

# Trabajo Fin de Máster

## *PROYECTO BÁSICO DE IMPLANTACIÓN DE TRATAMIENTO TERCIARIO EN LA E.D.A.R. DE BENISSA-SENIJA. BENISSA (ALICANTE).*

**Intensificación: *TRATAMIENTO DE AGUAS***

**Autor:**

*CARLOS DOMINGO BARÓ ZARZO*

**Director:**

*DR. JOSÉ FERRER POLO*

**Codirector/es:**

**JUNIO, 2015**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**mihma**





## Resumen del Trabajo de Fin de Máster

### Datos del proyecto

**Título:** PROYECTO BÁSICO DE IMPLANTACIÓN DE TRATAMIENTO TERCIARIO EN LA E.D.A.R. DE BENISSA-SENIJA. BENISSA (ALICANTE).

**Alumno:** CARLOS DOMINGO BARÓ ZARZO.

**Director:** DR. JOSÉ FERRER POLO

**Codirector/es:**

**Fecha de Lectura:** JULIO, 2015

### Resumen

#### En castellano (máximo 2000 palabras)

La E.D.A.R. de Benissa-Senija está situada en la población de Benissa (Alicante) y fue puesta en servicio en 2002. Trata las aguas residuales procedentes principalmente del núcleo urbano de Benissa (la mayor parte del caudal), y de Senija. La planta fue diseñada para un caudal medio de aguas residuales de 2.500 m<sup>3</sup>/d, aunque actualmente está tratando un caudal medio de 918 m<sup>3</sup>/d. El esquema de tratamiento del agua residual está formado por un pretratamiento, un tratamiento secundario y una desinfección del agua por cloración.

En paralelo a la construcción de la planta el Ayuntamiento de Benissa planteó la posibilidad de reutilizar el agua tratada para usos municipales (baldeo de calles, riego de jardines públicos) e industriales, estimando esta demanda en unos 690 m<sup>3</sup>/d. Un Proyecto redactado en 2001 recogía todas las infraestructuras necesarias para la distribución del agua tratada hasta los puntos de consumo. El Proyecto se ha ido ejecutando por fases y actualmente está casi ejecutado en su totalidad, estando en servicio la parte ejecutada.

En la E.D.A.R., situada a cota +120, se construyó un bombeo en 2009 que impulsa el agua tratada hasta un depósito de regulación a cota +273 situado en el núcleo urbano de Benissa, desde el que se distribuye el agua hasta los puntos de consumo. La EPSAR autorizó la construcción del bombeo, advirtiéndole de que el agua puede no cumplir unos requisitos de calidad mínima en el punto de aspiración de las bombas, el canal de cloración, por la concentración de sólidos suspendidos que escapan del decantador, y obligando a la colocación de un sensor de turbidez enclavado con el bombeo, de manera que impida su funcionamiento si el agua tiene una elevada carga de sólidos.

Por otra parte, en 2007 se efectuó un estudio de la demanda para uso agrícola en el entorno de la E.D.A.R. del excedente de agua tratada, comprobándose que hay una potencial demanda de agua reutilizada que puede cubrir el excedente hasta el caudal de diseño de la planta.

Todos los planteamientos de reutilización del agua fueron anteriores a la aprobación del R.D. 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. En este Real Decreto se establecen unas condiciones mínimas de calidad que deben cumplir las aguas regeneradas y que el esquema de tratamiento existente no es capaz de conseguir. Hasta la fecha ninguna de las administraciones implicadas ha abordado la obligatoriedad de garantizar una calidad mínima del agua tratada, siendo el criterio actual no reutilizar el agua (no bombear), cuando no se cumplan estas condiciones mínimas.

El presente Trabajo Fin de Master tiene por objeto principal definir y valorar económicamente, a nivel de anteproyecto, un tratamiento terciario que garantice la calidad mínima del agua para los usos previstos. Para tal fin se propone un esquema de tratamiento formado por dos líneas idénticas diseñadas cada una para la mitad del caudal de diseño de la planta, 1.250 m<sup>3</sup>/d, de manera que se construya una sola de ellas en la primera implantación y se amplíe a la segunda en el futuro. El tratamiento propuesto es de tipo directo, formado por un físico-químico convencional (coagulación-floculación), una filtración a través de tela de 10 $\mu$ m de paso en filtro de tambor, con una posterior desinfección ultravioleta.

El físico-químico está formado por un cámara de mezcla rápida con adición de coagulante (sulfato de aluminio), dotada de agitador de eje vertical, y de una cámara de mezcla lenta, con adición de coadyuvante a la floculación (polielectrolito), también dotada de agitador. Esta etapa es necesaria para formar agregados que puedan ser retenidos por el filtro y reducir así la turbidez por debajo del valor objetivo de 10 UTN.

El filtro de tambor es muy adecuado para este caso puesto que la luz de paso de 10  $\mu$ m es capaz de retener tanto sólidos suspendidos como los huevos de nematodos intestinales, todo ello con un funcionamiento en lámina libre con pérdida de carga hidráulica muy pequeña y una gran sencillez en su diseño mecánico que deriva en consumo eléctrico muy pequeño. El agua de lavado del filtro se conduce hasta cabecera de planta de la E.D.A.R.

El reactor ultravioleta es de tipo tubería, con el fin de mantener siempre el servicio cuando se efectúa un mantenimiento de cambio de lámparas por ejemplo, se disponen dos reactores en paralelo para tratar cada uno la mitad del caudal. El tratamiento ultravioleta se ha dimensionado para lograr el objetivo de calidad de 100 UCF/100ml de Escherichia Coli, y de 100 UFC/L de Legionella spp.

En el diseño del terciario se incluye un pequeño edificio para alojar los reactores UV, los cuadros eléctricos y los equipos de dosificación de reactivos; se incluye también un cubeto con un depósito de sulfato de aluminio y un bombeo en cabeza necesario para compensar toda la pérdida de energía hidráulica del agua a su paso por el proceso.

La implantación del tratamiento terciario se propone en una zona actualmente de cultivo situada al norte de la parcela, junto al bombeo de reutilización, por lo que será necesario adquirir unos 500m<sup>2</sup> aproximadamente de suelo rústico para su construcción. Las aguas se toman de la conducción existente desde el decantador hasta el canal de cloración y se devuelven al inicio del canal de cloración por su parte superior por lo que la afección al funcionamiento de la planta es mínimo, y no es necesaria ninguna modificación de la aspiración del bombeo de reutilización.

Aunque el consumo energético del tratamiento terciario es bastante reducido, (alrededor de 17 kW de potencia instalada con una sola línea y 30 kW con las dos líneas en funcionamiento), se ha estudiado el tratamiento secundario existente con el fin de comprobar si una optimización del proceso puede dar lugar a una reducción del consumo energético que compense la nueva demanda del terciario. Se ha comprobado que las posibilidades de regulación del caudal de aire suministrado en el reactor biológico son actualmente escasas. Una ligera modificación en el sistema de bajantes y parrillas, de manera que se pueda operar la zona óxica del reactor en cinco zonas independientes, da lugar en las simulaciones efectuadas, a una mejora en los rendimientos de reducción de nutrientes con descenso significativo de la demanda de oxígeno total. Teniendo en cuenta que la potencia total instalada de soplantes a reactor biológico es de 88 kW, una pequeña reducción en el consumo puede compensar la demanda del terciario.

Se ha estimado el coste de las modificaciones del sistema de suministro de aire al reactor biológico, así como el de implantación del tratamiento terciario en su primera fase. Sumado éste al coste de adquisición de los terrenos y al de dirección de las obras, resulta un Presupuesto para Conocimiento de la Administración del orden de setecientos cincuenta mil euros (750.000,00€).

### **En valenciano (máximo 2000 palabras)**

L'E.D.A.R. de Benissa-Senija està situada en la població de Benissa (Alacant) i va ser posada en servici en 2002. Tracta les aigües residuals procedents principalment del nucli urbà de Benissa (la major part del cabal), i de Senija. La planta va ser dissenyada per a un cabal mitjà d'aigües residuals de 2.500 m<sup>3</sup>/d, encara que actualment està tractant un cabal mitjà de 918 m<sup>3</sup>/d. L'esquema de tractament de l'aigua residual està format per un pretractament, un tractament secundari i una desinfecció de l'aigua per cloració.

En paral·lel a la construcció de la planta l'Ajuntament de Benissa va plantejar la possibilitat de reutilitzar l'aigua tractada per a usos municipals (neteja de carrers, reg de jardins públics) i industrials, estimant esta demanda en uns 690 m<sup>3</sup>/d. Un Projecte redactat el 2001 recollia totes les infraestructures necessàries per a la distribució de l'aigua tractada fins als punts de consum. El Projecte s'ha anat executant per fases i actualment està quasi executat en la seua totalitat, estant en servici la part executada.

En l'E.D.A.R., situada a cota +120, es va construir un bombament en 2009 que impulsa l'aigua tractada fins a un depòsit de regulació a cota +273 situat en el nucli urbà de Benissa, des del que es distribuïx l'aigua

fins als punts de consum. L'EPSAR va autoritzar la construcció del bombament, advertint que l'aigua pot no complir uns requisits de qualitat mínima en el punt d'aspiració de les bombes, el canal de cloració, per la concentració de sòlids suspesos que escapen del decantador, i obligant a la col·locació d'un sensor de turbides enclavat amb el bombament, de manera que impedisca el seu funcionament si l'aigua té una elevada càrrega de sòlids.

D'altra banda, en 2007 es va efectuar un estudi de la demanda per a ús agrícola en l'entorn de l'E.D.A.R. de l'excedent d'aigua tractada, comprovant-se que hi ha una potencial demanda d'aigua reutilitzada que pot cobrir l'excedent fins al cabal de disseny de la planta.

Tots els plantejaments de reutilització de l'aigua van ser anteriors a l'aprovació del R.D. 1620/2007, pel qual s'estableix el règim jurídic de la reutilització de les aigües depurades. En este Reial Decret s'estableixen unes condicions mínimes de qualitat que han de complir les aigües regenerades i que l'esquema de tractament existent no és capaç d'aconseguir. Fins a la data cap de les administracions implicades a abordat l'obligatorietat de garantir una qualitat mínima de l'aigua tractada, sent el criteri actual no reutilitzar l'aigua (no bombar), quan no es complisquen estes condicions mínimes.

El present Treball Fi de Màster té per objecte principal definir i valorar econòmicament, a nivell d'avantprojecte, un tractament terciari que garantisca la qualitat mínima de l'aigua per als usos previstos. Per a tal fi es proposa un esquema de tractament format per dos línies idèntiques dissenyades cada una per a la mitat del cabal de disseny de la planta, 1.250 m<sup>3</sup>/d, de manera que es construïska una sola d'elles a la primera implantació i s'amplie a la segona en el futur. El tractament proposat és de tipus directe, format per un físico-químic convencional (coagulació-floculació), una filtració a través de tela de 10 $\mu$ m de pas en filtre de tambor, amb una posterior desinfecció ultravioleta.

El físico-químic està format per un depòsit de mescla ràpida amb addició de coagulant (sulfat d'alumini), dotada d'agitador d'eix vertical, i d'un depòsit de mescla lenta, amb addició de coadjuvant a la floculació (polielectrolito), també dotada d'agitador. Esta etapa és necessària per a formar agregats que puguen ser retinguts pel filtre i reduir així la turbides per davall del valor objectiu de 10 UTN.

El filtre de tambor és molt adequat per a este cas ja que l'obertura de pas de 10  $\mu$ m és capaç de retindre tant sòlids suspesos com els ous de nematodes intestinals, tot això amb un funcionament en làmina lliure amb pèrdua de càrrega hidràulica molt xicoteta i una gran senzillesa en el seu disseny mecànic que deriva en consum elèctric molt reduït. L'aigua de llavat del filtre es condueix fins capçalera de planta de l'E.D.A.R.

El reactor ultravioleta és de tipus conducció, a fi de mantindre sempre el servici quan s'efectua un manteniment de canvi de làmpades per exemple, es disposen dos reactors en paral·lel per tractar cada un la meitat del cabal. El tractament ultravioleta s'ha dimensionat per aconseguir l'objectiu de qualitat de 100 UCF / 100ml d'Escherichia Coli, i de 100 UFC / L de Legionella spp.

En el disseny del terciari s'inclou un xicotet edifici per allotjar els reactors UV, els quadres elèctrics i els equips de dosificació de reactius; s'inclou també un cubeto amb un depòsit de sulfat d'alumini i un bombament al inici de la línia necessari per compensar tota la pèrdua d'energia hidràulica de l'aigua al seu pas pel procés.

La implantació del tractament terciari es proposa en una zona actualment de cultiu situada al nord de la parcel·la, al costat del bombament de reutilització, per la qual cosa serà necessari adquirir uns 500 m<sup>2</sup> aproximadament de sòl rústic per a la seua construcció. Les aigües es prenen de la conducció existent des del decantador fins al canal de cloració i es tornen a l'inici del canal de cloració per la part superior de manera que la afecció al funcionament de la planta es mínim, i no és necessària cap modificació de l'aspiració del bombament de reutilització.

Encara que el consum energètic del tractament terciari és prou reduït, (al voltant de 17 kW de potència instal·lada amb una sola línia i 30 kW amb les dos línies en funcionament), s'ha estudiat el tractament secundari existent a fi de comprovar si una optimització del procés pot donar lloc a una reducció del consum energètic que compense la nova demanda del terciari. S'ha comprovat que les possibilitats de regulació del cabal d'aire subministrat al reactor biològic són actualment escasses. Una lleugera modificació en el sistema de baixants i graelles de difusors, de manera que es pugui operar la zona òxica del reactor en cinc zones independents, dóna lloc en les simulacions efectuades, a una millora en els rendiments de reducció de nutrients amb descens significatiu de la demanda d'oxigen total. Tenint en compte que la potència total instal·lada de soplantes a reactor biològic és de 88 kW, una xicoteta reducció en el consum pot compensar la demanda del terciari.

S'ha estimat el cost de les modificacions del sistema de subministrament d'aire al reactor biològic, així com el d'implantació del tractament terciari en la seua primera fase. Sumat este al cost d'adquisició dels terrenys i al de direcció de les obres, resulta un Pressupost per a Coneixement de l'Administració de l'ordre de set-cents cinquanta mil euros (750.000,00 €).

### **En inglés (máximo 2000 palabras)**

The Waste Water Treatment Plant of Benissa-Senija is located at the village of Benissa (Alicante) and was built in 2002. It treats mainly wastewater from the villages of Benissa (most of the flow), and Senija. The plant was designed for a wastewater flow of 2,500 m<sup>3</sup>/d, although it is currently treating a flow of 918 m<sup>3</sup>/d. The treatment consists of a pretreatment, a secondary or biological treatment and finally a disinfection by chlorination.

In parallel to the construction of the plant, Benissa Village Hall studied the possibility of recycling the treated water for municipal use (street cleaning, irrigation of public gardens) and industrial use, estimating this demand at a flow of 690 m<sup>3</sup>/d. A Project made in 2001 included all the necessary infrastructure for the distribution of treated water to the points of consumption. The project has been implemented in phases and is now almost fully implemented, the executed part is now in use.

In the W.W.T.P., located at altitude +120, a pump station was built in 2009 that pumps the treated water to a reservoir located in the village of Benissa at altitude +273; from this reservoir the water is distributed to the points of consumption. The public company responsible of the plant, EPSAR, authorized the construction of the pump station; however, they warned that water could not meet a minimum of quality at the point of suction pumps, the chlorination channel, for its high concentration of suspended solids. For this reason was placed a turbidity sensor at the point of suction pumps, which switches off the pumps if the water has a high solids loading.

Moreover, in 2007 was made a study of the demand of recycled water for agricultural use around the W.W.T.P., concluding that there is a potential demand for recycled water which can cover the excess of flow.

All water reuse planning were made before the approval of the Spanish law Real Decreto 1620/2007, that establish the legal regime for the reuse of treated water. This law establishes the minimum conditions of quality to be met by water for reuse; the existing treatment is unable to get this level of quality. To date none of the administrations concerned has tackled the obligation to guarantee a minimum quality of treated water, the current criterion is not to reuse water (not pump) when these minimum requirements are not met.

This Master's Final Work is primarily intended to define and evaluate economically, at a preliminary level, a tertiary treatment to ensure high water quality for its reuse. The treatment scheme consists of two identical lines, each designed for half the design flow of the plant, 1,250 m<sup>3</sup>/d. One of them would be built in the first implementation and the second in the future. The proposed treatment is formed by a conventional physic-chemical (coagulation-flocculation), filtration through 10 microns mesh drum filter, with a final UV disinfection.

The physic-chemical treatment is formed firstly by a little reservoir where a coagulant (aluminum sulfate) is added and mixed by a vertical axis agitator; and secondly by another reservoir where an adjuvant to flocculation (polyelectrolyte) is added, and also mixed by an agitator. This treatment is necessary to form aggregates that may be retained by the filter and reduce turbidity below the target of 10UTN value.

The drum filter is very suitable for this case because the micro screen, with a mesh of 10 microns, is able to retain both suspended solids such as the eggs of intestinal nematodes. The filter works as an open channel flow, with very little hydraulic head loss. Its simple mechanical design results in much reduced power consumption. The filter washing water is conducted at the beginning of the plant treatment.

The closed-vessel ultraviolet reactor is designed for being located in pressurized pipes. In order to always maintain the service in maintenance operations, two reactors are arranged in parallel to treat each half of the flow. The UV treatment is dimensioned to achieve the quality of 100 CFU/100ml of *Escherichia coli* and 100 CFU/L of *Legionella* spp.

The project includes a small building in the tertiary design to accommodate the UV reactors, electric panels and chemical agents dispensing equipment; also it includes a deposit of aluminum sulfate and a pumping station in the beginning of the treatment, necessary to compensate the hydraulic head loss of the process.

The location of tertiary treatment is proposed in the north area of the plant, next to the pumping station of treated water, so it will be necessary to acquire approximately 500 m<sup>2</sup> of rural land for its construction. The water is taken from the existing pipeline from the decanter to the chlorination channel and returned to the chlorination channel at the top; so the affect on the plant operation is minimal, and no modification of suction pumps is necessary.

Although the energy consumption of the tertiary treatment is quite small (around 17 kW of installed power with a single line and 30 kW with two lines in operation), the existing secondary treatment has been studied in order to check whether a process optimization can lead to a reduction in energy consumption to compensate the new demand of the tertiary. It has been found that the possibilities of regulating the flow of air supplied in the bioreactor are currently very little. A slight change in the system of downpipes and air grills diffusers, that can operate the oxygenated zone of the reactor in five separate areas, could improve the nutrient reduction with less oxygen demand. Given that the total installed capacity of blowers to biological reactor is 88 kW, a small reduction in air consumption can compensate the electrical consumption of the tertiary treatment.

The cost of alterations to the air supply to the bioreactor and the implementation of tertiary treatment in its first stage has been estimated. Adding this to the cost of land acquisition, the management of the project, and taxes, results approximately seven hundred fifty thousand euros (€ 750,000.00).

**Palabras clave (máximo 5):** REUTILIZACIÓN, TERCARIO, BENISSA, FILTRACIÓN, ULTRAVIOLETA



# PROYECTO BÁSICO DE IMPLANTACIÓN DE TRATAMIENTO TERCIARIO EN LA E.D.A.R. DE BENISSA-SENIJA. BENISSA (ALICANTE).

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO EXISTENTE .....	9
2.1. Caracterización del agua de entrada.....	9
2.2. Caracterización del agua de salida .....	12
2.3. Simulación del tratamiento secundario con Desass .....	12
3. DISEÑO DEL TRATAMIENTO TERCIARIO .....	31
3.1. Caracterización del agua de salida requerido s/ R.D. 1620/2007.....	31
3.2. Esquema de tratamiento propuesto .....	32
3.3. Dimensionamiento del proceso .....	33
3.4. Implantación en la E.D.A.R. de Benissa - Senija .....	55
3.5. Cálculo hidráulico de la línea de agua a caudal punta de diseño. ....	65
3.6. Planos del tratamiento terciario .....	73
4. PRESUPUESTO .....	75
5. RESUMEN Y CONCLUSIONES .....	77

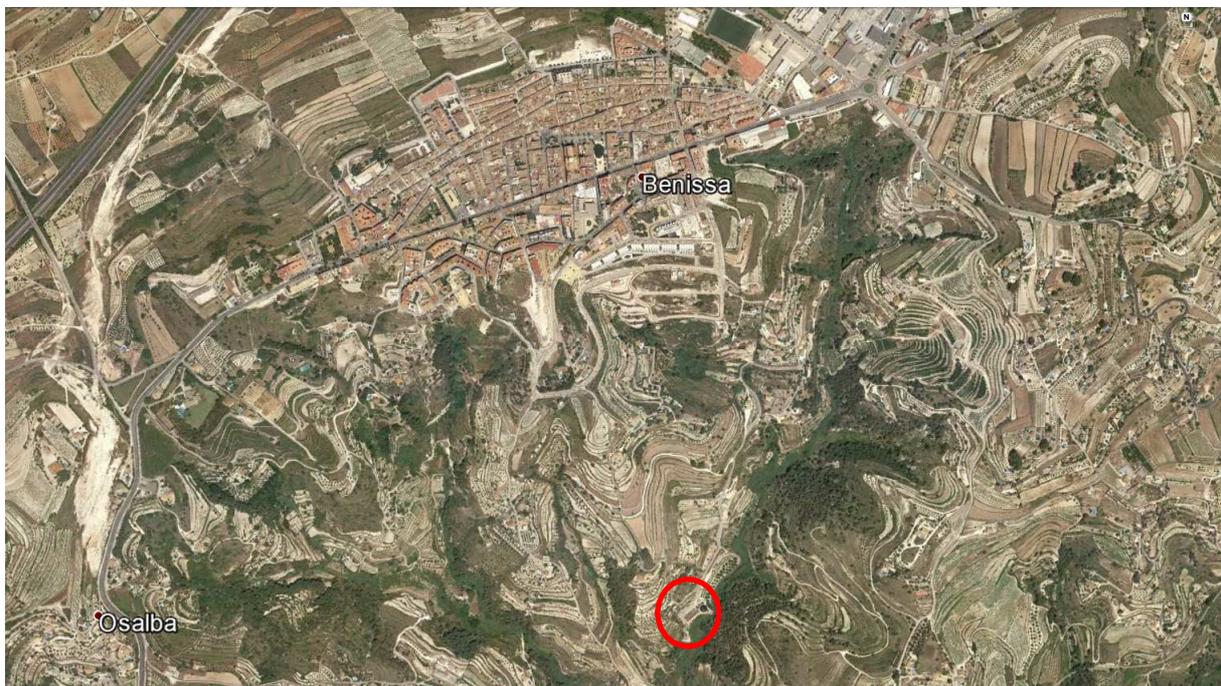


## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

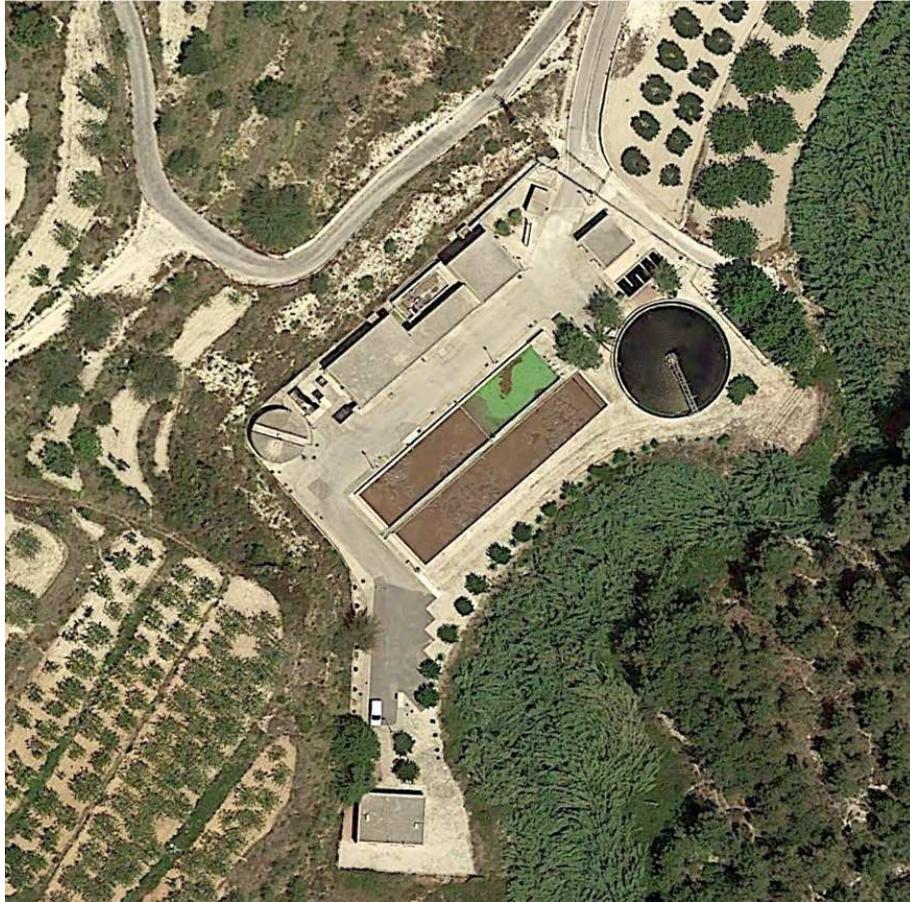
### DESCRIPCIÓN DE LA E.D.A.R. DE BENISSA- SENIJA

La E.D.A.R. de Benissa-Senija fue puesta en servicio en 2002 y trata las aguas residuales procedentes principalmente del núcleo urbano de Benissa (no incluye la zona litoral del término, “La Fustera”), y del de Senija, de menor tamaño. La mayor parte del caudal es aportado por el municipio de Benissa. La planta fue diseñada para un caudal medio de aguas residuales de 2.500m<sup>3</sup>/d, aunque actualmente está tratando un caudal medio de 918m<sup>3</sup>/d (fuente *EPSAR* año 2013).

La E.D.A.R. está situada en el término de Benissa, en una zona no urbanizable, bastante distanciada de la población (1,2km al sur aproximadamente), a cota 126, bastante inferior a la del núcleo urbano (por encima de la cota 250). En la siguiente imagen aérea se puede apreciar la posición de la E.D.A.R. respecto a la población de Benissa.



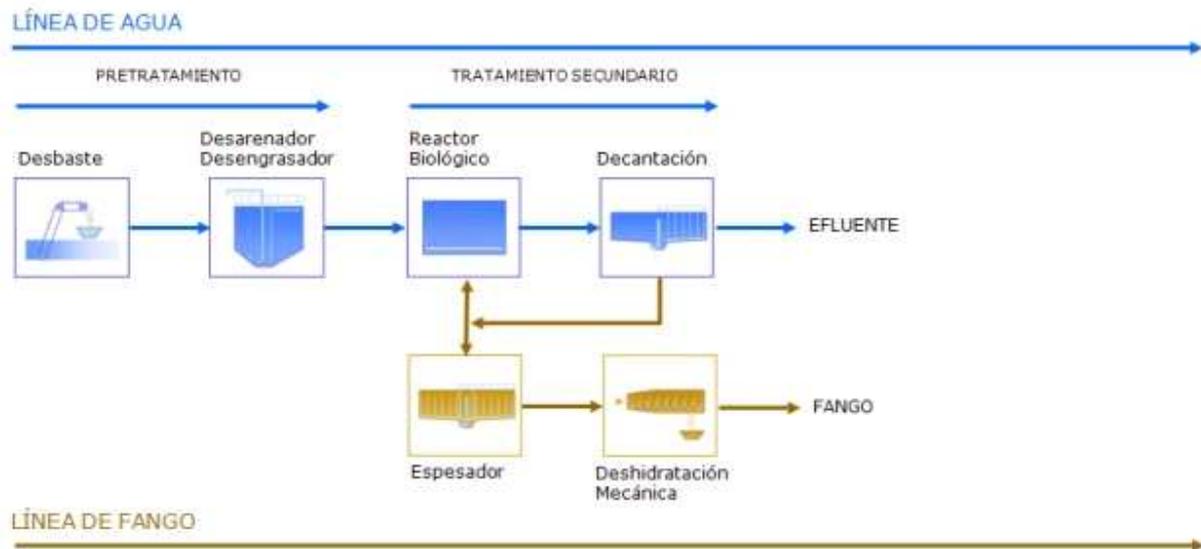
En la siguiente imagen se puede apreciar una vista aérea ampliada de la E.D.A.R. de Benissa-Senija.



El proceso de tratamiento de agua y fangos de la E.D.A.R. de Benissa-Senija está formado por:

- **Línea de agua**, que consta de:
  - Pretratamiento formado por reja de gruesos, tamiz de finos y desarenador desengrasador
  - Tratamiento biológico de oxidación total. Reactor biológico de flujo pistón, con zona anóxica del 20% del volumen total. Decantador secundario de planta circular convencional.
  - Desinfección con hipoclorito en canal de cloración.
  
- **Línea de fangos**, que consta de:
  - Bombeo de recirculación y purga de fangos
  - Espesador
  - Secado de fangos con filtro de bandas

En la siguiente imagen se puede apreciar el esquema de las líneas de agua y fangos (fuente EPSAR):



### REUTILIZACIÓN DE AGUAS DEPURADAS DE LA E.D.A.R.

En 2001 el *Ayuntamiento de Benissa* plantea la posible reutilización del agua depurada para uso municipal (baldeo y riego de jardines), e industrial, para dar servicio al polígono industrial "La Pedrera" y el polideportivo "La Costa". El caudal que se estimó necesario para estos usos es de  $690\text{m}^3/\text{d}$  (27% del caudal de diseño de la E.D.A.R.).

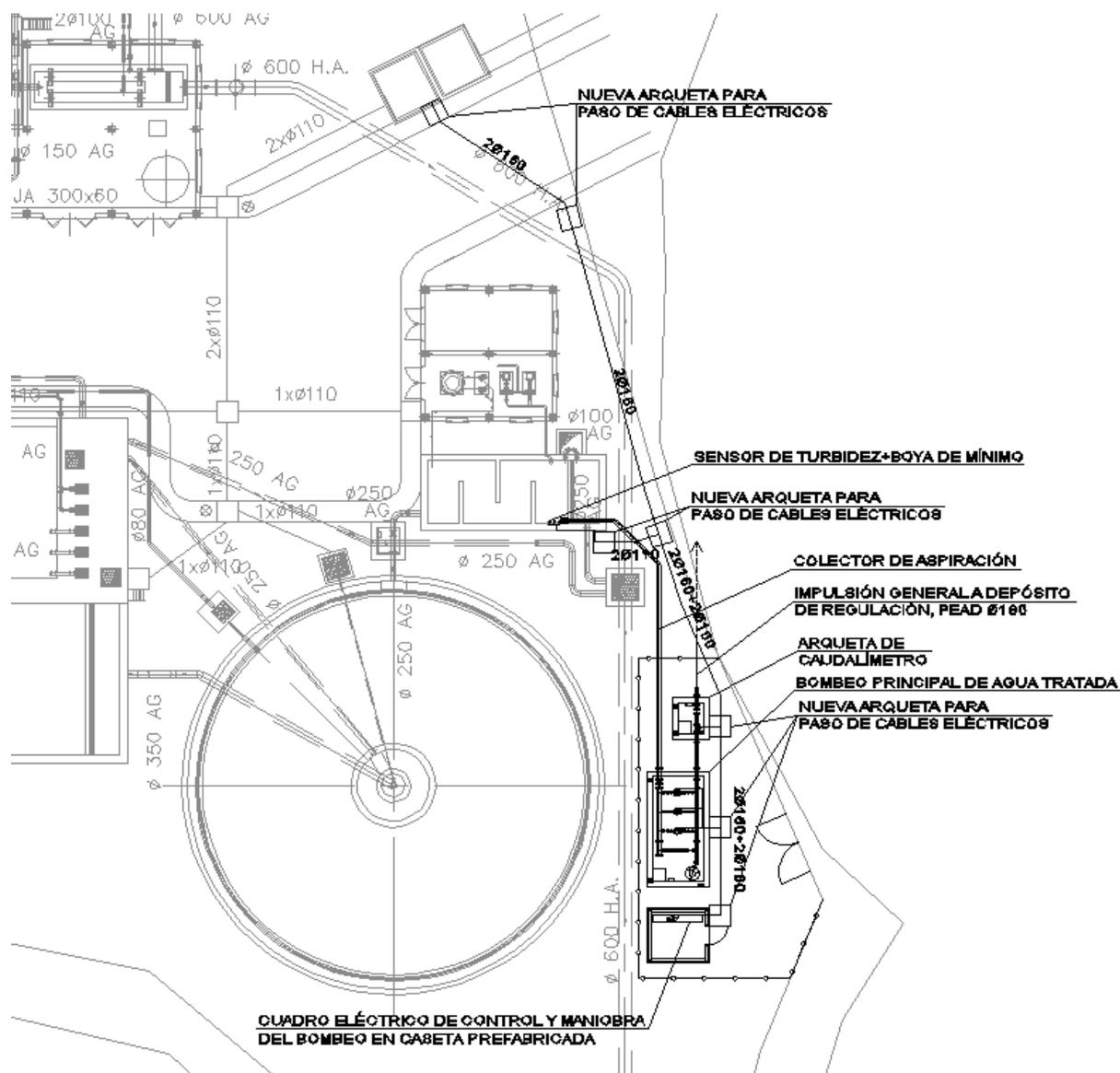
En la siguiente imagen podemos apreciar la ubicación de las zonas urbanas de potencial reutilización del agua tratada, se puede apreciar en color verde multitud de zonas ajardinadas en el núcleo urbano, así como el polideportivo. La mayor parte de estas zonas se encuentran ya consolidadas, otras están previstas en el PGOU. Al noreste de la población está situado el polígono industrial consolidado "La pedrera".



