



Universitat Jaume I

Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals

Grau en Enginyeria Química

**Diseño de una planta de tratamiento de aguas
superficiales para su posterior alimentación a
caldera**

Trabajo de Fin de Grado

Autor/a: Anca Claudia Blaga

Tutor/a: José Luis Amorós Albaro

Castellón, abril de 2019

0. Resumen

En el presente proyecto se realiza el diseño y dimensionamiento de una planta de tratamiento de aguas procedentes de pantano para su adecuación y posterior alimentación a una caldera de vapor, cumpliendo, de esta manera, con los requisitos impuestos por el fabricante.

Para ello, primero tendrá lugar un tratamiento físico-químico por decantación para la eliminación de sólidos en suspensión, seguido de la cloración del agua mediante la dosificación de hipoclorito sódico con el fin de eliminar los microorganismos patógenos presentes en el agua. A continuación, se realizará una primera filtración mediante un filtro de arena y grava y una segunda filtración en un filtro de carbón activo. A la salida de éste se dosificará el producto antiincrustante para evitar el ensuciamiento de las membranas y el agua pasará por un sistema de filtración de seguridad de $5\mu\text{m}$ antes de entrar a los módulos de ósmosis inversa. Al caudal de permeado que se obtendrá en la ósmosis inversa se le añadirá cierta dosis de neutralizante en función del pH de éste, y se alimentará a la caldera de vapor, mientras que el caudal de concentrado será llevado al sistema de desagüe y posteriormente al alcantarillado.

Por último, también se valorará la rentabilidad de la planta de tratamiento mediante un estudio de viabilidad económica.

1. Índice

General

0. Resumen
1. Índice General
2. Memoria
3. Anexos
4. Planos
5. Pliego de Condiciones
6. Estado de Mediciones
7. Presupuesto

2. Memoria

Índice

1. Objeto.....	1
2. Alcance.....	2
3. Antecedentes.....	3
4. Normas y referencias	6
4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas.....	6
4.2. Bibliografía.....	6
4.3. Páginas web.....	7
4.4. Programas informáticos	7
5. Definiciones y abreviaturas	8
5.1. Definiciones.....	8
5.2. Abreviaturas	9
6. Requisitos de diseño	12
6.1. Características del agua de entrada.....	12
6.2. Calidad requerida para el agua de alimentación a la caldera	14
6.3. Caudales	14
7. Análisis de soluciones.....	16
7.1. Coagulación-floculación	16
7.1.1. Justificación de la elección.....	19
7.2. Sedimentación	19
7.3. Desinfección: reactivos	21
7.3.1. Cloración	21
7.3.2. Justificación de la elección.....	23
7.4. Filtración	23
7.4.1. Filtración mediante arena y grava	23
7.4.2. Sistema de decoloración mediante carbón activo.....	23
7.4.3. Sistema de filtración de seguridad.....	24
7.5. Dosificación de antiincrustante	24
7.6. Ósmosis inversa.....	24
7.6.1. Configuración de las membranas	27
7.7. Dosificación de neutralizante	30
8. Resultados finales	31

9. Planificación.....	34
10. Orden de prioridad de los documentos básicos	36
11. Viabilidad económica	37
11.1. Resumen del presupuesto	37
11.2. Presupuesto de explotación.....	38
11.2.1. Inversión inicial	38
11.2.2. Gastos directos.....	38
11.2.3. Amortización	38
11.2.4. Gastos indirectos.....	39
11.2.5. Gastos totales.....	39
11.2.6. Ingresos	39
11.2.7. Beneficio bruto	40
11.2.8. Beneficio neto.....	41
11.2.9. Flujo de Caja	42
11.2.10. Valor Actual Neto	42
11.2.11. Tasa Interna de Retorno.....	43
11.2.12. Periodo de Retorno.....	44

1. Objeto

Una papelera, situada en la Comunidad Valenciana, emplea calderas de vapor para el accionamiento de algunas máquinas. El agua de aporte procede de un pantano cercano y no cumple con la calidad del agua de alimentación a caldera requerida por el fabricante.

El objetivo del presente proyecto es la descripción y el dimensionamiento de los equipos necesarios que formen una línea de tratamiento de aguas superficiales para su adecuación y posterior alimentación a caldera, cumpliendo con los límites requeridos. Además, por último, se valorará la viabilidad económica de la planta.

2. Alcance

El presente proyecto se centrará en el diseño y dimensionamiento de una línea de tratamiento de aguas provenientes de un pantano con el fin de acondicionarlas para su alimentación a una caldera, asegurando la producción de un caudal de permeado de 15m³/h.

Esta línea de tratamiento se instalará en una nave existente y estará integrada por las siguientes instalaciones:

1. Tratamiento físico-químico por decantación para la eliminación de sólidos en suspensión, obteniendo, de esta manera, un agua clarificada
2. Depósito de fangos de 10m³
3. Depósito de 50m³ de capacidad para el almacenamiento del agua clarificada
4. Sistema de cloración para la eliminación de microorganismos patógenos, evitando que éstos se reproduzcan y causen daños en las instalaciones
5. Proceso de filtración para la eliminación de sólidos suspendidos, mediante un sistema de filtración de arena y grava
6. Sistema de dechloración por filtro de carbón activo para la eliminación del cloro libre residual, evitando daños en los equipos posteriores, sobre todo, en las membranas de ósmosis inversa
7. Dosificación de antiincrustante para evitar el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa debido a incrustaciones de sales
8. Sistema de filtración de seguridad por cartuchos de 5µm
9. Sistema de ósmosis inversa de dos etapas y bombeo
10. Dosificación de neutralizante para corregir el pH del agua a la salida del tratamiento de ósmosis

3. Antecedentes

El agua absorbe más calor que cualquier otra sustancia inorgánica a una temperatura determinada, se evapora para formar vapor a presión atmosférica y es capaz de almacenar una gran cantidad de energía. Debido a sus propiedades se convierte en la materia prima ideal para procesos de generación de energía.

La calidad del agua de alimentación a las calderas de vapor es uno de los aspectos más importantes a considerar, tanto para su vida como para su funcionamiento.

Las impurezas más comunes presentes en aguas naturales son las siguientes:

- Gases disueltos (dióxido de carbono, oxígeno...etc.)
- Sólidos disueltos (sales de calcio, magnesio, sílice...etc.)
- Partículas inorgánicas en suspensión
- Materia orgánica en suspensión

Cuando estas impurezas se acumulan, pueden provocar varios problemas:

- Incrustaciones: se forman en las zonas de mayor transferencia de calor, debido a las sales disueltas que por calentamiento se concentran y precipitan, formando depósitos duros y térmicamente aislantes. Esto pasa, por ejemplo, en el caso del CaCO_3 , que al producirse un aumento de la temperatura disminuye la solubilidad de éste y favorece su precipitación. De esta manera, se reduce el coeficiente de transmisión de calor entre las paredes de la caldera y el agua y la sección libre de paso del fluido, disminuyendo el rendimiento de la caldera. Otro de los efectos perjudiciales de las incrustaciones es la disminución de la resistencia y la rotura de los materiales de construcción de la caldera por sobrecalentamiento.
- Corrosión: es una reacción electroquímica que se presenta entre el metal y el medio degradante, produciendo una pérdida del espesor de las paredes y de la resistencia mecánica del material, además de la formación de depósitos que pueden acumularse en determinados puntos produciendo efectos perjudiciales. Está ocasionada principalmente por el oxígeno disuelto en agua, el dióxido de carbono o por ácidos. Las partes más afectadas son las “frías” (circuito de alimentación y economizadores) ya que en las partes calientes se forma una capa superficial de óxido de hierro

(magnetita) que impide que la oxidación de propague hacia el interior del material, actuando como capa protectora.

- Fragilidad cáustica: agrietamiento del metal en los puntos sometidos a esfuerzos mecánicos, en los que existe una alta concentración de hidróxidos alcalinos. Normalmente se produce una rotura intercrystalina de la red.
- Arrastres y formación de espumas: se debe a la presencia de sólidos disueltos y suspendidos en exceso, a la alta alcalinidad o a la presencia de aceites y grasas y materia orgánica. Causan sobrecalentamiento por deposición de sustancias en zonas de vapor y deposición de productos en los álabes de las turbinas de vapor.

En la Tabla M.1 se muestran algunas de las impurezas que se encuentran en el agua y sus efectos.

