12 \text{ m}$$

$$H_T = 52,79 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad de la boca de descarga: } H = H_T - h_0 = 52,26 - 1,5 = 51,29 \text{ m}$$

Como  $s > H_T/5$ , se trata de un tramo difusor con bocas de descarga muy separadas. Como además no existe estratificación rige el caso B.2.2.2. de la Instrucción.

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Teniendo en cuenta que el emisario se calcula para el caso más crítico de caudal máximo en temporada alta, se tiene que  $Q = 1.483 \text{ m}^3/\text{h} = 0,412 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Caudal vertido por una boca de descarga:  $Q_b = Q / n = 0,412 / 20 = 0,021 \text{ m}^3/\text{s}$

La densidad del agua del mar, a  $24^\circ\text{C}$  y  $37,5 \text{ psu}$ , según la Tabla 11 es  $\rho_a = 1.025,537 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

Salinidad (psu)	Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
30,9	10	1.023,753
34	15	1.025,202
35	15	1.025,973
31,6	20	1.022,172
37,5	24	1.025,537

Tabla 11. Cálculo de la densidad en función de la salinidad y la temperatura (UNESCO, 1981, Pedersen)

La densidad del efluente se puede considerar prácticamente como la del agua pura:  $\rho_0 = 1.000 \text{ kg}/\text{m}^3$  y la aceleración de la gravedad es  $g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2$ .

$$\text{Aceleración reducida: } g' = \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0} \cdot g = \frac{1.025,537 - 1.000}{1.000} \cdot 9,81 = 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{Caudal unitario en el difusor: } q = \frac{Q}{L_T} = \frac{0,412}{285} = 1,45 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Se considera como dirección más desfavorable de la corriente la de la mínima distancia al límite de la zona de baños, es decir, la perpendicular a la costa.

$$\theta = 45^\circ$$

$$L_T \text{ sen } \theta = 285 \text{ sen } 45 = 201,53 \text{ m}$$

A pesar de tener un municipio con más de 10.000 habitantes, se considera la velocidad horizontal del agua del mar,  $U_a = 0,20 \text{ m}/\text{s}$  (Apartado A.2 de la Instrucción).

$$F = \frac{U_a^3}{g' \cdot q} = \frac{0,20^3}{0,25 \cdot 1,45 \cdot 10^{-3}} = 22,07$$

$$0,93 L_T F^{1/3} = 0,93 \cdot 285 \cdot 22,07^{1/3} = 94,49 \text{ m}$$

$$\text{Ancho inicial de la pluma: } B = \text{máx} [201,53 \text{ m}, 94,49 \text{ m}] = 201,53 \text{ m}$$

Para calcular el espesor,  $e$ , y la dilución inicial,  $S$ , de la capa de mezcla hay que

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

iterar:

1ª iteración: se elige  $e_0 = H/4 = 51,29 / 4 = 12,82$  m. Entonces:

$$S_1 = 0,089 g^{1/3} (H-e)^{5/3} Q_b^{-2/3} = 0,089 * 0,25^{1/3} * (51,29-12,82)^{5/3} * 0,021^{-2/3} = 322,92$$

$$e_1 = \frac{S_1 \cdot Q}{B \cdot U_a} = \frac{322,92 \cdot 0,412}{201,53 \cdot 0,20} = 3,30$$

Como no coinciden  $e_0$  y  $e_1$  hay que volver a iterar con el valor obtenido.

2ª iteración:

$$S_2 = 0,089 g^{1/3} (H-e_1)^{5/3} Q_b^{-2/3} = 0,089 * 0,25^{1/3} * (51,29-3,30)^{5/3} * 0,021^{-2/3} = 466,80$$

$$e_2 = \frac{S_2 \cdot Q}{B \cdot U_a} = \frac{466,80 \cdot 0,412}{201,53 \cdot 0,20} = 4,77$$

3ª iteración:

$$S_3 = 0,089 g^{1/3} (H-e_2)^{5/3} Q_b^{-2/3} = 0,089 * 0,25^{1/3} * (51,29-4,77)^{5/3} * 0,021^{-2/3} = 443,20$$

$$e_3 = \frac{S_3 \cdot Q}{B \cdot U_a} = \frac{443,20 \cdot 0,412}{201,53 \cdot 0,20} = 4,53$$