En junio de 2001 se redacta el *Proyecto de reutilización de aguas depuradas para riego y otros usos en Benissa (Alicante)*. La actuación contempla la ejecución de un bombeo e impulsión desde la E.D.A.R. de Benissa-Senija hasta un depósito de regulación a construir en el núcleo urbano a cota 273. Desde este nuevo depósito se distribuye el agua por gravedad o con un grupo de presión a distintos puntos de consumo, jardines y zonas industriales.

En la siguiente imagen se puede apreciar en color rojo la impulsión desde la E.D.A.R. hasta el depósito de regulación de 300m<sup>3</sup> de capacidad a construir en el núcleo urbano. Desde el depósito dos ramales de distribución en color verde y azul, distribuyen el agua a los diferentes puntos de consumo.



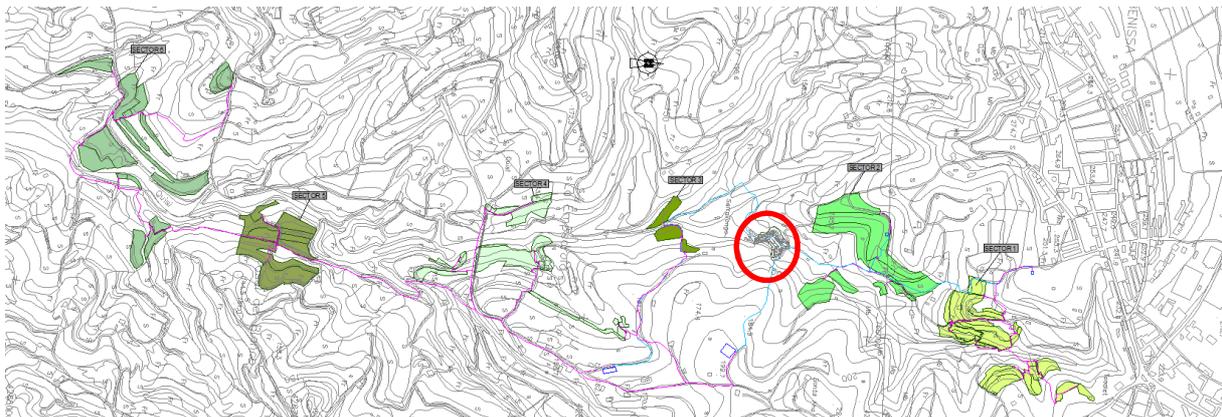


El bombeo se ejecutó finalmente en 2010. Actualmente además del bombeo se encuentra ejecutado la impulsión principal hasta el depósito de regulación, el propio depósito y un elevado porcentaje de la red de distribución, que se ha venido ejecutando por fases anualmente con ayudas de la *Diputación de Alicante*.

Por otra parte, en 2007 el *Ayuntamiento de Benissa* plantea la posibilidad de reutilización del agua depurada para riego agrícola, dado que una gran superficie del término se utiliza para cultivos de secano y hay una potencial demanda de riego fundamentalmente para cultivo de frutales. Se elabora un estudio básico de las infraestructuras que serían necesarias, y se efectúa una exposición pública del proyecto a los agricultores. Las partes muestran un gran interés, comprobando que la potencial demanda puede llegar a igualar el excedente de la producción total de la planta (a caudal de diseño), respecto a la previsión para uso municipal-industrial. Lamentablemente, debido a la imposibilidad de sufragar el coste de las

infraestructuras, tanto desde el punto de municipal como privado, la idea ha quedado aparcada hasta el momento.

En la siguiente imagen se puede apreciar en color verde los sectores con potencial demanda de agua reutilizada para riego agrícola, situados en el entorno de la E.D.A.R. (en rojo).



## RESUMEN DE LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA

Como resumen podemos afirmar que existe actualmente una demanda para reutilización del agua para usos urbano e industrial, para un caudal algo inferior al que está tratando actualmente la planta; la mayor parte de las infraestructuras necesarias para estos usos están ejecutadas o proyectadas en espera de subvenciones para su ejecución. Además de estos usos hay una potencial demanda para uso agrícola de manera que podría reutilizarse la totalidad del excedente de agua tratada incluso hasta totalizar la capacidad de diseño de la planta si se alcanzase, aunque para ello habría que planificar y ejecutar nuevas infraestructuras de distribución del agua hasta los campos de cultivo, que actualmente es difícil abordar por la coyuntura económica existente.

Todo el planeamiento de reutilización del agua depurada expuesto tuvo lugar antes de la aprobación del *R.D. 1620/2007*, por el que se establece el *régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas*. En este Real Decreto, cuya entrada en vigor tuvo lugar el 10 de diciembre de 2007, se establecen unas condiciones mínimas de calidad que debe reunir el agua regenerada en función del uso que se le vaya a dar. Estas condiciones mínimas de calidad son más restrictivas que lo que el tratamiento actual de la E.D.A.R. es capaz de obtener, sin embargo, ninguna de las administraciones implicadas (autonómica y local) ha abordado hasta la fecha la necesidad de garantizar la calidad del agua tratada para su reutilización, en cumplimiento de la normativa vigente, siendo el criterio actual impedir la reutilización del agua (no bombear) si el agua no cumple las condiciones mínimas de calidad.

## OBJETO DEL TRABAJO FIN DE MASTER

Descrita la problemática planteada, el **objeto principal** del presente **Trabajo Fin de Master** es definir y valorar a nivel de anteproyecto, las obras necesarias para la construcción de un **tratamiento terciario** que garantice la calidad mínima para la reutilización del agua para los usos previstos, según lo previsto en el *R.D. 1620/2007*.

Se trata por tanto de elaborar un trabajo académico aplicado a un caso real que contenga la identificación de los usos previstos para la reutilización del agua tratada, y de los requisitos mínimos que debe cumplir el agua tratada según *R.D. 1620/2007* para estos usos; que contenga una propuesta adecuada de esquema de tratamiento terciario para obtener los requisitos mínimos de calidad del agua, justificando el número de líneas de tratamiento y las fases constructivas en función del caudal actual y las previsiones de crecimiento futuro; que incluya un predimensionamiento del tratamiento terciario propuesto, obteniendo las formas de la obra civil necesaria para el proceso y seleccionando los equipos electromecánicos adecuados dentro de la oferta existente en el mercado; que incluya unos planos básicos a nivel de anteproyecto con la ubicación en planta de todos los elementos del terciario, conducciones y ampliación de parcela necesaria para su implantación; que contenga finalmente el cálculo hidráulico de la línea piezométrica a caudal punta de diseño, reflejando en planos una sección longitudinal del tratamiento por la línea de agua en las que se aprecien tanto las cotas de obra civil como las de la lámina de agua a caudal punta.

Se establece además como segundo objetivo, la simulación del tratamiento biológico existente con la herramienta informática *Desass*, partiendo de los datos disponibles del Proyecto de Construcción de la E.D.A.R., con el fin de comprobar si es posible optimizar el proceso biológico reduciendo las necesidades de aireación en el reactor, de manera que el ahorro energético en el tratamiento secundario pueda compensar la nueva demanda energética del nuevo tratamiento terciario.

Por último, presupuestar, a nivel de anteproyecto, el tratamiento terciario propuesto así como las mejoras de aportación de aire del tratamiento secundario. Obtener un Presupuesto para Conocimiento de la Administración aproximado a efectos de planificación, que incluya tanto el coste de las obras, como la dirección técnica y ambiental de las mismas, coordinación de seguridad y salud, y adquisición de los terrenos.

## CAPÍTULO 2. OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO EXISTENTE

Como se ha indicado en el apartado anterior, en el presente apartado se efectúa una simulación del tratamiento biológico existente con la herramienta informática *Desass*, con el fin de comprobar si es posible optimizar energéticamente el proceso biológico reduciendo las necesidades de aireación en el reactor, igualando o mejorando si cabe, la calidad del agua tratada.

Los datos de partida utilizados en el presente apartado proceden del *Proyecto de Construcción de la E.D.A.R. de Benissa-Senija*, redactado en julio de 1.999 por la U.T.E. *Aquagest-Sacyr-Sadyt*, puesto que resulta administrativamente muy complicado obtener para uso académico analíticas o muestras del agua influente y efluente que reflejen con suficiente exactitud el funcionamiento real de la E.D.A.R.. Por tanto las conclusiones y propuestas de mejora que se incluyen en el presente capítulo deben tomarse como una aproximación a la realidad que debe ser corroborada en cualquier caso con ensayos de muestras reales.

### 1. Caracterización del agua de entrada

Puesto que no se dispone de analíticas reales del agua influente a la E.D.A.R., se caracterizará el agua de entrada a partir de los datos que se tuvieron en cuenta para el diseño de la planta. El diseño de la E.D.A.R. de Benissa-Senija tuvo lugar a partir de los datos de partida del Pliego de Bases del Concurso de Obras, que se indican a continuación:

$$\text{DBO}_5 = 450\text{mgO/l}$$

$$\text{NKT} = 84\text{mgN/l}$$

$$\text{SST} = 310\text{mg/l}$$

$$\text{SSV} = 217\text{mg/l (70\%)}$$

$$Q_m = 2.500 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$f_{p\text{caudal}} = 2$$

$$\text{Temperatura} = 18^\circ$$

Para completar la caracterización del agua de entrada según el modelo ASM2d se han efectuado las siguientes hipótesis:

- El factor punta de contaminación se ha supuesto igual a 1 y el pH igual a 7.
- Se adopta la relación  $DBO_5/DBO_{lim} = 0,68$ , obteniendo  $DBO_{lim} = 661,76\text{mgO/l}$
- Se adopta la relación  $DBO_5/DQO = 0,55$ , obteniendo  $DQO = 818,18\text{mgO/l}$
- Se ha supuesto que la fracción suspendida tanto de la DBO como de la DQO es del 60%, obteniendo  $DBO_{LIMSOL} = 264,71\text{mgO/l}$  y  $DQO_{SOL} = 327,27\text{mgO/l}$
- El contenido en ácidos volátiles se ha supuesto de  $40\text{mgO/l}$ , todo en forma de acético, por lo que  $S_A = 40\text{mgDQO/l}$

Partiendo de los datos anteriores obtenemos las concentraciones de materia orgánica inerte en estado soluble  $S_i$  y suspendida  $X_i$ , de la materia orgánica fermentable soluble y biodegradable  $S_f$ , y de la materia orgánica suspendida lentamente biodegradable  $X_s$ :

$$X_S = DBO_{LIM} - DBO_{LIMSOL} = 661,765 - 264,705 = 397,06 \text{ mgDQO/l}$$

$$S_i = DQO_{SOL} - DBO_{LIMSOL} = 327,272 - 264,705 = 62,57 \text{ mgDQO/l}$$

$$X_i = DQO - DBO_{LIM} - S_i = 818,182 - 661,765 - 62,567 = 93,85 \text{ mgDQO/l}$$

$$S_f = DBO_{LIMSOL} - S_A - S_{PRO} = 264,705 - 40,000 - 0,000 = 224,71 \text{ mgDQO/l}$$

- Una vez obtenidos los valores de material orgánica suspendida, tanto inerte  $X_i$  como biodegradable  $X_s$ , se ha modificado el valor de las constantes estequiométricas  $i_{tssxi}$ ,  $i_{tssxs}$ , de manera que quede ajustada la concentración total de sólidos suspendidos  $X_{TSS}$  a la cantidad de  $310 \text{ mgSST/l}$ , que se logra con los valores  $i_{tssxi} = i_{tssxs} = 0,442$
- La alcalinidad se ha supuesto de  $250\text{molCaCO}_3/\text{l}$ , por tanto  $S_{ALC} = 250\text{molCaCO}_3/\text{l}$
- El contenido en nitrato  $\text{NO}_3$  es depreciable, igual a cero. Por tanto el  $N_T$  es igual al NKT, de valor  $84\text{mg/l}$  (dato)
- Para los parámetros estequiométricos de contenido en nitrógeno de la materia orgánica inerte en estado soluble  $S_i$  o suspendida  $X_i$ , de la materia orgánica fermentable soluble y biodegradable  $S_f$ , y de la materia orgánica suspendida lentamente biodegradable  $X_s$ , se han adoptado los que lleva el programa por defecto:  $i_{nsf}=0,030$  ;  $i_{nsi} = 0,010$  ;  $i_{nxs} = 0,040$  ;  $i_{nxi} = 0,030$ . Esto nos permite obtener por balance de nitrógeno la concentración de  $\text{NH}_4$  a partir de los valores de  $N_T$ ,  $S_f$ ,  $S_i$ ,  $X_s$ ,  $X_i$ . Introduciendo en el agua de entrada el valor de  $S_{\text{NH}_4} = 58 \text{ mgN-NH}_4/\text{l}$  obtenemos un valor de  $N_T = 84,06\text{mgN/l} \approx 84$ , y de  $N_{\text{TSOL}} = 65,37 \text{ mgN/l}$ , utilizando las siguientes ecuaciones:

$$N_T = 84,06 = N_{\text{TSOL}} + X_S \cdot i_{nxs} + X_i \cdot i_{nxi} = 65,37 + 397,06 \cdot 0,040 + 93,85 \cdot 0,030$$

$$N_{TSOL} = 65,37 = S_{NH4} + S_{NO3} + S_f \cdot i_{nsf} + S_i \cdot i_{nsi} = 58 + 0 + 224,71 \cdot 0,030 + 62,57 \cdot 0,010$$

- Se ha supuesto un contenido de fósforo total respecto a la DBO<sub>5</sub> es de 10grP/350grDBO<sub>5</sub>, obteniendo P<sub>T</sub> = 12,86mgP/l
- Para los parámetros estequiométricos de contenido en fósforo de la materia orgánica inerte en estado soluble S<sub>i</sub> o suspendida X<sub>i</sub>, de la materia orgánica fermentable soluble y biodegradable S<sub>f</sub>, y de la materia orgánica suspendida lentamente biodegradable X<sub>s</sub>, se han adoptado los que lleva el programa por defecto: i<sub>psf</sub>=0,010 ; i<sub>psi</sub> = 0,000 ; i<sub>pxs</sub> = 0,010 ; i<sub>pxi</sub> = 0,010. Esto nos permite obtener por balance de fósforo la concentración de PO<sub>4</sub> a partir de los valores de P<sub>T</sub>, S<sub>f</sub>, S<sub>i</sub>, X<sub>s</sub>, X<sub>i</sub>. Introduciendo en el agua de entrada el valor de S<sub>PO4</sub> = 5,7 mgP-PO<sub>4</sub>/l obtenemos un valor de P<sub>T</sub> = 12,86mgP/l, y de P<sub>TSOL</sub> = 7,95 mgP/l, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$P_T = 12,86 = P_{TSOL} + X_s \cdot i_{pxs} + X_i \cdot i_{pxi} = 7,95 + 397,06 \cdot 0,010 + 93,85 \cdot 0,010$$

$$P_{TSOL} = 7,95 = S_{PO4} + S_f \cdot i_{psf} + S_i \cdot i_{psi} = 5,7 + 224,71 \cdot 0,010 + 62,57 \cdot 0,000$$

Con todo lo expresado anteriormente se obtiene la siguiente tabla de valores para el modelo ASM2d:

S <sub>NH4</sub>	58.00mgN-NH4/l
S <sub>A</sub>	40.00mgDQO/l
S <sub>NO3</sub>	0.00mgN-NO <sub>3</sub> /l
S <sub>PO4</sub>	5.70mgP-PO <sub>4</sub> /l
S <sub>ALC</sub>	250.00 molCaCO <sub>3</sub> /l
X <sub>NV</sub>	93.00mgSS/l
X <sub>S</sub>	397.06mgDQO/l
S <sub>I</sub>	62.57mgDQO/l
X <sub>I</sub>	93.85mgDQO/l
S <sub>F</sub>	224.71mgDQO/l
X <sub>SST</sub>	309.98mgSS/l
N <sub>TSOL</sub>	65.37mgN/l
N <sub>T</sub>	84.06mgN/l
P <sub>TSOL</sub>	7.95mgP/l
P <sub>T</sub>	12.86mgP/l

## 2. Caracterización del agua de salida

Los requisitos del agua tratada que figuraban en el Pliego del Concurso de Obras (que coinciden con los establecidos en la Directiva 91/271/CEE), a tener en cuenta en el diseño de la E.D.A.R. de Benissa-Senija se indican a continuación:

$$\text{DQO} \leq 125\text{mgO/l}$$

$$\text{DBO}_5 \leq 25\text{mgO/l}$$

$$\text{SST} \leq 35\text{mg/l}$$

La UTE ganadora del concurso de obras diseñó el reactor biológico como mejora, con una etapa previa anóxica que conseguía un cierto grado de desnitrificación, reduciendo el nitrógeno total a 25,23mg/l (de los cuales 20mgN/l son nitrato y 5,23 mgN/l son NKT). No se lograba reducir el Nt a 15mgN/l que correspondería a un vertido a zona sensible. (Datos del anejo de dimensionamiento del proceso del Proyecto de Construcción).

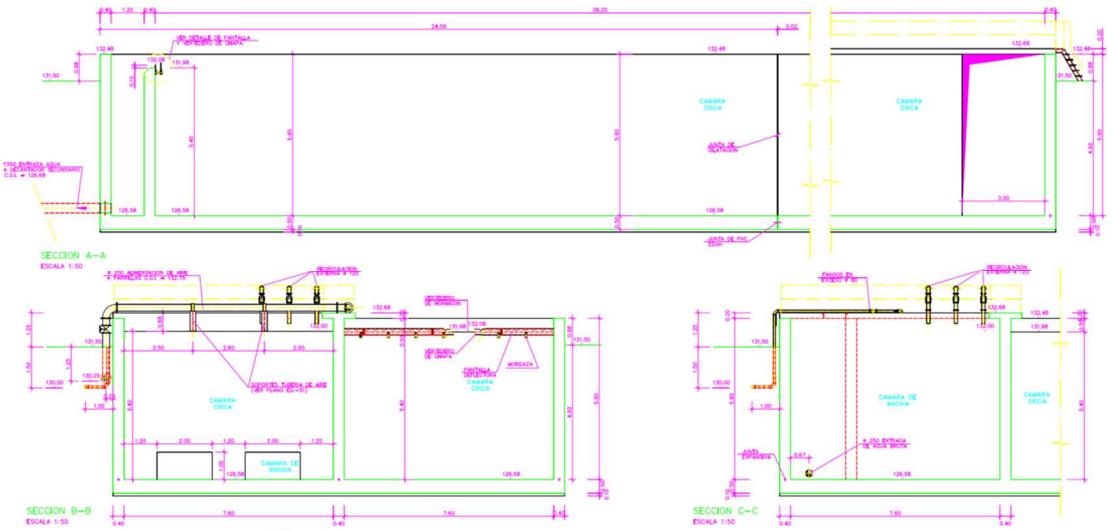
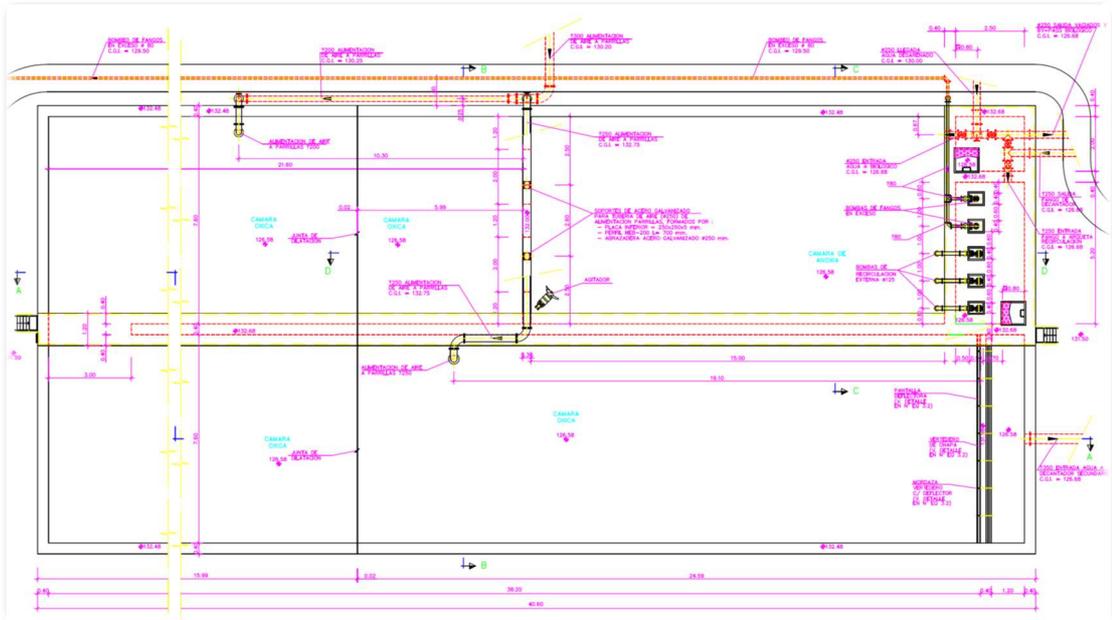
La planta no se diseñó para reducir el fósforo ni por vía biológica ni por vía química. Si se tratase de un vertido a zona sensible el Pt estaría limitado a 2mg/l en el efluente, aunque no es el caso.

### 3. Simulación del tratamiento secundario con Desass

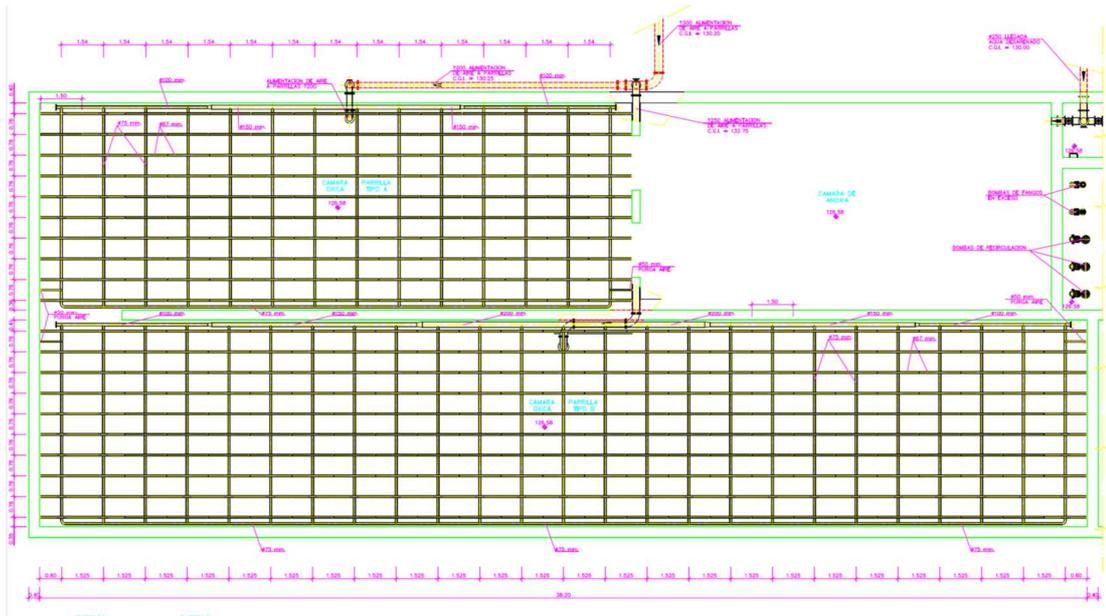
El tratamiento secundario de la E.D.A.R. de Benissa-Senija está formada por los siguientes elementos:

#### LÍNEA DE AGUA

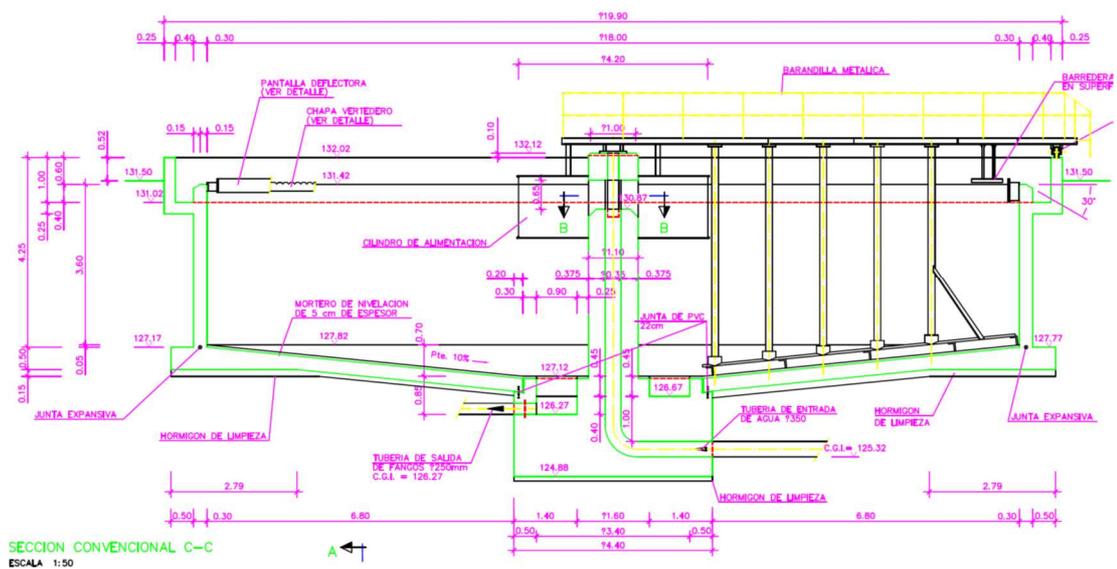
- **Conducción de entrada al reactor biológico:** esta conducción procede del pretratamiento, por el que ha pasado tanto el agua bruta de entrada como el agua clarificada en el espesador de fangos y el agua de secado de fangos en el filtro banda.
- **Reactor biológico:** Es de tipo flujo pistón. Tiene una cámara anóxica previa del 20% del volumen total, carece de recirculación interna. El reactor tiene un calado de 5,5m y está formado por dos canales de 7,6m de anchura. La cámara previa anóxica tiene una longitud de 15m y un volumen de 627m<sup>3</sup>. El primer tramo de canal óxico tiene una longitud de 21,6m y un volumen de 906,18m<sup>3</sup>. El segundo tramo de canal óxico tiene una longitud de 38,2m y un volumen de 1600,06m<sup>3</sup>. El volumen total del reactor es de 3133.24m<sup>3</sup>. En la cámara anóxica hay un agitador para evitar sedimentaciones.



Los canales óxicos disponen en el fondo de dos parrillas independientes de tuberías perforadas con idéntica distribución, alimentadas por 2+1 soplantes (de dos velocidades 1.755/1.070 Nm<sup>3</sup>/h cada una, potencia 44/30kW), a través de una tubería común y dos bajantes que alimentan a cada una de las parrillas. Por tanto la posibilidad de regulación de aire suministrado al reactor queda limitada al accionamiento de la válvula de corte situada en cada una de las dos bajantes, y a la selección entre las dos velocidades de las soplantes.



- **Decantador secundario.** Es circular de 18m de diámetro interior, un calado en su parte recta de 3,6m y una pendiente del fondo del 10%.



## LÍNEA DE FANGOS

- **Bombeo de recirculación externa:** desde el fondo del decantador hasta la entrada al biológico. Está formado por 2+1 bombas sumergibles de caudal unitario  $90\text{m}^3/\text{h}$ . Está dimensionado para recircular 1,5 veces el  $Q_m$  de diseño,  $1,5 \times 2.500\text{m}^3/\text{d} = 3.750\text{m}^3/\text{d} = 156\text{m}^3/\text{h}$ , aunque las bombas tienen mayor capacidad total,  $2 \times 90\text{m}^3/\text{h} = 180\text{m}^3/\text{h}$ .



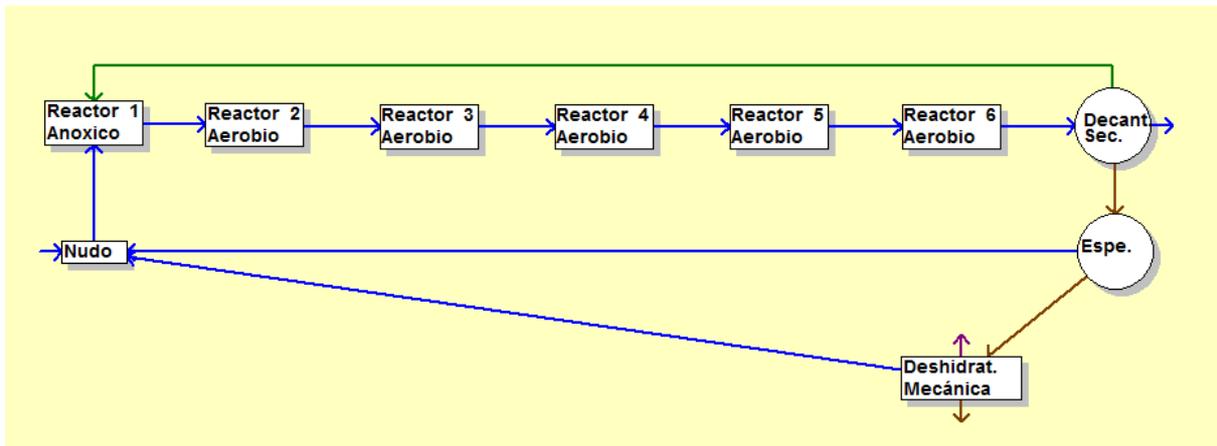
### Criterios de diseño de Proyecto utilizados en el dimensionamiento de la E.D.A.R.

A continuación se enumeran los parámetros del diseño del tratamiento secundario que figuran en el Proyecto de Construcción de la E.D.A.R.:

- Tratamiento secundario:  
Diseño por carga másica  $Q_m=0,09\text{kgDBO}_5/\text{kgSS}\cdot\text{día}$   
Concentración de SST en el reactor  $X_{TSS}=4\text{kgSS}/\text{m}^3$   
Edad del fango (TRC) 16,03 días  
Recirculación externa 1,5 veces el  $Q_m$   
Sin recirculación interna
  
- Con estos parámetros, los valores del efluente esperados eran de:  
 $\text{DBO}_5=25\text{mg}/\text{l}$   
 $\text{SST} = 35\text{mg}/\text{l}$   
 $N_T=25,23\text{mg}/\text{l}$   
 $N\text{-NTK}=5,23\text{mgN}/\text{l}$  (la desnitrificación esperada es parcial, no se logra alcanzar el valor para vertido a zona sensible)
  
- La purga de fangos del decantador esperada es de  $97,5\text{m}^3/\text{d}$  con una concentración de  $8\text{kg}/\text{m}^3$ . El decantador se diseña con los siguientes parámetros:  
Carga hidráulica a  $Q_m = 0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$   
Carga de sólidos a  $Q_m = 1,8 \text{ kgSS}/\text{m}^2/\text{h}$   
Tiempo de retención a  $Q_m = 8,79 \text{ h}$   
Carga sobre vertedero a  $Q_m = 1,84 \text{ m}^3/\text{m}/\text{h}$
  
- La purga de fangos del espesador esperada es de  $26\text{m}^3/\text{d}$  con una concentración de  $30\text{kg}/\text{m}^3$ . El espesador se diseña con los siguientes parámetros  
Tiempo de retención = 72,2 h  
Carga superficial =  $0,08 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$   
Carga de sólidos =  $0,75 \text{ kgSS}/\text{m}^2/\text{h}$
  
- La producción de fangos una vez secados esperada es de  $2,6\text{m}^3/\text{d}$  con una concentración del 30%

### Caracterización en DESASS:

El esquema del modelo introducido es el siguiente:



## LÍNEA DE AGUA

- **Nudo inicial:** representa el punto donde converge el agua bruta de entrada, el agua clarificada en el espesador y el agua de secado de fangos en el filtro banda, estos dos últimos retornan a cabecera de planta por el bombeo de vaciados y drenajes.
- **Reactor biológico:** El reactor de flujo pistón se ha dividido en 6 zonas. La zona 1 representa la zona anóxica de 15m de longitud y 7,6m de anchura, las zonas 2 y 3 representan el primer canal óxico de 21,6m de longitud y 7,6m de anchura, y las zonas 4 a 6 representan el segundo canal óxico de 38,2m de longitud y 7,6m de anchura. El calado es igual en todas ellas e igual a 5,5m. La distribución de volúmenes queda según la siguiente tabla:

ZONA	VOLUMEN	%VOLUMEN
1	627,00	20,0
2	451,44	14,4
3	454,74	14,5
4	535,56	17,1
5	532,25	17,0
6	532,25	17,0
TOTAL	3133,24	100,0

En los tanques óxicos la concentración de oxígeno disuelto se ha supuesto inicialmente de 2mg/l a  $Q_m$  y de 1mg/l a  $Q_p$ .

- **Decantador secundario.** Se ha introducido la geometría real de 18m de diámetro interior, calado recto de 3,6m y pendiente del fondo del 10%. Se ha supuesto  $IVF=110\text{mg/l}$ . En este elemento se ha fijado el caudal de extracción de fangos respecto al de entrada para que la recirculación externa resultante sea del orden de 1,5 veces el caudal de entrada.