Tabla M.1. Principales impurezas presentes en el agua y sus efectos

Impurezas		Forma	Efectos
Dióxido de carbono	CO ₂	Gas	Corrosión
Oxígeno	O ₂	Gas	Corrosión
Materia en suspensión	-	Sólidos no disueltos	Corrosión
Materia orgánica	-	Sólidos disueltos y no disueltos	Depósitos, espumas y arrastres
Aceites y grasas	-	Coloides	Depósitos, espumas y arrastres
Acidez	H ⁺	-	Corrosión
Dureza	Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Sales disueltas	Incrustaciones
Alcalinidad	CO ₃ ²⁻ , CO ₃ H ⁻ , OH ⁻	Sales disueltas	Espumas, arrastres, desprendimiento de CO ₂ , fragilidad cáustica
Salinidad (TDS)	-	Sales disueltas	Depósitos, espumas y arrastres
Cloruros	Cl ⁻	Sales disueltas	Aumento de salinidad y corrosividad
Sílice	SiO ₂	Sales disueltas	Incrustaciones

Tabla M.1. Principales impurezas presentes en el agua y sus efectos

Impurezas		Forma	Efectos
Hierro, Manganeseo	Fe, Mn	Sales disueltas o partículas	Depósitos
Cobre	Cu	Sales disueltas o partículas	Depósitos y corrosión

En el presente proyecto, el agua de alimentación proviene de un pantano cercano, por lo tanto, es necesario someterla a un tratamiento para reducir lo máximo posible la presencia de estas impurezas, evitando, de esta manera, los efectos perjudiciales nombrados anteriormente y cumpliendo con la calidad de agua de alimentación a caldera de acuerdo los requisitos impuestos por el fabricante.

4. Normas y referencias

4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

- UNE 157001:2014. Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.
- DIN 8062. Tuberías PVC. Diámetros y espesores nominales.
- ANSI B 36.19. Tuberías de acero inoxidable.
- Ley 31/1995, 8 de noviembre. Ley de prevención de riesgos laborales.
- Ordenanza de Vertidos a la red municipal de alcantarillado. EPSAR. Generalitat Valenciana.
- Ley 2/1992 de 26 de marzo del Gobierno Valenciano, de saneamiento de aguas de la Comunidad Valenciana.

4.2. Bibliografía

- Monfort, E., (2013). *EQ1027, Tecnología del medio ambiente*. Universitat Jaume I materials.
- Rodrigo, M.D., (2003). *Operaciones básicas de flujo de fluidos*. Universitat Jaume I materials.
- Monfort, E., (2007). *Seguridad e Higiene en la Industria Química*. Universitat Jaume I materials.
- Colomer, F., (2017). *Apuntes EQ1031, Proyectos de Ingeniería*. Universitat Jaume I materials.
- Barrera, M., (2017). *Apuntes EQ1040, Tecnología Hídrica y Energética en la Indústria Química*. Universitat Jaume I materials
- Monfort., E., (2016). *Apuntes EQ1027, Tecnología del medio ambiente*. Universitat Jaume I materials
- Metcalf & Eddy, (1995). *Ingeniería de aguas residuales*. Prólogo de Ángel Cajigas
- American Water Works Association Research Foundation, Lyonnaise des Eaux, Water Research Comisión of South Africa, (1998). *Tratamiento del agua por procesos de membrana. Principios, procesos y aplicaciones*. Ed. Mc Graw-Hill.

4.3. Páginas web

- *Lenntech: Tratamiento y purificación del agua.* <https://www.lenntech.es/>
- *DOW.* <https://es.dow.com/es-es>
- *García, M., (2009). Tratamientos específicos de vertidos industriales. UGR.* <https://www.ugr.es/~mgroman/archivos/TARI/teari-2.pdf>
- *Tratamientos de agua para caldera. Norese,* <http://norese.com/publicaciones/Tratamiento%20Agua%20Calderas.pdf>
- *El agua potable.* <http://www.elaguapotable.com/index.htm>
- *Problemas y tratamiento del agua de caldera. Recursos biblio.* http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio_sin_paredes/fac_ing/Manu_cald/cap/13.pdf
- *Generador de precios de la construcción. España. Cype Ingenieros,S.A. Generador de precios.* <http://www.generadordeprecios.info/>

4.4. Programas informáticos

- Microsoft Word 2016
- Microsoft Excel 2016
- Microsoft PowerPoint 2016
- Microsoft Project 2018
- AutoCAD 2007/2019
- Rosa 9 (Dow Chemical)

5. Definiciones y abreviaturas

5.1. Definiciones

- Conductividad eléctrica: capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está relacionada con la cantidad de iones que contiene.
- Turbidez: medida que hace referencia a la falta de transparencia un líquido, debido a la presencia de partículas en suspensión y material coloidal. Se considera una buena medida de la calidad del agua, a mayor turbidez menor calidad.
- Total de Sólidos Disueltos (TDS): concentración total de sustancias disueltas en un líquido.
- Sólidos en suspensión: partículas que permanecen en suspensión en un líquido.
- pH: medida de la acidez o alcalinidad de una disolución, indica la concentración de iones hidrógeno presentes en ésta y se define como $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): mide la cantidad de materia susceptible de ser oxidada por medios químicos en determinadas condiciones.
- Dureza total o título hidrotimétrico (TH): contenido total de iones alcalinotérreos presentes en el agua. Como la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} normalmente es mucho mayor que la del resto de iones alcalinotérreos, la dureza se determina como la suma de la concentración de estos iones.
- Alcalinidad: capacidad del agua para neutralizar ácidos. Está determinada en mayor parte por el contenido en CO_3^{2-} , CO_3H^- y OH^- . La alcalinidad puede medirse como alcalinidad total o título alcalimétrico total (TAC), o como alcalinidad simple o título alcalimétrico (TA).
- Coloides: partículas con diámetros inferiores a $10\mu\text{m}$ que no pueden ser eliminadas por sedimentación, debido a que las fuerzas electrostáticas repulsivas impiden que se aglomeren y el movimiento Browniano las mantiene en suspensión. Para su eliminación por sedimentación es necesario el proceso de coagulación-floculación.
- Cloro libre residual: cantidad de cloro remanente en el agua después de que parte del añadido reaccione en el proceso de desinfección de ésta.
- Silt Density Index (SDI): parámetro que permite determinar la capacidad de ensuciamiento de un agua sobre membranas.
- Fouling Factor (FF): factor de ensuciamiento de las membranas.

5.2. Abreviaturas

- CO_2 Dióxido de Carbono
- O_2 Oxígeno
- H^+ Ion Hidrógeno
- Ca^{2+} Ion Calcio
- Mg^{2+} Ion Magnesio
- CO_3^{2-} Carbonatos
- CO_3H^- Bicarbonatos
- OH^- Hidróxido
- Cl^- Ion Cloro
- CaCO_3 Carbonato de Calcio
- SiO_2 Sílice
- Fe Hierro
- Mn Manganeseo
- Cu Cobre
- Al^{3+} Aluminio
- F^- Ion Fluoruro
- PO_4^{3-} Fosfatos
- NO_3^- Nitratos
- K^+ Ion Potasio
- Na^+ Ion Sodio
- SO_4^{2-} Sulfatos
- H_2O Agua
- HCl Ácido Clorhídrico
- HOCl Ácido Hipocloroso
- OCl^- Ion Hipoclorito
- Cl_2 Cloro Gas
- O_3 Ozono
- KMnO_4 Permanganato Potásico
- NaOCl Hipoclorito de Sodio
- NaCl Cloruro de Sodio
- NaOH Hidróxido de Sodio

- DQO Demanda Química de Oxígeno
- TDS Total de Sólidos Disueltos
- SS Sólidos en Suspensión
- m³ Metros cúbicos
- cm³ Centímetros cúbicos
- m² Metros cuadrados
- h Hora
- s Segundo
- μm Micrómetros
- mm Milímetros
- mg Miligramo
- kg Kilogramo
- t Tonelada
- l Litro
- μS Microsiemens
- cm Centímetro
- cP Centipoise
- NTU Unidades Nefelométricas de Turbidez
- °C Grados Centígrados
- ppm Partes por millón
- bar Bares
- Pa Pascales
- J Julios
- W Vatio
- kWh Kilovatio-hora
- N Newton
- Q Caudal
- EPSAR Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales
- APAVE Asociación de Propietarios de Unidades Eléctricas de Vapor
- ABMA Asociación de Fabricantes de Calderas Americanos
- THM Trihalometano
- SDI Silt Density Index

- MF Microfiltración
- UF Ultrafiltración
- NF Nanofiltración
- OI Ósmosis inversa
- ED Electrodiálisis
- PEM Presupuesto de Ejecución Material
- PEC Presupuesto de Ejecución por Contrata
- IPC Índice de Precios de Consumo
- FC Flujo de Caja
- VAN Valor Actual Neto
- TIR Tasa Interna de Rentabilidad
- PR Periodo de Retorno
- INSHT Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

6. Requisitos de diseño

Para llevar a cabo el diseño y dimensionamiento de la planta es necesario conocer tanto las características del agua que llega a ésta, como la calidad del agua requerida por el fabricante de calderas y el caudal de agua a tratar.