4ª iteración:

$$S_4 = 0,089 g^{1/3} (H-e_3)^{5/3} Q_b^{-2/3} = 0,089 * 0,25^{1/3} * (51,29-4,53)^{5/3} * 0,021^{-2/3} = 447,04$$

$$e_4 = \frac{S_4 \cdot Q}{B \cdot U_a} = \frac{447,04 \cdot 0,412}{201,53 \cdot 0,20} = 4,57$$

La diferencia entre  $S_3$  y  $S_4$  es prácticamente despreciable por lo que se toman los valores:

$$S = 443; \quad e = 4,53$$

Posición del punto de surgencia (Apartado B.2.4. de la Instrucción)

Como se trata de un tramo difusor con bocas de descarga muy separadas, se aplica la ecuación del Apartado B.2.4.2. para calcular la velocidad ascensional del chorro,  $W$ :

$$W = 6,3 \cdot \left( \frac{g \cdot Q_b}{H} \right)^{1/3} = 6,3 \cdot \left( \frac{0,25 \cdot 0,021}{51,29} \right)^{1/3} = 0,295 \frac{m}{s}$$



## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Y con esto se obtiene la distancia horizontal entre la boca de descarga y el punto de surgencia,  $X_0$ , y la distancia entre el punto de surgencia y el límite de la zona de baños,  $X_{zb}$ .

$$X_0 = \left( \frac{U_a}{W} \right) \cdot H = \left( \frac{0,20}{0,295} \right) \cdot 51,29 = 34,81m$$

$$X_{zb} = L + \frac{L_T}{2} \cdot \cos \beta - 200 - X_0 = 2.000 + \frac{385}{2} \cdot \cos 45 - 200 - 34,81 = 1.865,94m$$

### Comprobación de los objetivos de calidad (Apartado B.3. de la Instrucción)

Las máximas concentraciones se dan en el eje de la pluma, por lo que se debe calcular la concentración en el punto de coordenadas  $X = X_{zb}$ ,  $Y = 0$ ,  $Z = 0$ . Además, como el límite de la zona de baños se encuentra muy alejado del punto de surgencia, se pueden aplicar las fórmulas simplificadas del epígrafe b) de dicho Apartado, para calcular  $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$  (funciones que tienen en cuenta la dispersión de la pluma).

Se calcula el tiempo que tarda una partícula de agua en recorrer la distancia  $X$  a lo largo del eje de la pluma,  $t$ :

$$t = \frac{X_{zb}}{U_a} = \frac{1.901,82}{0,20} = 9.330s = 2,59h$$

La función que tiene en cuenta la depuración de la pluma:

$$F_0(t) = 10^{\frac{-t}{T_{90}}} = 10^{\frac{-2,59}{2,5}} = 0,0919$$

Para calcular  $F_1$  y  $F_2$  hay que conocer antes la “desviación típica” de la distribución horizontal de concentraciones en dirección transversal a la pluma,  $\sigma_y$ , y para ello se toma  $K_y = 0,1 \text{ m}^2/\text{s}$  (según el Apartado A.3.a. de la Instrucción).

$$\sigma_y = \left( \frac{B^2}{16} + 2 \cdot K_y \cdot t \right)^{1/2} = \left( \frac{201,53^2}{16} + 2 \cdot 0,1 \cdot 9.330 \right)^{1/2} = 66,37m$$

$$F_1(t) = \frac{(2 \cdot \pi)^{-1/2} \cdot B}{\sigma_y} = \frac{(2 \cdot \pi)^{-1/2} \cdot 201,53}{66,06} = 1,211$$

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$F_2(Y, t) = \exp\left(\frac{-Y^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right) = \exp(0) = 1$$

Para el cálculo de  $F_3$  se necesita conocer la profundidad en el punto donde el espesor de la pluma empieza a ocupar toda la capa de agua,  $H_h$  para lo que se toma la media entre las profundidades en el punto de vertido,  $H_T$ , y en el límite de la zona de baños,  $H_{zb}$  (que se obtiene del gráfico del perfil transversal a la costa con el valor de  $X_{zb}$ ).

$$H_h = \frac{H_T + H_{zb}}{2} = \frac{52,79 + 5,73}{2} = 29,26m$$

$$F_3(Z, t) = \frac{e}{H_h} = \frac{4,45}{29,26} = 0,15$$

La concentración en el límite de la zona de baños es, por tanto:

$$C_{zb} = C(X_{zb}, 0, 0) = \left(\frac{C_0}{S}\right) \cdot F_0(t) \cdot F_1(t) \cdot F_2(Y, t) \cdot F_3(Z, t) = \left(\frac{C_0}{443}\right) \cdot 0,0919 \cdot 1,211 \cdot 1 \cdot 0,15 = 3,77 \cdot 10^{-5} \cdot C_0$$