## LÍNEA DE FANGOS

- **Espesador.** Se ha introducido la geometría real de 8m de diámetro interior, calado recto de 3,5m y pendiente del fondo del 15%. Se ha supuesto IVF=110mg/l. En este elemento se ha fijado el caudal de extracción de fangos respecto al de entrada en el rango 0,45-0,50, de manera que la concentración de fangos en el fondo del espesador sea la máxima posible sin que escapen sólidos por el vertedero superior.
- **Filtro banda.** Teniendo en cuenta el pliego, se ha considerado el % de sólidos en el fango del 30% una vez secado.

### Resultados de la simulación con Desass.

Se ha procedido a efectuar varias simulaciones a Qm de diseño de la planta, por criterio de tiempo de retención celular TRC, en el rango comprendido entre 16 días (criterio de Proyecto) y 22 días. Se ha comprobado que para un TRC de 23 días o superior la concentración de SST en el reactor excede de 4.000 mgSST/l, valores que pueden comprometer el correcto funcionamiento del decantador. Tratándose no obstante de un proceso de oxidación total, es recomendable que el TRC sea de 20 días o superior.

Conforme se incrementa el TRC el volumen de fango producido es menor y además resulta con mayor grado de estabilización, es decir, el %SSVB es menor. El TRC óptimo sería, por tanto, de **22 días**. Aun así el %SSVB en el fango es algo elevado, de 45,8%, cuando sería esperable un valor por debajo de 40%. Para lograr un mayor grado de estabilización del fango sin incrementar la concentración en el reactor sería necesario ampliar el volumen del reactor.

En todos los casos estudiados el resultado del efluente es muy similar, cumpliéndose los requisitos de DQO y SS. La etapa previa anóxica consigue un buen nivel de desnitrificación, aunque (como así se dejó reflejado en su diseño), no se logra cumplir el objetivo de Nt para zona sensible de 15mgN/l, obteniendo valores muy cercanos, del orden de 22,4mgN/l. Los valores de fósforo total, al no existir ningún tratamiento para su reducción, exceden en todos los casos de 9 mgP/l.

La cantidad de fango producido es menor al previsto en el Proyecto, y en las simulaciones efectuadas con las dimensiones reales del decantador y del espesador, no se han alcanzado las concentraciones previstas en el Proyecto de 8.000 mgSST/l y 30.000mgSST/l respectivamente.

En la siguiente tabla se resumen los principales parámetros obtenidos en las simulaciones efectuadas con el estado actual de la planta.

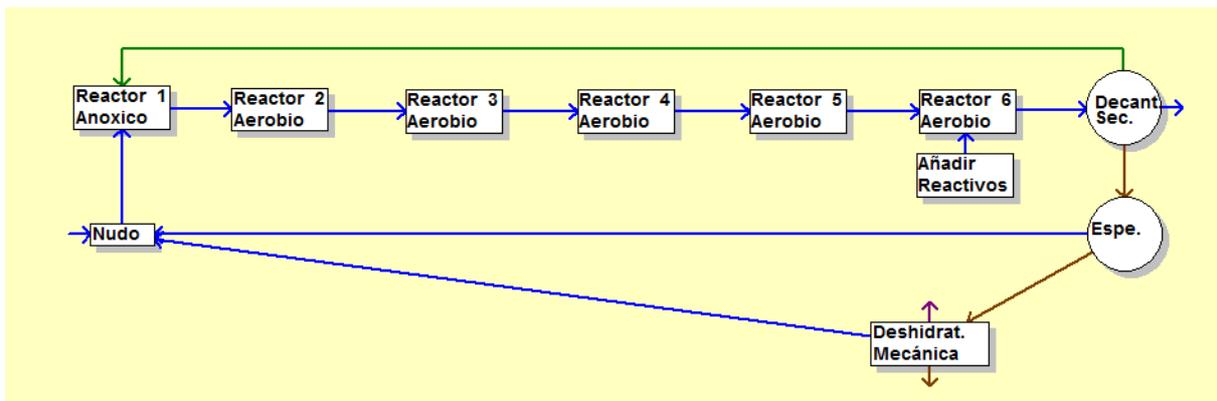
Reactor		Decantador			Purga decantador			Efluente									Fango producido	Espesador	Fango espesado		Fango deshidratado	
TRC	X <sub>TSS</sub> R1	Q <sub>rec</sub> / Q <sub>ent</sub>	Q <sub>rec</sub>	Q <sub>ext</sub> / Q <sub>ent</sub>	Q	X <sub>TSS</sub>	%SSVB	DQO	DQO <sub>SOL</sub>	S <sub>I</sub>	S <sub>NH4</sub>	S <sub>NO3</sub>	N <sub>T</sub>	S <sub>PO4</sub>	P <sub>T</sub>	X <sub>TSS</sub>	KgSST	Q <sub>ext</sub> /Q <sub>ent</sub>	Q	X <sub>TSS</sub>	Q	X <sub>TSS</sub>
16	3.141	1,45	3.793	0,61	114,29	5.101	53,0	77,31	62,84	62,57	0,21	20,61	22,12	9,02	9,23	12,87	583	0,44	50,29	11.579	1,91	300.000
17	3.307	1,46	3.800	0,61	107,29	5.372	51,7	77,81	62,85	62,57	0,23	20,90	22,46	9,37	9,58	13,32	576	0,45	48,28	11.452	1,81	300.000
20	3.739	1,47	3.817	0,61	90,46	6.076	47,9	78,98	62,85	62,57	0,22	20,80	22,37	9,35	9,57	14,47	550	0,46	41,46	13.193	1,80	300.000
21	3.887	1,48	3.822	0,61	85,93	6.317	46,8	79,40	62,85	62,57	0,22	20,84	22,43	9,41	9,64	14,87	543	0,47	40,39	13.427	1,78	300.000
<b>22</b>	<b>4.036</b>	<b>1,48</b>	<b>3.826</b>	<b>0,61</b>	<b>81,81</b>	<b>6.560</b>	<b>45,8</b>	<b>79,82</b>	<b>62,85</b>	<b>62,57</b>	<b>0,23</b>	<b>20,88</b>	<b>22,48</b>	<b>9,47</b>	<b>9,70</b>	<b>15,27</b>	<b>537</b>	<b>0,47</b>	<b>38,45</b>	<b>13.914</b>	<b>1,76</b>	<b>300.000</b>



### Simulación con precipitación química del fósforo.

En el que caso en el que fuese necesario reducir el contenido en fósforo del efluente (si se tratase de un vertido a zona sensible), una opción sería la precipitación química del mismo mediante adición de sales de hierro o aluminio, en este caso se ha simulado con cloruro férrico. La E.D.A.R. no dispone actualmente de un sistema de dosificación de reactivo para la precipitación del fósforo, por lo que se trata de una simulación hipotética.

La adición de la solución de la sal de hierro se ha simulado en la última de las zonas óxicas del reactor en flujo pistón, donde la concentración de fosfato es mayor.



La adición de la sal de hierro produce un aumento de concentración en el reactor y un aumento de la producción de fango. Se han efectuado dos simulaciones para TRC igual a 16 y 17 días. Para un TRC igual o superior a 18 días, se excede considerablemente la concentración de SST de  $4\text{kg/m}^3$  en el reactor. En este caso el TRC óptimo sería de **17 días**. La producción de fango se incrementa un 25% respecto a la solución del epígrafe anterior de TRC=22 días sin precipitación de fósforo, y el grado de estabilización es menor.

La dosificación de sal de hierro ha sido en cada caso la mínima necesaria para alcanzar el objetivo de  $P_T < 2\text{mg/l}$  en el efluente, resultando del orden de  $58\text{kgFe/día}$ . La escasez de este nutriente en el reactor disminuye el rendimiento del proceso de nitrificación llevado a cabo por los microorganismos autótrofos, como consecuencia aumento ligeramente el amonio en el efluente y por tanto en nitrógeno total.

En la siguiente tabla se resumen los principales parámetros obtenidos en las simulaciones efectuadas con precipitación química del fósforo.



Reactor		Decantador			Purga decantador			Efluente									Fango producido	Espesador	Fango espesado		Fango deshidratado		Sal de Hierro
TRC	X <sub>TSS</sub> R1	Q <sub>rec</sub> / Q <sub>ent</sub>	Q <sub>rec</sub>	Q <sub>ext</sub> / Q <sub>ent</sub>	Q	X <sub>TSS</sub>	%SSVB	DQO	DQO <sub>SOL</sub>	S <sub>I</sub>	S <sub>NH4</sub>	S <sub>NO3</sub>	N <sub>T</sub>	S <sub>PO4</sub>	P <sub>T</sub>	X <sub>TSS</sub>	KgSST	Q <sub>ext</sub> /Q <sub>ent</sub>	Q	X <sub>TSS</sub>	Q	X <sub>TSS</sub>	KgFe/día
16	3.829	1,45	3.794	0,61	114,05	6.256	53,1	76,99	63,15	62,54	7,39	17,81	26,47	1,40	1,98	14,76	713	0,48	54,74	13.021	2,34	300.000	55,77
<b>17</b>	<b>4.085</b>	<b>1,46</b>	<b>3.801</b>	<b>0,61</b>	<b>107,09</b>	<b>6.679</b>	<b>52,1</b>	<b>77,60</b>	<b>63,15</b>	<b>62,54</b>	<b>8,02</b>	<b>18,03</b>	<b>27,34</b>	<b>1,37</b>	<b>1,98</b>	<b>15,46</b>	<b>715</b>	<b>0,49</b>	<b>52,47</b>	<b>12.761</b>	<b>2,20</b>	<b>300.000</b>	<b>57,84</b>



### Simulación con 6 zonas aireación diferenciada. Nitrificación desnitrificación simultánea.

A continuación se procede a realizar una simulación en condiciones diferentes a las existentes que requieren de una modificación del sistema de aireación, de manera que en lugar de las dos zonas óxicas con suministro de caudal de aire diferenciado que hay en la actualidad, obtengamos cinco. Para ello se debe modificar el sistema de parrillas introduciendo 3 nuevas bajantes e independizando entre sí las cinco zonas de parrillas que deseamos obtener. Además, para controlar la concentración de oxígeno disuelto en cada zona, es necesario colocar en cada una de ellas una sonda de oxígeno disuelto, una válvula de regulación en cada bajante que nos permita regular el caudal y dotar a las soplantes de un variador de frecuencia que permita ajustar el caudal total de aire necesario.

Suponiendo que una vez efectuadas estas modificaciones es posible regular las concentraciones de oxígeno disuelto en cada una de las 5 zonas de volumen similar en las que hemos decidido dividir la zona óxica del reactor, es posible simular un proceso de nitrificación-desnitrificación simultánea. Este proceso se consigue con TRC elevados y con zonas altas y bajas concentraciones de oxígeno disuelto. En este caso simularemos con TRC de 22 días con el fin de no superar la concentración de 4.000 mgSST/l en el reactor; impondremos que las concentraciones de O.D. se vayan incrementando progresivamente en las diferentes zonas en las que hemos dividido el reactor. Además simularemos el bombeo de recirculación funcionando con una o con dos bombas simultáneamente.

A continuación se adjuntan cuatro tablas con los resultados de sendas simulaciones, en las que se ha considerado TRC 22 días, recirculación externa  $1,5xQ_e$  (funcionamiento de las dos bombas de recirculación), y diferentes concentraciones de oxígeno en el reactor que se han ido reduciendo en cada simulación hasta obtener el óptimo. En la tabla se ha incluido los valores de las variables que intervienen en el desarrollo de las bacterias PAO con el fin de comprobar si es posible reducir el contenido en fósforo del efluente mediante la proliferación de este tipo de bacterias, aunque no ha sido posible obtener las condiciones adecuadas.

### Simulación 1

	R1 anóx.	R2	R3	R4	R5	R6	Recirculación	Efluente
X <sub>H</sub>	1378	1445	1464	1469	1463	1451	2358	5,4
X <sub>AUT</sub>	72,97	77,47	78,79	80,26	80,39	79,95	130	0,3
X <sub>PAO</sub>	1,30	1,33	1,37	1,39	1,38	1,36	2,22	0,01
X <sub>PHA</sub>	0,25	0,19	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
X <sub>PP</sub>	0,31	0,34	0,40	0,43	0,43	0,42	0,69	0,00
S <sub>A</sub>	11,78	0,56	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
S <sub>NH4</sub>	26,69	19,23	11,76	3,27	0,46	0,12	0,97	0,13
S <sub>NO3</sub>	0,02	0,11	3,8	10,40	12,53	12,97	9,74	12,88
S <sub>N2</sub>	22,51	16,54	15,92	15,57	15,57	15,52	18,86	15,69
S <sub>PO4</sub>	8,72	8,55	8,65	8,85	9,14	9,46	9,74	9,49
S <sub>O2</sub>	0	0,2	0,5	0,8	1,0	1,5	0	0,35
N <sub>T</sub>								14,38
P <sub>T</sub>								9,71

### Simulación 2

	R1 anóx.	R2	R3	R4	R5	R6	Recirculación	Efluente
X <sub>H</sub>	1369	1439	1457	1462	1456	1444	2346	5,36
X <sub>AUT</sub>	77,0	77,50	78,61	80,01	80,38	79,98	130,4	0,3
X <sub>PAO</sub>	2,03	2,07	2,14	2,16	2,14	2,11	3,45	0,01
X <sub>PHA</sub>	0,39	0,31	0,13	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
X <sub>PP</sub>	0,47	0,52	0,61	0,66	0,66	0,65	1,06	0,00
S <sub>A</sub>	12,41	0,60	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
S <sub>NH4</sub>	24,77	19,19	12,63	4,49	0,70	0,16	1,04	0,19
S <sub>NO3</sub>	0,01	0,10	2,45	8,02	10,74	10,97	7,54	10,77
S <sub>N2</sub>	21,50	16,39	16,04	15,71	15,64	15,68	19,19	15,95
S <sub>PO4</sub>	8,78	8,57	8,65	8,85	9,13	9,46	9,74	9,48
S <sub>O2</sub>	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0	0,14
N <sub>T</sub>								12,32
P <sub>T</sub>								9,71

### Simulación 3

	R1 anóx.	R2	R3	R4	R5	R6	Recirculación	Efluente
X <sub>H</sub>	1365	1423	1444	1453	1451	1440	2341	5,34
X <sub>AUT</sub>	77,14	77,16	78,02	79,45	80,34	80,13	130,64	0,3
X <sub>PAO</sub>	10,72	10,82	11,15	11,42	11,36	11,21	18,23	0,04
X <sub>PHA</sub>	1,99	1,94	1,04	0,21	0,02	0,00	0,00	0,00
X <sub>PP</sub>	2,50	2,59	3,07	3,44	3,49	3,45	5,61	0,01
S <sub>A</sub>	11,21	0,97	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
S <sub>NH4</sub>	24,84	21,37	15,83	7,58	1,59	0,25	1,13	0,28
S <sub>NO3</sub>	0,01	0,03	0,92	5,66	10,07	10,84	7,21	10,59
S <sub>N2</sub>	21,43	16,36	16,16	15,83	15,64	15,68	19,39	16,00
S <sub>PO4</sub>	9,38	9,19	8,87	8,71	8,94	9,28	9,59	9,31
S <sub>O2</sub>	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0	0,09
N <sub>T</sub>								12,24
P <sub>T</sub>								9,55

### Simulación 4

	R1 anóx.	R2	R3	R4	R5	R6	Recirculación	Efluente
X <sub>H</sub>	1368	1425	1440	1453	1452	1443	2345	5,34
X <sub>AUT</sub>	77,14	77,16	77,66	79,14	80,22	80,13	130,64	0,3
X <sub>PAO</sub>	11,12	11,22	11,48	11,81	11,77	11,62	18,91	0,04
X <sub>PHA</sub>	2,05	1,99	1,23	0,28	0,03	0,00	0,00	0,00
X <sub>PP</sub>	2,60	2,70	3,10	3,54	3,62	3,58	5,83	0,01
S <sub>A</sub>	11,06	0,95	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
S <sub>NH4</sub>	24,88	21,43	17,41	8,95	2,13	0,32	1,20	0,34
S <sub>NO3</sub>	0,01	0,03	0,33	5,05	10,12	11,30	7,55	11,04
S <sub>N2</sub>	21,67	16,40	16,19	15,84	15,63	15,66	19,49	15,99
S <sub>PO4</sub>	9,40	9,21	8,98	8,75	8,93	9,27	9,58	9,30
S <sub>O2</sub>	0	0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	0	0,08
N <sub>T</sub>								12,75
P <sub>T</sub>								9,54

A continuación se adjunta tabla con los resultados de una quinta simulación, en la que se ha considerado una recirculación externa menor  $0,75 \times Q_e$  (funcionamiento de una sola de las dos bombas de recirculación). Con esta solución hay una menor recirculación de nitrato y aumenta ligeramente la concentración de bacterias PAO, con lo que se reduce levemente la concentración de fósforo en el efluente, sin embargo la eficacia en la reducción de nitrógeno se reduce obteniendo un valor de concentración de nitrógeno total en el efluente ligeramente por encima de 15mgN/l.

### Simulación 5

	R1 anóx.	R2	R3	R4	R5	R6	Recirculación	Efluente
X <sub>H</sub>	1279	1384	1415	1428	1421	1404	3132	5,19
X <sub>AUT</sub>	74,02	74,08	75,09	76,72	78,39	78,47	176,34	0,3
X <sub>PAO</sub>	24,58	24,91	25,97	27,07	26,87	26,35	58,96	0,10
X <sub>PHA</sub>	6,96	6,86	3,92	0,71	0,05	0,00	0,00	0,03
X <sub>PP</sub>	4,87	5,17	6,79	8,21	8,34	8,20	18,35	0,03
S <sub>A</sub>	14,75	1,12	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
S <sub>NH4</sub>	36,23	30,94	23,97	14,03	3,92	0,48	3,38	0,50
S <sub>NO3</sub>	0,00	0,02	0,49	3,82	11,13	13,70	2,35	13,45
S <sub>N2</sub>	20,57	15,95	16,12	16,08	15,71	15,66	27,11	15,99
S <sub>PO4</sub>	11,26	10,71	9,29	8,21	8,46	9,04	10,13	9,08
S <sub>O2</sub>	0	0,1	0,25	0,35	0,55	0,8	0,00	0,06
N <sub>T</sub>								15,31
P <sub>T</sub>								9,33

En todos los casos la reducción de DQO resultó correcta.

### Conclusión.

Como resultado de la simulación podemos concluir que es posible reducir el consumo energético en el tratamiento terciario efectuando diversas modificaciones en el sistema de aporte de aire al reactor biológico. Es posible además con estos cambios obtener un mayor rendimiento en la reducción de nutrientes (de nitrógeno principalmente). Teniendo en cuenta que la potencia instalada de soplantes es de  $2 \times 44 \text{ kW} = 88 \text{ kW}$ , una reducción en el consumo podría compensar parcial o totalmente la pequeña demanda del tratamiento terciario.

Como se ha indicado anteriormente, las modificaciones consisten en colocar tres nuevas bajantes (con válvula de regulación) de la tubería principal de suministro de aire, e independizar las parrillas de difusores en 5 zonas independientes. Para controlar el caudal total de aire suministrado se propone colocar variadores de frecuencia en las soplantes. Se colocarían por último 5 sondas de oxígeno disuelto para controlar el caudal a aportar en cada zona. En el capítulo 4 del presente Trabajo Fin de Master, Presupuesto, se incluye la valoración de estas modificaciones.

En cuanto a la calidad del efluente a la salida del decantador secundario, en las simulaciones efectuadas se ha comprobado el cumplimiento de objetivo de calidad respecto a DQO, Sólidos Suspendidos y Nitrógeno, aunque no ha sido posible obtener una simulación favorable de reducción de Fósforo por vía biológica, por lo que el efluente tendría una elevada concentración de fosfatos al no existir un sistema alternativo de precipitación química. No obstante, al no tratarse de un vertido a zona sensible los valores cumplirían la normativa vigente.



## CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL TRATAMIENTO TERCIARIO

### 1. Caracterización del agua de salida requerido s/ R.D. 1620/2007

En el *Real Decreto 1620/2007* se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. En él se indican unos criterios mínimos de calidad que debe cumplir el agua reutilizada en función del uso que se le vaya a dar. Para cada uso previsto establece un valor máximo admisible (VMA) de cuatro parámetros, y otros criterios específicos. Los cuatro parámetros son Nematodos Intestinales (huevo/10l), *Escherichia Coli* (UCF/100ml), Sólidos Suspendidos (mg/l) y Turbidez (NTU).

El agua tratada en la E.D.A.R. de Benissa-Senija está previsto que sea reutilizada en tres usos distintos:

1.- **Usos urbanos:** riego de zonas verdes urbanas, baldeo de calles, sistemas contra incendios. Se corresponde con la CALIDAD 1.2 – SERVICIOS, del Real Decreto. No se prevé el uso del agua de tipo urbano residencial (1.1.).

2.- **Usos agrícolas:** riego de cultivos en general. Se corresponde con la CALIDAD 2.1, 2.2 y 2.3.

3.- **Usos industriales:** aguas de proceso y limpieza y otros usos industriales en industria no alimentaria. Se corresponde con la CALIDAD 3.1.a-b del Real Decreto. No se prevé la reutilización de aguas en industria alimentaria (3.1.c), ni en torres de refrigeración y condensadores evaporativos (3.2).

No se prevé el uso del agua de tipo recreativo (4) ni ambiental (5).

Según el Anexo I.A. del Real Decreto, para estos usos previstos del agua los criterios de calidad exigidos son los que se resumen en la siguiente tabla.

	NEMATODOS INTESTINALES	<i>ESCHERICHIA COLI</i>	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
CALIDAD 1.2: SERVICIOS	1huevo/10L	200 UCF/100mL	20 mg/L	10 UNT	<i>Legionella</i> spp. 100UFC/L
CALIDAD 2.1	1huevo/10L	100 UCF/100mL	20 mg/L	10 UNT	
CALIDAD 2.2	1huevo/10L	1000 UCF/100mL	35 mg/L	No se fija límite	<i>Legionella</i> spp. 1000UFC/L
CALIDAD 2.3	1huevo/10L	10000 UCF/100mL	35 mg/L	No se fija límite	<i>Legionella</i> spp. 100UFC/L
CALIDAD 3.1.a-b	No se fija límite	10000 UCF/100mL	35 mg/L	15 UNT	<i>Legionella</i> spp. 100UFC/L

Según la tabla anterior los criterios más exigentes se corresponden al uso agrícola del agua, donde además de los cuatro parámetros antes citados, debemos tener en cuenta la restricción de *Legionella* por el riesgo de aerosolización que pudiera darse por ejemplo en riego por aspersión.

Por tanto, a efectos del diseño del tratamiento terciario buscaremos el objetivo de calidad más desfavorable para cada uno de los parámetros regulados:

**Nematodos Intestinales: 1 huevo/10L**

***Escherichia Coli*: 100 UCF/100mL**

**Sólidos Suspendidos: 20 mg/L**

**Turbidez: 10 UNT**

***Legionella spp.*: 100 UFC/L**

## 2. Esquema de tratamiento propuesto

Para lograr el objetivo de calidad se propone un tratamiento previo de **coagulación-floculación** con el fin de formar agregados y poder eliminar partículas coloidales, reduciendo la turbidez y los sólidos suspendidos a los límites exigidos.

Para separar tanto los floculos formados como los huevos de nematodos intestinales, hemos optado por un sistema de **filtración** con un paso inferior al del tamaño de los huevos de nematodos, comprendido entre 10-100µm. El caudal de diseño de la planta es lo suficientemente grande para que podamos implantar un equipo de filtración en lámina libre mediante tela filtrante de 10µm de paso. Actualmente hay dos tipos de filtro con este tipo de telas, filtros de disco y filtros de tambor, en este caso hemos adoptado el filtro de tambor por su simplicidad y facilidad de mantenimiento. Requiere únicamente de un pequeño motor de 0,37kW de funcionamiento continuo que hace girar el tambor cilíndrico donde está alojada la tela, y una pequeña bomba de 3kW que actúa de forma intermitente cuando es necesario lavar la tela. La pérdida de carga hidráulica es muy pequeña.

Hemos descartado como alternativa la filtración mediante lecho filtrante. Actualmente hay tres sistemas bien conocidos para filtración con lecho: filtros abiertos, filtros cerrados y filtros de lavado continuo (*Dynasand*). Los dos primeros requieren duplicar equipos puesto que al menos uno debe quedar en servicio cuando el otro realiza el contralavado. Los filtros abiertos y los de lavado continuo realizan el contralavado con una mezcla de agua y aire por lo que requieren de equipos adicionales de compresión de aire. Los filtros cerrados, aunque son más simples en su diseño requieren de mayor energía puesto que trabajan en presión. Además, en

cualquiera de los tres casos se debe escoger el lecho filtrante (monocapa, multicapa, granulometría, etc.)

Aguas abajo de la etapa de filtración habremos conseguido alcanzar los objetivos de sólidos suspendidos, turbidez y huevos de nematodos, sin embargo la tela de 10 $\mu$ m de paso no es capaz de retener bacterias como la *Escherichia Coli*, de tamaño del orden de 2 $\mu$ m. Se propone por tanto la implantación de un sistema de **desinfección ultravioleta**, con el que se alcanzarán los objetivos de calidad relativos a *Escherichia Coli* y *Legionella*.

A modo de resumen, el tratamiento propuesto se compone de un tratamiento de coagulación-floculación convencional, una etapa de filtración mediante tela filtrante de 10 $\mu$ m de paso y una etapa final de desinfección ultravioleta.

### 3. Dimensionamiento del proceso

#### Coagulación - Floculación

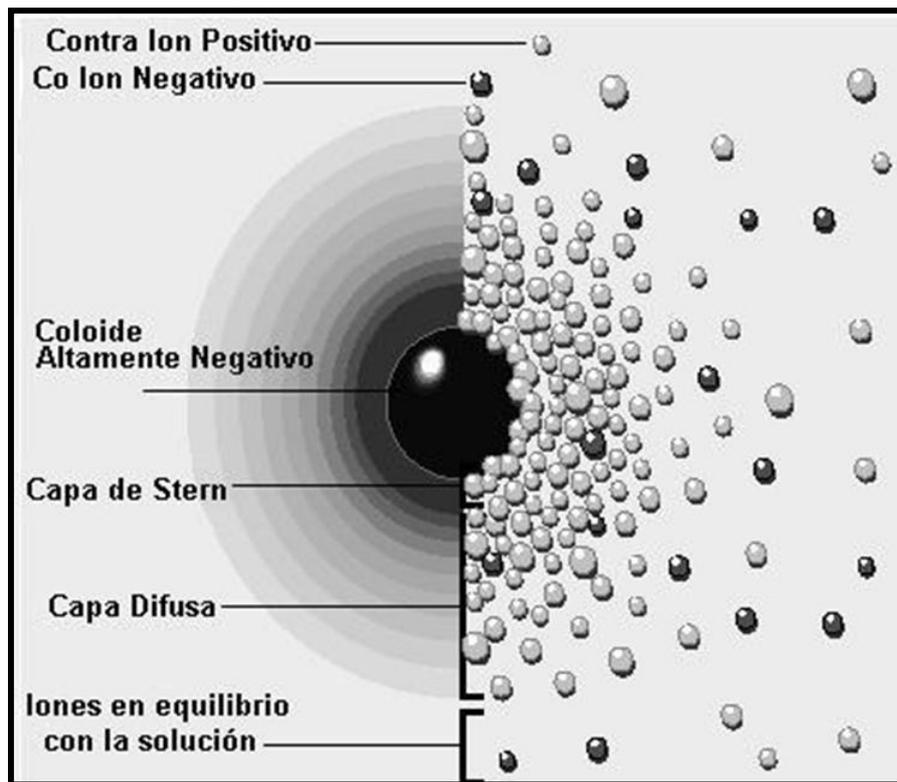
**Coagulación** es el proceso de desestabilización de **partículas coloidales** de forma que sea posible el aumento de tamaño de las partículas durante la **floculación**.

Entre los muchos componentes que transporta un agua en su recorrido puede encontrarse un determinado tipo de partículas conocidas como **coloides**. Se trata de partículas muy pequeñas, aproximadamente entre 1  $\mu$ m y 1 nm, con una importante peculiaridad: son portadoras de carga eléctrica en su superficie. El signo de la carga puede ser positivo o negativo, aunque la mayoría de las que hay presentes en un agua residual portan carga negativa. Pueden aparecer en forma coloidal arcillas, óxidos metálicos hidratados, bacterias, proteínas...

La eliminación de estas partículas no es posible a través de un sistema de sedimentación convencional, dado que las cargas de las que son portadoras impiden su agregación debido a las fuerzas electrostáticas. Este fenómeno, junto con el movimiento browniano que las mantiene en suspensión, no permite la formación de partículas mayores que favorezcan la decantación y es necesario abordar su eliminación por otra vía.

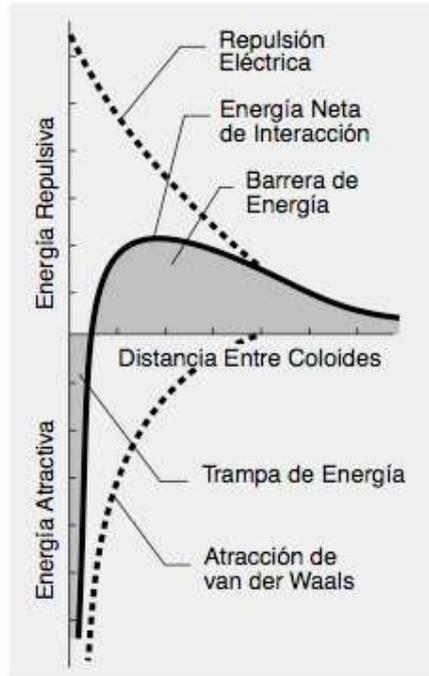
El agua residual no está cargada, por lo que la carga presente en los coloides debe estar necesariamente contrarrestada por iones de signo contrario. Las fuerzas electrostáticas tenderán a situar esos iones alrededor de la superficie del coloide, lo cual genera una

concentración local superior a la del entorno y aparece entonces una fuerza impulsora que tiende a que esos mismos iones se difundan hacia el seno de la disolución, menos concentrada. El equilibrio entre estas dos fuerzas, electrostática y difusión, supone la aparición de una nube difusa de iones en las proximidades de la partícula. Entre la capa difusa y el coloide se sitúa una capa más fina y rígida de iones pegados a la superficie de la partícula coloidal conocida como capa de Stern. Ambas capas conforman la doble capa eléctrica:



*Coloide y doble capa eléctrica.*

La existencia de la capa de iones provoca una diferencia de potencial eléctrico entre la superficie de la partícula y el seno de la disolución. Esto se traduce en la aparición de una barrera energética que impide la agregación de partículas, tal y como se ve en la siguiente figura:



*Energías de interacción en un sistema coloidal*

Cuando dos partículas se aproximan, la interacción de las capas difusas genera una fuerza de repulsión que mantienen alejados a los coloides. Para permitir la agregación es necesario eliminar esa barrera, lo cual se consigue mediante el proceso de coagulación, que consiste en la desestabilización de las partículas coloidales.

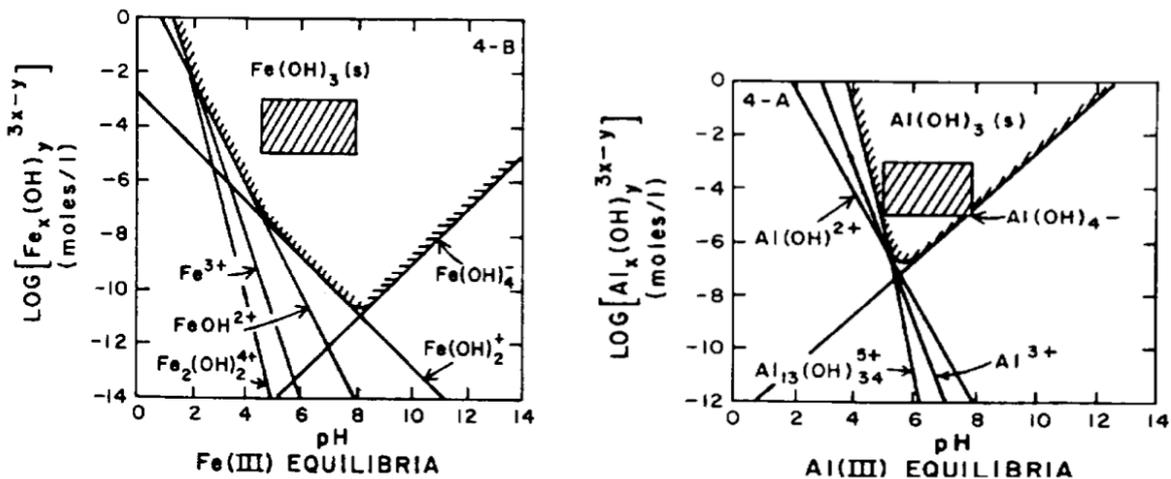
Existen 4 mecanismos de desestabilización:

- **Compresión de la doble capa:** consiste en aumentar la fuerza iónica de la disolución mediante la adición de iones. Con esto se persigue aumentar la concentración de contraiones en la capa difusa. El aumento de concentración hace que la doble capa eléctrica disminuya de tamaño, por ser necesario menor volumen para neutralizar la carga del coloide. Este encogimiento permite que las fuerzas atractivas predominen sobre las repulsivas y se consigue la colisión de las partículas.
- **Neutralización de la carga:** el control del pH (iones  $H^+$  o  $OH^-$ ) o la adición de cationes permite neutralizar la carga de la partícula coloidal por adsorción sobre su superficie. Una vez neutralizada esta carga, las partículas pueden aproximarse entre ellas.
- **Inmersión en un precipitado:** la adición al agua residual de cantidades suficientes de sales metálicas, óxidos o hidróxidos metálicos, de manera que se formen rápidamente precipitados, permite atrapar partículas en su interior y sedimentar junto a éstos.