6.1. Características del agua de entrada

Debido a que el agua que llega a la planta procede de un pantano, ésta tiene cierto grado de contaminación. Por lo tanto, es necesario conocer los valores que cuantifican la contaminación del agua para poder ser tratada.

Durante la estancia en prácticas en la empresa Servyeco, ésta se encargó de realizar el análisis para caracterizar el agua de entrada al tratamiento. Además, la empresa disponía de una planta piloto para la realización de ensayos. Gracias a esto se obtuvo la analítica del agua de entrada al sistema de ósmosis inversa, que se utilizará para el diseño y dimensionamiento de ésta, mediante un programa de simulación. Estos datos se muestran en las Tablas M.2 y M.3, respectivamente.

Tabla M.2. Análisis del agua de entrada al tratamiento

Parámetro	Resultado
Conductividad a 20°C (µS/cm)	836
pH	8
Turbidez (NTU)	11,3
DQO (mg O₂/l)	50
SS (mg/l)	34

Tabla M. 3. Análisis del agua a la entrada de la ósmosis inversa

Parámetro		Resultado
Aluminio (mg/l)	Al ³⁺	<0,5
Bicarbonatos (mg CaCO ₃ /l)	HCO ₃ ⁻	230
Calcio (mg/l)	Ca ²⁺	25
Carbonatos (mg CaCO ₃ /l)	CO ₃ ²⁻	<10
Cloruros (mg/l)	Cl ⁻	142
Conductividad a 20°C (µS/cm)	-	890
Demanda Química de Oxígeno (mg O ₂ /l)	DQO	<50
Fluoruro (mg/l)	F ⁻	<0,1
Fosfatos (mg/l)	PO ₄ ³⁻	0,39
Hierro total (mg/l)	Fe	<0,1
Magnesio (mg/l)	Mg ²⁺	61,9
Manganeso (mg/l)	Mn	<0,1
Nitratos (mg/l)	NO ₃ ⁻	11,9
pH	-	7,8
Potasio (mg/l)	K ⁺	8,6
Sílice (mg/l)	SiO ₂	8,1
Sodio (mg/l)	Na ⁺	104,2
Sólidos en suspensión (mg/l)	SS	<10
Sulfatos (mg/l)	SO ₄ ²⁻	105
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	TDS	712
Turbidez (NTU)	-	0,66

6.2. Calidad requerida para el agua de alimentación a la caldera

Según el fabricante de calderas, el agua de alimentación debe cumplir con los requisitos que se muestran en la Tabla M.4:

Tabla M.4. Requisitos del agua de alimentación a caldera

Parámetro	Límite
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	< 60
Dureza total ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$)	< 5
pH	6,5 - 9
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	5 - 40

También debe tenerse en cuenta otro parámetro, la alcalinidad, ya que ésta influye en la corrosividad de las calderas. Según la APAVE (Asociación de Propietarios de Unidades Eléctricas de Vapor) y la ABMA (Asociación de Fabricantes de Calderas Americanos) en las calderas que trabajan a presiones entre 0 y 20 bares (en este caso se trabaja a 12bar) el límite de alcalinidad es de $350\text{mgCaCO}_3/\text{l}$.

6.3. Caudales

Se requiere el diseño de la instalación para asegurar la obtención $15\text{m}^3/\text{h}$ de permeado, con una conversión del 75% en el sistema de ósmosis inversa, como se muestra en la Figura M.1. Por lo tanto, el caudal mínimo de entrada al sistema es $Q = 20\text{m}^3/\text{h}$. Para el dimensionamiento del tratamiento se utilizará un caudal $Q = 25\text{m}^3/\text{h}$, por motivos de seguridad, ya que puede darse alguna anomalía que provoque un aumento del caudal y, además, también se debe tener en cuenta que el rendimiento de los equipos nunca es el máximo. Los cálculos correspondientes al caudal aparecen en el apartado 1.2 del documento *Anexos*.

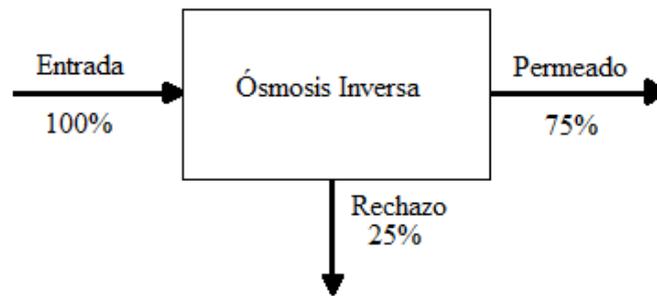


Figura M.1. Esquema del sistema de ósmosis inversa

7. Análisis de soluciones

A continuación, se exponen y justifican las diferentes alternativas consideradas para la línea de tratamiento y las soluciones adoptadas.

7.1. Coagulación-floculación

El objetivo principal de la coagulación-floculación es la eliminación de coloides y precipitados en suspensión.

La coagulación consiste en la desestabilización de las partículas coloidales neutralizando sus cargas eléctricas (generalmente negativas) mediante la adición de reactivos y agitación. Estos reactivos se denominan coagulantes.

La floculación consiste en la aglomeración de las partículas desestabilizadas, primero en microflóculos, y más tarde en aglomerados más voluminosos llamados flóculos. Los reactivos que favorecen la floculación se denominan floculantes.

En la Figura M.2 se muestra como la adición del coagulante neutraliza las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide permitiendo la aglomeración y formación de flóculos.

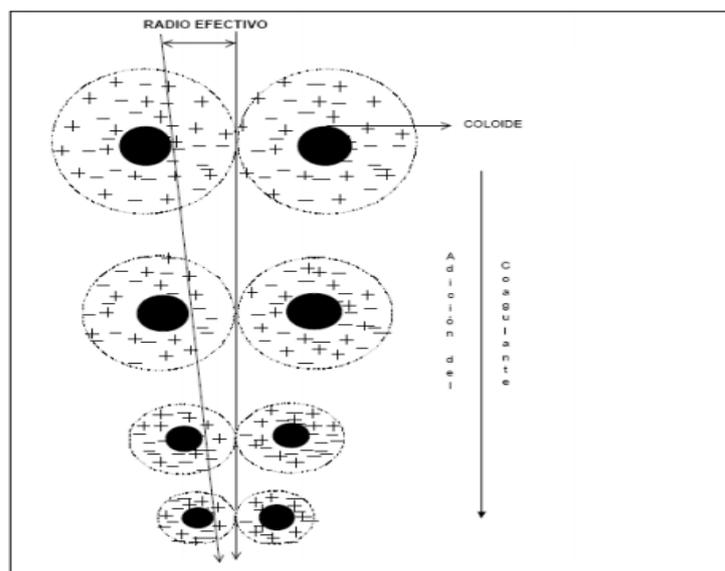


Figura M.2. Desestabilización de los coloides y reducción del radio efectivo

Para un buen funcionamiento de los reactivos el agua debe encontrarse en un intervalo de pH adecuado, y fuera de éste, pierden eficiencia.

Otros de los factores a tener en cuenta son el tiempo de reacción adecuado, la turbidez, las sales disueltas, y la velocidad de agitación, que debe ser uniforme. En la coagulación la velocidad de agitación es más alta porque la etapa que controla este proceso es la dispersión del reactivo en el agua, mientras que en la floculación debe ser baja para evitar la rotura de los flóculos.

Para la determinación del coagulante y floculante óptimos se tomó una muestra del agua superficial y se realizaron varios ensayos Jar-Test con productos fabricados por Servyeco.

Debido a la experiencia de la empresa en otros proyectos de aguas con características similares, se decidió escoger directamente el floculante ECOPOL AS 580 y fijar las dosis sin necesidad de realizar pruebas, ya que funciona muy bien en este tipo de aguas. Se trata de un poyelectrolito aniónico, de peso molecular medio-alto y base poliacrilamida. Sus características se encuentran en la Tabla M.5 que aparece posteriormente.

En este caso, para el ensayo Jar-Test, se añadieron diferentes dosis de distintos coagulantes (manteniendo como floculante el mismo reactivo), definiendo, después de un periodo de agitación, las características y los parámetros necesarios para la determinación de la dosis óptima de reactivos.

Tabla M.5. Características fisicoquímicas de ECOPOL AS 580

Aspecto	Granulado blanco
Carácter	Aniónico medio
Densidad	Aprox 950 kg/cm ³ ± 200
% Sólidos totales	88 - 100%
Viscosidad	3,6 – 6 cP
Acrilamida residual	< 100 ppm
Efectivo en rango de pH	6 – 10

En los ensayos de coagulante se utilizaron tres diferentes: un coagulante natural (ECOTAN BIO 90D), un coagulante orgánico (ADIPOL CL 475) y un coagulante sintético (ECOMIX PX). Los resultados de los ensayos se muestran a continuación en la Tabla M.6 y los clarificados obtenidos pueden observarse en la Figura M.3.