Como el agua que entra al emisario ha pasado por un tratamiento secundario:

$$C_0 = 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$$

$$C_{zb} = 3,77 \cdot 10^{-5} \cdot 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$$

$$C_{zb} = 377 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$$

Que no cumple con la condición de Excelente para la calidad de las aguas costeras y de transición (250 UFC/100 ml) dada en el Anexo I, Parámetros obligatorios y valores para la evaluación anual, del Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño, por lo tanto se toma un nuevo valor para la longitud del emisario,  $L = 2.300 \text{ m}$ , y se vuelve a calcular por el mismo procedimiento.

$$L_T = (n-1) \cdot s = 285 \text{ m}$$

$H_T$  se obtiene del gráfico del perfil transversal a la costa con el valor de la distancia a la costa dado por la siguiente ecuación:

$$L_{PM} = L + \frac{L_T}{2} \cdot \cos \beta = 2.300 + \frac{385}{2} \cdot \cos 45^\circ = 2.436,12m$$

$$H_T = 57,29 \text{ m}$$

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Profundidad de la boca de descarga:  $H = H_T - h_0 = 57,29 - 1,5 = 55,79$  m

Como  $s > H_T/5$ , se continúa en el caso de un tramo difusor con bocas de descarga muy separadas. Como además no existe estratificación de nuevo se cumple el caso B.2.2.2. de la Instrucción.

$$Q = 1.483 \text{ m}^3/\text{h} = 0,412 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q_b = Q / n = 0,412 / 20 = 0,021 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_a = 1.025,5534 \text{ kg/m}^3.$$

$$\rho_0 = 1.000 \text{ kg/m}^3 \text{ y } g = 9,81 \text{ m/s}^2.$$

$$\text{Aceleración reducida: } g' = \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0} \cdot g = \frac{1.025,5534 - 1.000}{1.000} \cdot 9,81 = 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{Caudal unitario en el difusor: } q = \frac{Q}{L_T} = \frac{0,412}{285} = 1,45 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$L_T \text{ sen } \theta = 285 \text{ sen } 45 = 201,53 \text{ m}$$

$$U_a = 0,20 \text{ m/s}$$

$$F = \frac{U_a^3}{g' \cdot q} = \frac{0,20^3}{0,25 \cdot 1,45 \cdot 10^{-3}} = 22,07$$

$$0,93 L_T F^{1/3} = 0,93 \cdot 285 \cdot 22,07^{1/3} = 94,49 \text{ m}$$

$$B = \text{máx} [201,53 \text{ m}, 94,49 \text{ m}] = 201,53 \text{ m}$$

Para calcular el espesor,  $e$ , y la dilución inicial,  $S$ , de la capa de mezcla se vuelve a iterar:

1ª iteración: se elige  $e_0 = H/4 = 55,79 / 4 = 13,95$  m. Entonces:

$$S_1 = 0,089 g'^{1/3} (H-e)^{5/3} Q_b^{-2/3} = 0,089 \cdot 0,25^{1/3} \cdot (55,79 - 13,95)^{5/3} \cdot 0,021^{-2/3} = 371,47$$

$$e_1 = \frac{S_1 \cdot Q}{B \cdot U_a} = \frac{371,47 \cdot 0,412}{201,53 \cdot 0,20} = 3,80$$

Como no coinciden  $e_0$  y  $e_1$  hay que volver a iterar con el valor obtenido.

2ª iteración:

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$S_2 = 0,089 g^{-1/3} (H-e_1)^{5/3} Q_b^{-2/3} = 0,089 * 0,25^{1/3} * (55,79-3,80)^{5/3} * 0,021^{-2/3} = 533,50$$

$$e_2 = \frac{S_2 \cdot Q}{B \cdot U_a} = \frac{533,50 \cdot 0,412}{201,53 \cdot 0,20} = 5,45$$

3ª iteración:

$$S_3 = 0,089 g^{-1/3} (H-e_2)^{5/3} Q_b^{-2/3} = 0,089 * 0,25^{1/3} * (55,79-5,45)^{5/3} * 0,021^{-2/3} = 505,47$$

$$e_3 = \frac{S_3 \cdot Q}{B \cdot U_a} = \frac{505,47 \cdot 0,412}{201,53 \cdot 0,20} = 5,17$$