- **Adsorción y enlace de puente intrapartícula:** al añadir polímeros orgánicos sintéticos con grupos funcionales capaces de enlazar con los centros activos de la partícula coloidal se produce la interacción entre ambos, quedando el resto de la cadena del polímero disponible para nuevos enlaces orientada hacia el seno de la dispersión. Otras partículas pueden ir adsorbiéndose a lo largo de la cadena, que actuaría de puente entre ellas y generando agregados.

Estos mecanismos no son excluyentes, pudiendo darse varios de ellos simultáneamente. Además, para que se puedan producir de una manera óptima hay que dosificar la cantidad adecuada de coagulante, ya que, en ciertos casos, dosis por encima de un cierto valor eliminan algunos de los mecanismos, dando lugar, por ejemplo, a un cambio de carga del coloide o a la saturación de los centros activos.

Una de las formas más habituales de coagulación en el tratamiento de aguas es la **adición de sales de aluminio o hierro** bajo una agitación vigorosa, que asegure una mezcla rápida, y es el procedimiento que se adoptará en este caso. La disolución de estas sales produce complejos hidroxometálicos  $[Me_x(OH)_y]^{3x-y}$  con tendencia a formar polímeros. La adición por encima de su producto de solubilidad genera precipitados. Además, se forman especies con carga positiva o negativa según sea el pH ácido o básico respectivamente. Esta información puede resumirse en los diagramas siguientes:



*Diagrama de solubilidad y especies predominantes.*

La coagulación por sí sola no consigue necesariamente que las partículas coloidales formen agregados de mayor tamaño de manera que puedan ser separados del sistema mediante sedimentación o filtración. Si los coágulos no alcanzan un tamaño mínimo pueden permanecer en suspensión, por lo que se hace necesario añadir otra etapa física que mejore el proceso.

Esta etapa es la **floculación** y se caracteriza por una agitación lenta, con el fin de favorecer que los agregados formados se unan entre ellos formando flóculos de un tamaño tal que sedimenten o puedan ser separados por filtración convencional. De esta manera, los coágulos chocan entre ellos y forman unidades mayores. Una agitación por encima de un umbral provocaría la rotura de los flóculos debido a los esfuerzos cortantes, además de generar choques entre coágulos demasiado vigorosos como para que las partículas quedasen unidas. A diferencia del proceso químico de la coagulación, que es muy rápido, el proceso físico de la floculación resulta más lento y son necesarios tiempos de residencia mayores. La formación de floculos puede facilitarse mediante la dosificación de coadyuvantes o floculantes, siendo los más habituales los polielectrolitos sintéticos.

El último paso de este proceso es la **separación** de los flóculos producidos, bien dejando el agua sedimentar durante un tiempo suficiente para que los flóculos generados decanten y puedan retirarse, bien haciendo pasar el agua por algún tipo de filtro que retenga los floculos, que es el sistema adoptado en este caso.

Para determinar el tipo de coagulante adecuado, dosis y pH óptimos, y requisitos de mezclado (tiempo de retención  $\theta$ , gradiente de velocidad  $G$ ), es necesario efectuar previamente un **ensayo JAR-TEST** con una muestra real de agua clarificada tomada a la salida del decantador secundario. Debido a la dificultad de obtener una muestra real de agua de la planta, y puesto que el objetivo del presente trabajo académico es obtener un predimensionamiento razonablemente aproximado, efectuaremos una hipótesis razonable de éstos parámetros quedando del lado de la seguridad en el dimensionamiento tanto de la obra civil como de los equipos electromecánicos asociados.

Como se ha indicado anteriormente el caudal de diseño de la EDAR es de  $2.500\text{m}^3/\text{d}$ , aunque actualmente se está tratando un caudal medio de  $918\text{m}^3/\text{d}$  (fuente: *EPSAR*). Teniendo en cuenta la coyuntura económica actual parece razonable construir el tratamiento en dos fases, una inicial para tratar un caudal de  $1.250\text{m}^3/\text{d}$ , para posteriormente en el futuro construir una línea gemela que totalice los  $2.500\text{m}^3/\text{d}$ . Por tanto la mayor parte del tratamiento terciario que se predimensiona a continuación está preparado para tratar la mitad del caudal de diseño de la planta. Sólo se establecen tres elementos que se dimensionan para la situación final futura del terciario una vez ampliado a dos líneas:

- Depósito de coagulante. La escasa diferencia de precio respecto a un volumen de depósito menor justifica una inversión inicial de un depósito de mayor tamaño para tratar el caudal total de la planta.
- Conducciones de proceso. Se dimensionan para su caudal correspondiente en la situación definitiva.
- Instalaciones auxiliares, edificio para instalaciones varias, etc.

### ➤ Predimensionamiento del equipo dosificador de Coagulante

Como se ha indicado anteriormente, una de las formas más habituales de coagulación en el tratamiento de aguas es la adición de sales de aluminio o hierro bajo una agitación vigorosa, que asegure una mezcla rápida. En este caso, al haber una etapa posterior de filtración ultravioleta no es aconsejable el uso de sales de hierro que podrían reducir su rendimiento. Por esta razón hemos optado por el uso de una sal de aluminio, concretamente **sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$** , que se suministra habitualmente diluido.

La dosis adecuada debe obtenerse mediante un ensayo Jar-Test, hemos supuesto un valor razonable de la dosis media de 30mg/l de producto puro, y un valor de la dosis máxima de 50mg/l.

Para dimensionar los equipos adecuados hemos supuesto que el producto comercial se suministra diluido al 28% en peso, por tanto las dosis media y máxima en peso de producto comercial serán respectivamente de  $30/0,28=107,14\text{mg/l}$  y  $50/0,28=178,57\text{mg/l}$ .

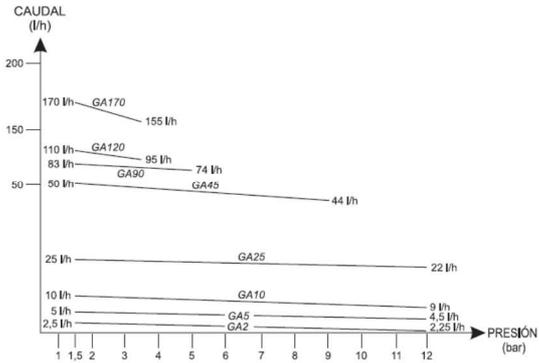
Sin embargo lo habitual es dosificar por volumen con bombas dosificadoras de membrana, por lo que, teniendo en cuenta que la densidad del producto comercial es de  $1,33\text{gr/cm}^3$ , las dosis media y máxima en volumen de producto comercial serán respectivamente de  $107,14/1330=0,081\text{cm}^3/\text{l}$  y  $178,57/1330=0,134\text{cm}^3/\text{l}$ , que tienen el mismo valor expresado en litros de reactivo por metro cúbico de agua a tratar ( $\text{l/m}^3$ ).

El **depósito de reactivo** lo vamos a dimensionar para la totalidad del caudal de diseño de la planta ( $Q_m=2.500\text{m}^3/\text{d}$ ), poniéndonos en la situación de dosis máxima, y exigiendo una autonomía de 15días. Por tanto el volumen necesario se obtiene  $V = 2500\text{m}^3/\text{d} \cdot 15\text{d} \cdot 0,134\text{l/m}^3 = 5,03\text{m}^3$ , por lo que redondeando adoptaremos un depósito estándar de  **$5\text{m}^3$  de capacidad**.

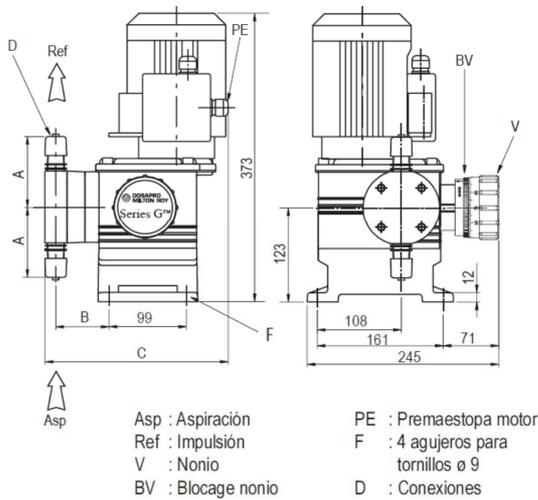
La **bombas dosificadoras** las vamos a dimensionar por el contrario para una sola línea de tratamiento terciario ( $Q_m=1.250\text{m}^3/\text{d}$ ). Puesto que el factor punta de caudal es igual a 2, parece razonable duplicar el número de bombas de manera que trabaje la primera normalmente y entre la segunda a funcionar cuando se supera el caudal medio. Nos pondremos además en situación de dosis máxima de reactivo. Por tanto cada bomba deberá ser capaz de dosificar un caudal  $Q = 1250\text{m}^3/\text{d} \cdot 1/24 \text{ d/h} \cdot 0,134 \text{ l/m}^3 = 7 \text{ l/h}$ . Dentro de la gama de bombas dosificadoras de membrana de la gama GA de *Dosapro* escogemos el modelo superior GA10 que tiene una capacidad máxima de 10l/h.

Modelo	Caudal máxi (l/h) <sup>(1)(2)</sup>	Presión máxi (bars)	Carrera (mm)	Cadencia (cps/mn) <sup>(2)</sup>	Velocidad motor (rpm) <sup>(2)</sup>	Potencia (W) Mono Tri
GA 2	2,5	12	4	36	1500	180 90
GA 5	5	12	4	72	3000	180 60
GA 10	10	12	4	144	3000	180 60
GA 25	25	12	6	72	3000	180 60
GA 45	50	10	6	144	3000	180 60
GA 90	83	5	6	72	3000	180 60
GA 120	110	3.5	4	144	3000	180 60
GA 170	170	3.5	6	144	3000	180 60

<sup>(1)</sup> Caudal máximo a 1.5 bar  
<sup>(2)</sup> Valores con motor a 50 HZ



## Medidas y conexiones



Modelo	Dimensiones (mm)	Version Conexiones	PP/PVDF/Mixte	Inox	HV	
			T	N	H	
GA 2	A		91	102	105	
GA 5	B		68	68	83	
GA 10	C		234	236	253	
GA 25	A		91	102	108	
GA 45	B		69	68	73	
	C		235	236	243	
Conexiones			P	Q	N	H
GA 90	A		109	143	123	110
GA 120	B		98	98	98	98
GA 170	C		266	270	273	266

### Conexiones :

T = Tubo ligera en polietileno 6x8, tubo en PVC reforzado 6x12 y racores gas 1/2" macho.  
 N = Conexión roscada 1/2" BSP hembra  
 H = GA 2 a GA 45 : Asp tubo vinilo 15x23 - IMP tubo en PE 9x12  
 H = GA 90 a GA 170 : ASP tubo vinilo 15x23 - IMP 1/2" macho  
 P = Conexión roscada 1/2" NPT macho  
 Q = Conexión hembra para DN15, tubo en PVC para pegar

Serán necesarias por cada línea de tratamiento terciario dos bombas activas modelo **GA10** más una tercera en reserva. En la siguiente tabla se detallan los cálculos efectuados.

**DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE****CONSUMO DE REACTIVO****1. Reactivo**

- Naturaleza:	Sulfato de aluminio líquido
- Peso Molecular del $Al_2(SO_4)_3$	
Peso molecular (g/mol)	342,17
Peso $Al_{3+}$ (g/mol)	25,96
- Riqueza del producto comercial	
En $Al_{3+}$ (%)	2,12
En $Al_2(SO_4)_3$ sólido (%)	28
- Densidad del producto comercial (g/cm <sup>3</sup> )	1,33
- Concentración de dosificación (%)	100

2. Almacenamiento mínimo a Q medio (d): 15

**3. Dosis de producto puro para Tratamiento Terciario:**

Dosis media de $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)	30
Dosis máxima de $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)	50

**4. Dosis de producto comercial seleccionada:**

Dosis media de p.c. (mg/l)	107,14
Dosis máxima de p.c. (mg/l)	178,57

**5. Consumo de producto químico comercial**

- Caudales de diseño de agua a tratar:	Inicial	Futura
$Q_m$ (m <sup>3</sup> /h)	52,08	104,17
fp	2,00	2,00
$Q_p$ (m <sup>3</sup> /h)	104,17	208,33
- Másicos:		
Diarios (Kg/d/EDAR)		
A d media (Kg/ d / EDAR)	133,93	267,86
A d máxima (Kg/ d / EDAR)	223,21	446,43
Horarios (Kg/h/EDAR)		
A Q medio y d media (Kg/ h / EDAR)	5,58	11,16
A Q punta y d máxima(Kg/ h / EDAR)	18,60	37,20
- Volúmicos:		
Diarios (l/d/EDAR)		
A d media (l/ d / EDAR)	100,70	201,40
A d máxima (l/ d / EDAR)	167,83	335,66
Horarios (l/h/EDAR)		
A Q medio y d media (l/ h / EDAR)	4,20	8,39
A Q punta y d máxima(l/ h / EDAR)	13,99	27,97

**6. Equipos de dosificación**

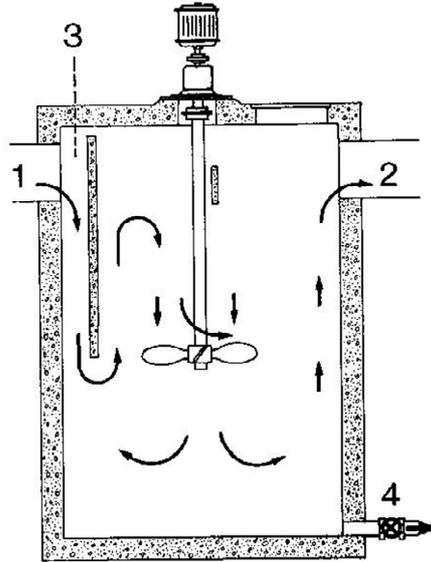
- Tipo	Bomba dosificadora
- Nº de unidades:	
Funcionamiento (uds/ EDAR):	2,00      4,00
Reserva (ud/ EDAR)	1,00      2,00
Total (uds/ EDAR)	3,00      6,00
Caudal máximo (l/h/ud):	7,0      7,0
- Modelo escogido (Milton Roy)	GA-10      GA-10

**7. Almacenamiento de reactivo**

	Inicial	Futura
Autonomía de almacenamiento (días)	30	15
Almacén mínimo total (m <sup>3</sup> )	5,03	5,03
Nº depósitos / EDAR	1,00	1,00
Capacidad unitaria (m <sup>3</sup> /ud)	5,00	5,00
Tipo	Depósito de PRFV en cubeto de seguridad	

### ➤ Predimensionamiento del Coagulador

Tanto el coagulador como el floculador se han diseñado con una cámara de forma cúbica con un agitador de eje vertical, según el siguiente esquema:



Partiendo de un tiempo de retención hidráulico de retención  $\theta = 4$  minutos a caudal medio a tratar de  $1.250\text{m}^3/\text{d}$  obtenemos un volumen mínimo de coagulador de:

$$V(\text{m}^3) = Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \cdot \theta(\text{s}) = \left( \frac{1250}{24 \cdot 60 \cdot 60} \right) \cdot (4 \cdot 60) = 3,47\text{m}^3$$

Puesto que el factor punta de diseño es  $f_p=2$ , a caudal punta el tiempo de retención será de 2 minutos. Se han adoptado estos tiempos de retención razonables de manera que la obra civil quede del lado de la seguridad, como se ha indicado anteriormente estos tiempos deberán confirmarse con un ensayo Jar-Test.

Diseñaremos un coagulador de obra civil perfectamente cúbico, por lo que el lado mínimo del cubo será:

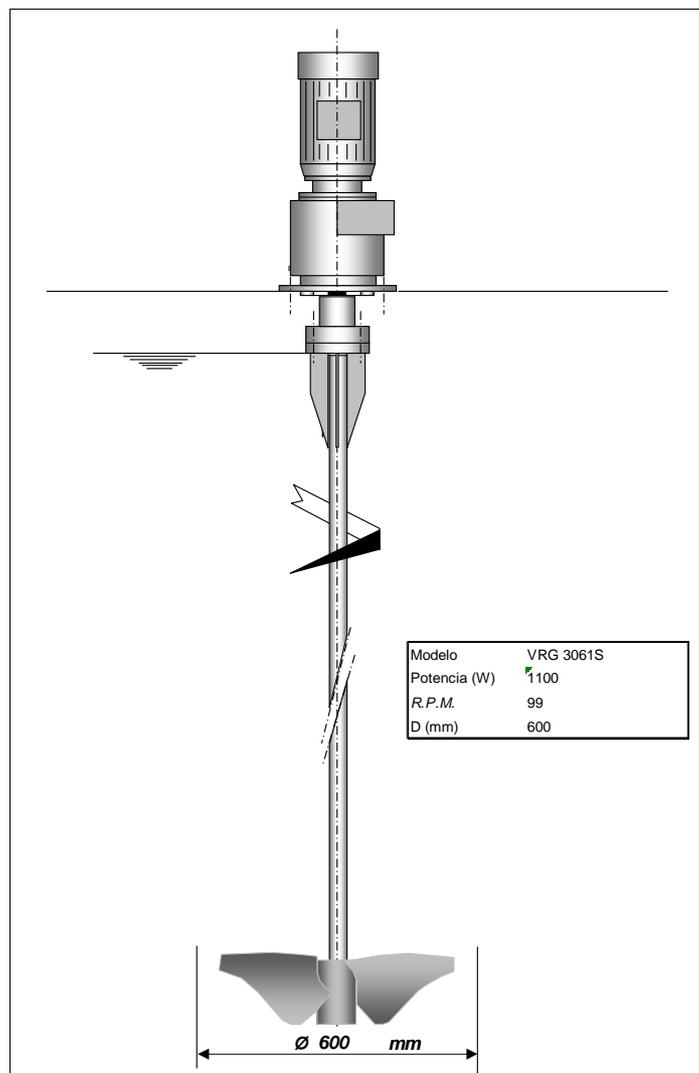
$$L(\text{m}) = \sqrt[3]{V(\text{m}^3)} = \sqrt[3]{3,47} = 1,514\text{m}$$

En obra civil es habitual redondear las dimensiones a múltiplos de 5cm, por lo que adoptamos como cámara de mezcla rápida para llevar a cabo la coagulación, un cubo de lado 1,55m.

El diámetro máximo del agitador a colocar coincidirá con el lado, es decir  $\varnothing < 1,55\text{m}$ . El diámetro del agitador se recomienda que sea al menos un tercio del lado de la cámara de

mezcla rápida, por tanto deberá ser  $\varnothing \geq 1,55/3 \geq 0,517\text{m}$ . En resumen, se escogerá un agitador tal que  $0,52\text{m} \leq \varnothing < 1,55\text{m}$ .

Escogemos el modelo **VRG 3061S** de *Dosapro Milton Roy* o equivalente, cuyas características se describen en el siguiente gráfico:



Se trata de un agitador rápido tipo hélice de tres palas y paso cuadrado.

Calculamos el número de Reynolds para ver el tipo de régimen hidráulico, según la expresión:

$$\text{Re} = \frac{D^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}$$

Donde:

D (m) = diámetro de la paleta del agitador, en este caso 0,6m

n = revoluciones por segundo del agitador, en este caso 99rpm/60 = 1,7rps

$\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) = densidad del fluido, en este caso 1020kg/m<sup>3</sup>

$\mu$  (N·s/m<sup>2</sup>) = viscosidad dinámica del fluido, en este caso 0,00107 N·s/m<sup>2</sup>

Sustituyendo resulta  $Re = 566243 > 10000$ , por lo que el régimen es turbulento.

Para obtener la potencia mínima necesaria aplicamos la expresión de Ruston para régimen turbulento:

$$P = k \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5$$

Donde:

P (W) = potencia

k = constante tabulada en función del tipo de impulsor y del tipo de régimen (laminar/turbulento). En este caso, para régimen turbulento e impulsor tipo hélice, paso cuadrado y 3 palas, se tiene que  $k=0,32$

$\rho$ , n, D descritos anteriormente.

Sustituyendo resulta un valor de  $P = 114,0W$ . La potencia del agitador seleccionado es de 1100W, luego es válido.

En la siguiente tabla se resumen los cálculos realizados:

MEZCLA RÁPIDA		
$\theta$	4 min	
Q	1250 m <sup>3</sup> /d	
Número <sub>coaguladores</sub>	1 uds	
V <sub>coagulador</sub>	3,47 m <sup>3</sup>	
Reactor cúbico		
L	1,514 m	
L <sub>adoptado</sub>	1,55 m	
D <sub>agitadorMIN</sub>	0,517 m	
D <sub>agitadorMAX</sub>	1,550 m	
$\rho$	1020 kg/m <sup>3</sup>	
$\mu$	0,00107 N·s/m <sup>2</sup>	
Modelo <sub>agitador</sub>	VRG 3061S	Milton Roy
D <sub>agitador</sub>	0,6 m	agitador válido
n	99 r.p.m.	
n	1,7 r.p.s.	
Re	566243	turbulento
k	0,32	Hélice paso cuadrado, 3 palas
P <sub>min</sub>	114,0 W	Ruston
P <sub>agitador</sub>	1100 W	agitador válido

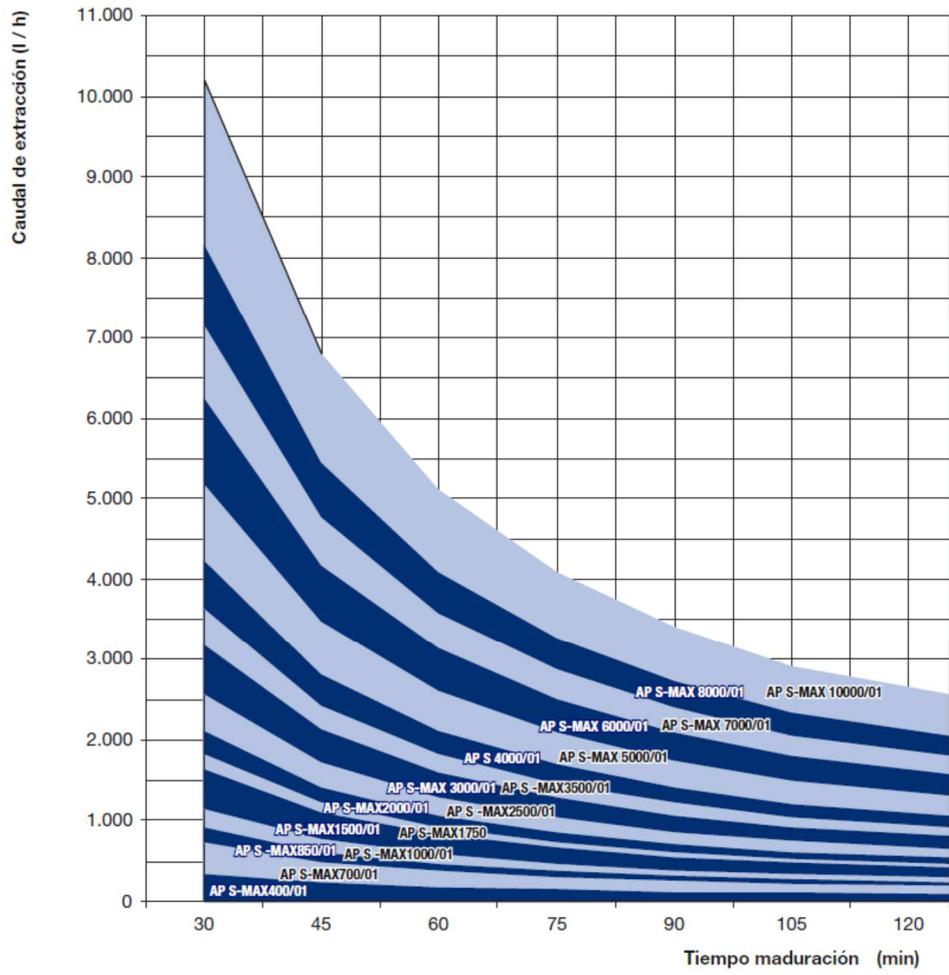
#### ➤ Predimensionamiento del equipo dosificador de Floculante

Como coadyuvante a la coagulación o floculante, es habitual utilizar un polímero sintético orgánico o **polielectrolito**. La elección del polielectrolito más adecuado (catiónico, aniónico o no iónico) y su dosis deberá obtenerse previamente mediante un ensayo Jar-Test. Hemos supuesto un valor razonable de la dosis media de 0,5mg/l de producto puro, y un valor de la dosis máxima de 1,5mg/l.

Para dimensionar los equipos adecuados debemos tener en cuenta que el producto comercial se suministra habitualmente en polvo en sacos y que previamente deberemos preparar una disolución para poder efectuar una dosificación volumétrica del producto diluido.

La concentración de producto una vez diluido será del 0,1% en peso, que equivale aproximadamente a una concentración de 1gr/l, teniendo en cuenta que la densidad del producto diluido es del orden de 1000gr/l. Las dosis media y máxima en volumen de producto diluido serán respectivamente de  $0,5\text{gr/m}^3 \cdot 1/1 \text{ l/gr} = 0,5\text{l/m}^3$  y  $1,5\text{gr/m}^3 \cdot 1/1 \text{ l/gr} = 1,5\text{l/m}^3$ .

El **equipo automático de preparación de polielectrolito diluido** lo vamos a dimensionar para la totalidad del caudal de diseño de la planta ( $Q_m=2.500\text{m}^3/\text{d}$ ), poniéndonos en la situación de dosis máxima. Por tanto el caudal horario necesario de preparación de polielectrolito diluido se obtiene  $Q = 1,5\text{l/m}^3 \cdot 2500\text{m}^3/\text{d} \cdot 1/24 \text{ d/h} = 156,25 \text{ l/h}$ . Dentro de la gama de equipos de preparación de polielectrolito de la gama Polypack de *Dosapro Milton Roy* escogemos el modelo **APS MAX-400** que tiene una capacidad máxima de 400 l/h.



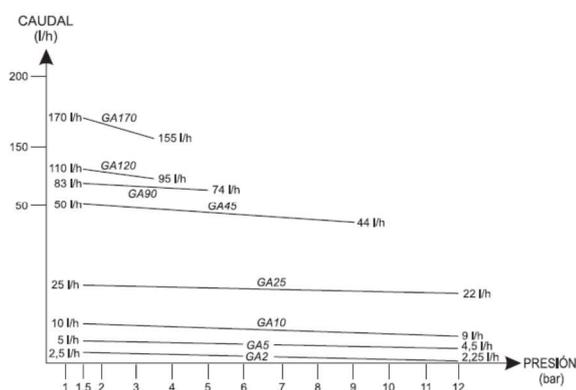
La **bombas dosificadoras** las vamos a dimensionar por el contrario para una sola línea de tratamiento terciario ( $Q_m=1.250m^3/d$ ). Puesto que el factor punta de caudal es igual a 2, parece razonable duplicar el número de bombas de manera que trabaje la primera normalmente y entre la segunda a funcionar cuando se supera el caudal medio. Nos pondremos además en situación de dosis máxima de reactivo. Por tanto cada bomba deberá ser capaz de dosificar un caudal  $Q = 1250m^3/d \cdot 1/24 d/h \cdot 1,5 l/m^3 = 78,1 l/h$ . Dentro de la gama de bombas dosificadoras de membrana de la gama GA de *Dosapro Milton Roy* escogemos el modelo superior GA90 que tiene una capacidad máxima de 90l/h.



Modelo	Caudal máxi (l/h) (1)(2)	Presión máxi (bars)	Carrera (mm)	Cadencia (cps/mn) (2)	Velocidad motor (rpm) <sup>(2)</sup>	Potencia (W)	
						Mono	Tri
GA 2	2,5	12	4	36	1500	180	90
GA 5	5	12	4	72	3000	180	60
GA 10	10	12	4	144	3000	180	60
GA 25	25	12	6	72	3000	180	60
GA 45	50	10	6	144	3000	180	60
GA 90	83	5	6	72	3000	180	60
GA 120	110	3,5	4	144	3000	180	60
GA 170	170	3,5	6	144	3000	180	60

(1) Caudal máximo a 1.5 bar

(2) Valores con motor a 50 HZ



Serán necesarias por cada línea de tratamiento terciario dos bombas activas modelo GA90 más una tercera en reserva. En la siguiente tabla se detallan los cálculos efectuados.

## DOSIFICACIÓN DEL FLOCULANTE

### CONSUMO DE REACTIVO

#### 1. Reactivo

- <i>Naturaleza:</i>	Polielectrolito
- <i>Dosis de producto puro</i>	
Media (mg/l)	0,5
Máxima (mg/l)	1,5
- <i>Dilución de polielectrolito</i>	
Salida de preparación	
En peso (%)	0,1
En Conc. (Kg poli/m3)	1

#### 2. Consumos producto químico comercial

- <i>Caudales de diseño de agua a tratar:</i>	Inicial	Futura
$Q_m$ (m <sup>3</sup> /h)	52,08	104,17
fp	2,00	2,00
$Q_p$ (m <sup>3</sup> /h)	104,17	208,33
- <i>Másicos:</i>		
Diarios (Kg/d/EDAR)		
A d media (Kg/ d / EDAR)	0,63	1,25
A d máxima (Kg/ d / EDAR)	1,88	3,75
Horarios (Kg/h/EDAR)		
A Q medio y d media (Kg/ h / EDAR)	0,03	0,05
A Q punta y d máxima(Kg/ h / EDAR)	0,16	0,31
- <i>Volúmicos:</i>		
Diarios (l/d/EDAR)		
A d media (l/ d / EDAR)	625,00	1250,00
A d máxima (l/ d / EDAR)	1875,00	3750,00
Horarios (l/h/EDAR)		
A Q medio y d media (l/ h / EDAR)	26,04	52,08
A Q punta y d máxima(l/ h / EDAR)	156,25	312,50

#### 3. Equipos de preparación solución

- <i>Tipo</i>	Equipo automático de preparación
- <i>Nº Unidades / EDAR</i>	1,00      1,00
- <i>Caudal máximo (l/h/ud):</i>	400,00      400,00
- <i>Modelo escogido (Milton Roy)</i>	APS-MAX-400-SS

#### 4. Equipos de dosificación

- <i>Tipo</i>	Bomba dosificadora
- <i>Nº Unidades</i>	
Funcionamiento (uds/ EDAR)	2,00      4,00
Reserva (uds/ EDAR)	1,00      2,00
Total (uds/EDAR)	3,00      6,00
Caudal máximo (l/h/ud):	78,1      78,1
- <i>Modelo escogido (Milton Roy)</i>	GA-90      GA-90

### ➤ Predimensionamiento del Floculador

El diseño hidráulico adoptado es muy similar al del coagulador. Partiendo de un tiempo de retención hidráulico de  $\theta = 30$  minutos y de un caudal a tratar de  $1.250\text{m}^3/\text{d}$  obtenemos un volumen mínimo de floculador de:

$$V(\text{m}^3) = Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \cdot \theta(\text{s}) = \left( \frac{1250}{24 \cdot 60 \cdot 60} \right) \cdot (30 \cdot 60) = 26,04\text{m}^3$$

Puesto que el factor punta de diseño es  $f_p=2$ , a caudal punta el tiempo de retención será de 15 minutos. Se han adoptado estos tiempos de retención razonables de manera que la obra civil quede del lado de la seguridad, como se ha indicado anteriormente estos tiempos deberán confirmarse con un ensayo Jar-Test.

Diseñaremos un coagulador de obra civil perfectamente cúbico, por lo que el lado mínimo del cubo será:

$$L(\text{m}) = \sqrt[3]{V(\text{m}^3)} = \sqrt[3]{26,04} = 2,96\text{m}$$

En obra civil es habitual redondear las dimensiones a múltiplos de 5cm, por lo que adoptamos como cámara de mezcla lenta para llevar a cabo la floculación, un cubo de lado 3,0m, obteniendo un volumen real de  $27\text{m}^3$ .