Tabla M.6. Ensayos de coagulante

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
ECOTAN BIO 90 D (ppm)	50	-	-
ADIPOL CL 475 (ppm)	-	50	-
ECOMIX PX (ppm)	-	-	100
ECOPOL AS 580 (ppm)	15	15	30
Velocidad decantación	10	Hilos	7
Turbidez visual	10	9*	10*
pH	7,5	-	7,2
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	834	-	848
Turbidez (NTU)	2,33	-	3,23

* Se observa la presencia de sólidos en suspensión

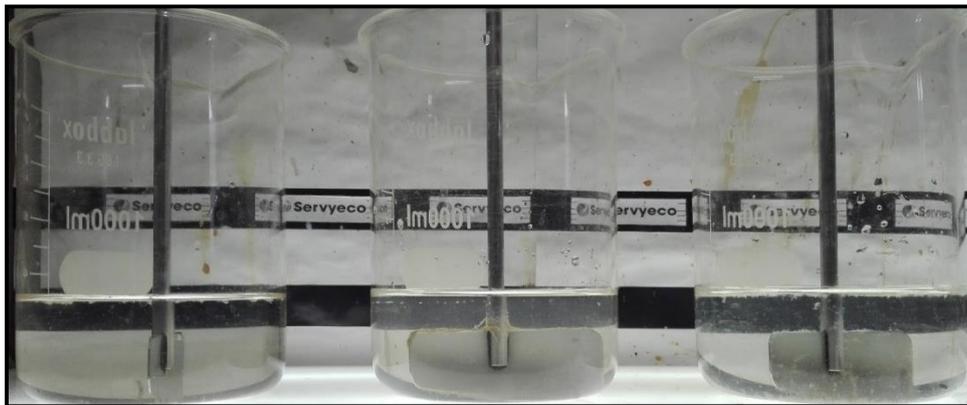


Figura M.3. De izquierda a derecha, Ensayo 1, Ensayo 2 y Ensayo 3

7.1.1. Justificación de la elección

Después de realizar los correspondientes ensayos se observó que el ECOTAN BIO 90D resultó ser el coagulante más eficiente, ya que con éste se consiguió la velocidad de decantación más alta sin apenas variar el pH y la conductividad de la suspensión, reduciendo notablemente el consumo de producto químico.

Por lo tanto, la solución adoptada finalmente es la siguiente: clarificado con 50ppm de ECOTAN BIO 90D + 15ppm de ECOPOL AS 580.

En la Tabla M.7. se muestran los resultados obtenidos con la solución adoptada respecto al análisis del agua de entrada al tratamiento. Puede observarse una gran mejora en la calidad del agua, ya que se ha reducido notablemente tanto la turbidez, como la DQO y la cantidad de sólidos en suspensión respecto a los valores iniciales.

Tabla M.7. Características del agua clarificada y del agua superficial de entrada

Parámetro	Agua clarificada	Agua de entrada
Conductividad a 20°C (µS/cm)	834	836
pH	7,8	8
Turbidez (NTU)	2,33	11,3
DQO (mg O ₂ /l)	<50	50
SS (mg/l)	<10	34

7.2.Sedimentación

La sedimentación es una operación física de separación sólido-fluido en la que las partículas sólidas presentes en una suspensión, al tener una densidad mayor que la del fluido, se separan de éste debido a la acción de la gravedad. Existen varios tipos de sedimentación:

- Discreta: en este tipo de sedimentación la concentración de partículas es baja, y no existe interacción entre ellas, por lo que, descienden separadamente. Tiene lugar en desarenadores.

- Floculada: la concentración de partículas es alta, dando lugar a la formación de flóculos. La suspensión se va clarificando a medida que van sedimentando las partículas. Tiene lugar en decantadores.
- Zonal o retardada: las partículas se mueven como un bloque conservando su posición relativa y dificultando el movimiento del agua. Se da para concentraciones de SS > 1000mg/l. Tiene lugar en decantadores y espesadores por gravedad.
- Por compresión: el fango de las capas inferiores es comprimido por el peso de los sólidos acumulados. Tiene lugar en decantadores y espesadores por gravedad.

En la línea de tratamiento propuesta, para obtener un agua clarificada, tras el proceso de coagulación-floculación, se ha optado por el uso de un decantador troncocónico.

Aunque en el análisis del que se dispone los parámetros de SS y DQO son bajos y en un principio parece que no es necesario el uso de este equipo, debe tenerse en cuenta que estos valores corresponden a una muestra aislada. Además, este análisis fue tomado a finales del mes de Julio, y en esta época del año la cantidad de sólidos presentes en el agua es mucho menor que la habitual en el resto del año. Por lo que, tratándose de un agua de pantano debe tenerse en cuenta que ésta varía mucho, pudiendo alcanzar picos altos en función de las condiciones meteorológicas. En consecuencia, por motivos de seguridad de la planta se ha decidido la implantación de un decantador, ya que, en caso contrario, cuando se alcanzasen valores más altos de SS y DQO, el filtro se obturaría y afectaría el funcionamiento de la planta.

El funcionamiento de un decantador troncocónico es el siguiente: el agua a tratar entra al decantador por la campana tranquilizadora y desciende a través de ésta, disminuyendo su velocidad y evitando, al mismo tiempo, turbulencias. Una vez el agua se encuentra en la parte inferior se produce la decantación de las partículas sólidas en suspensión, mientras que el agua clarificada asciende y sale al exterior a través del canal perimetral (tipo Thompson).

7.3.Desinfección: reactivos

Los agentes químicos más utilizados para la desinfección de aguas son el cloro gas (Cl_2), el hipoclorito de sodio (NaOCl), el ozono (O_3) y el permanganato potásico (KMnO_4). En la Tabla M.8 aparece la capacidad desinfectante cualitativa de cada uno de éstos:

Tabla M.8. Capacidad desinfectante cualitativa de los agentes químicos

Compuesto	General	Bacterias	Virus	Quistes
Ozono	++++	++++	+++	++
Cloro/hipoclorito	+++	++++	++	+
Permanganato	++	+++	++	-

Como puede observarse en la Tabla M.8, el aditivo que posee una mayor capacidad desinfectante es el ozono, ya que tiene un carácter oxidante muy fuerte. Además, otra de las ventajas de este compuesto, respecto a los derivados del cloro, es que no genera trihalometanos. También tiene una serie de desventajas: se trata de un compuesto muy inestable, por lo tanto, debe generarse “in situ”, se debe de clorar el agua posteriormente para asegurar su calidad, y, además, los costes de inversión y mantenimiento son altos a causa de los equipos que son complejos. Debido a todo ello, se ha decidido descartar el uso del ozono como desinfectante.

Por otra parte, en la Tabla M.8 se ve como la capacidad desinfectante del permanganato es inferior a la de los otros compuestos. Por ello y porque su coste es mayor que el de la cloración se ha decidido descartar este método de desinfección.

Por lo tanto, se realizará una desinfección por cloración. A continuación, se explican los dos métodos más utilizados y se justifica la elección de uno de ellos.

7.3.1. Cloración

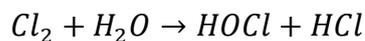
La cloración se basa en la adición de cloro o alguno de sus derivados al agua para que, tras un tiempo de contacto, se produzca la inactivación de la mayoría de los gérmenes.

Hoy en día, es el método más utilizado para la desinfección de aguas por su eficiencia, su alta disponibilidad (se obtiene fácilmente como gas, líquido o polvo) y su bajo coste.

Además, suele dosificarse en exceso, dejando una concentración de cloro libre residual en el agua para prevenir el crecimiento de microorganismos en las tuberías, que provocarían la recontaminación del agua. La desventaja del uso de cloro es la formación de subproductos, como por ejemplo los trihalometanos (THMs). Los THMs son compuestos orgánicos volátiles formados por la reacción entre la materia orgánica presente en el agua y el cloro. Lo THMs suponen riesgos para la salud en concentraciones mayores a las permitidas.

- **Cloro gas (Cl₂)**

La molécula de cloro es un gas amarillento-verdoso, con olor irritante, que puede licuarse fácilmente bajo una presión de 6.8 atmósferas a 20 °C. El elemento se encuentra en la naturaleza combinado con otros elementos, principalmente como NaCl. En contacto con el agua, da lugar a las siguientes reacciones:

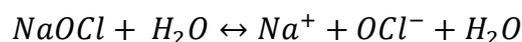


Para su dosificación se diluye primero en agua y posteriormente se mezcla con la corriente principal. Se suministra en botellas o bombonas de 50 a 100 kilogramos, en contenedores de 500 a 1000 kilogramos, o a granel mediante grandes cisternas, en camiones de 10 a 20 toneladas. Además, debe tenerse en cuenta que el uso de gas cloro implica riesgos, y los accidentes de trabajo deben evitarse siguiendo estrictas normas de seguridad.