4ª iteración:

$$S_4 = 0,089 g^{-1/3} (H-e_3)^{5/3} Q_b^{-2/3} = 0,089 * 0,25^{1/3} * (55,79-5,17)^{5/3} * 0,021^{-2/3} = 510,28$$

$$e_4 = \frac{S_4 \cdot Q}{B \cdot U_a} = \frac{510,28 \cdot 0,412}{201,53 \cdot 0,20} = 5,22$$

La diferencia entre  $S_3$  y  $S_4$  es prácticamente despreciable por lo que se toman los valores:

$$S = 506; \quad e = 5,17$$

Posición del punto de surgencia (Apartado B.2.4. de la Instrucción)

$$W = 6,3 \cdot \left( \frac{g \cdot Q_b}{H} \right)^{1/3} = 6,3 \cdot \left( \frac{0,25 \cdot 0,021}{55,79} \right)^{1/3} = 0,287 \frac{m}{s}$$

$$X_0 = \left( \frac{U_a}{W} \right) \cdot H = \left( \frac{0,2}{0,287} \right) \cdot 55,79 = 38,94m$$

$$X_{zb} = L + \frac{L_T}{2} \cdot \cos \beta - 200 - X_0 = 2.300 + \frac{385}{2} \cdot \cos 45 - 200 - 38,94 = 2.161,81m$$

Comprobación de los objetivos de calidad (Apartado B.3. de la Instrucción)

$$t = \frac{X_{zb}}{U_a} = \frac{2.161,81}{0,20} = 10.809s = 3,00h$$

La función que tiene en cuenta la depuración de la pluma:

$$F_0(t) = 10^{\frac{-t}{T_{90}}} = 10^{\frac{-3,00}{2,5}} = 0,0629$$

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$K_y = 0,1 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\sigma_y = \left( \frac{B^2}{16} + 2 \cdot K_y \cdot t \right)^{1/2} = \left( \frac{201,53^2}{16} + 2 \cdot 0,1 \cdot 10.809 \right)^{1/2} = 68,56 \text{ m}$$

$$F_1(t) = \frac{(2 \cdot \pi)^{-1/2} \cdot B}{\sigma_y} = \frac{(2 \cdot \pi)^{-1/2} \cdot 201,53}{68,56} = 1,173$$

$$F_2(Y, t) = \exp\left( \frac{-Y^2}{2 \cdot \sigma_y^2} \right) = \exp(0) = 1$$

$$H_h = \frac{H_T + H_{zb}}{2} = \frac{57,29 + 5,73}{2} = 31,51 \text{ m}$$

$$F_3(Z, t) = \frac{e}{H_h} = \frac{5,17}{31,51} = 0,164$$

Por tanto, la concentración en el límite de la zona de baños es:

$$C_{zb} = C(X_{zb}, 0, 0) = \left( \frac{C_0}{S} \right) \cdot F_0(t) \cdot F_1(t) \cdot F_2(Y, t) \cdot F_3(Z, t) = \left( \frac{C_0}{443} \right) \cdot 0,0629 \cdot 1,173 \cdot 1 \cdot 0,14$$

$$C_{zb} = 2,73 \cdot 10^{-5} \cdot C_0$$

Como el agua que entra al emisario ha pasado por un tratamiento secundario:

$$C_0 = 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$$

$$C_{zb} = 2,73 \cdot 10^{-5} \cdot 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$$

$$C_{zb} = 273 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$$

De nuevo no se cumple con la condición de Excelente para la calidad de las aguas costeras y de transición (<250 UFC/100 ml) dada en el Anexo I, Parámetros obligatorios y valores para la evaluación anual, del Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.

Se toma una nueva longitud del tramo submarino del emisario para realizar de nuevo el procedimiento de cálculo:

$$L = 2.500 \text{ m}$$

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

$$L_T = (n-1) \cdot s = 285 \text{ m}$$

$H_T$  se obtiene del gráfico del perfil transversal a la costa con el valor de la distancia a la costa dado por la siguiente ecuación:

$$L_{PM} = L + \frac{L_T}{2} \cdot \cos \beta = 2.500 + \frac{385}{2} \cdot \cos 45^\circ = 2.636,12 \text{ m}$$

$$H_T = 60,29 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad de la boca de descarga: } H = H_T - h_0 = 60,29 - 1,5 = 58,79 \text{ m}$$

Como también ahora  $s > H_T/5$ , se continúa en el caso de un tramo difusor con bocas de descarga muy separadas. Como además no existe estratificación de nuevo se cumple el caso B.2.2.2. de la Instrucción.