Se define gradiente de velocidad medio  $G$ , según la expresión de Camp y Stein:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}}$$

Donde:

$P$  (W) = potencia requerida

$G$  ( $\text{s}^{-1}$ ) = gradiente de velocidad medio

$\mu$  ( $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ) = viscosidad dinámica del fluido, en este caso  $0,00107 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$

$V$  ( $\text{m}^3$ ) = volumen del floculador

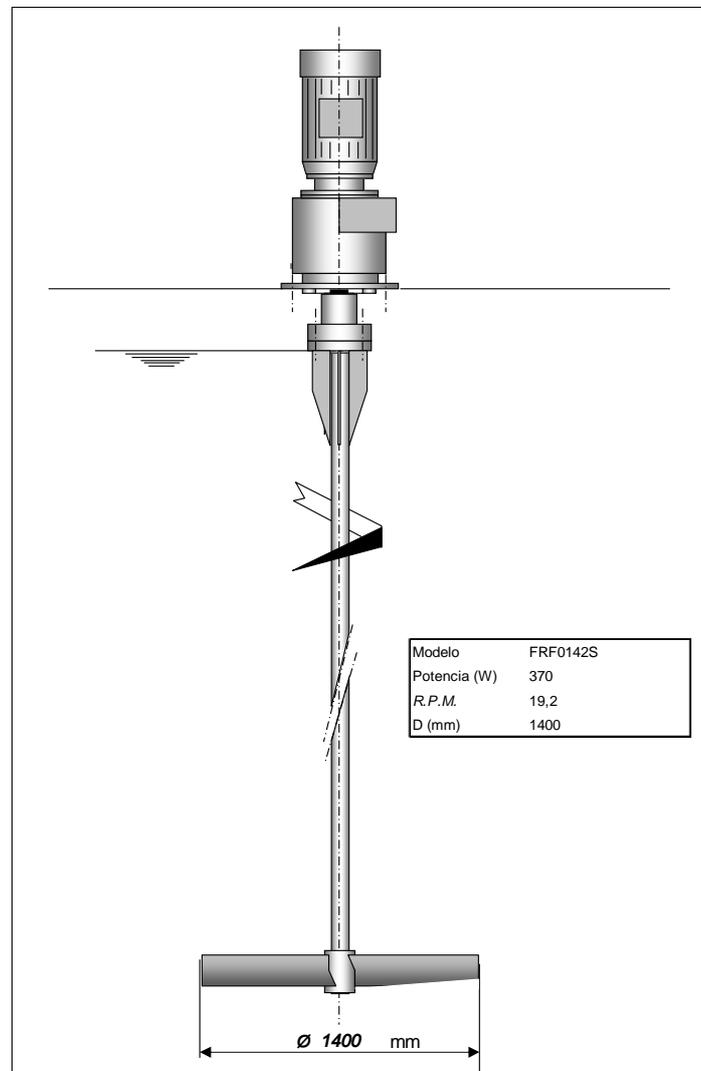
Se ha supuesto un valor razonable del valor del gradiente de  $G = 100 \text{ s}^{-1}$ , que deberá confirmarse en el ensayo Jar-Test.

De la expresión de Camp-Stein del gradiente de velocidad medio  $G$ , podemos despejar la potencia requerida  $P$ :

$$P = G^2 \cdot \mu \cdot V$$

Sustituyendo con  $G = 100 \text{ s}^{-1}$  y  $V = 27\text{m}^3$ , se obtiene un potencia mínima requerida  $P_{\text{requerida}}$  de 289W.

Escogemos el modelo **FRF 0142S** de *Dosapro Milton Roy* o equivalente, cuyas características se describen en el siguiente gráfico:



Se trata de un agitador rápido tipo hélice de tres palas. Su potencia, de 370W es superior a la mínima requerida por cálculo.

Realizaremos por último la comprobación de que el área del agitador es superior al área requerida por cálculo.

Se define potencia requerida  $P$ , según la expresión de Camp y Stein:

$$P = \frac{C_D \cdot A \cdot \rho \cdot v^3}{2}$$

Donde:

P (W) = potencia requerida

$C_D$  = coeficiente de arrastre

A ( $m^2$ ) = área de las paletas

$\rho$  ( $kg/m^3$ ) = densidad del fluido

v ( $m/s$ ) = velocidad relativa paleta agua

De la expresión de Camp-Stein de la potencia P, podemos despejar el área de las paletas requerida  $A_{requerida}$ :

$$A_{requerida} = \frac{2 \cdot P_{requerida}}{C_D \cdot \rho \cdot v^3}$$

Donde:

$P_{requerida}$  (W) = 289

$C_D$  = coeficiente de arrastre, en esta caso 0,65 por tratarse de un impulsor de hélice

$\rho$  ( $kg/m^3$ ) = densidad del fluido, en este caso  $1020 kg/m^3$

v ( $m/s$ ) = velocidad relativa paleta agua =  $0,75 \cdot \pi \cdot D_{agitador} \cdot n$

$D_{agitador}$  (m) = 1,4

n = 19,2/60 rps

Sustituyendo se tiene que  $A_{requerida} = 0,74 m^2$ . El área del floculador se puede obtener simplificada mediante la expresión:

$$A_{floculador} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{D_{floc}^2}{4}$$

En este caso  $D_{floc} = 1,4 m$ . Sustituyendo se tiene que  $A_{floculador} = 0,77 m^2 > A_{requerida}$ , luego el diseño es válido.

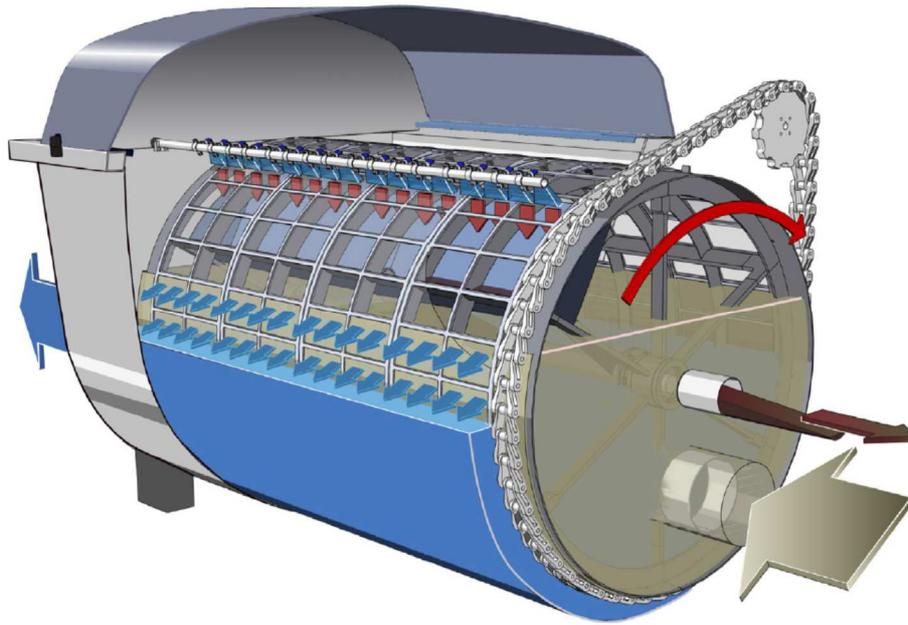
En la siguiente tabla se resumen los cálculos realizados:

MEZCLA LENTA		
DATOS		
$\rho$	1020	kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	0,00107	N·s/m <sup>2</sup>
$\theta$	30	min
G	100	s <sup>-1</sup>
DISEÑO FLOCULADOR		
Q	1250	m <sup>3</sup> /d
V <sub>floculador</sub>	26,04	m <sup>3</sup>
Uds en serie	1	uds
V <sub>unitario</sub>	26,04	m <sup>3</sup>
Reactor cúbico		
L	2,96	m
L <sub>adoptado</sub>	3,00	m
V <sub>adoptado</sub>	27,00	m <sup>3</sup>
P <sub>unitaria</sub>	289	W
Modelo <sub>floculador</sub>	FRF0142S	Milton Roy
P <sub>adoptada</sub>	370	W agitador válido
C <sub>D</sub>	0,65	0,65 para hélices
Ø	1,4	m
n	19,2	rpm
A <sub>requerida</sub>	0,74	m <sup>2</sup>
A <sub>floculador</sub>	0,77	m <sup>2</sup> agitador válido

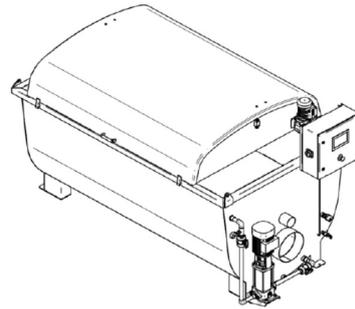
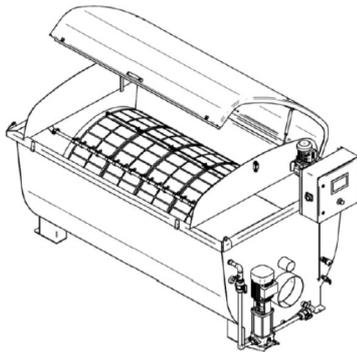
## Filtración

El proceso de filtración tendrá lugar mediante un filtro de tambor con tela filtrante de 10µm de paso, por tanto es una filtración convencional que no requiere someter a presión el fluido y puede realizarse en lámina libre con el consiguiente ahorro energético. Como resultado del predimensionamiento debemos escoger un modelo dentro de la gama disponible de los diferentes fabricantes que tienen este tipo de filtros en catálogo. Es este caso hemos optado por escoger dentro de la gama de filtros *Dynadrum* del fabricante *Nordic Water*.

El filtro está formado fundamentalmente por un depósito de acero inoxidable en cuyo interior se aloja un tambor cilíndrico de eje horizontal que aloja en su superficie una tela filtrante sintética intercambiable, en este caso de 10µm de paso. El agua bruta entra al interior del cilindro, pasa a través de la tela y sale al exterior del cilindro. Un labio vertedero a la salida fija un calado mínimo dentro del filtro y por tanto una superficie filtrante mínima permanentemente sumergida. Para que la tela se colmate por igual en toda el área del cilindro, el tambor gira a una velocidad reducida mediante un motor de pequeña potencia. El nivel dentro del filtro se irá incrementando conforme se vaya colmatando la tela, hasta alcanzar un nivel máximo dado. El sensor de nivel dará la orden de marcha a la bomba de contralavado que inyecta agua a presión cerca de la generatriz superior del tambor, mediante unos difusores situados junto al tambor por la parte exterior. El agua de contralavado es recogida por una tolva y extraída por una conducción independiente.



En las siguientes tablas se detallan las especificaciones de la gama *Dynadrum*.

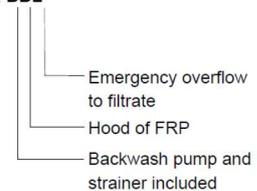


Filter model / Data	TDD1616	TDD1620	TDD1624	TDD1628	TDD1632	TDD1636	TDD1640
Dimensional drawing nr.	56002	50002	51002	52002	53002	54002	55002
No. of sections	4	5	6	7	8	9	10
No. of filter panels	16	20	24	28	32	36	40
Effective filter area (m <sup>2</sup> )	6,4	8,0	9,6	11,2	12,8	14,4	16,0
Submerged effective filter area (m <sup>2</sup> )	4,2	5,2	6,2	7,3	8,3	9,4	10,4
Backwash flow at 7 bar (intermittent, m <sup>3</sup> /h)	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1	9,0
No. of backwash nozzles (pcs)	20	25	30	35	40	45	50
Installed pump motor power (kW)	2	2,2	2,2	2,2	3,0	3,0	3,0
Pump model (Grundfos)	CR3-17	CR5-14	CR5-14	CR5-16	CR5-18	CR10-8	CR10-9
Backwash strainer model (Amiad)	R40						
Weight dry (kg)	1030	1190	1350	1510	1670	1830	1990
Weight in operation (kg)	3830	4690	5550	6410	7270	8130	8990

General	
Drum diameter (m)	1,6
Dimensions of filter panels (LxW, mm)	1200x400
Drive motor type	SEW SA47
Drive motor effect (kW)	0,37
Drive chain type	NH78 Acetal w. SS316 pins
Backwash nozzles type	ceramic
Drum slide bearings	Composite polymer
Drum seal material	Wear resistant rubber

**Options:**

**TDD16XX-BBL**

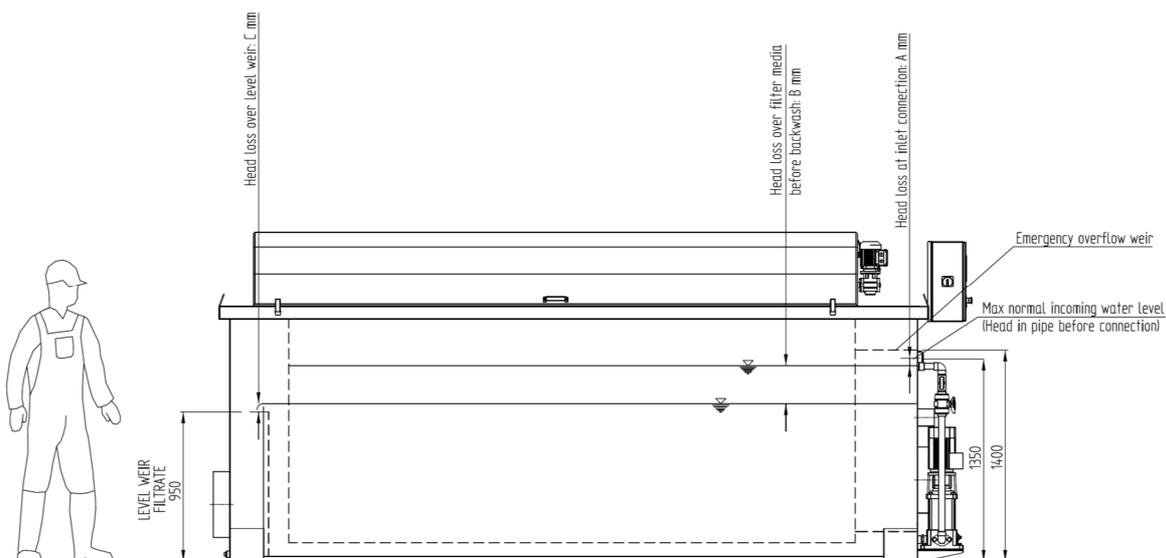


Stainless steel quality and filter media type according to order

El parámetro fundamental de diseño del filtro es la velocidad de paso del fluido por la tela filtrante, que depende fundamentalmente de la carga de sólidos suspendidos esperada. En este caso, puesto que hay una etapa de coagulación floculación previa, la concentración de sólidos suspendidos en el agua puede llegar a ser del orden de 35mg/l, por lo que hemos adoptado un valor conservador de la velocidad de paso por filtro de **7m/h**.

Teniendo en cuenta que vamos a colocar un equipo de filtración por cada una de las dos líneas de tratamiento terciario, el filtro debe tratar un caudal medio de  $1.250\text{m}^3/\text{d} = 52,08\text{m}^3/\text{h}$  y un caudal punta de  $104,17\text{m}^3/\text{h}$  ( $f_p=2$ ). Si dividimos estos caudales entre un valor de velocidad de paso de 7m/h, obtenemos unas superficies filtrantes necesarias de  $7,44\text{m}^2$  y  $14,88\text{m}^2$  respectivamente. Optaremos por tanto por el modelo de mayor tamaño de la gama *Dynadrum*, **TDD1640**, que tiene un área de filtración efectiva de  $16,0\text{m}^2$  de los cuales  $10,4\text{m}^2$  están permanentemente sumergidos.

Como se puede apreciar en el siguiente esquema el filtro dispone de un labio vertedero a la salida situado a 0,95m de la base que fija una calado mínimo aguas arriba dentro del filtro y por tanto una superficie mínima de filtración permanentemente sumergida. Conforme el filtro se va colmatando (mayor pérdida de carga) o bien conforme aumenta el caudal o ambos, la lámina de agua en el interior del filtro se va incrementando hasta un máximo dado a partir del cual el sensor de nivel da la orden de arranque a la bomba de retrolavado. En este caso la altura máxima está situada a 1,3m de la base por lo que la lámina de agua puede tener un recorrido de 35cm y la superficie filtrante oscilar entre  $10,4\text{-}16,0\text{m}^2$ . Por esta razón habitualmente se adopta el valor del área efectiva de filtración para el diseño del filtro, en este caso de  $16\text{m}^2$ , superior a la necesaria por cálculo.



El filtro dispone de una conducción de alivio en caso de rebose por encima del calado máximo antes mencionado.

## Desinfección Ultravioleta

El caudal a desinfectar es el correspondiente a una de las dos líneas de tratamiento terciario, por tanto un caudal medio de  $1.250\text{m}^3/\text{d} = 52,08\text{m}^3/\text{h}$  y un caudal punta de  $104,17\text{m}^3/\text{h}$  ( $f_p=2$ ). Al igual que en el caso anterior debemos escoger un modelo adecuado dentro de la gama ofertada por los fabricantes del sector. En este caso se ha efectuado una consulta al fabricante *Trojan* que recomienda para este rango de caudales un reactor en tubería dentro de su gama *TrojanUVFit*. Esta gama se caracteriza por tener un diseño muy compacto eficiente energéticamente y un sistema de limpieza automática de lámparas.



En la siguiente tabla se detallan las especificaciones técnicas de la gama *TrojanUVFit*.

Especificaciones del sistema						
Modelo	04AL20	08AL30	18AL40	32AL50	72AL75	D72AL75
Número de lámparas	4	8	18	32	72	144
Tipo de lámpara	De amalgama, de alta eficacia, alta emisión UV y baja presión					
Limpieza de fundas	Sistema de limpieza automática					
Reactancia	Salida variable, electrónica (del 60 al 100% de potencia)					
<b>Cámara del reactor</b>						
Material	Acero inoxidable 316L					
Tamaño de brida estándar (ANSI/DIN), mm	150	200	250	300	500	500
Orientación de las bridas de salida	Disponible en múltiples orientaciones (posición del reloj a las 3, 6, 9 o 12)					
Longitud aprox. del reactor, mm	2032	2032	2032	2286	2286	3861
Máxima presión operativa, bar	10	10	10	6.8	4.5	4.5
Peso del reactor en seco, libras kg	49	95	181	726	953	1678
Peso del reactor con agua, libras kg	105	218	398	998	1678	3265
<b>Centro de distribución de potencia</b>						
Suministro eléctrico	240 VAC, monofásico, 2 cables + GND (tierra), 50/60 Hz			480Y/277 V, trifásico, 4 cables + GND (tierra), 60 Hz		
Dimensiones, mm	610 x 610 x 254	762 x 610 x 254	914 x 1219 x 254	1016 x 1981 x 457	1219 x 2184 x 610	2438 x 2184 x 610
Materiales estructurales disponibles	Acero al carbono pintado Acero inoxidable 304					
Tipo de panel	NEMA 3R o 4X			NEMA 12 o 4X		
<b>Centro de control del sistema</b>						
Controlador	Microprocesador			Basado en PLC		
Ubicación	Incorporado en el centro de distribución de potencia (PDC)			Panel independiente		
Suministro eléctrico	No aplicable (véase PDC)			120 V, monofásico, 2 cables + GND (tierra), 60Hz		
Tipo de panel	No aplicable (véase PDC)			NEMA 12 o 4X		
Típicas salidas suministradas	Estado del reactor, alarmas normales y comunicación SCADA					

El dimensionamiento del equipo se ha efectuado de acuerdo a las siguientes especificaciones:

- División del caudal en dos equipos de manera que quede siempre uno en servicio cuando se esté efectuando el mantenimiento del otro. Por tanto caudal medio por reactor  $Q_m=26,04\text{m}^3/\text{h}$ , caudal punta por reactor  $Q_p=52,08\text{m}^3/\text{h}$
- Transmitancia mínima 60%
- Concentración de sólidos suspendidos máxima de 10mg/l
- Coliformes fecales a la salida 100UCF/100ml.

Por consulta directa con el fabricante obtenemos que la dosis UV necesaria es de  $20\text{mJ}/\text{cm}^2$  ó  $20000\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ , a suministrar con cuatro lámparas por reactor del modelo **04AL20**, con una potencia media de 0,62kW por reactor.

#### 4. Implantación en la E.D.A.R. de Benissa - Senija

La E.D.A.R. de Benissa – Senija fue puesta en servicio en 2002 y su línea de agua está formada por:

- Pretratamiento formado por reja de gruesos, tamiz de finos y desarenador desengrasador

- Tratamiento biológico de oxidación total, con eliminación biológica de nitrógeno (20% de zona anóxica). Reactor de tipo flujo pistón y decantador secundario.
- Desinfección con hipoclorito en canal de cloración.

En 2010 se construye un bombeo de reutilización en las inmediaciones del canal de cloración. Mediante una conducción de aspiración el bombeo toma las aguas de la parte final del canal de cloración y las envía a través de una impulsión de PEAD hasta un depósito de regulación situado en el núcleo urbano de Benissa a cota 273, desde el que se distribuye el agua. Se instaló también una sonda de turbidez en el canal de cloración que actúa sobre el bombeo evitando su arranque si las condiciones de turbidez superan un valor dado.

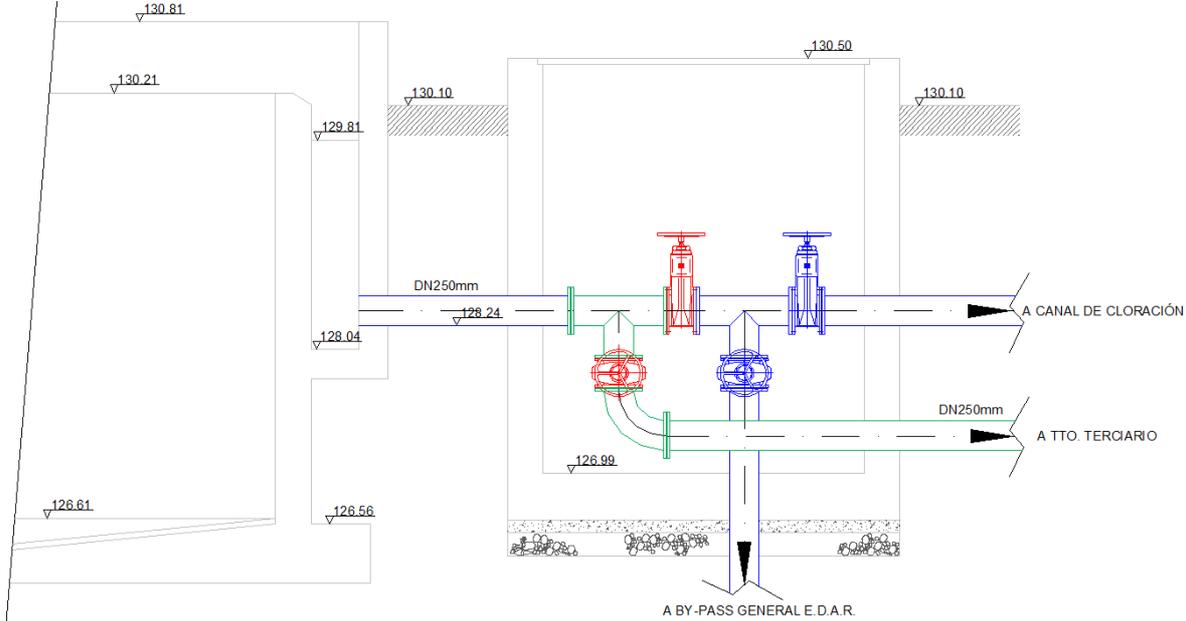
La ubicación óptima del tratamiento terciario propuesto debe estar en torno al canal de cloración y al bombeo de reutilización, se propone por tanto ampliar la parcela adquiriendo los terrenos de cultivo limítrofes a la E.D.A.R. por su parte Norte. La superficie necesaria sería de 500m<sup>2</sup> aproximadamente.



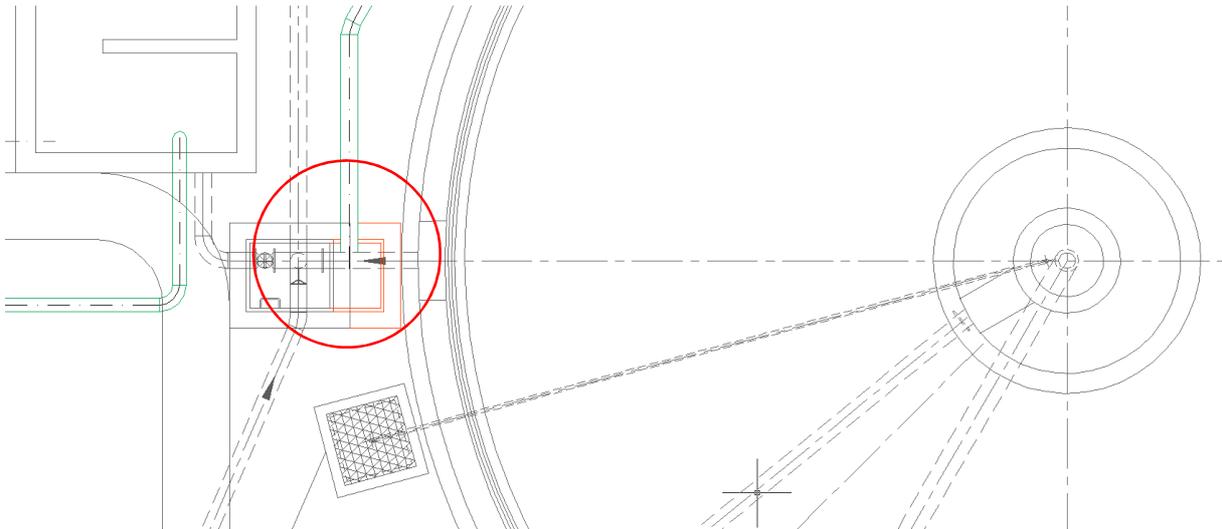
Con el fin de no alterar la aspiración del bombeo de reutilización existente se propone desviar las aguas desde la conducción existente entre el decantador secundario y el canal de cloración, hacerlas pasar por el tratamiento terciario y entregarlas al inicio del canal de cloración. De esta manera no es necesario alterar el bombeo de reutilización y el volumen del canal puede aportar una pequeña capacidad de regulación. Además, la afección al proceso durante la construcción será mínima, pues únicamente será necesario un corte para instalar una derivación en la conducción existente desde el decantador hasta el canal de cloración.

El punto adecuado para colocar esta derivación es inmediatamente aguas arriba de la derivación existente para by-pass de cloración, para ello se demolerá parcialmente la arqueta existente y se ampliará para albergar la nueva derivación y las dos nuevas válvulas de corte necesarias para su regulación. El sistema permite el envío de caudales a voluntad al nuevo tratamiento terciario, al canal de cloración directamente sin pasar por el terciario en caso de necesidad de mantenimiento de éste, o bien directamente a salida de la E.D.A.R. mediante el by-pass existente.

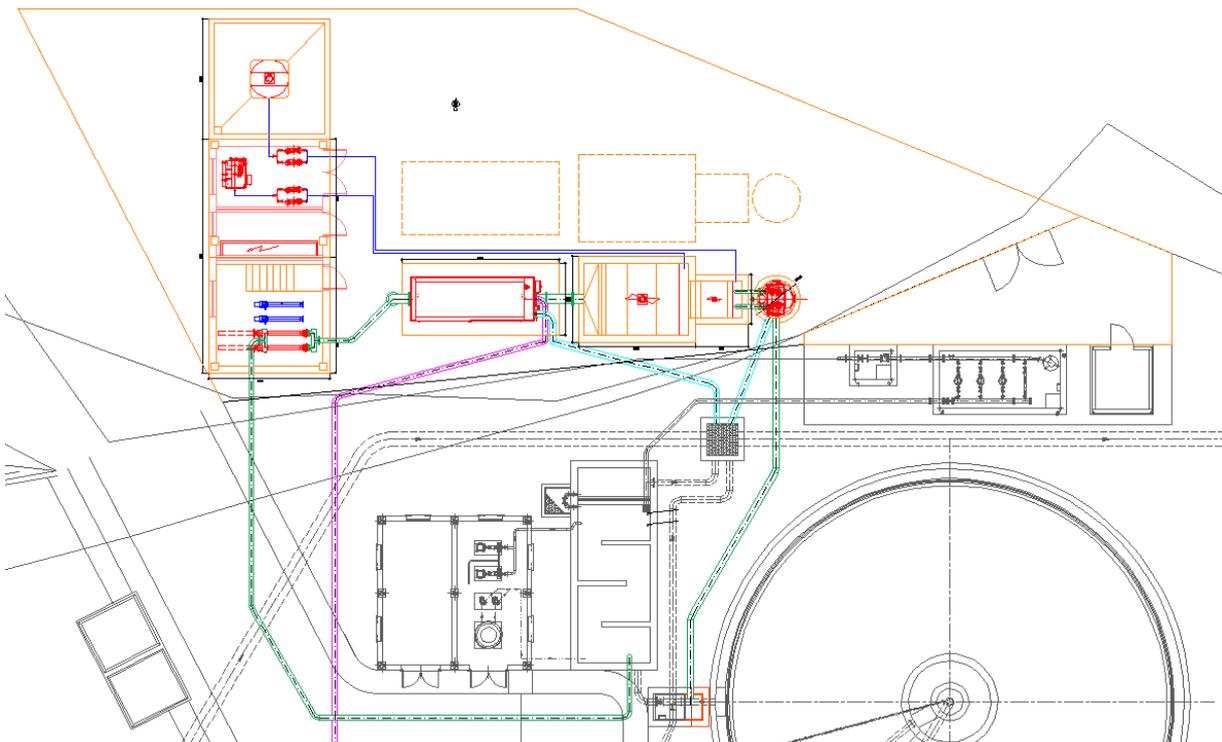
En el siguiente esquema se puede apreciar en color azul las conducciones y válvulas existentes; en color verde la nueva derivación y tubería a instalar; por último en color rojo las nuevas válvulas de corte a colocar.



En planta la arqueta está situada cerca del decantador secundario pero hay espacio suficiente para colocar la nueva derivación y ampliar la arqueta.

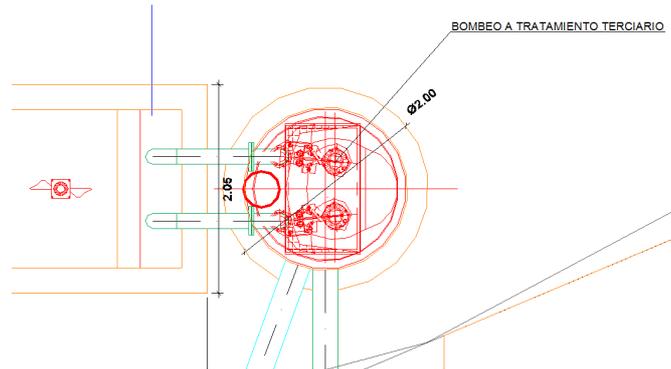
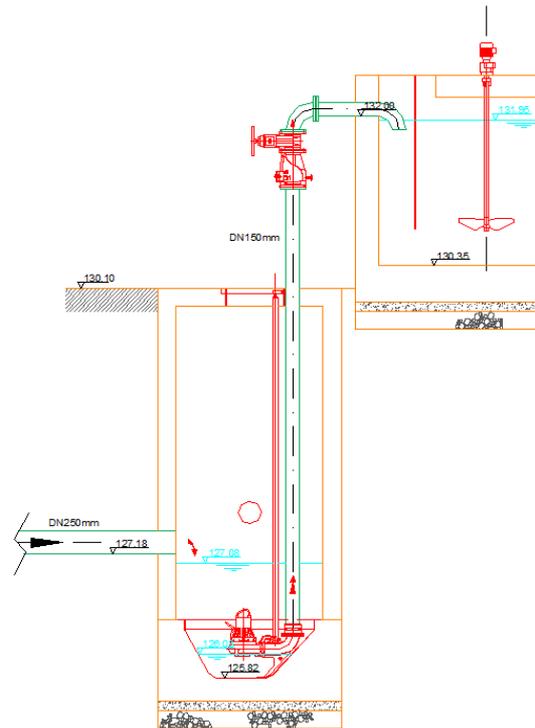


Desde este punto de derivación se conducirán las aguas desde el decantador secundario hasta el tratamiento terciario mediante una tubería enterrada  $\varnothing 250\text{mm}$  de acero galvanizado. La ubicación escogida para el tratamiento terciario es la parcela agrícola situada al Norte de la E.D.A.R., como se ha comentado anteriormente. En la siguiente imagen se muestra la propuesta de ubicación en planta del tratamiento terciario. En color verde podemos observar las tuberías que forman la línea de agua, que captura las aguas inmediatamente aguas abajo del decantador y las entrega al canal de cloración después de pasar por el tratamiento terciario. Podemos apreciar también el bombeo de reutilización existente en la parte derecha de la imagen, que aspira las aguas del punto final del canal de cloración. En color magenta podemos apreciar la conducción de rechazo del contralavado del filtro y en color ciano las conducciones de alivio al by-pass general de la E.D.A.R..