- **Hipoclorito de sodio (NaOCl)**

El hipoclorito de sodio es un líquido amarillento que suele contener un 10-15% de cloro disponible. Su baja riqueza obliga a utilizar mayores cantidades de producto. Se suele suministrar en bidones de 20 a 50 litros.

En contacto con el agua, se produce la siguiente reacción:



En la utilización de hipoclorito sódico como oxidante y desinfectante en el tratamiento de aguas deben considerarse factores tales como el calor, la luz o el contacto con ácidos

y metales, ya que éstos lo descomponen en cloro gas, ácido hipocloroso y ácido clorhídrico.

7.3.2. Justificación de la elección

Se ha decidido que es más conveniente utilizar el hipoclorito de sodio como agente de desinfección debido a los siguientes factores: para el caudal a tratar el hipoclorito de sodio es económico, su facilidad de manejo y almacenaje frente al cloro gas y la disponibilidad del producto y de los equipos de dosificación de éste.

7.4. Filtración

7.4.1. Filtración mediante arena y grava

Tras realizar la cloración para la eliminación de microorganismos patógenos, se hace pasar el agua por un filtro de arena y grava, eliminando, de esta manera, gran parte de los sólidos en suspensión. Los lavados del filtro para la limpieza del lecho y eliminación de los sólidos en suspensión y materia coloidal retenidos en su interior, se realizarán en contracorriente.

7.4.2. Sistema de decloración mediante carbón activo

El carbón activo granular es un material que se utiliza para filtrar elementos químicos y microorganismos nocivos presentes en el suelo y en el agua contaminada. A medida que el agua fluye a través de un filtro de carbón activo granular, los elementos químicos se adsorben o se adhieren en la superficie externa e interna (microporos) de los gránulos del carbón activo. Un filtro de carbón activo consiste en un recipiente o columna empacada o rellena de gránulos. Su estructura y propiedades le permiten adsorber específicamente aquellos elementos químicos indeseables presentes en el agua a tratar.

En este caso se ha optado por el uso de un filtro de carbón activo porque con éste se obtienen resultados excelentes en la eliminación del cloro, y, además, la utilización de este tipo de filtros es recomendable en tratamientos de aguas procedentes de pozos, lagos, ríos, pantanos...etc. como segunda etapa tras el uso de un filtro multimedia, ayudando a retener contaminantes que no se han podido eliminar en la primera etapa de filtración.

7.4.3. Sistema de filtración de seguridad

Antes de la entrada al tratamiento de ósmosis inversa se instalará un filtro de cartuchos para proteger las membranas de posibles atascos causados por partículas pequeñas no retenidas anteriormente. La filtración por cartuchos es una técnica de filtración aconsejable para aquellas aplicaciones cuyas exigencias en cuanto a calidad y seguridad sean elevadas, pero con bajas cargas de sólidos en suspensión.

7.5. Dosificación de antiincrustante

Uno de los principales problemas que tienen lugar en las plantas de ósmosis inversa es el ensuciamiento de las membranas debido a las incrustaciones, ya que reducen la eficiencia del proceso. Por ello, en estos tratamientos se dosifican productos inhibidores o antiincrustantes con el fin de evitar la precipitación de sales en las membranas y que éstas se taponen.

En el presente tratamiento se dosificará, a la salida del filtro de carbón activo, el antiincrustante ECOMET OI 115 de Servyeco, un dispersante para uso en ósmosis inversa y sistemas de nanofiltración.

7.6. Ósmosis inversa

Las operaciones de separación por membranas consisten en la retención de algunos componentes de la fase líquida utilizando una membrana con permeabilidad selectiva a éstos. El transporte a través de la membrana se realiza debido a una fuerza impulsora (gradiente de presión, de concentración o de potencial eléctrico). A continuación, en la Figura M.4, se representa un esquema básico de una operación de separación por membranas.

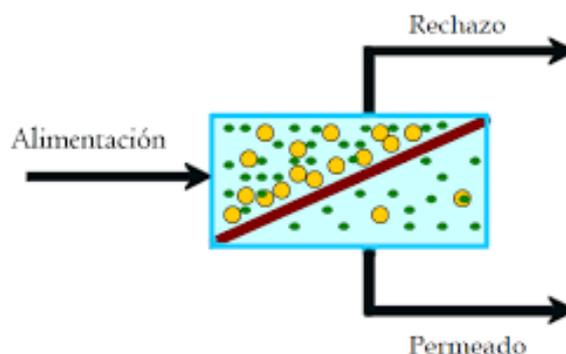


Figura M.4. Operación básica de separación por membranas

Las operaciones de separación por membranas más utilizadas en tratamientos de aguas son:

- Microfiltración (MF): es la operación de separación por membranas más antigua, en la que se trabaja a baja presión para separar partículas de alto peso molecular y sólidos en suspensión.
- Ultrafiltración (UF): proceso selectivo en el que se necesita cierta presión, se utiliza tanto para concentrar como para purificar compuestos de alto y medio peso molecular. No retiene sólidos de bajo peso molecular ni sales.
- Nanofiltración (NF): es un proceso entre la UF y la OI, diseñado para la separación de compuestos como azúcares, minerales disueltos y sales polivalentes.
- Ósmosis inversa (OI): operación de separación de alta presión, que permite concentrar compuestos de bajo peso molecular o purificar efluentes. Permite también la separación de sales monovalentes. El permeado contiene una concentración muy baja de sólidos disueltos (agua muy pura).
- Electrodialisis (ED): proceso en el que se separan las especies iónicas del agua, que son inducidas a moverse por un potencial eléctrico. La separación se realiza mediante membranas de intercambio iónico.

En la Figura M.5. aparecen las diferentes operaciones de separación por membranas, las sustancias que son capaces de separar cada una de éstas y su tamaño relativo.

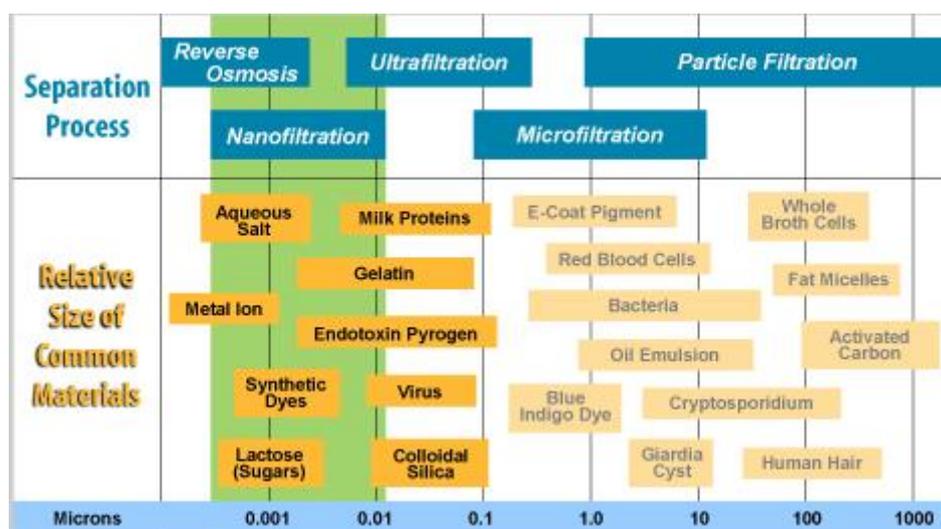


Figura M.5. Operaciones de separación por membranas

De estas operaciones, la más adecuada para utilizar en este tratamiento es la ósmosis inversa, ya que se quiere obtener un agua muy pura para su alimentación a una caldera, con una conductividad muy baja; y la ósmosis es el tratamiento más eficaz en la eliminación de sales. Por ello, a continuación, se profundiza en los conceptos de ósmosis e ósmosis inversa.

La ósmosis es un fenómeno físico que supone el movimiento por difusión de un solvente a través de una membrana semipermeable para equilibrar las concentraciones de sales y alcanzar el equilibrio osmótico. Una membrana semipermeable es una membrana que contiene poros de cierto tamaño dejando pasar únicamente algunas moléculas, en este caso se trata de poros muy pequeños que dejan pasar moléculas de muy bajo tamaño. Por ejemplo, deja pasar las moléculas de agua, pero las de azúcar, que son más grandes, no. El agua pasa de la zona de baja concentración a la zona de alta concentración. En la Figura M.6 se puede observar un esquema básico del proceso de ósmosis.