$$Q = 1.483 \text{ m}^3/\text{h} = 0,412 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q_b = Q / n = 0,412 / 20 = 0,021 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_a = 1.025,5534 \text{ kg/m}^3.$$

$$\rho_0 = 1.000 \text{ kg/m}^3 \text{ y } g = 9,81 \text{ m/s}^2.$$

$$\text{Aceleración reducida: } g' = \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0} \cdot g = \frac{1.025,5534 - 1.000}{1.000} \cdot 9,81 = 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{Caudal unitario en el difusor: } q = \frac{Q}{L_T} = \frac{0,412}{285} = 1,45 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$L_T \sin \theta = 285 \sin 45 = 201,53 \text{ m}$$

$$U_a = 0,20 \text{ m/s}$$

$$F = \frac{U_a^3}{g' \cdot q} = \frac{0,20^3}{0,25 \cdot 1,45 \cdot 10^{-3}} = 22,07$$

$$0,93 L_T F^{1/3} = 0,93 \cdot 285 \cdot 22,07^{1/3} = 94,49 \text{ m}$$

$$B = \text{máx} [201,53 \text{ m}, 94,49 \text{ m}] = 201,53 \text{ m}$$

Para calcular el espesor,  $e$ , y la dilución inicial,  $S$ , de la capa de mezcla se vuelve a iterar:

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

1ª iteración: se elige  $e_0 = H/4 = 58,79 / 4 = 14,70$  m. Entonces:

$$S_1 = 0,089 g^{-1/3} (H-e)^{5/3} Q_b^{-2/3} = 0,089 * 0,25^{1/3} * (58,79-14,70)^{5/3} * 0,021^{-2/3} = 405,35$$

$$e_1 = \frac{S_1 \cdot Q}{B \cdot U_a} = \frac{405,35 \cdot 0,412}{201,53 \cdot 0,20} = 4,14$$

Como no coinciden  $e_0$  y  $e_1$  hay que volver a iterar con el valor obtenido.

2ª iteración:

$$S_2 = 0,089 g^{-1/3} (H-e_1)^{5/3} Q_b^{-2/3} = 0,089 * 0,25^{1/3} * (58,79-4,14)^{5/3} * 0,021^{-2/3} = 579,65$$

$$e_2 = \frac{S_2 \cdot Q}{B \cdot U_a} = \frac{579,75 \cdot 0,412}{201,53 \cdot 0,20} = 5,93$$

3ª iteración:

$$S_3 = 0,089 g^{-1/3} (H-e_2)^{5/3} Q_b^{-2/3} = 0,089 * 0,25^{1/3} * (58,79-5,93)^{5/3} * 0,021^{-2/3} = 548,49$$

$$e_3 = \frac{S_3 \cdot Q}{B \cdot U_a} = \frac{548,49 \cdot 0,412}{201,53 \cdot 0,20} = 5,61$$

4ª iteración:

$$S_4 = 0,089 g^{-1/3} (H-e_3)^{5/3} Q_b^{-2/3} = 0,089 * 0,25^{1/3} * (58,79-5,61)^{5/3} * 0,021^{-2/3} = 554,01$$

$$e_4 = \frac{S_4 \cdot Q}{B \cdot U_a} = \frac{554,01 \cdot 0,412}{201,53 \cdot 0,20} = 5,66$$

La diferencia entre  $S_3$  y  $S_4$  es muy pequeña por lo que se toman los valores:

$$S = 549; \quad e = 5,61$$

Posición del punto de surgencia (Apartado B.2.4. de la Instrucción)

$$W = 6,3 \cdot \left( \frac{g \cdot Q_b}{H} \right)^{1/3} = 6,3 \cdot \left( \frac{0,25 \cdot 0,021}{58,79} \right)^{1/3} = 0,282 \frac{m}{s}$$

$$X_0 = \left( \frac{U_a}{W} \right) \cdot H = \left( \frac{0,2}{0,282} \right) \cdot 58,79 = 41,75m$$

$$X_{zb} = L + \frac{L_T}{2} \cdot \cos \beta - 200 - X_0 = 2.500 + \frac{385}{2} \cdot \cos 45 - 200 - 41,75 = 2.358,99m$$

## Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja

Comprobación de los objetivos de calidad (Apartado B.3. de la Instrucción)

$$t = \frac{X_{zb}}{U_a} = \frac{2.358,99}{0,20} = 11.795s = 3,28h$$

La función que tiene en cuenta la depuración de la pluma:

$$F_0(t) = 10^{\frac{-t}{T_{90}}} = 10^{\frac{-3,28}{2,5}} = 0,0489$$

$$K_y = 0,1 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\sigma_y = \left( \frac{B^2}{16} + 2 \cdot K_y \cdot t \right)^{1/2} = \left( \frac{201,53^2}{16} + 2 \cdot 0,1 \cdot 11.795 \right)^{1/2} = 69,98m$$

$$F_1(t) = \frac{(2 \cdot \pi)^{-1/2} \cdot B}{\sigma_y} = \frac{(2 \cdot \pi)^{-1/2} \cdot 201,53}{69,98} = 1,149$$

$$F_2(Y, t) = \exp\left( \frac{-Y^2}{2 \cdot \sigma_y^2} \right) = \exp(0) = 1$$

$$H_h = \frac{H_T + H_{zb}}{2} = \frac{60,29 + 5,73}{2} = 33,01 \text{ m}$$

$$F_3(Z, t) = \frac{e}{H_h} = \frac{5,61}{33,01} = 0,17$$

Por tanto, la concentración en el límite de la zona de baños es:

$$C_{zb} = C(X_{zb}, 0, 0) = \left( \frac{C_0}{S} \right) \cdot F_0(t) \cdot F_1(t) \cdot F_2(Y, t) \cdot F_3(Z, t) = \left( \frac{C_0}{549} \right) \cdot 0,0489 \cdot 1,149 \cdot 1 \cdot 0,17$$

$$C_{zb} = 1,74 \cdot 10^{-5} \cdot C_0$$

Debido a que el agua que entra al emisario ha pasado por un tratamiento secundario, su concentración en Unidades Formadoras de Colonias por 100 ml de agua:

$$C_0 = 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$$

$$C_{zb} = 1,74 \cdot 10^{-5} \cdot 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$$



## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

$$C_{zb} = 174 \text{ UFC/100 ml}$$

En este caso sí se cumple con la condición de Excelente para la calidad de las aguas costeras y de transición (<250 UFC/100 ml) dada en el Anexo I, Parámetros obligatorios y valores para la evaluación anual, del Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- Juan Antonio Sainz Sastre. *Tecnologías para la Sostenibilidad. Procesos y Operaciones Unitarias en Depuración de Aguas Residuales*. EOI. 2005.
- 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
- Directiva 2008/32, de 11 de marzo, que modifica la Directiva 2000/60, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, por lo que se refiere a las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión. (DOUE núm. L81, de 20 de marzo de 2008).
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Real Decreto-Ley 4/2007, de 13 de abril, por el que se modifica el texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.
- Directiva 91/721/CEE, de 21 de mayo, sobre tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las Normas Aplicables al Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas.
- Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las Normas Aplicables al Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas.
- Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las Normas Aplicables al Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas.
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Consejería de Obras Públicas y Transportes, Junta de Andalucía. *Plan de Ordenación del Territorio. Costa del Sol Oriental-Axarquía*. Julio 2006.

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

- Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.
- Ley 7/1994, de 18 de mayo, de Protección Ambiental (derogada por la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental).
- Directiva 2006/7/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de febrero de 2006, relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE.
- Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Real Decreto 1471/1989, de 1 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General para desarrollo y ejecución de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Decreto 334/1994, de 4 de octubre, por el que se regula el procedimiento para la tramitación de autorizaciones de vertido al dominio público marítimo-terrestre y de uso en zona de servidumbre de protección.
- Decreto 14/1996, de 16 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de la calidad de las aguas litorales (deroga parcialmente el anterior Decreto).
- ORDEN de 14 de febrero de 1997, por la que se clasifican las aguas litorales andaluzas y se establecen los objetivos de calidad de las aguas afectadas directamente por los vertidos, en desarrollo del Decreto 14/1996, de 16 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de la calidad de las aguas litorales.
- Orden de 13 de julio de 1993, por la que se aprueba la “Instrucción para el proyecto de conducciones de vertido desde tierra al mar”.
- Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.