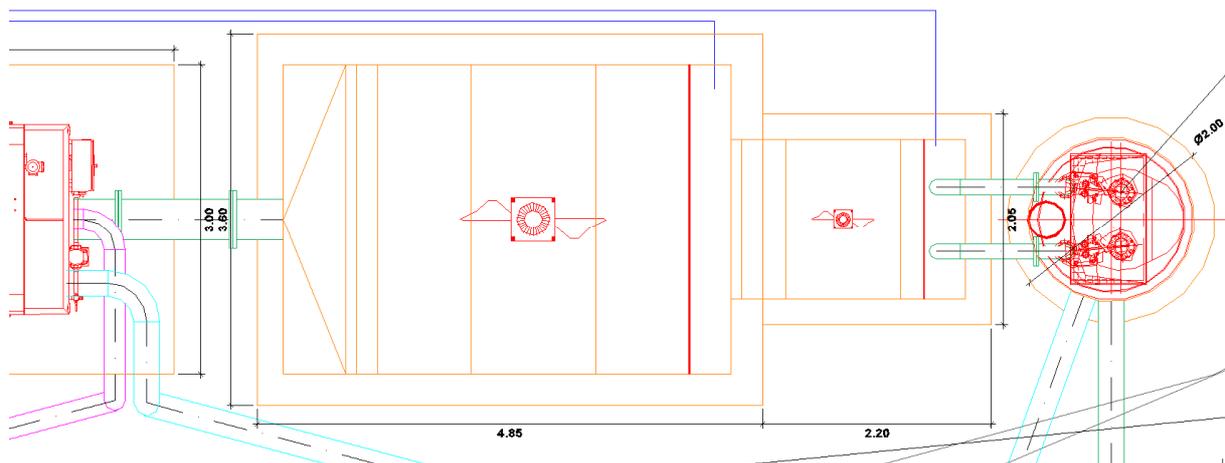
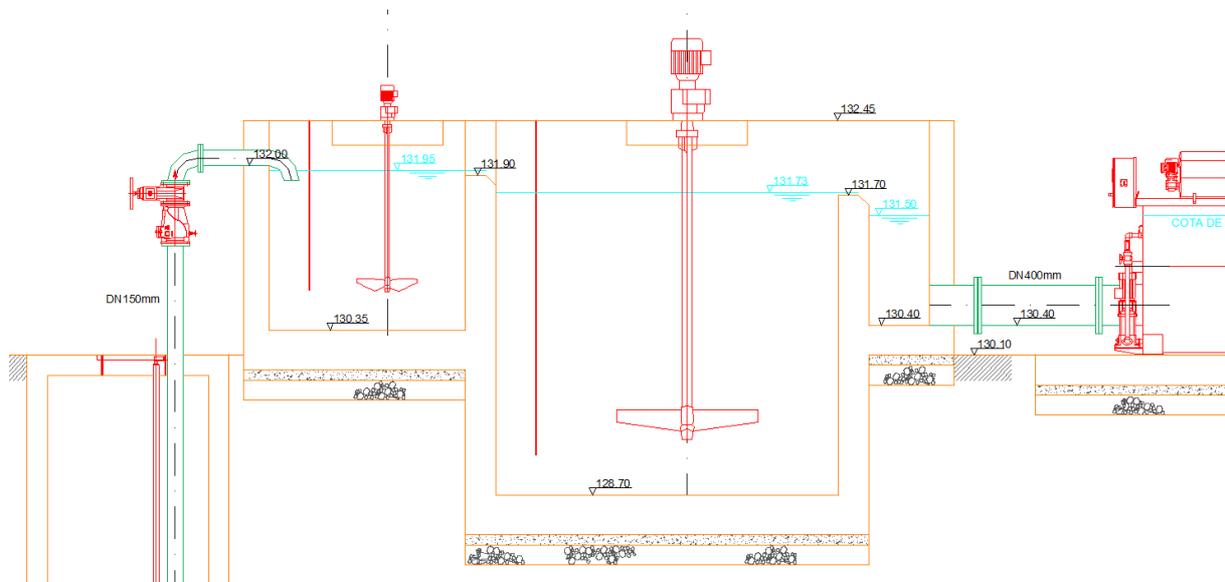


La línea de agua del tratamiento terciario está formada por diversos elementos en los que se producen pérdidas de carga hidráulicas. La energía hidráulica disponible coincide aproximadamente con la diferencia de altura geométrica existente entre la cota de base del canal de recogida de agua clarificada del decantador secundario, + 129,81, y la cota del vertedero del canal de cloración +129,50, y resulta insuficiente para superar las pérdidas hidráulicas de energía en todo el proceso de tratamiento terciario. Por esta razón es necesario implantar un bombeo en algún punto de la línea de agua del tratamiento terciario; el lugar óptimo para su ubicación está situado en cabecera del tratamiento, si se desplazara aguas abajo de cualquier otra etapa del tratamiento daría lugar a excavaciones mayores, una obra civil mucho más costosa y dificultaría o imposibilitaría además los vaciados controlados y alivios por gravedad de los distintos elementos del proceso.

Como se ha indicado anteriormente, la primera fase de implantación del tratamiento terciario se propone tenga lugar para la mitad del caudal de diseño de la planta, dejando espacio para la ampliación futura a una línea gemela de tratamiento. Por tanto la línea de agua se iniciará con un bombeo dimensionado para un caudal medio de  $1.250\text{m}^3/\text{d}$  ( $52,08\text{m}^3/\text{h}$ ), y un caudal punta de  $104,17\text{m}^3/\text{h}$  ( $f_p=2$ ). El bombeo estará formado por dos bombas activas con tubería de impulsión propia, diseñada para cada una de ellas para impulsar la mitad del caudal punta,  $14,5\text{ts}/\text{s}$ ; ambas estarán dotadas de un variador de frecuencia para igualar en la medida de lo posible el caudal impulsado con el caudal de entrada. La altura manométrica a salvar en la situación más desfavorable es de  $6,10\text{mca}$ . El tipo de bomba propuesto es sumergible de aguas residuales con fondo de pozo prefabricado y cuerpo del pozo cilíndrico; la potencia de cada bomba es de  $3,1\text{kw}$ . Cada impulsión se construirá con tubería de acero galvanizado  $\varnothing 150\text{mm}$  e incluirá una válvula de compuerta y una válvula de retención. El pozo de bombeo está conectado por arriba al by-pass general de la planta para alivio en caso de fallo del bombeo. En las siguientes imágenes podemos apreciar una sección y la planta del bombeo propuesto.



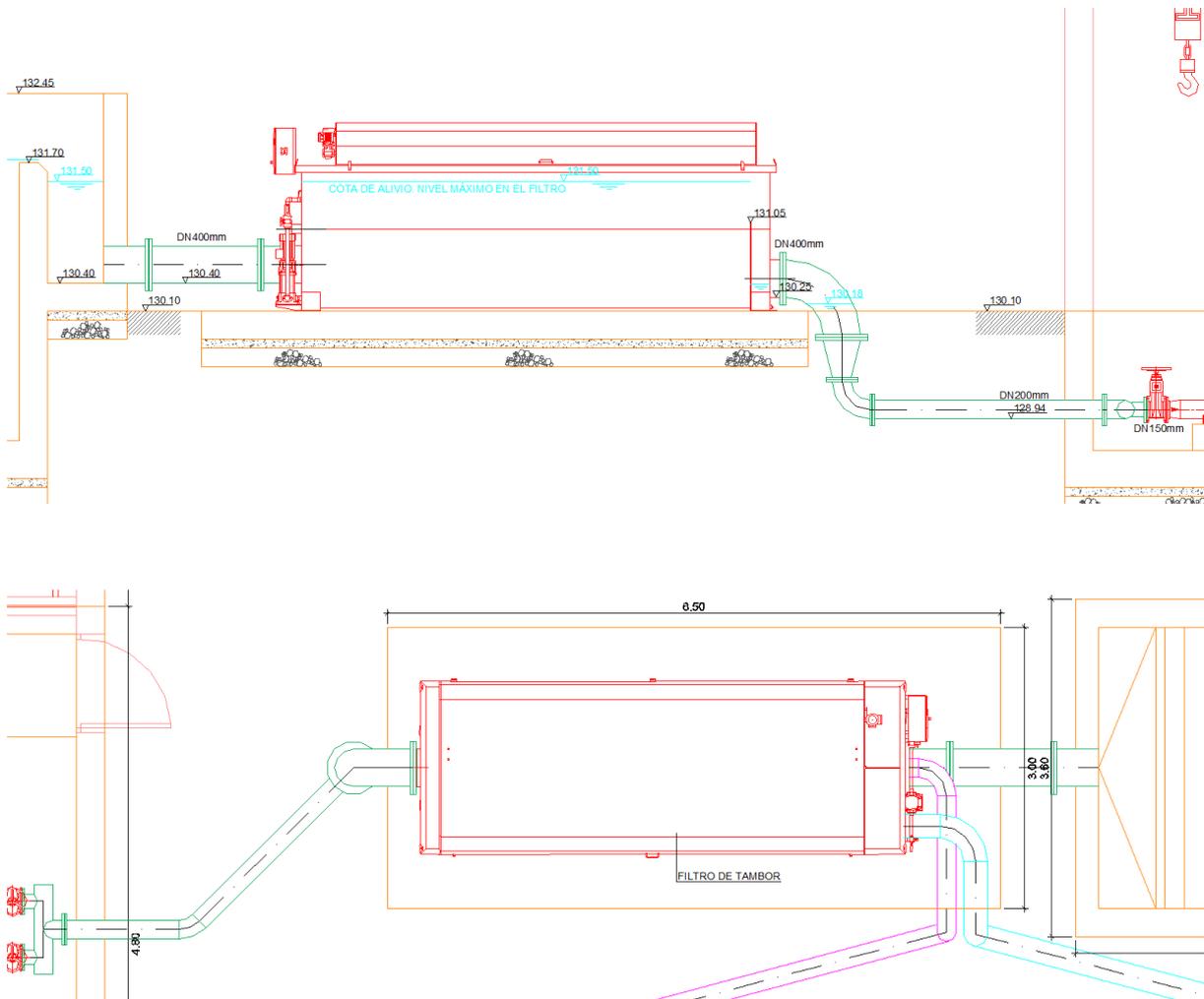
El bombeo eleva las aguas hasta la primera etapa del tratamiento terciario en la que se produce la coagulación – floculación de las partículas coloidales del agua. Se construirá una estructura semienterrada de hormigón armado dividida en dos cámaras, en la primera cámara se dosificará el coagulante y se producirá una mezcla rápida con la ayuda de un agitador de eje vertical suspendido de una losa situada en la coronación de la estructura; en la segunda cámara se dosificará el coadyuvante a la coagulación o floculante y se producirá una mezcla lenta también con la ayuda de un agitador de eje vertical. En la entrada de cada cámara se colocará un panel deflector de acero inoxidable rigidizado que dirigirá el agua de entrada a la parte inferior de la cámara. La salida del agua de cada cámara tendrá lugar por la parte superior por encima de un labio vertedero. En las siguientes imágenes se puede apreciar el diseño en planta y alzado de esta etapa del tratamiento.



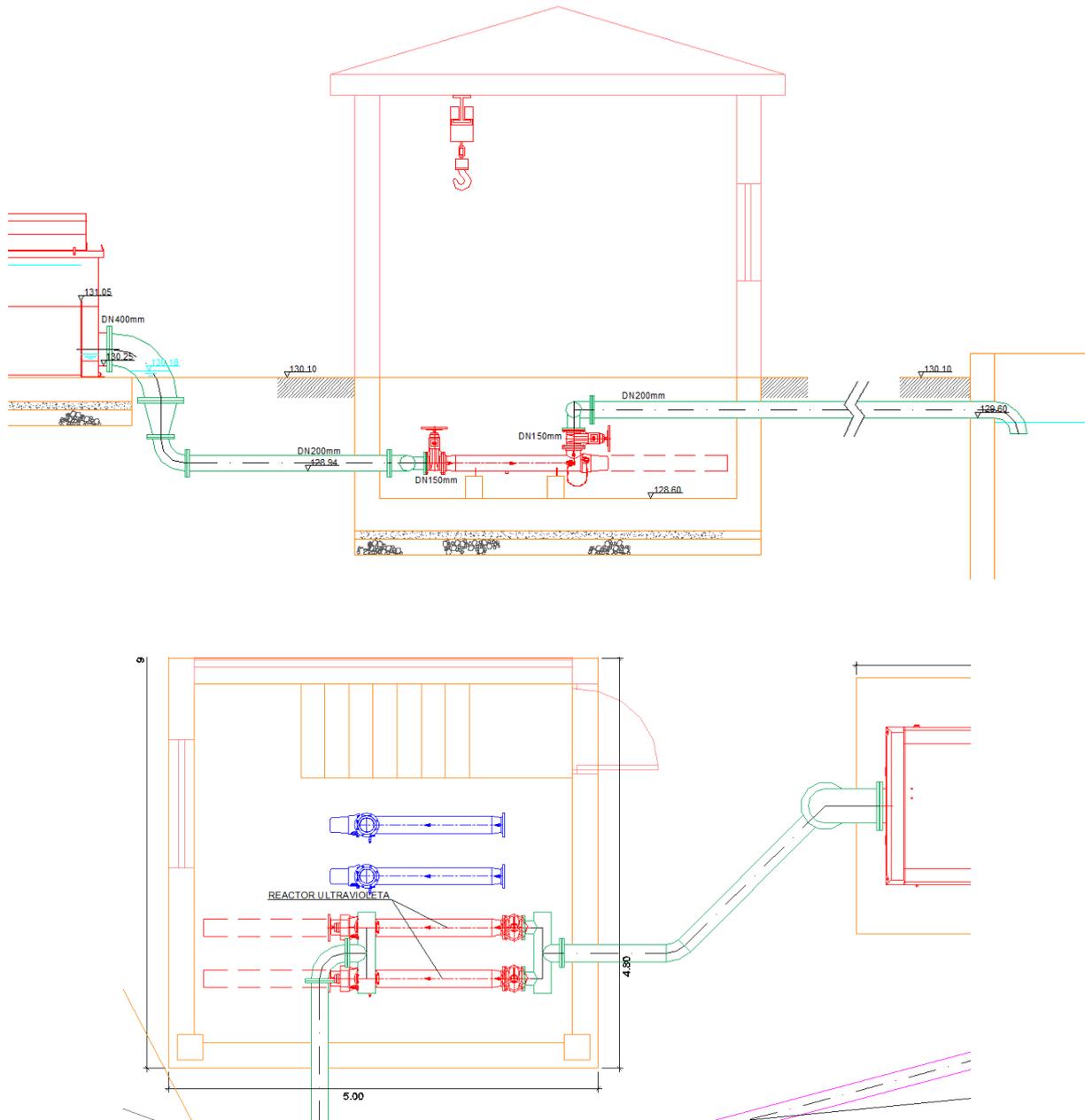
La siguiente etapa del proceso consiste en un filtro de tambor con una tela sintética de  $10\mu\text{m}$  de paso capaz de retener los flocúlos anteriormente formados así como los huevos de nemátodos.

Constructivamente el filtro está diseñado para estar en intemperie y sólo requiere de una base de apoyo sólida formada por una losa de hormigón armado situada a cota de urbanización de la E.D.A.R.. Aguas arriba el filtro está conectado con la estructura de la fase anterior de coagulación-floculación mediante una tubería  $\text{Ø}400\text{mm}$  de acero galvanizado que funcionará en carga. El filtro dispone de tres salidas más, por encima de la conducción de entrada hay una salida de alivio que se conecta al by-pass general de la E.D.A.R. mediante una conducción por gravedad  $\text{Ø}250\text{mm}$  de acero galvanizado; también por encima de la conducción de entrada hay una salida de agua de lavado que se conecta a la red de vaciados y drenajes de la E.D.A.R., mediante una conducción por gravedad  $\text{Ø}200\text{mm}$  de acero galvanizado, para a través de esta red ser conducida a cabecera de planta; por último, en la parte opuesta a la conducción

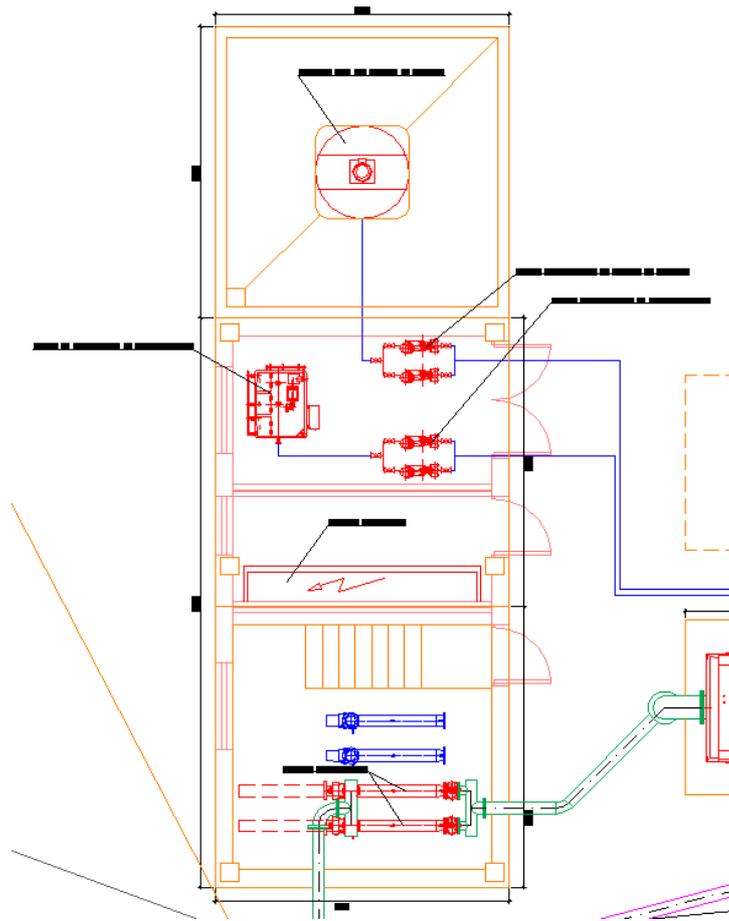
de entrada se sitúa una conducción de salida del mismo diámetro  $\varnothing 400\text{mm}$ . En las siguientes imágenes se puede apreciar el diseño en planta y alzado del filtro.



La última etapa del proceso consiste en la desinfección mediante el paso del agua por un reactor ultravioleta. Para optimizar su rendimiento y facilitar el mantenimiento sin detener el proceso se divide el caudal a tratar entre dos reactores, mediante derivaciones de calderería reguladas por válvulas de corte; el diseño de la calderería es totalmente simétrico para que el reparto de caudales sea equitativo. Tanto la conexión entre el filtro de tambor con los reactores como entre los reactores y la entrega al canal de cloración, tiene lugar mediante una conducción en carga  $\varnothing 200\text{mm}$  de acero galvanizado. Los reactores deben quedar por debajo de cota de urbanización para que puedan funcionar en carga a sección llena. En las siguientes imágenes se puede apreciar el diseño en planta y alzado de esta etapa del tratamiento.



Se ha diseñado un edificio que albergará diferentes equipos. Una primera estancia alojará en un sótano de 1,5m profundidad, los reactores ultravioleta así como un polipasto manual para su manipulación; dispondrá de escalera normalizada con barandilla. La siguiente instancia alojará los cuadros eléctricos y los equipos de telemando. La tercera estancia alojará el equipo de dosificación automática de polielectrolito y las bombas de dosificación de coagulante y de floculante. Adosado al edificio se construirá un cubeto de hormigón impermeabilizado que alojará el depósito de coagulante. El edificio se construirá con un diseño similar a los existentes, con cubierta inclinada de teja. El depósito de coagulante deberá cumplir las Instrucciones Técnicas Complementarias MIE-APQ de almacenamiento de productos químicos, y deberá ser debidamente legalizado.



Se propone también la cubrición del canal de cloración con una cubierta ligera de P.R.F.V. de manera que el agua tratada una vez supere el filtro quede siempre resguardada de cualquier contaminación que proceda de la atmósfera.

La parcela del tratamiento terciario finalmente se urbanizará y se integrará en el conjunto de la E.D.A.R.

La potencia eléctrica necesaria para el tratamiento terciario es muy pequeña, aproximadamente de 17kW en la primera fase tratando la mitad del caudal de diseño de la E.D.A.R., por lo que es muy probable que el transformador existente en la E.D.A.R. tenga potencia suficiente y no sea necesario ampliarlo. La instalación eléctrica en baja tensión se deberá no obstante conectar al transformador y legalizar debidamente.

Potencia instalada tratamiento terciario							
	1. Fase			2. Ampliación			Total
	Unidades	Potencia unit. kW	Potencia tot. kW	Unidades	Potencia unit. kW	Potencia tot. kW	
Bombeo	2	3,1	6,2	2	3,1	6,2	12,4
Agitador mezcla rápida	1	1,1	1,1	1	1,1	1,1	2,2
Agitador mezcla lenta	1	0,37	0,37	1	0,37	0,37	0,74
Filtro. Motor rotación	1	0,37	0,37	1	0,37	0,37	0,74
Filtro. Bomba contralavado	1	3,0	3,0	1	3,0	3,0	6,00
Reactor UV	2	0,62	1,24	2	0,62	1,24	2,48
Preparación Polielectrolito	1	0,74	0,74				0,74
Bomba dosificación coagulante	2	0,18	0,4	2	0,18	0,4	0,72
Bomba dosificación floculante	2	0,18	0,4	2	0,18	0,4	0,72
Edificio. Alumbrado	12	0,036	0,432				0,432
Edificio. Tomas corriente	2	1	2,0				2,0
Urbanización. Alumbrado	4	0,1	0,4				0,4
Telemando	1	0,4	0,4				0,4
<b>TOTAL</b>			<b>17,0</b>			<b>13,0</b>	<b>30,0</b>

El tratamiento terciario por último deberá incorporarse al sistema de telemando y control de la E.D.A.R., ampliando el PLC y el sistema Scada existente.

## 5. Cálculo hidráulico de la línea de agua a caudal punta de diseño.

El cálculo hidráulico de la línea de agua a caudal punta o también llamado habitualmente cálculo piezométrico a caudal punta se ha efectuado dividiendo la línea en distintos tramos regulados por un punto de control situado aguas abajo de cada tramo, normalmente un labio vertedero. El cálculo se efectúa de aguas abajo hacia aguas arriba y en él se incluyen las pérdidas por rozamiento en las conducciones y las pérdidas localizadas. A continuación se describe la formulación adoptada en cada caso.

### Pérdidas de energía por rozamiento en las conducciones en carga

Para evaluar las pérdidas en la conducción se ha utilizado la expresión de Prandtl-Colebrook:

$$\Delta H_r = \frac{f \cdot L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Siendo:

$\Delta H_r$  (m) = Pérdida de energía por fricción en la conducción en carga

f = coeficiente de rozamiento, que viene dado por la ecuación de Colebrook-White para régimen turbulento:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[ \frac{K/D}{3,71} + \frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \right]$$

K (m) = Coeficiente de rugosidad = 0,0015m para tuberías de acero y aguas residuales.

D (m) = Diámetro interior de la conducción

L (m) = Longitud de la conducción

V (m/s) = Velocidad del fluido = Q/S

Re = Nº de Reynolds, que viene dado por:

$$\text{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

$\nu$  = Viscosidad del fluido (a 15°C) = 1.148E-06 m/s<sup>2</sup>

La ecuación de Colebrook-White es de tipo implícita, por lo que su resolución se ha efectuado de manera numérica con la ayuda del complemento *Solver* de *Excel*.

### Pérdidas de energía por rozamiento en las conducciones en carga

Para evaluar las pérdidas en la conducción se ha utilizado la expresión:

$$\Delta Hl = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Siendo:

$\Delta Hl$  (m) = Pérdidas localizadas en codos, tes, reducciones, etc. de la tubería en carga

K = Coeficiente de pérdidas localizadas

Se indica a continuación la formulación utilizada para obtener el valor del coeficiente K de pérdidas localizadas.

#### ➤ Pérdida de carga en codos

- Pérdidas de carga en codos

Las pérdidas de carga en estas singularidades son función del número de Reynolds, de la rugosidad relativa de la tubería y de las características geométricas de la singularidad en cuestión. Para un número de Reynolds suficientemente elevado el coeficiente de pérdida de carga se puede expresar de la forma:

$$k = A_1 B_1$$

en la cual  $A_1$  y  $B_1$  dependen respectivamente del ángulo del codo  $\alpha$  y del radio de curvatura relativo ( $R/D$ ) (ver Figura 2.13).

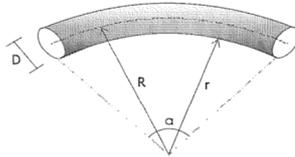


Figura 2.13 Representación de un codo

El coeficiente  $A_1$  según Nekrosov toma los valores indicados en la Tabla 2.3. y el coeficiente  $B_1$  se puede determinar a partir de la Tabla 2.4.

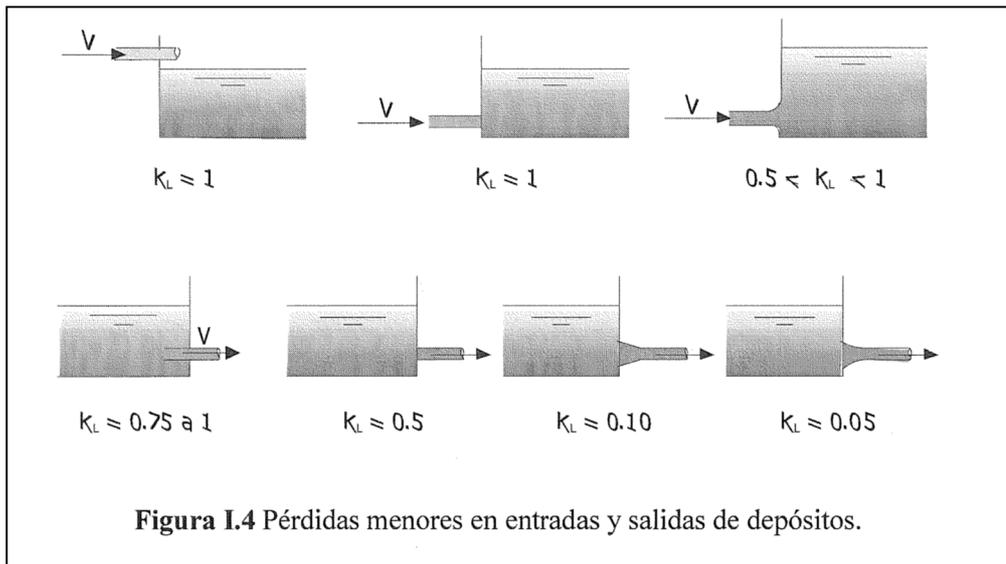
Tabla 2.3 Valor del coeficiente  $A_1$

$\alpha$ (grados)	$\leq 70^\circ$	$90^\circ$	$\geq 100^\circ$
$A_1$	$0.9 \cdot \text{sen } \alpha$	1.0	$0.7 + 0.35 \cdot \alpha / 90^\circ$

Tabla 2.4 Valor del coeficiente  $B_1$

$R/D$	0.5 a 1.0	$> 1.0$
$B_1$	$0.21 / (R/D)^{3/2}$	$0.21 / (R/D)^{1/2}$

➤ Pérdida de carga en entrada – salida depósitos



➤ **Pérdida de carga en cono convergente**

**C. Cono convergente**

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$$

**a) Pérdida por rozamiento ( $\Delta h_1$ ):**

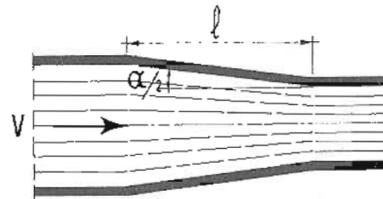
Valorar la pérdida de carga  $\Delta h'_1$  en una tubería cilíndrica de la misma longitud y sección igual a la sección mayor;

$$\Delta h_1 = x \Delta h'_1$$

siendo  $x = \frac{n(n^4 - 1)}{4(n - 1)}$

en la que  $n = \frac{D}{d}$

D = diámetro de entrada;  
d = diámetro de salida.



**b) Pérdida por separación ( $\Delta h_2$ ):**

$$\Delta h_2 = K \frac{V^2}{2g}$$

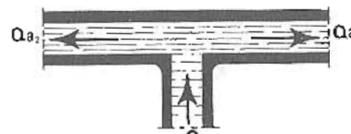
V = velocidad calculada en la sección mayor, en metros por segundo.  
Valores de K:

$n = \frac{D}{d}$	1,15	1,25	1,50	1,75	2	2,5
Angulo en el vértice						
6°	0,006	0,018	0,085	0,23	0,5	1,5
8°	0,009	0,028	0,138	0,373	0,791	2,42
10°	0,012	0,04	0,20	0,53	1,05	3,4
15°	0,022	0,07	0,344	0,934	1,98	6,07
20°	0,045	0,12	0,60	1,73	3,5	11
30°	0,280	0,25	1,25	3,4	7	-

➤ **Pérdida de carga en T simétrica, separación o reunión de corrientes**

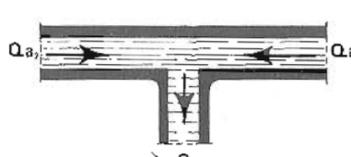
**c) T simétrica, separación de corrientes: (T de acero soldado)**

$$K_{r_1} = 1 + 0,3 \left( \frac{Q_{a_1}}{Q} \right)^2$$

$$K_{r_2} = 1 + 0,3 \left( \frac{Q_{a_2}}{Q} \right)^2$$


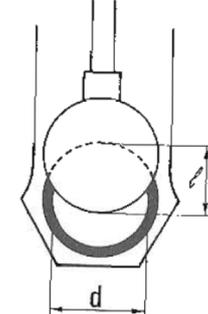
**d) T simétrica, reunión de corrientes:**

$$K_{r_1} = 2 + 3 \left[ \left( \frac{Q_{a_1}}{Q} \right)^2 - \frac{Q_{a_2}}{Q} \right]$$

$$K_{r_2} = 2 + 3 \left[ \left( \frac{Q_{a_2}}{Q} \right)^2 - \frac{Q_{a_1}}{Q} \right]$$


➤ **Válvula de compuerta y válvula de retención de clapeta**

**b) Válvulas de compuerta plana:**



Valor de la disminución de la abertura $\frac{l}{d}$	0	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$
$K$	0,12	0,15	0,26	0,81	2,06	5,52	17	98

**d) Obturador basculante:**



$\beta$	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°
$K$	90	62	42	30	20	14	9,5	6,6	3,2	1,7

➤ **Orificios sumergidos**

**Orificios sumergidos**

Un orificio se denomina «sumergido», o también «inundado», cuando el nivel de líquido aguas abajo es superior al punto más alto del orificio.

Establezcamos las siguientes anotaciones:

- Q : caudal a través del orificio.
- S : sección del orificio.
- V : velocidad teórica o a través del orificio:  $V = Q/S$
- m : coeficiente de caudal.
- $V/m$  : velocidad en la contracción.
- $V_1$  : velocidad aguas arriba del orificio.
- $V_2$  : velocidad aguas abajo del orificio.

Las fórmulas generales que utilizaremos son:

$$V = m (2gh + V_1^2)^{1/2} \quad (9)$$

$$h = \frac{1}{m^2} \cdot \frac{V^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \quad (10)$$

En la Tabla 21.1 se dan los valores de «m» para tres condiciones de entrada, en función de L/P, siendo:

- L = Longitud de la comunicación o espesor de la pared.
- P = Perímetro de la sección del orificio.

Los casos previstos son:

- A. Aristas vivas en todo el perímetro.
- B. Contracción suprimida en el fondo.
- C. Contracción suprimida en el fondo y en los lados.

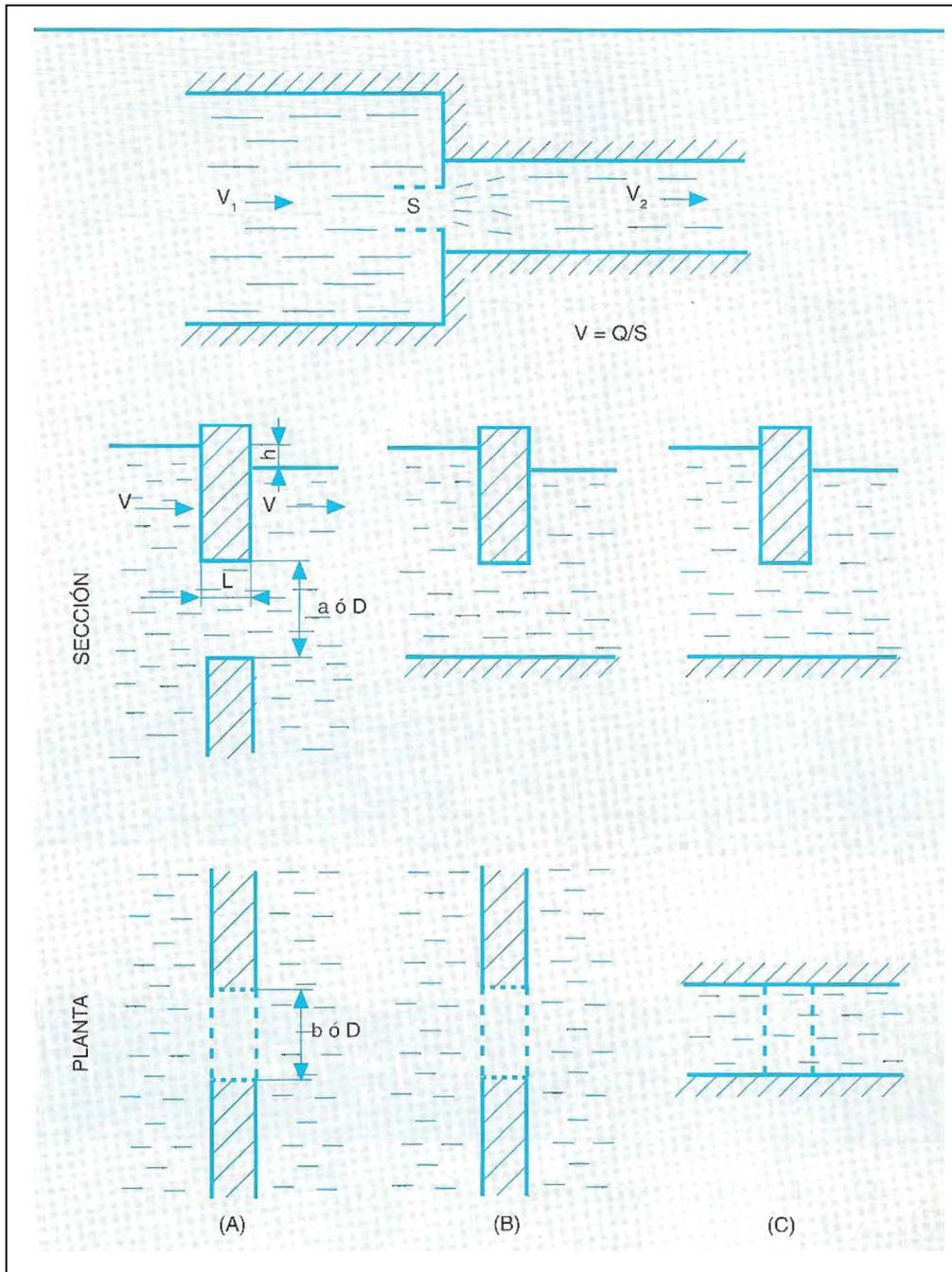
Una «contracción suprimida» significa que los lados del canal coinciden con el borde del orificio.