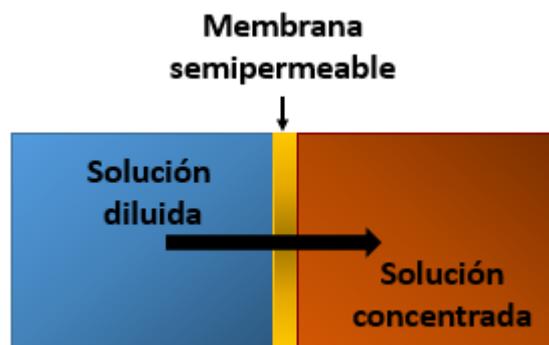


Figura M.6. Ósmosis

La ósmosis inversa consiste en aplicar una presión externa superior a la presión osmótica. De este modo el agua pasa a través de la membrana semipermeable y las sales disueltas quedan retenidas en ésta. De esta manera se obtienen dos corrientes: la corriente de concentrado o rechazo que contiene las sales disueltas, y la corriente permeado, que contiene el agua con muy poca cantidad de sales disueltas que no han podido ser eliminadas. En la Figura M.7 aparece el esquema del proceso de ósmosis inversa.

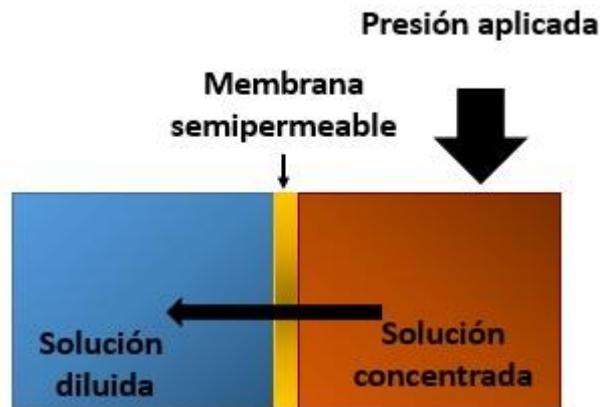


Figura M.7. Ósmosis inversa

7.6.1. Configuración de las membranas

Las membranas de ósmosis inversa están diseñadas para permitir el paso del permeado, evitando el paso de sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas. Debido a que la membrana que realiza el proceso de separación es una lámina delgada y frágil, para soportar los esfuerzos de separación ocupando el menor espacio, debe integrarse en una estructura o configuración. Las principales configuraciones de membranas son:

- **Membrana plana**

Es el tipo de configuración más antiguo y sencillo. Está formado por membranas rectangulares o de disco circular apoyadas sobre soportes porosos que aportan la resistencia mecánica requerida. El agua bruta incide por un lado de la membrana y ésta deja pasar únicamente el agua pura, reteniendo las sales.

La superficie de estas membranas es pequeña, por lo tanto, se colocan una encima de otra, formando una especie de pilas de membranas, para aumentar la producción.

Sus principales inconvenientes son su baja capacidad productiva, la incomodidad de utilización, ya que las pilas son pesadas y voluminosas, y su alto coste.

En la Figura M.8 puede observarse este tipo de configuración.

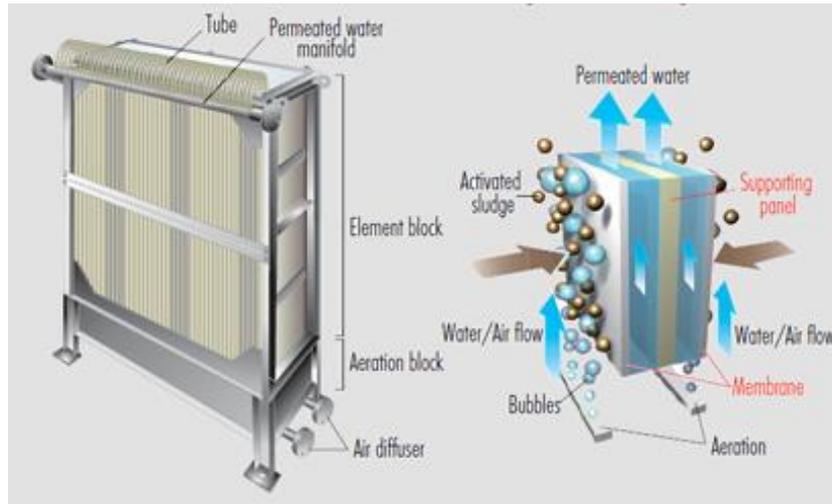


Figura M.8. Configuración de membrana plana

- **Tubular**

Las membranas de configuración tubular se encuentran dentro de un tubo de soporte, y un conjunto de tubos de soporte se sitúa a su vez dentro de un tubo que permite aguantar la presión del proceso. La capa activa está en la superficie interior del tubo, y el resto de espesor tiene una estructura porosa que sirve de soporte para ésta.

El agua a tratar entra y circula por el interior de los tubos, el permeado fluye radialmente desde el interior hacia el exterior y el rechazo se obtiene en el otro extremo del tubo, tal y como se indica en la Figura M.9.

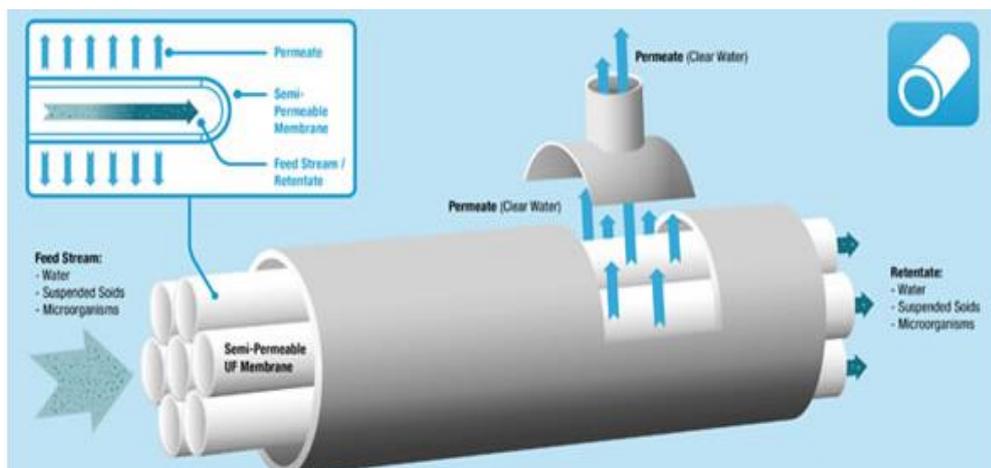


Figura M.9. Configuración tubular

- **Fibra hueca**

Se trata de membranas constituidas por un haz de miles de tubos capilares (del tamaño del cabello humano). Estos tubos son interiormente huecos y se encuentran empaquetados dentro de un tubo cilíndrico que forma la carcasa protectora, la cual permite la circulación del agua a tratar, como se observa en la Figura M.10.

Las membranas de fibra hueca ocupan menos volumen que las de membrana plana o las tubulares, tienen mayor superficie filtrante y elevada resistencia a la presión, y además, son más fáciles de instalar y más duraderas.

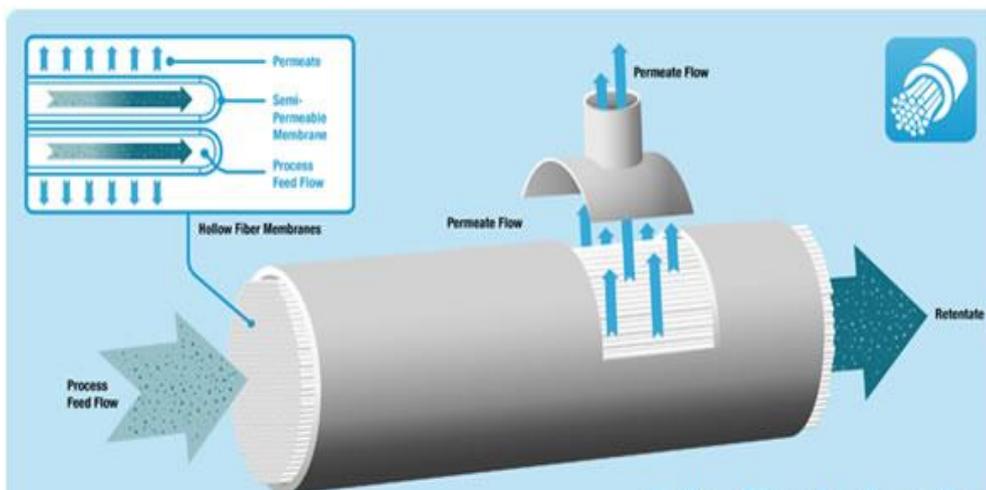


Figura M.10. Membrana de fibra hueca

- **Arrollamiento en espiral**

Se trata de membranas constituidas por láminas rectangulares y planas enrolladas alrededor de un eje cilíndrico central, que colecta el permeado. Las láminas se alternan con un separador impermeable, que permite la separación del permeado y el concentrado, y con una malla, que determina los canales hidráulicos por los que circula el agua a tratar. Los tres elementos se sellan por tres de sus lados, siendo el cuarto lado la salida para el permeado.