## **Diseño de la Estación Regeneradora de Aguas Residuales y su Emisario Submarino en el Municipio de Nerja**

### **7. ANEXOS**

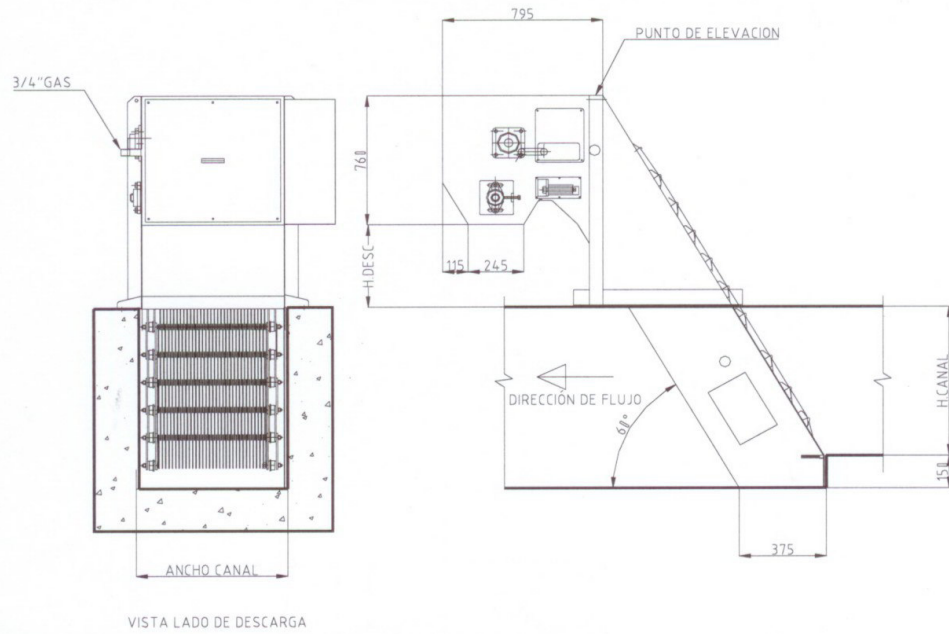
- Bomba por tornillo de Arquímedes
- Tamiz autolimpiante
- Centrífuga para deshidratación
- Decantadores lamelares compactos

## BOMBA POR TORNILLO DE ARQUÍMEDES

TABLA DE CAUDALES CON ÁNGULO DE 30°			
Diámetros (mm) Ø <sub>1</sub> - Ø <sub>2</sub>	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

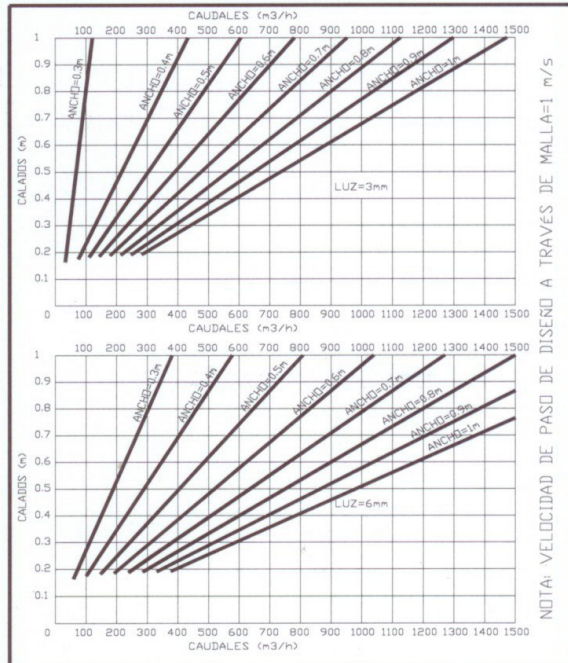


### TAMIZ AUTOLIMPIANTE SCM



#### APLICACIONES:

- Tamizado de aguas residuales urbanas
- Tamizado de agua bruta en estaciones de bombeo
- Separación de algas macroscópicas en canales de riego
- Tamizado de aguas de arrastre en industrias de conservas vegetales
- Tamizado de vertidos y aguas de proceso en azucareras
- Tamizado de efluentes de matadero





INDUSTRIAL DIVISION

CENTRIFUGAL EXTRACTORS  
**JUMBO SERIES**



GRUPPO

**PIERALISI**

## CENTRIFUGAL EXTRACTORS JUMBO SERIES

The centrifugal extractors of the JUMBO series are equipped with:

- special device to regulate the liquid ring inside the bowl
- platform and cylindric bowl housing made in carbon steel
- patented sludge-scraper for continuous discharge of dewatered sludge from the solids discharge chamber
- special wear-proof protection on peripheral screw area
- electronic safety device for overload protection, with optional visual or acoustic alarm signals
- hard-metal protection bushes on solids discharge holes
- electronic revolution counter, as standard equipment
- optional device for continuous modifications of the revolution speed of the internal screw.