Puede observarse que, cuando L/P es elevado, por ejemplo superior a 1, el orificio puede asimilarse a una entrada brusca en un canal, con  $m = 0,81$ , puesto que:

$$0,81 = (1/1,5)^{1/2} \quad (\text{casos A y B})$$

**Tabla 21.1**

L/P	Condiciones de carga		
	A	B	C
0,02	0,61	0,63	0,77
04	62	64	77
06	63	65	76
08	65	66	74
10	66	67	73
0,12	0,67	0,68	0,72
14	69	69	72
16	71	70	72
18	72	71	72
20	74	73	73
0,22	0,75	0,74	0,75
24	77	75	78
26	78	76	81
28	78	76	82
30	79	77	83
0,35	0,79	0,78	0,84
40	80	79	84
60	80	79	84
80	80	80	85
1,00	80	81	85
> 1,00	81	81	85



## Vertederos

La altura de la lámina de agua sobre vertedero de pared delgada se calcula según la expresión:

$$h = \left( \frac{Q}{C_D \cdot L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Siendo:

$h$  (m) = altura de la lámina de agua sobre el vertedero

$Q$  (m<sup>3</sup>/s) = caudal

$L$  (m) = longitud del vertedero

$C_D$  = coeficiente del desagüe del vertedero. En este caso se ha adoptado  $C_D = 1,8$

La línea de agua que se inicia en la salida del decantador secundario, atraviesa el tratamiento terciario, y finaliza en el canal de cloración, se ha dividido en 5 tramos a efectos de cálculo hidráulico:

- **Tramo I:** Canal de cloración – filtro de tambor
- **Tramo II:** Filtro de tambor – cámara de floculación
- **Tramo III:** Cámara de floculación – Salida cámara de mezcla rápida del coagulante
- **Tramo IV:** Salida cámara de mezcla – Entrada a cámara de mezcla
- **Tramo V:** Bombeo e impulsión a cámara de mezcla
- **Tramo VI:** Bombeo – Salida decantador secundario

A continuación se adjuntan los cálculos de la línea piezométrica a caudal punta efectuados con hoja de cálculo, posteriormente se incluye curva y características de la bomba obtenida con el programa de selección Flyps 3.1 del fabricante *Flygt*.

## CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA A CAUDAL PUNTA

Cota de obra civil

Cota de lámina libre

### CAUDALES DE DISEÑO

#### TOTAL

Caudal medio total de diseño EDAR (m <sup>3</sup> /d):	2500
factor punta (fp):	2
<b>Caudal medio total de diseño EDAR (m<sup>3</sup>/s):</b>	<b>0,0289</b>
<b>Caudal punta total de diseño EDAR (m<sup>3</sup>/s):</b>	<b>0,0579</b>

#### POR LÍNEA DE TTO. TERCIARIO

Número de líneas de tratamiento terciario	2
Caudal medio de diseño por línea (m <sup>3</sup> /d):	1250
<b>Caudal medio de diseño por línea (m<sup>3</sup>/s):</b>	<b>0,0145</b>
<b>Caudal punta de diseño por línea (m<sup>3</sup>/s):</b>	<b>0,0289</b>

### TRAMO I: CANAL DE CLORACIÓN - UV - FILTRO DE TAMBOR

#### COTA DE LÁMINA DE AGUA A CAUDAL PUNTA SOBRE VERTEDERO CANAL CLORACIÓN

Cota vertedero canal de cloración (m):	129,50
Caudal punta total de diseño EDAR (m <sup>3</sup> /s):	0,0579
Longitud de vertedero (m):	3,00
Coefficiente de desagüe del vertedero	1,80
Altura de agua sobre vertedero a caudal punta diseño EDAR (m):	0,05
Nivel máximo lámina libre canal de cloración (m):	129,55
Resguardo sobre lámina canal de cloración (m)	0,05

Cota de rasante de la conducción en el punto de entrega a canal de cloración (m):	129,60
-----------------------------------------------------------------------------------	--------

#### I.1 CONDUCCIÓN CANAL DE CLORACIÓN - UV

##### Pérdida de carga en conducción Ø200

Caudal punta de diseño por línea (m <sup>3</sup> /s):	0,0289
Longitud (L):	33,00
Material	Acero
Diámetro (m)	0,200
Rugosidad (m)	0,0015
Viscosidad cinemática a 15° (m/s)	1,148E-06
Superficie de la conducción (m <sup>2</sup> )	0,0314
Velocidad en la conducción a caudal punta diseño línea (m/s)	0,92
Pérdida de carga unitaria (m/m)	0,0075
Velocidad en la conducción por Colebrook-White (m/s)	0,92
Diferencia entre velocidades (objetivo = 0 con SOLVER)	-0,000001
Pérdida de carga en conducción (m)	0,25

##### Pérdida de carga en descarga a canal cloración

K	1
v <sup>2</sup> /2g (m)	0,04
Pérdida de carga en descarga (m)	0,04

<b>Pérdida de carga en codos Ø200</b>	
Ángulo (°)	90
R/D	1,50
A1	1,00
B1	0,17
K	0,17
$v^2/2g$ (m)	0,04
Pérdida de carga unitaria en codo (m)	0,01
Número de codos	3
Pérdida de carga en codos (m)	<b>0,02</b>
<hr/>	
Ángulo (°)	60
R/D	1,50
A1	0,78
B1	0,17
K	0,13
$v^2/2g$ (m)	0,04
Pérdida de carga unitaria en codo (m)	0,01
Número de codos	1
Pérdida de carga en codos (m)	<b>0,01</b>
<hr/>	
Ángulo (°)	30
R/D	1,50
A1	0,45
B1	0,17
K	0,08
$v^2/2g$ (m)	0,04
Pérdida de carga unitaria en codo (m)	0,00
Número de codos	1
Pérdida de carga en codos (m)	<b>0,00</b>
<hr/>	
<b>Pérdida de carga en T simétrica Ø200, reunión de corrientes</b>	
Caudal punta de diseño por reactor UV (m <sup>3</sup> /s):	<b>0,0145</b>
Caudal punta de diseño por línea (m <sup>3</sup> /s):	<b>0,0289</b>
Diámetro (m)	0,200
Superficie de la conducción (m <sup>2</sup> )	0,0314
Velocidad en la conducción a caudal punta diseño línea (m/s) (antes punto reunión)	0,46
K	1,25
$v^2/2g$ (m)	0,01
Pérdida de carga en codos (m)	<b>0,01</b>
<hr/>	
<b>Pérdida de carga en codo Ø150 (interior T de reunión de corrientes)</b>	
Caudal punta de diseño por reactor UV (m <sup>3</sup> /s):	<b>0,0145</b>
Diámetro (m)	0,150
Superficie de la conducción (m <sup>2</sup> )	0,0177
Velocidad en la conducción a caudal punta diseño línea (m/s)	0,82
Ángulo (°)	90
R/D	1,50
A1	1,00
B1	0,17
K	0,17
$v^2/2g$ (m)	0,03
Pérdida de carga unitaria en codo (m)	0,01
Número de codos	1
Pérdida de carga en codos (m)	<b>0,01</b>
<hr/>	
<b>Pérdida de carga en válvula de compuerta Ø150 aguas abajo UV</b>	
K (apertura 100%)	0,12
$v^2/2g$ (m)	0,03
Pérdida de carga en válvula (m)	<b>0,00</b>
<hr/>	
<b>Pérdida total de carga del tramo I.1 (m)</b>	<b>0,35</b>

## I.2 REACTOR UV

### Pérdida de carga localizada en el reactor

Caudal punta de diseño por reactor UV (m<sup>3</sup>/s):

0,0145

Caudal punta de diseño por línea (galones por minuto):

229,32

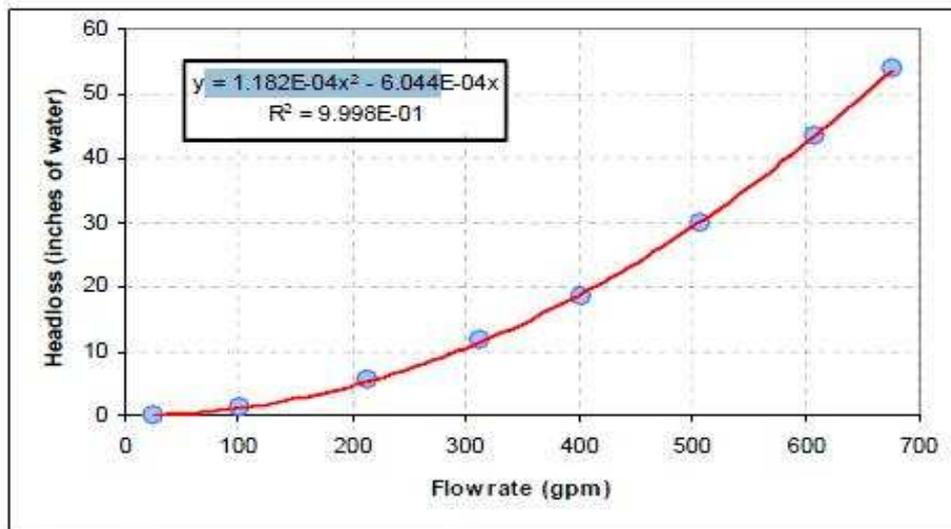


Figure 3-1 TrojanUVFit™ 08AL20 Headloss

Pérdida de carga (pulgadas)

6,08

**Pérdida de carga (m)**

**0,15**

## I.3 CONDUCCIÓN UV - SALIDA FILTRO TAMBOR

### Pérdida de carga en conducción Ø200

Caudal punta de diseño por línea (m<sup>3</sup>/s):

0,0289

Longitud (L):

4,50

Material

Acero

Diámetro (m)

0,200

Rugosidad (m)

0,0015

Viscosidad cinemática a 15° (m/s)

1,148E-06

Superficie de la conducción (m<sup>2</sup>)

0,0314

Velocidad en la conducción a caudal punta diseño línea (m/s)

0,92

Pérdida de carga unitaria (m/m)

0,0075

Velocidad en la conducción por Colebrook-White (m/s)

0,92

Diferencia entre velocidades (objetivo = 0 con SOLVER)

-0,000001

Pérdida de carga en conducción (m)

0,03

### Pérdida de carga en conducción Ø400

Caudal punta de diseño por línea (m<sup>3</sup>/s):

0,0289

Longitud (L):

1,00

Material

Acero

Diámetro (m)

0,400

Rugosidad (m)

0,0015

Viscosidad cinemática a 15° (m/s)

1,148E-06

Superficie de la conducción (m<sup>2</sup>)

0,1257

Velocidad en la conducción a caudal punta diseño línea (m/s)

0,23

Pérdida de carga unitaria (m/m)

0,0002

Velocidad en la conducción por Colebrook-White (m/s)

0,23

Diferencia entre velocidades (objetivo = 0 con SOLVER)

0,000000

Pérdida de carga en conducción (m)

0,00

**Pérdida de carga en válvula de compuerta Ø150 aguas arriba UV**

Caudal punta de diseño por reactor UV (m <sup>3</sup> /s):	<b>0,0145</b>
Diámetro (m)	0,150
Superficie de la conducción (m <sup>2</sup> )	0,0177
Velocidad en la conducción a caudal punta diseño línea (m/s)	0,82
K (apertura 100%)	0,12
v <sup>2</sup> /2g (m)	0,03
Pérdida de carga en válvula (m)	<b>0,00</b>

**Pérdida de carga en codos Ø150 (interior T de separación de corrientes)**

Ángulo (°)	90
R/D	1,50
A1	1,00
B1	0,17
K	0,17
v <sup>2</sup> /2g (m)	0,03
Pérdida de carga unitaria en codo (m)	0,01
Número de codos	1
Pérdida de carga en codos (m)	<b>0,01</b>

**Pérdida de carga en T simétrica Ø200, separación de corrientes**

Caudal punta de diseño por reactor UV (m <sup>3</sup> /s):	<b>0,0145</b>
Caudal punta de diseño por línea (m <sup>3</sup> /s):	<b>0,0289</b>
Diámetro (m)	0,200
Superficie de la conducción (m <sup>2</sup> )	0,0314
Velocidad en la conducción a caudal punta diseño línea (m/s) (después punto reunión)	0,46
K	1,08
v <sup>2</sup> /2g (m)	0,01
Pérdida de carga en codos (m)	<b>0,01</b>

**Pérdida de carga en codos Ø200**

Ángulo (°)	90
R/D	1,50
A1	1,00
B1	0,17
K	0,17
v <sup>2</sup> /2g (m)	0,04
Pérdida de carga unitaria en codo (m)	0,01
Número de codos	1
Pérdida de carga en codos (m)	<b>0,01</b>

Ángulo (°)	45
R/D	1,50
A1	0,64
B1	0,17
K	0,11
v <sup>2</sup> /2g (m)	0,04
Pérdida de carga unitaria en codo (m)	0,00
Número de codos	1
Pérdida de carga en codos (m)	<b>0,00</b>

**Pérdida de carga en cono convergente Ø400-Ø200**

Longitud (m):	0,45
D1 (m)	0,40
D2 (m)	0,20
n (D1/D2)	2,00
x	7,50
Pérdida de carga unitaria en Ø400 (m/m)	0,0002
Pérdida de carga en la longitud del cono (m)	0,0001
$\Delta H_1$	0,001
Ángulo (°)	12,53
K tabulado	1,52
$v^2/2g$ (m)	0,003
$\Delta H_2$	0,004
$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$	0,005
<b>Pérdida de carga en reducción (m)</b>	<b>0,00</b>

**Pérdida de carga en codo Ø400**

Ángulo (°)	90
R/D	1,50
A1	1,00
B1	0,17
K	0,17
$v^2/2g$ (m)	0,003
Pérdida de carga unitaria en codo (m)	0,000
Número de codos	1
<b>Pérdida de carga en codos (m)</b>	<b>0,00</b>

**Pérdida de carga en embocadura Ø400 salida filtro de tambor**

K	1
$v^2/2g$ (m)	0,003
<b>Pérdida de carga en embocadura (m)</b>	<b>0,00</b>
<b>Pérdida total de carga del tramo I.3 (m)</b>	<b>0,07</b>

**Pérdida total de carga del tramo I (m)**

<b>Pérdida total de carga del tramo I (m)</b>	<b>0,58</b>
Nivel lámina libre en zona de salida filtro de tambor, aguas abajo del labio (m):	130,18
Resguardo (m)	0,87
Cota de apoyo en solera del filtro	130,10
Altura del vertedero de salida del filtro (m)	0,95
Cota de vertedero de salida de filtro de tambor (m):	131,05

**TRAMO II: FILTRO DE TAMBOR - CÁMARA DE FLOCULACIÓN**

Altura de salida conducción de alivio del filtro (m)	1,40
Cota de alivio del filtro (pérdida de carga máxima en el filtro)	131,50
<b>Pérdida de carga en conducción Ø400</b>	
Caudal punta de diseño por línea (m <sup>3</sup> /s):	0,0289
Longitud (L):	2,00
Material	Acero
Diámetro (m)	0,400
Rugosidad (m)	0,0015
Viscosidad cinemática a 15° (m/s)	1,148E-06
Superficie de la conducción (m <sup>2</sup> )	0,1257
Velocidad en la conducción a caudal punta diseño línea (m/s)	0,23
Pérdida de carga unitaria (m/m)	0,0002
Velocidad en la conducción por Colebrook-White (m/s)	0,23
Diferencia entre velocidades (objetivo = 0 con SOLVER)	0,000000
<b>Pérdida de carga en conducción (m)</b>	<b>0,00</b>

<b>Pérdida de carga en descarga a filtro</b>	
K	1
$v^2/2g$ (m)	0,003
Pérdida de carga en descarga (m)	<b>0,00</b>
<b>Pérdida de carga en embocadura salida cámara floculación</b>	
K	1
$v^2/2g$ (m)	0,003
Pérdida de carga en embocadura (m)	<b>0,00</b>
<b>Pérdida total de carga del tramo I (m)</b>	<b>0,00</b>
Nivel lámina libre en zona de salida cámara floculación, aguas abajo del labio (m):	<b>131,50</b>
Resguardo (m)	0,20
Cota de vertedero de salida de cámara de floculación (m):	<b>131,70</b>

### TRAMO III: CÁMARA DE FLOCULACIÓN - CÁMARA DE MEZCLA

<b>COTA DE LÁMINA DE AGUA A CAUDAL PUNTA SOBRE VERTEDERO SALIDA CÁMARA FLOCULACIÓN</b>	
Caudal punta de diseño por línea ( $m^3/s$ ):	<b>0,0289</b>
Longitud de vertedero (m):	3,00
Coefficiente de desagüe del vertedero	1,80
Altura de agua sobre vertedero a caudal punta diseño línea (m):	0,03
Nivel máximo lámina libre cámara de floculación (m):	<b>131,73</b>
<b>Pérdida de carga en paso bajo panel tranquilizador. Orificio sumergido</b>	
Caudal punta de diseño por línea ( $m^3/s$ ):	<b>0,0289</b>
Longitud de orificio sumergido (m):	3,00
Altura de orificio sumergido (m)	0,40
Perímetro del orificio sumergido P (m)	6,80
Canto del panel L (m)	0,01
Relación L/P	0,001
Coefficiente de caudal del orificio m. Tabulado	0,77
Velocidad a través del orificio (m/s)	0,02
Anchura canal aguas arriba (m):	3,00
Altura canal aguas arriba (m):	3,00
Velocidad aguas arriba del orificio (m/s)	0,003
Pérdida de carga (m):	<b>0,000</b>
Nivel lámina libre en zona de salida cámara mezcla, aguas abajo del labio (m):	<b>131,73</b>
Resguardo (m)	0,17
Cota de vertedero de salida de cámara de mezcla (m):	<b>131,90</b>

### TRAMO IV: VERTEDERO SALIDA A ENTRADA CÁMARA DE MEZCLA

<b>COTA DE LÁMINA DE AGUA A CAUDAL PUNTA SOBRE VERTEDERO SALIDA CÁMARA MEZCLA</b>	
Caudal punta de diseño por línea ( $m^3/s$ ):	<b>0,0289</b>
Longitud de vertedero (m):	1,55
Coefficiente de desagüe del vertedero	1,80
Altura de agua sobre vertedero a caudal punta diseño línea (m):	0,05
Nivel máximo lámina libre cámara de mezcla (m):	<b>131,95</b>

**Pérdida de carga en paso bajo panel tranquilizador. Orificio sumergido**

Caudal punta de diseño por línea (m <sup>3</sup> /s):	0,0289
Longitud de orificio sumergido (m):	1,55
Altura de orificio sumergido (m)	0,40
Perímetro del orificio sumergido P (m)	3,90
Canto del panel L (m)	0,01
Relación L/P	0,003
Coefficiente de caudal del orificio m. Tabulado	0,77
Velocidad a través del orificio (m/s)	0,05
Anchura canal aguas arriba (m):	1,55
Altura canal aguas arriba (m):	1,55
Velocidad aguas arriba del orificio (m/s)	0,012
Pérdida de carga (m):	0,000
Nivel lámina libre en zona de entrada cámara mezcla (m):	131,95
Resguardo (m)	0,05
Cota de rasante entrada impulsión a cámara de mezcla (m):	132,00

**TRAMO V: BOMBEO E IMPULSIÓN A TRATAMIENTO TERCIARIO**

Número de impulsiones por línea de tratamiento terciario:	2,00
Caudal medio de diseño por línea (m <sup>3</sup> /s):	0,0145
Número de impulsiones funcionando a caudal medio por línea de tratamiento terciario:	1,00
Caudal de diseño por impulsión a caudal medio (m <sup>3</sup> /s):	0,0145
Caudal punta de diseño por línea (m <sup>3</sup> /s):	0,0289
Número de impulsiones funcionando a caudal punta por línea de tratamiento terciario:	2,00
Caudal de diseño por impulsión a caudal punta (m <sup>3</sup> /s):	0,0145
<b>Pérdida de carga en conduccion Ø150</b>	
Caudal de diseño por impulsión (m <sup>3</sup> /s):	0,0145
Longitud (L):	7,50
Material	Acero
Diámetro (m)	0,150
Rugosidad (m)	0,0015
Viscosidad cinemática a 15° (m/s)	1,148E-06
Superficie de la conducción (m <sup>2</sup> )	0,0177
Velocidad en la conducción a caudal punta diseño línea (m/s)	0,82
Pérdida de carga unitaria (m/m)	0,0088
Velocidad en la conducción por Colebrook-White (m/s)	0,82
Diferencia entre velocidades (objetivo = 0 con SOLVER)	0,000000
Pérdida de carga en conduccion (m)	0,07
<b>Pérdida de carga en codos Ø150</b>	
Ángulo (°)	90
R/D	1,50
A1	1,00
B1	0,17
K	0,17
v <sup>2</sup> /2g (m)	0,03
Pérdida de carga unitaria en codo (m)	0,01
Número de codos	3
Pérdida de carga en codos (m)	0,02
<b>Pérdida de carga en descarga a cámara mezcla</b>	
K	1
v <sup>2</sup> /2g (m)	0,03
Pérdida de carga en descarga (m)	0,03

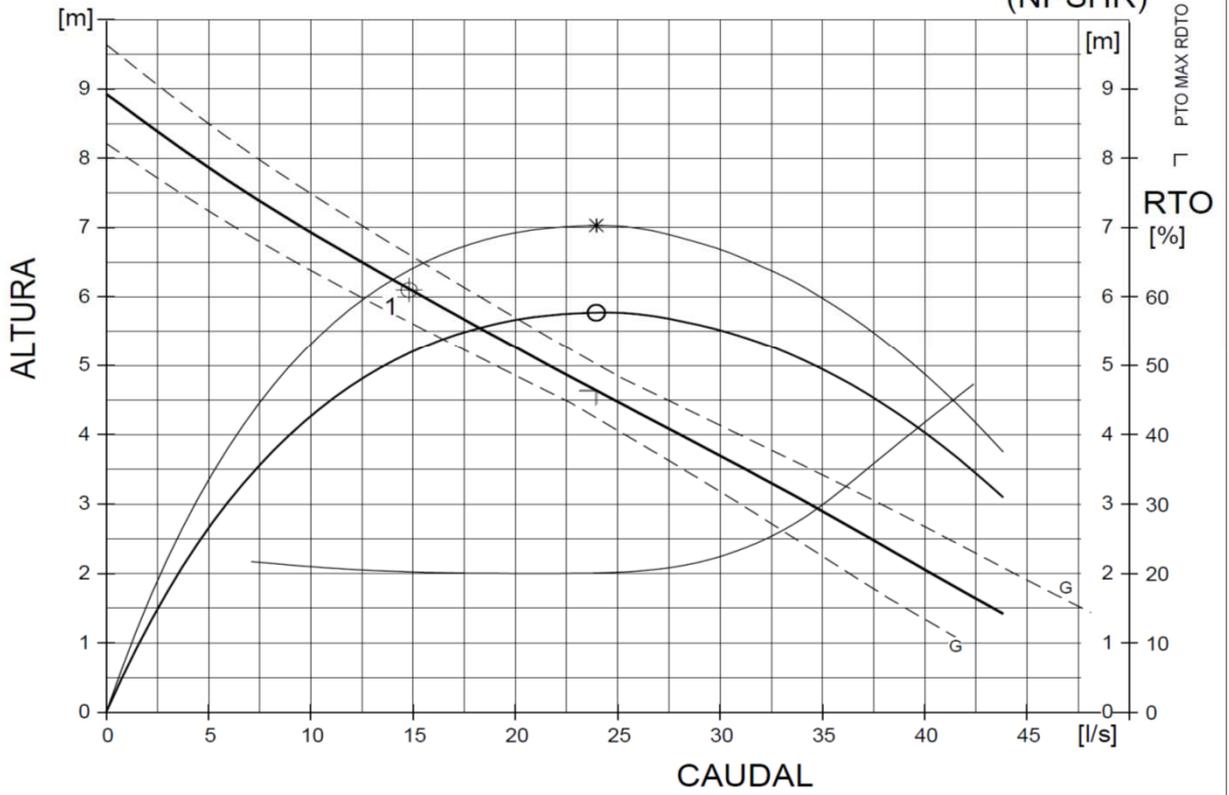
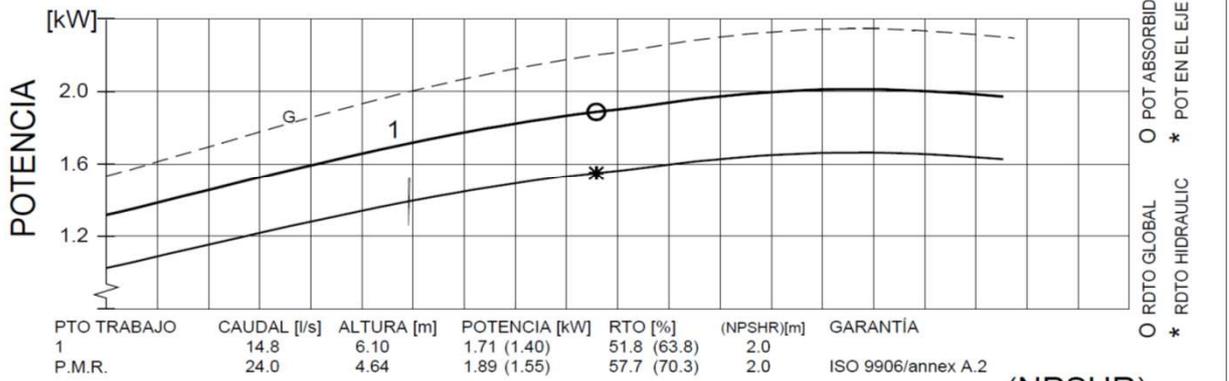
<b>Pérdida de carga en válvula de compuerta Ø150</b>	
K (apertura 100%)	0,12
$v^2/2g$ (m)	0,03
Pérdida de carga en válvula (m)	<b>0,00</b>
<b>Pérdida de carga en válvula de retención Ø150</b>	
K (apertura 100%)	1,70
$v^2/2g$ (m)	0,03
Pérdida de carga en válvula (m)	<b>0,06</b>
<b>Pérdida total de carga en la impulsión (m)</b>	<b>0,18</b>
Cota de rasante entrada impulsión a cámara de mezcla (m):	<b>127,18</b>
Resguardo (m)	0,10
Carrera del pozo (m)	1,00
Nivel mínimo de bombeo (m)	0,26
Cota del nivel mínimo en el pozo (m):	<b>126,08</b>
Cota fondo del pozo (m)	<b>125,82</b>
Diferencia de altura geométrica a salvar (m)	<b>5,92</b>
<b>Altura manométrica bomba (m)</b>	<b>6,10</b>
<b>Caudal bomba (lts/s)</b>	<b>14,5</b>
Modelo bomba	NP3102NT
Potencia nominal bomba (kW)	3,10

**TRAMO VI: BOMBEO TTO. TERCIARIO - SALIDA DECANTADOR SECUNDARIO**

<b>Pérdida de carga en conduccion Ø250</b>	
Caudal punta de diseño total EDAR (m <sup>3</sup> /s):	<b>0,0579</b>
Longitud (L):	19,00
Material	Acero
Diámetro (m)	0,250
Rugosidad (m)	0,0015
Viscosidad cinemática a 15° (m/s)	1,148E-06
Superficie de la conducción (m <sup>2</sup> )	0,0491
Velocidad en la conducción a caudal punta diseño línea (m/s)	1,18
Pérdida de carga unitaria (m/m)	<b>0,0092</b>
Velocidad en la conducción por Colebrook-White (m/s)	1,18
Diferencia entre velocidades (objetivo = 0 con SOLVER)	<b>0,000000</b>
Pérdida de carga en conduccion (m)	<b>0,17</b>
<b>Pérdida de carga en codos Ø250</b>	
Ángulo (°)	90
R/D	1,50
A1	1,00
B1	0,17
K	0,17
$v^2/2g$ (m)	0,07
Pérdida de carga unitaria en codo (m)	0,01
Número de codos	2
Pérdida de carga en codos (m)	<b>0,02</b>
<b>Pérdida de carga en codos Ø250</b>	
Ángulo (°)	30
R/D	1,50
A1	0,45
B1	0,17
K	0,08
$v^2/2g$ (m)	0,07
Pérdida de carga unitaria en codo (m)	0,01
Número de codos	2
Pérdida de carga en codos (m)	<b>0,01</b>

<b>Pérdida de carga en descarga a cámara bombas</b>	
K	1
$v^2/2g$ (m)	0,07
Pérdida de carga en descarga (m)	<b>0,07</b>
<b>Pérdida de carga en embocadura conducción</b>	
K	1
$v^2/2g$ (m)	0,07
Pérdida de carga en embocadura (m)	<b>0,04</b>
<b>Pérdida de carga en válvula de compuerta Ø250</b>	
K (apertura 100%)	0,12
$v^2/2g$ (m)	0,07
Pérdida de carga en válvula (m)	<b>0,01</b>
<b>Pérdida total de carga en la impulsión (m)</b>	<b>0,32</b>
Cota alivio en pozo de bombeo. (Nivel máximo del agua) (m)	<b>127,70</b>
Nivel lámina libre en zona de entrada cámara mezcla (m):	<b>128,02</b>
Cota de rasante canal de salida del decantador secundario (m):	<b>129,81</b>
Resguardo resultante (m)	1,79

<b>FLYGT</b>		<b>CURVA DE FUNCIONAMIENTO</b>			PRODUCTO	TIPO
					<b>NP3102.181</b>	<b>MT</b>
FECHA	PROYECTO				Nº DE LA CURVA	REVI.
<b>2015-03-26</b>					<b>53-464-00-6503</b>	<b>4</b>
	1/1 CARGA	3/4 CARGA	1/2 CARGA	POTENCIA EJE MOTOR	DIÁMETRO IMPULSOR	
COS PHI MOTOR	0.78	0.71	0.58	3.1 kW	162 mm	
RENDIMIENTO MOTOR	84.0 %	84.0 %	82.0 %	CORRIENTE ARRANQUE	MOTOR	ESTATOR
RENDIMIENTO	---	---	---	40 A	18-11-4AL	04D
COMENTARIOS	ENTRADA / SALIDA			CORRIENTE NOMINAL	FRECU. FASES	VOLTAJE
	- /100 mm			6.8 A	50 Hz 3	400 V
	PASO IMPULSOR			VELOCIDAD NOMINAL	REDUCTOR TIPO	RATIO
	---			1450 rpm	---	---
				INERCIA		
				MNTO. TOTAL		
				0.027 kgm2		
				Nº DE PALAS		
				2		



FLYPS3.1.5.8 (20060531)

(NPSHR) = (NPSH3) + márgenes  
 Funcionamiento con agua limpia y datos eléctricos a 40°

GUARANTEE BETWEEN LIMITS (G) ACC. TO  
**ISO 9906/annex A.2**

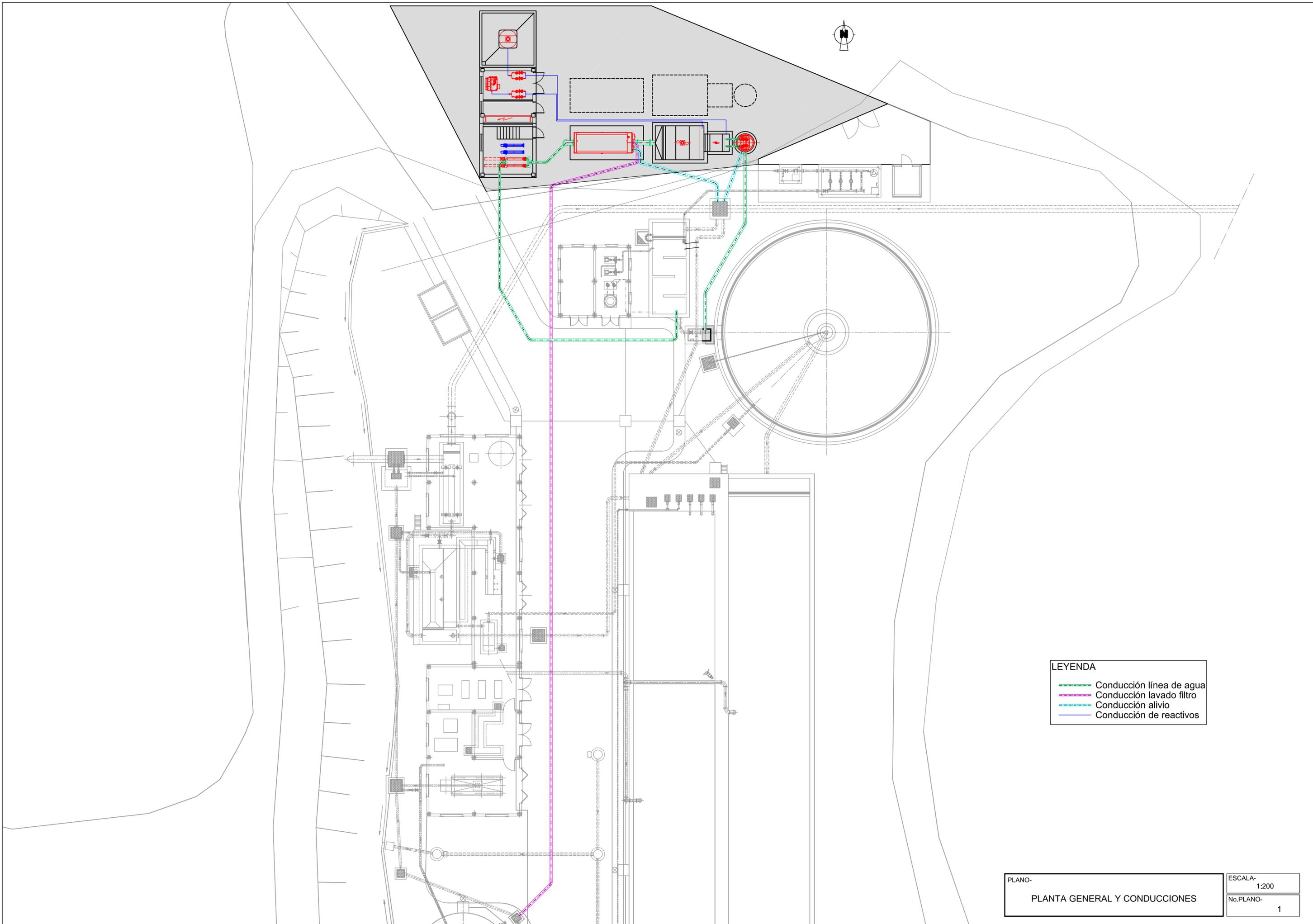




## 6. Planos del tratamiento terciario

Se adjunta a continuación los planos de formas de implantación del tratamiento terciario en la E.D.A.R., así como una sección en la que se indican las cotas de obra civil y los calados calculados a caudal punta de diseño.