Con este tipo de membranas se ha conseguido reducir el espacio, aumentar la superficie de filtración y reducir costes.

Este tipo de configuración puede observarse en la Figura M.11.

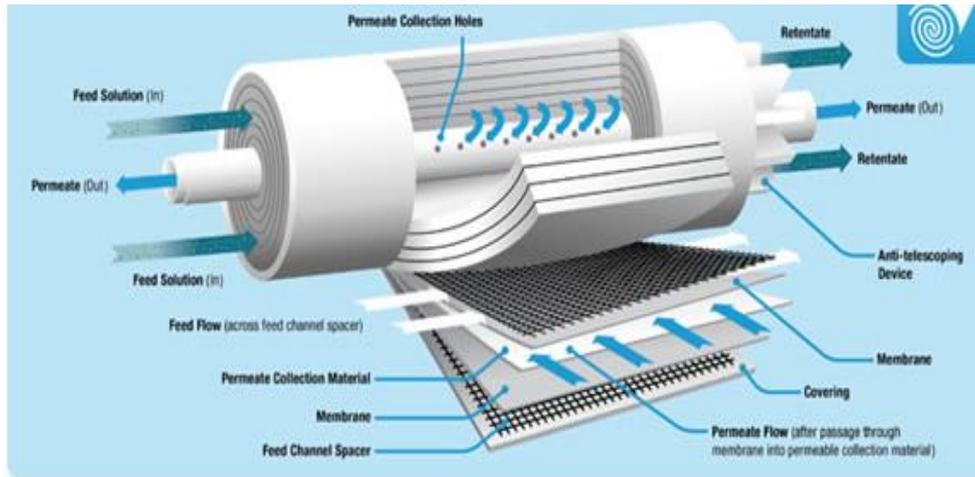


Figura M.11. Membrana de arrollamiento en espiral

7.7. Dosificación de neutralizante

Debido a que el pH a la salida del tratamiento de ósmosis inversa disminuye, debe dosificarse un neutralizante para aumentarlo. En este caso se ha optado por el uso de NaOH, ya que es un reactivo muy utilizado en la industria para el control de pH y, además, es económico. Este se dosificará en función del valor del pH del agua a la salida de la ósmosis inversa.

8. Resultados finales

Para cumplir con los requisitos impuestos y obtener un agua adecuada para alimentarla a la caldera de vapor se realizará el tratamiento que se describe a continuación. La planta será alimentada con un caudal de $25\text{m}^3/\text{h}$ de agua de pantano.

En primer lugar, se realizará la dosificación del coagulante y floculante para la posterior sedimentación en un decantador troncocónico.

Por una parte, los fangos obtenidos serán descargados mediante una válvula manual a un depósito de fangos de 10m^3 .

Por otra parte, el agua clarificada se acumulará en un depósito de 50m^3 de capacidad. A la salida del depósito se realizará la dosificación de hipoclorito sódico con el objetivo de eliminar la carga microbiológica existente.

A continuación, se realizará una filtración (en un filtro de arena y grava) a una velocidad de $20\text{m}/\text{h}$ para retener las partículas en suspensión.

Seguidamente, tendrá lugar una segunda filtración en un filtro de carbón activo, para la eliminación del cloro libre residual, evitando, de esta manera, daños en los equipos posteriores que forman la instalación. A la salida de este filtro se realizará la dosificación de antiincrustante, para evitar el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa.

Antes de entrar al sistema de ósmosis inversa, el agua pasará por un sistema de filtración de seguridad por cartuchos de $5\mu\text{m}$ de tamaño de poro, impidiendo el paso de partículas de tamaño superior.

Finalmente, el agua será impulsada por una bomba de alta presión a los módulos de ósmosis inversa para la eliminación de sales. El sistema será de un solo paso y dos etapas, es decir, el permeado que se obtiene pasa al uso que se le quiere dar y no se vuelve a tratar, y el concentrado de la primera etapa pasa a una segunda etapa para volver a tratarlo, obteniendo una mayor conversión. A la salida de este tratamiento el pH es más bajo, por lo tanto, se añadirá hidróxido de sodio para neutralizarlo en función del valor de éste.

Además, también se realizará la limpieza del filtro de arena y grava y del filtro de carbón activo con un caudal de agua de $35\text{m}^3/\text{h}$, procedente del depósito de agua clarificada. La limpieza suele durar entre 20 y 30 minutos.

La salida del agua de lavado de los filtros y la corriente de concentrado se llevarán a desagüe y posteriormente a alcantarillado, de acuerdo con la Ordenanza de Vertidos a la red municipal de alcantarillado publicada por la EPSAR.

En la Figura M.12 puede observarse el diagrama de flujo del proceso explicado.

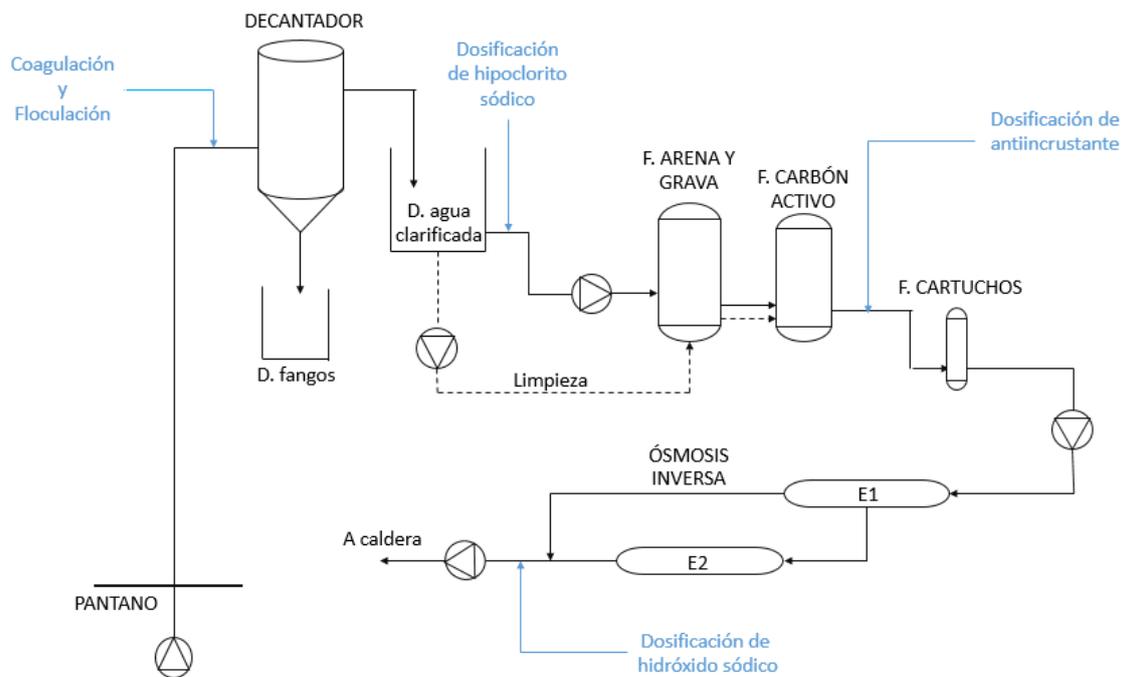


Figura M.12. Diagrama de flujo del tratamiento

En la Tabla M.9 se comparan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en la planta piloto y en la simulación, y, por lo tanto, son los que se esperan del presente tratamiento, con los requisitos impuestos.

Tabla M.9. Comparativa entre los requisitos impuestos y los resultados obtenidos

Parámetro	Requisito	Resultado obtenido
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 60	50
Dureza ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$)	< 5	2,9
pH	6,5 - 9	7 - 8
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	5 - 40	20

Además, aunque el fabricante no ha proporcionado ningún requisito de alcalinidad, se ha decidido tener en cuenta este parámetro, ya que es importante en calderas. Se ha consultado información bibliográfica, y según la APAVE (Asociación de Propietarios de Unidades Eléctricas de Vapor) y la ABMA (Asociación de Fabricantes de Calderas Americanas) para calderas que trabajan a presiones entre 0 y 20 bares el límite de alcalinidad son 350 mgCaCO₃/l (en este caso la caldera trabaja a 12bar). A pesar de que no se dispone de un dato de alcalinidad medido, observando las bajas concentraciones de CO₃²⁻ y CO₃H⁻ obtenidas en la simulación (mg CO₃/l=0 y mg CO₃H/l=4,71), podría asegurarse que no se superará el valor límite.