**ALL THE PARTS IN CONTACT WITH THE PRODUCT ARE IN STAINLESS STEEL**



JUMBO 1



JUMBO 2

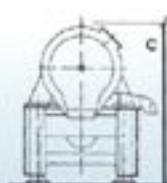
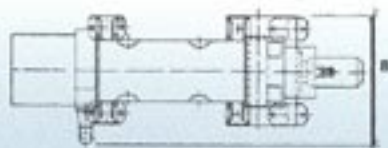
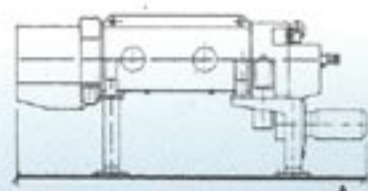


JUMBO 3



JUMBO 4

Model	Main motor power kW	Drum revolution max rpm	Centrifugal force max x g	Slenderness ratio L/D	Drum diameter mm	Hydraulic capacity l/h
JUMBO 1	30	3,350	2,950	2.51	470	25,000
JUMBO 2	37	3,350	2,950	3.38	470	35,000
JUMBO 3	45	3,350	2,950	4.25	470	45,000
JUMBO 4	45	3,350	2,950	5.12	470	55,000



Model	Total length A mm	Total width B mm	Total height C mm
JUMBO 1	3,000	1,470	1,650
JUMBO 2	3,500	1,470	1,650
JUMBO 3	3,910	1,470	1,650
JUMBO 4	4,385	1,470	1,650

The company reserves the right to modify the machine for improvements at any time.

GRUPPO  
**PIERALISI**





# *Decantadores* **LAMELARES COMPACTOS**





## ■ DECANTADORES LAMELARES COMPACTOS

Los decantadores lamelares prefabricados aportan la reducción del espacio necesario de implantación propios de la decantación lamelar, y permiten además el ahorro de trabajos en obra civil, puesto que se trata de equipos que simplifican enormemente su instalación.

Esta combinación los hace idóneos para espacios donde la obra civil pueda resultar complicada o costosa.



Nuestra experiencia y las referencias en multitud de sectores, nos convierten en una empresa de referencia para este tipo de equipos, ofreciendo todas las garantías de funcionamiento y calidad.

## ■ EQUIPOS FÍSICO-QUÍMICOS LAMELARES

**ECOTEC** es especialista en el diseño de equipos que incorporan cámaras al decantador (mezcla, coagulación, floculación, etc.), formando una sola unidad físico-química.

## ■ MATERIALES

El material más utilizado para la construcción de nuestros equipos es el polipropileno, debido a sus múltiples ventajas:



- Excelentes propiedades anticorrosivas.
- Material ligero.
- Óptima relación calidad-precio.
- Mejor calidad de acabados frente a otros materiales plásticos anticorrosivos.
- La versatilidad del material permite la construcción de equipos en múltiples tamaños y formas, pudiendo adaptar el diseño a las necesidades específicas de cada proyecto.

Es también posible construir los equipos en acero al carbono y en acero inoxidable.

Las lamelas se fabrican en PVC y polipropileno. El polipropileno dispone de certificado de calidad alimentaria, y la selección del modelo y material más adecuados se realiza en función de la aplicación (tipo de agua, temperatura, etc.).

## ■ APLICACIONES

Las aplicaciones más habituales son:

- Plantas de potabilización pequeñas y medianas
- Pequeñas EDARs
- Plantas físico-químicas industriales



El rango de caudales varía en función de cada caso (aplicación, concentración de sólidos en suspensión, etc.), pero **ECOTEC** puede suministrarlos para caudales de hasta 300 m<sup>3</sup>/h.

## ■ ASISTENCIA TÉCNICA

**ECOTEC** colabora con nuestros clientes en el diseño y optimización de los equipos.

## ■ PLANTAS PILOTO

**ECOTEC** dispone de varias unidades a pequeña escala, construidas en diversos materiales y características, que se encuentran a disposición de nuestros clientes para la realización de pruebas y ensayos.

Estos equipos admiten la instalación de diferentes modelos de lamelas, permitiendo realizar estudios comparativos de rendimiento para una aplicación específica, a fin de optimizar el diseño de unidades a gran escala.





ECOLOGÍA TÉCNICA S.A.

Pol. Ind. Bufalvent  
C/ Esteve Terradas, 37 A  
08243 MANRESA (Barcelona)  
Tel. 93 877 31 33  
Fax 93 877 05 58

[www.ecotec.es](http://www.ecotec.es)

[ecotec@ecotec.es](mailto:ecotec@ecotec.es)