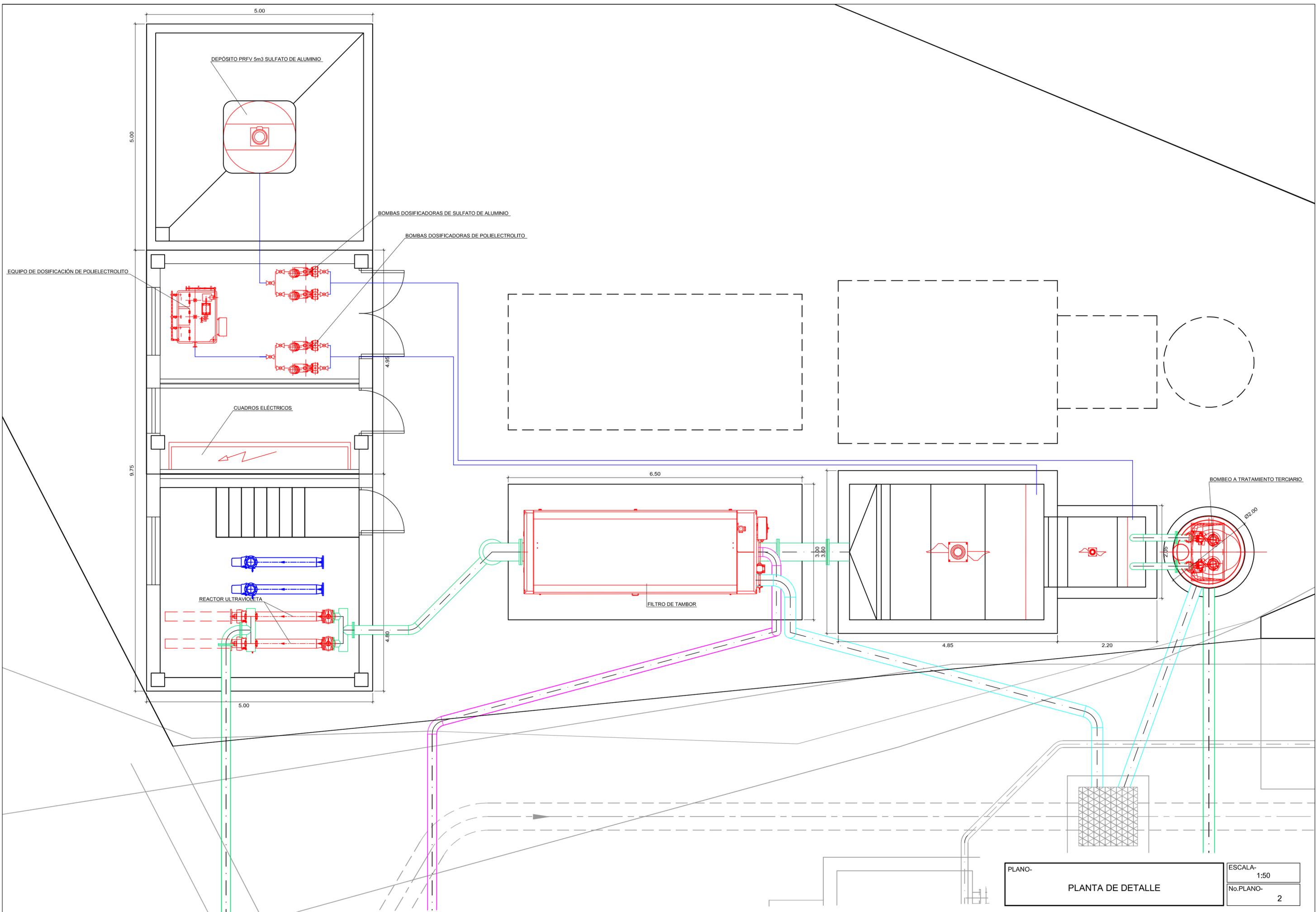


**LEYENDA**

	Conducción línea de agua
	Conducción lavado filtro
	Conducción alivio
	Conducción de reactivos

PLANO-  
**PLANTA GENERAL Y CONDUCCIONES**

ESCALA-  
 1:200  
 No.PLANO-  
 1



DEPÓSITO PRFV 5m3 SULFATO DE ALUMINIO

BOMBAS DOSIFICADORAS DE SULFATO DE ALUMINIO

BOMBAS DOSIFICADORAS DE POLIELECTROLITO

EQUIPO DE DOSIFICACIÓN DE POLIELECTROLITO

CUADROS ELÉCTRICOS

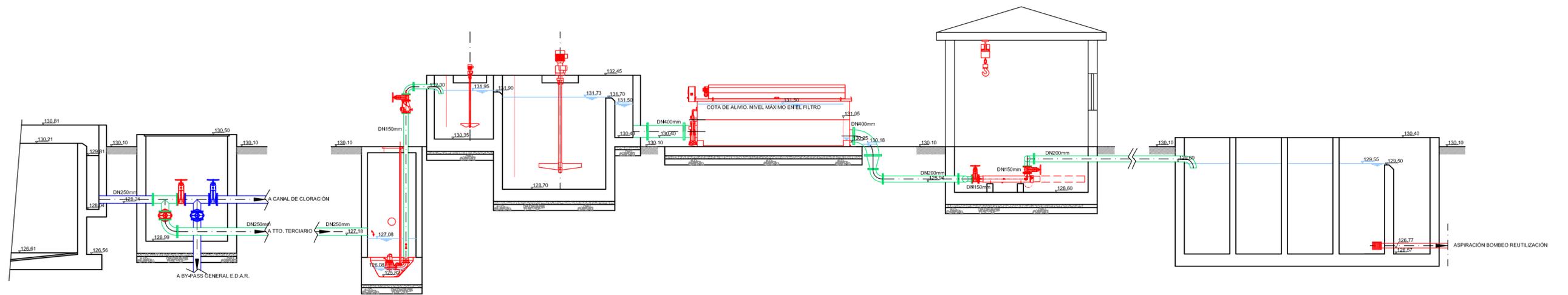
REACTOR ULTRAVIOLETA

FILTRO DE TAMBOR

BOMBEO A TRATAMIENTO TERCIARIO

Ø2.00

PLANO-	ESCALA-
PLANTA DE DETALLE	1:50
No.PLANO-	
2	



COTAS NIVEL PIEZOMÉTRICO A CAUDAL PUNTA DE DISEÑO

PLANO-	ESCALA-
SECCIÓN LONGITUDINAL POR LÍNEA DE AGUA	1:100
No.PLANO-	3



## CAPÍTULO 4. PRESUPUESTO

Se adjunta a continuación una valoración estimada de las obras a nivel de anteproyecto, que comprende las modificaciones a efectuar en el sistema de aporte de aire al reactor biológico, así como la implantación del tratamiento terciario en su primera fase para la mitad del caudal total de diseño de la planta. El presupuesto incluye las partidas de seguridad y salud y gestión de residuos preceptivas por normativa.

Como resultado de todo ello se obtiene un Presupuesto de ejecución Material de cuatrocientos cincuenta mil euros (450.000,00€). Si incrementamos esta cantidad en un 16% de gastos generales, un 6% de beneficio industrial y un 21% de IVA obtenemos un Presupuesto Base de Licitación de seiscientos sesenta y cuatro mil doscientos noventa euros (664.290,00€).

Si a esta cantidad sumamos el coste estimado de adquisición del terreno y los costes de dirección de las obras, coordinación de seguridad y salud y vigilancia ambiental obtendríamos un **Presupuesto para Conocimiento de la Administración** aproximado del orden de **setecientos cincuenta mil euros (750.000,00€)**.

Se adjunta a continuación listados con los Presupuestos Parciales, Presupuesto de Ejecución Material y Presupuesto Base de Licitación.



## PRESUPUESTOS PARCIALES

### PROYECTO BÁSICO DE IMPLANTACIÓN DE TRATAMIENTO TERCIARIO EN LA E.D.A.R. DE BENISSA-SENIJA. BENISSA (ALICANTE)

CÓDIG UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)	MEDICIÓN	IMPORTE (€)
<b>Cap 1. MEJORA DEL SISTEMA DE APORTE DE AIRE AL REACTOR BIOLÓGICO</b>				
<b>RB01 PA</b>	<b>ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE AIREACIÓN DEL REACTOR BIOLÓGICO</b> A justificar por adecuación del sistema de alimentación de aire existente al reactor biológico dotándolo de 5 bajantes con válvulas de regulación para establecer cinco zonas diferenciadas de suministro de aire.	6.000,00	1,00	6.000,00
<b>RB02 Ud.</b>	<b>VARIADOR DE FRECUENCIA PARA SOPLANTES DE REACTOR BIOLÓGICO</b> Suministro y colocación de variador de frecuencia en cuadro eléctrico de control de soplante de reactor biológico. Incluye cableado, conexión, pequeño material y prueba.	8.000,00	3,00	24.000,00
<b>RB03 Ud.</b>	<b>SONDA DE OXÍGENO DISUELTO</b> Suministro y colocación de Sonda de inmersión para la medida de oxígeno disuelto en reactor biológico. Incluye cableado, conexión y prueba.	6.000,00	6,00	36.000,00
<b>RB04 Ud.</b>	<b>ADECUACIÓN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE LA E.D.A.R.</b> Adecuación del sistema de automatización y control de la E.D.A.R. de Benissa-Senija para incorporar las nuevas señales de sensores y variadores de frecuencia. Incluye ampliación del PLC y cableado de señal, ampliación de sistema Scada, licencias y programación. Instalado y probado.	6.000,00	1,00	6.000,00
<b>TOTAL Cap. 1. MEJORA DEL SISTEMA DE APORTE DE AIRE AL REACTOR BIOLÓG.</b>				<b>72.000,00</b>
<b>Cap 2. TRATAMIENTO TERCIARIO</b>				
<b>Scap. 2.1. OBRA CIVIL</b>				
<b>OC01 Ud.</b>	<b>AMPLIACIÓN DE ARQUETA DE BY-PASS DE CLORACIÓN</b> Ampliación de arqueta de válvulas existente para by-pass de cloración, mediante la demolición previa de muro existente y ampliación de losas y muros con hormigón armado HA-35/B/20/IV+Qc y acero corrugado B-500S en cuantía media de 100kg/m <sup>3</sup> , ampliando la arqueta en 0,8m de longitud x 1,1m de anchura x 3,5m de altura interior. Incluye excavación, demolición, encachado, hormigón de limpieza, relleno y compactación de trasdós, renovación de la tapa superior metálica. Totalmente terminado.	7.500,00	1,00	7.500,00

## PRESUPUESTOS PARCIALES

### PROYECTO BÁSICO DE IMPLANTACIÓN DE TRATAMIENTO TERCIARIO EN LA E.D.A.R. DE BENISSA- SENIJA. BENISSA (ALICANTE)

CÓDIG UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)	MEDICIÓN	IMPORTE (€)
<b>OC02 Ud.</b>	<b>BOMBEO A TRATAMIENTO TERCIARIO</b>			
	Pozo de bombeo de hormigón armado HA-35/B/20/IV+Qc y acero corrugado B-500S en cuantía media de 100kg/m <sup>3</sup> . Constituido por capa de hormigón de limpieza HL-150 de 10cm de espesor, base de pozo prefabricada tipo TOP de Flygt o equivalente, colocada y asentada con hormigón armado, muro cilíndrico de hormigón armado de 1,6m de diámetro interior, 3,5m de altura y 20cm de espesor, losa superior de hormigón armado y 20cm de espesor, con tapas de registro de fundición para bombas y reguladores de nivel. Incluye excavación, encachado, relleno y compactación de trasdós, totalmente terminado.	8.500,00	1,00	8.500,00
<b>OC03 Ud.</b>	<b>ESTRUCTURA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN</b>			
	Estructura de hormigón armado HA-35/B/20/IV+Qc y acero corrugado B-500S en cuantía media de 100kg/m <sup>3</sup> , para la formación de cámaras de coagulación floculación. Constituido por capa de hormigón de limpieza HL-150 de 10cm de espesor, cámara de mezcla rápida de 1,55m de ancho x 1,95m de largo x 2,10m de altura interior, con losa superior para apoyo de agitador; cámara de mezcla lenta de 3,00m de ancho x 3,40m de largo x 3,75m de altura interior, con losa superior para apoyo de agitador; cámara de salida de 3,00m de ancho x 0,60m de largo x 2,05m de altura interior. Espesores de losas y muros según planos. Incluye excavación, encachado, relleno y compactación de trasdós, deflectores metálicos de acero inoxidable AISI-316L, pates para acceso a pasarelas. Totalmente terminado.	16.000,00	1,00	16.000,00
<b>OC04 Ud.</b>	<b>LOSA DE FILTRACIÓN</b>			
	Losa de hormigón armado HA-35/B/20/IV+Qc y acero corrugado B-500S en cuantía media de 100kg/m <sup>3</sup> , para el apoyo de filtro de tambor. Constituida por capa de hormigón de limpieza HL-150 de 10cm de espesor, losa de 3,0m de ancho x 6,5m de largo y 30cm de espesor. Incluye excavación, encachado, relleno y compactación de trasdós, totalmente terminado.	2.500,00	1,00	2.500,00

## PRESUPUESTOS PARCIALES

### PROYECTO BÁSICO DE IMPLANTACIÓN DE TRATAMIENTO TERCIARIO EN LA E.D.A.R. DE BENISSA-SENIJA. BENISSA (ALICANTE)

CÓDIG UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)	MEDICIÓN	IMPORTE (€)
<b>OC05 Ud.</b>	<b>EDIFICIO PARA EQUIPO U.V., DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS Y CUADROS ELÉCTRICOS</b>			
	Edificio para equipos de U.V. y otros elementos del tratamiento terciario, incluye cimentación y estructura de hormigón armado HA-35/B/20/IV+Qc y acero corrugado B-500S en cuantía media de 100kg/m3, formando sótano para albergar reactores U.V., escalera, losa de cimentación en el resto del edificio, pilares y forjado de placa alveolar; cerramiento perimetral de bloque de hormigón cara vista con tabique interior y cámara con material aislante; tabiquería interior de doble tabique de ladrillo hueco con cámara interior y aislante; solado continuo industrial antideslizante; revestimiento interior de paredes y techos con enlucido de yeso y pintura plástica; carpintería de aluminio en puertas y ventanas con cristal doble; barandilla de aluminio en escalera; cubierta inclinada de teja; instalaciones: agua de servicios para baldeo, baja tensión (cuadro b.t., alumbrado, tomas de corriente, etc.), protección contra incendios, etc.; polipasto manual para reactores U.V. Dimensiones exteriores 9,75m de largo x 5,00m de ancho x 3,50m de altura libre interior. Incluye movimiento de tierras: excavación, encachado, relleno y compactación de trasdós, totalmente terminado.	40.000,00	1,00	40.000,00
<b>OC06 Ud.</b>	<b>CUBETO PARA ALMACENAMIENTO DE SULFATO DE ALUMINIO</b>			
	Cubeto de hormigón armado HA-35/B/20/IV+Qc y acero corrugado B-500S en cuantía media de 100kg/m3, para depósito de sulfato de aluminio. Constituido por capa de hormigón de limpieza HL-150 de 10cm de espesor, losa de 5,0m de ancho x 5,0m de largo y 25cm de espesor, murete perimetral de 0,50m de altura y 20cm de espesor. Incluye excavación, encachado, relleno y compactación de trasdós, tratamiento superficial interior impermeabilizante, totalmente terminado.	4.500,00	1,00	4.500,00
<b>OC07 Ud.</b>	<b>CUBIERTA LIGERA DE PRFV PARA CANAL DE CLORACIÓN</b>			
	Cubierta plana ligera de 8,1m de longitud por 3,0m de anchura para cubrición de canal de cloración, constituida por entramado de vigas de apoyo de PRFV ancladas a los muros perimetrales de hormigón armado y planchas desmontables de PRFV de forma rectangular. Incluye suministro, colocación, grúas y cualquier tipo de maquinaria auxiliar o herramientas, totalmente terminado.	6.000,00	1,00	6.000,00

## PRESUPUESTOS PARCIALES

### PROYECTO BÁSICO DE IMPLANTACIÓN DE TRATAMIENTO TERCIARIO EN LA E.D.A.R. DE BENISSA- SENIJA. BENISSA (ALICANTE)

CÓDIG UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)	MEDICIÓN	IMPORTE (€)
<b>OC08 Ud.</b>	<b>TUBERÍA ACERO GALVANIZADO DN150mm</b> Tubería de acero al carbono galvanizada en caliente DN150mm. Incluye p.p. de uniones soldadas y embridadas, piezas especiales (codos, derivaciones, reducciones, pasamuros, etc). Incluye instalación aérea o en zanja, incluso formación de apoyos de hormigón, ejecución de zanja con 30cm de sobreebanco a cada lado, protección de la conducción con arena y relleno con material de la excavación compactado. Incluye pruebas de presión y conexiones hidráulicas, totalmente terminado.	160,00	15,00	2.400,00
<b>OC09 Ud.</b>	<b>TUBERÍA ACERO GALVANIZADO DN200mm</b> Tubería de acero al carbono galvanizada en caliente DN200mm. Incluye p.p. de uniones soldadas y embridadas, piezas especiales (codos, derivaciones, reducciones, pasamuros, etc). Incluye instalación aérea o en zanja, incluso formación de apoyos de hormigón, ejecución de zanja con 30cm de sobreebanco a cada lado, protección de la conducción con arena y relleno con material de la excavación compactado. Incluye pruebas de presión y conexiones hidráulicas, totalmente terminado.	200,00	88,00	17.600,00
<b>OC10 Ud.</b>	<b>TUBERÍA ACERO GALVANIZADO DN250mm</b> Tubería de acero al carbono galvanizada en caliente DN250mm. Incluye p.p. de uniones soldadas y embridadas, piezas especiales (codos, derivaciones, reducciones, pasamuros, etc). Incluye instalación aérea o en zanja, incluso formación de apoyos de hormigón, ejecución de zanja con 30cm de sobreebanco a cada lado, protección de la conducción con arena y relleno con material de la excavación compactado. Incluye pruebas de presión y conexiones hidráulicas, totalmente terminado.	230,00	40,00	9.200,00
<b>OC11 Ud.</b>	<b>TUBERÍA ACERO GALVANIZADO DN400mm</b> Tubería de acero al carbono galvanizada en caliente DN400mm. Incluye p.p. de uniones soldadas y embridadas, piezas especiales (codos, derivaciones, reducciones, pasamuros, etc). Incluye instalación aérea o en zanja, incluso formación de apoyos de hormigón, ejecución de zanja con 30cm de sobreebanco a cada lado, protección de la conducción con arena y relleno con material de la excavación compactado. Incluye pruebas de presión y conexiones hidráulicas, totalmente terminado.	325,00	4,00	1.300,00

## PRESUPUESTOS PARCIALES

### PROYECTO BÁSICO DE IMPLANTACIÓN DE TRATAMIENTO TERCIARIO EN LA E.D.A.R. DE BENISSA-SENIJA. BENISSA (ALICANTE)

CÓDIG UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)	MEDICIÓN	IMPORTE (€)
-----------	-------------	------------	----------	-------------

#### OC12 Ud. URBANIZACIÓN

Urbanización de la parcela del tto. terciario de 500m<sup>2</sup> de superficie aproximada. Incluye formación de explanada con material seleccionado de préstamo, ejecución de acera perimetral con bordillo en edificio, ejecución de vallado perimetral con murete de bloque de hormigón cara vista y malla de simple torsión, con puerta de acceso para vehículos, alumbrado de la parcela con proyectores LED sobre columna, extensión de capa de zahorra, riego de adherencia y capa de aglomerado en caliente AC16 Surf de 5cm de espesor.

18.000,00	1,00	18.000,00
-----------	------	-----------

<b>TOTAL Subcap. 2.1. OBRA CIVIL</b>			<b>133.500,00</b>
--------------------------------------	--	--	-------------------

#### Scap. 2.2. EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS

#### EQ01 Ud. BOMBEO A TRATAMIENTO TERCIARIO

Equipo de bombeo formado por dos bombas sumergibles de aguas residuales, modelo NP3102.181MT de Flygt o equivalente de 3,1kW de potencia, para un caudal unitario de 14,5lts/s a 6,1mca. Incluye dos colectores de impulsión DN150mm de acero galvanizado con dos válvulas de compuerta y dos válvulas de retención DN150mm PN10atm, zócalos para pozo TOP, soportes y tubos guía, reguladores de nivel, cuadro de control y maniobra con dos variadores de frecuencia, cableado hasta cuadro general, instalación y prueba del conjunto.

28.000,00	1,00	28.000,00
-----------	------	-----------

#### EQ02 Ud. AGITADOR MEZCLA RÁPIDA COAGULANTE

Agitador con hélice para mezcla rápida y eje vertical modelo VRF3061S de Dosapro o equivalente, con motor de 1,1kW, 99 r.p.m., hélice de 600mm de diámetro, construido en acero inoxidable AISI-316L. Incluye cableado hasta cuadro general, instalación y prueba.

2.900,00	1,00	2.900,00
----------	------	----------

#### EQ03 Ud. AGITADOR MEZCLA LENTA FLOCULANTE

Agitador con hélice para floculación y eje vertical modelo FRF0142S de Dosapro o equivalente, con motor de 0,37kW, 19,2 r.p.m., hélice de 1400mm de diámetro, construido en acero inoxidable AISI-316L. Incluye cableado hasta cuadro general, instalación y prueba.

3.300,00	1,00	3.300,00
----------	------	----------

## PRESUPUESTOS PARCIALES

### PROYECTO BÁSICO DE IMPLANTACIÓN DE TRATAMIENTO TERCIARIO EN LA E.D.A.R. DE BENISSA- SENIJA. BENISSA (ALICANTE)

CÓDIG UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)	MEDICIÓN	IMPORTE (€)
<b>EQ04 Ud.</b>	<b>FILTRO DE TAMBOR</b> Filtro de tambor, modelo DynaDrum TDD1640 de Nordic Water o equivalente, para un caudal punta de diseño de 104m <sup>3</sup> /h, tela filtrante de 16m <sup>2</sup> de superficie y 10µm de paso. Incluye filtro elaborado en acero inoxidable AISI 316L, tela filtrante de poliéster, equipo de contralavado, motor de accionamiento, cuadro de control con variador de frecuencia y cableado, conexionado hidráulico y eléctrico, instalación y prueba del conjunto.	100.000,00	1,00	100.000,00
<b>EQ05 Ud.</b>	<b>REACTOR U.V.</b> Reactor ultravioleta de tipo tubería conexión con bridas DN150mm PN10atm, modelo Trojan UVFit-04AL20 o equivalente, formado por 4 lámparas, para un caudal punta de diseño de 52m <sup>3</sup> /h, dosis UV de 20mJ/cm <sup>2</sup> y transmitancia del 60%. Incluye reactor, cuadro de control y cableado, p.p. de tes de calderería y dos válvulas de compuerta DN150mm para su mantenimiento, instalación y prueba del conjunto.	24.500,00	2,00	49.000,00
<b>EQ06 Ud.</b>	<b>DEPÓSITO DE SULFATO DE ALUMINIO</b> Depósito cilíndrico con base plana de PRFV de 5m <sup>3</sup> de capacidad útil, modelo DPGSS-50 de Tecnum o equivalente. Incluye tubuladuras: boca de hombre, carga, vaciado, nivel, etc. Incluye indicador visual de nivel e interruptor de nivel máximo, instalación y prueba, legalización.	6.600,00	1,00	6.600,00
<b>EQ07 Ud.</b>	<b>EQUIPO DE DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO</b> Equipo de dosificación de sulfato de aluminio formado por tres bombas de membrana de 10lts/h de capacidad unitaria, modelo GA10 de Dosapro o equivalente, válvulas y tuberías de PVC desde depósito de reactivo hasta cámara de mezcla rápida, cableado eléctrico hasta cuadro general, instalación y prueba.	2.500,00	1,00	2.500,00
<b>EQ08 Ud.</b>	<b>EQUIPO DE PREPARACIÓN DE POLIELECTROLITO</b> Equipo de preparación automática de polielectrolito de 400lts/h de capacidad, modelo APS-MAX-400-SS de Dosapro o equivalente, construido en acero inoxidable AISI316L. Incluye acometida a red de agua de servicios y conexión a bombas dosificadoras, cuadro de control, cableado eléctrico hasta cuadro general, conexión y prueba.	14.300,00	1,00	14.300,00

**PRESUPUESTOS PARCIALES****PROYECTO BÁSICO DE IMPLANTACIÓN DE TRATAMIENTO TERCIARIO EN LA E.D.A.R. DE BENISSA-SENIJA. BENISSA (ALICANTE)**

<b>CÓDIG UD.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO (€)</b>	<b>MEDICIÓN</b>	<b>IMPORTE (€)</b>
<b>EQ09 Ud.</b>	<b>EQUIPO DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE POLIELECTROLITO</b>			
	Equipo de dosificación de polielectrolito formado por tres bombas de membrana de 90lts/h de capacidad unitaria, modelo GA90 de Dosapro o equivalente, válvulas y tuberías de PVC desde equipo de preparación de polielectrolito hasta cámara de floculación, cableado eléctrico hasta cuadro general, instalación y prueba.	4.200,00	1,00	4.200,00
<b>EQ10 Ud.</b>	<b>CUADRO ELÉCTRICO GENERAL, ACOMETIDA EN BAJA TENSIÓN Y LEGALIZACIÓN</b>			
	Cuadro general de control y maniobra, incluye envolvente, interruptores y protecciones eléctricas, cableado y pequeño material, acometida desde cuadro general de la E.D.A.R., conexión a tierra, instalación, prueba y legalización.	13.800,00	1,00	13.800,00
<b>EQ11 Ud.</b>	<b>AMPLIACIÓN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE LA E.D.A.R.</b>			
	Ampliación del sistema de automatización y control de la E.D.A.R. de Benissa-Senija para incorporar el nuevo tratamiento terciario. Incluye ampliación del PLC y cableado de señal, ampliación de sistema Scada, licencias y programación. Instalado y probado.	7.900,00	1,00	7.900,00
	<b>TOTAL Subcap. 2.2. EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS</b>			<b>232.500,00</b>
	<b>TOTAL Cap. 2. TRATAMIENTO TERCIARIO</b>			<b>366.000,00</b>
<b>Cap 3.</b>	<b>GESTIÓN DE RESIDUOS</b>			
<b>GR01 PA</b>	<b>GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>			
	A justificar por gestión de residuos de construcción y demolición	5.000,00	1,00	5.000,00
	<b>TOTAL Cap. 3. GESTIÓN DE RESIDUOS</b>			<b>5.000,00</b>
<b>Cap 4.</b>	<b>SEGURIDAD Y SALUD</b>			
<b>SS01 PA</b>	<b>SEGURIDAD Y SALUD</b>			
	A justificar según Estudio de Seguridad y Salud	7.000,00	1,00	7.000,00
	<b>TOTAL Cap. 4. SEGURIDAD Y SALUD</b>			<b>7.000,00</b>
	<b>TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>			<b>450.000,00</b>



## PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

### PROYECTO BÁSICO DE IMPLANTACIÓN DE TRATAMIENTO TERCIARIO EN LA E.D.A.R. DE BENISSA-SENIIJA. BENISSA (ALICANTE)

<b>CAPÍTULO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>IMPORTE (€)</b>
Cap 1.	MEJORA DEL SISTEMA DE APORTE DE AIRE AL REACTOR BIOLÓGICO	72.000,00
Cap 2.	TRATAMIENTO TERCIARIO	366.000,00
Scap. 2.1.	OBRA CIVIL	133.500,00
Scap. 2.2.	EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS	232.500,00
Cap 3.	GESTIÓN DE RESIDUOS	5.000,00
Cap 4.	SEGURIDAD Y SALUD	7.000,00
	<b>TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>450.000,00</b>

Asciende el Presupuesto de Ejecución Material, a la expresada cantidad de CUATROCIENTOS CINCUENTA MIL EUROS (450.000,00.-€).



**PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN**

**PROYECTO BÁSICO DE IMPLANTACIÓN DE TRATAMIENTO TERCIARIO EN LA E.D.A.R. DE BENISSA-  
SENIJA. BENISSA (ALICANTE)**

	<u>IMPORTE (€)</u>
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>450.000,00</b>
Gastos Generales (16%)	72.000,00
Beneficio Industrial (6%)	27.000,00
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN s/IVA</b>	<b>549.000,00</b>
IVA (21%)	115.290,00
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN IVA Incl.</b>	<b>664.290,00</b>

**Asciede el Presupuesto Base de Licitación, IVA incluido, a la expresada cantidad de SEISCIENTOS SESENTA Y CUATRO MIL DOSCIENTOS NOVENTA EUROS (664.290,00.- €).**



## CAPÍTULO 5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

La E.D.A.R. de Benissa-Senija fue puesta en servicio en 2002 y consta de un pretratamiento y un tratamiento secundario, está diseñada para un caudal medio de  $2.500\text{m}^3/\text{d}$ , aunque actualmente está tratando algo menos de la mitad. Con posterioridad a su puesta en servicio, se han ido construyendo infraestructuras para reutilización del agua tratada principalmente para usos municipales e industriales, aunque existe una potencial demanda para reutilizar el excedente para riego agrícola. La planificación de estas infraestructuras es anterior al *Real Decreto 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas*, en él se establecen unos criterios mínimos de calidad que debe cumplir el agua, y que el diseño inicial de la planta no es capaz de conseguir.

Para asegurar la calidad exigida por ley, se propone en el presente trabajo fin de master la construcción de un tratamiento terciario a implantar en dos fases mediante dos líneas gemelas de tratamiento diseñadas para tratar  $1.250\text{m}^3/\text{d}$  cada una. El tratamiento escogido consta de una arqueta de derivación, un bombeo a tratamiento terciario, un tratamiento de coagulación-floculación mediante adición de sulfato de aluminio y polielectrolito, un filtro de tambor con tela filtrante de  $10\mu\text{m}$  de paso, y una desinfección ultravioleta mediante doble reactor de tipo tubería.

Aunque el consumo energético del tratamiento terciario es bastante reducido, (alrededor de  $17\text{kW}$  con una sola línea y  $30\text{kW}$  con las dos líneas en funcionamiento), se ha estudiado el tratamiento secundario existente con el fin de comprobar si una optimización del proceso puede dar lugar a una reducción del consumo energético que compense la nueva demanda del terciario. Se ha comprobado que las posibilidades de regulación del caudal de aire suministrado en el reactor biológico son actualmente escasas. Una ligera modificación en el sistema de bajantes y parrillas, de manera que se pueda operar la zona óxica del reactor en cinco zonas independientes, da lugar en las simulaciones efectuadas, a una mejora en los rendimientos de reducción de nutrientes con descenso significativo de la demanda de oxígeno total. Teniendo en cuenta que la potencia total instalada de soplantes a reactor biológico es de  $88\text{kW}$ , una pequeña reducción en el consumo puede compensar la demanda del terciario.

Se ha estimado el coste de las modificaciones del sistema de suministro de aire al reactor biológico, así como el de implantación del tratamiento terciario en su primera fase. Sumado éste al coste de adquisición de los terrenos (unos  $500\text{m}^2$ ) y al de dirección de las obras, resulta un Presupuesto para Conocimiento de la Administración del orden de setecientos cincuenta mil euros ( $750.000,00\text{€}$ ).