9. Planificación

Para realizar la planificación del proyecto deben tenerse en cuenta sus diferentes fases, la duración de cada una y la relación entre éstas. En la Tabla M.10 se muestran las diferentes fases del proyecto y su duración.

Tabla M.10. Planificación del proyecto

Fase	Descripción	Duración (días laborables)
1	Entrega y aceptación del proyecto	10
2	Limpieza y preparación de la nave existente	5
3	Instalación de sistemas de bombeo	40
4	Instalación de conducciones	20
5	Instalación de equipos y depósitos	35
6	Instalación eléctrica	7
7	Automatización	19
8	Puesta en marcha y prueba	10

Se ha estimado una duración de 146 días laborables (189 días naturales) teniendo en cuenta posibles retrasos (recepción de equipos y material, condiciones meteorológicas...etc.) y una jornada laboral de 8 horas diarias, de lunes a viernes. La fecha estimada de inicio del proyecto es el 17/06/2019 y la fecha fin el 23/12/2019.

A continuación, se construye el Diagrama de Gantt para visualizar de forma más rápida la planificación del proyecto, que puede observarse en la Figura M.13.

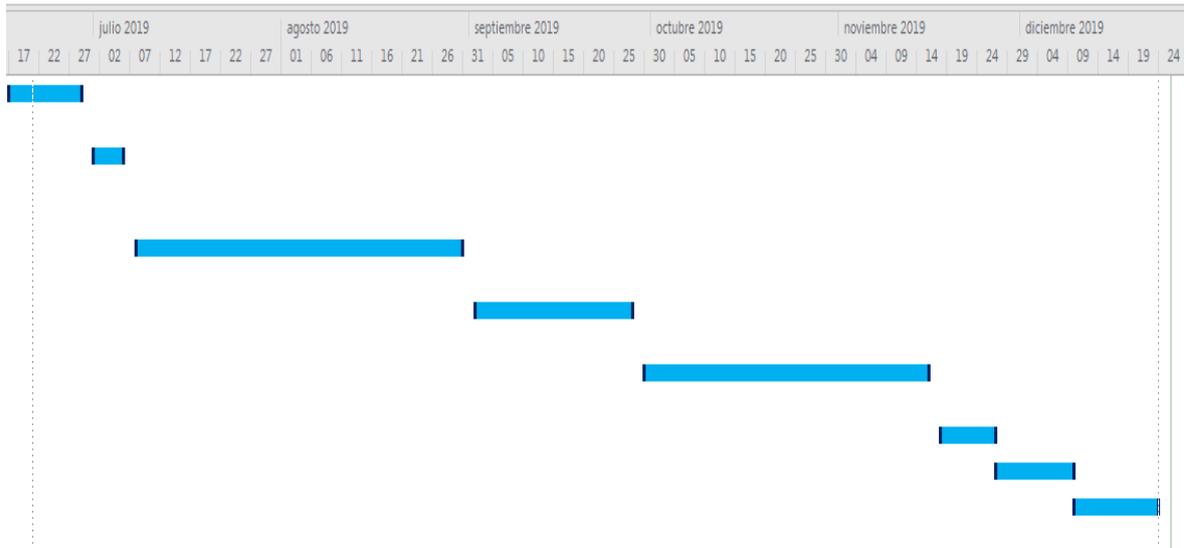


Figura M.13. Diagrama de Gantt del proyecto

10. Orden de prioridad de los documentos básicos

De acuerdo con la norma UNE 157001:2014 (Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico) todo proyecto debe tener un título que lo identifique de forma clara e inequívoca, y el orden de prioridad entre los documentos que lo componen debe ser el siguiente:

1. Índice
2. Memoria
3. Anexos
4. Planos
5. Pliego de Condiciones
6. Estado de Mediciones
7. Presupuesto

11. Viabilidad económica

El estudio de viabilidad económica es un análisis fundamental que permite saber si el proyecto es rentable y decidir su aceptación o rechazo a partir de los cálculos de las tasas de rentabilidad.

Debe tenerse en cuenta que los valores mostrados en el estudio incluyen el 21% de IVA.

11.1. Resumen del presupuesto

A continuación, se resumen las principales partidas del presupuesto que forman el Presupuesto de Ejecución Material (PEM). Estos datos se recogen en la Tabla M.11.

Tabla M.11. PEM

Partida	Precio total (€)
Equipos principales	101.431,88
Bombas	19.516,09
Depósitos y agitadores	10.323,72
Instrumentación	44.819,61
Conducciones y válvulas	3.783,03
Mano de obra	15.000,00
PEM	194.874,33

En la Tabla M.12 se muestra el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC), siendo la suma del PEM, los gastos generales (15% del PEM) y el beneficio industrial (6% del PEM).

Tabla M.12. PEC

PEM	194.874,33€
Gastos generales	29.231,15€
Beneficio industrial	11.692,46€
PEC	235.797,94€

El presupuesto total del proyecto *Diseño de una planta de tratamiento de aguas superficiales para su posterior alimentación a caldera* asciende a DOS CIENTOS TREINTA Y CINCO MIL SETECIENTOS NOVENTA Y SIETE EUROS CON NOVENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.

11.2. Presupuesto de explotación

11.2.1. Inversión inicial

La inversión inicial correspondiente al proyecto se debe al presupuesto del material, los gastos generales y el beneficio industrial, es decir, al PEC, y, por lo tanto, es de 235.797,94€.

11.2.2. Gastos directos

El concepto de gastos directos hace referencia a los gastos que dependen de la producción u operación de la planta. En este caso, como puede verse reflejado en el apartado 6.2 de *Anexos* estos gastos se deben al consumo de reactivo, a la gestión de fangos producidos y al coste debido al consumo eléctrico de los equipos. En concreto, en el apartado 6.2.4 de *Anexos*, se refleja el coste total debido a la operación de la planta, es decir los gastos directos, que son de 48.301,88 €/año.

11.2.3. Amortización

La amortización es un término económico que se refiere a la pérdida de valor a lo largo de la vida útil de los equipos y elementos de la instalación. Para la realización del cálculo de la amortización que aparece en el apartado 6.1.7 de *Anexos* se ha tenido en cuenta una vida útil de los equipos y elementos de 10 años. Por lo tanto, la amortización en un año es de 17.987,43€.

11.2.4. Gastos indirectos

Los gastos indirectos son aquellos que no dependen de la producción u operación de la planta. En este caso se tienen en cuenta los gastos debidos al alumbrado y a los operarios de la planta.

Por una parte, respecto al alumbrado, se considera un gasto aproximado de unos 1.000€/año.

Por otra parte, habrá tres trabajadores en la planta, dos operarios y un jefe de planta. Como el tiempo de funcionamiento de la planta es de 20h/día los operarios trabajarán 7 horas diarias y el jefe de planta 6 horas diarias. El sueldo de los operarios será de 18.000€/año y el sueldo del jefe de 30.000 €/año. Por lo tanto, los gastos anuales debido al personal son de 66.000€.

Los gastos indirectos totales son de 67.000€/año.

11.2.5. Gastos totales

Los gastos totales son la suma de los gastos directos e indirectos.

$$48.301,88 + 67.00,00 = 115.301,88 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

11.2.6. Ingresos

Para calcular los ingresos de la planta se supone un precio de venta del agua. Por ello, primero se calcula el coste de producción del agua (€/m³), dividiendo los gastos anuales totales entre los metros cúbicos a tratar en un año.

$$25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 20 \frac{\text{h}}{\text{día}} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 182.500 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$
$$\text{Coste de producción} = \frac{115.301,88}{182.500} = 0,63 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

Dado a que el coste para producir un metro cúbico de agua es de 0,63€, tras buscar información sobre el precio por m³ del agua en la Comunidad Valenciana se estima un precio de venta del agua de 1,00€/m³. Los ingresos durante el primer año son los siguientes:

$$182.500 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \cdot 1,00 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 182.500,00 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

11.2.7. Beneficio bruto

El beneficio bruto se halla como la resta entre los ingresos y los gastos totales. Para su cálculo se tiene en cuenta un IPC (Índice de Precios de Consumo) anual de 2,5%. En la Tabla M.13 se reflejan los beneficios de la planta a diez años vista.

Tabla M.13. Beneficio bruto anual

Año	Ingresos (€)	Gastos totales (€)	Beneficios brutos (€)
2020	182.500,00	115.301,88	67.198,12
2021	187.062,50	118.184,43	68.878,02
2022	191.739,06	121.139,04	70.600,02
2023	196.532,54	124.167,51	72.365,03
2024	201.445,85	127.271,70	74.174,15
2025	206.482,00	130.453,49	76.028,50
2026	211.644,05	133.714,83	77.929,22
2027	216.935,15	137.057,70	79.877,45
2028	222.358,53	140.484,14	81.874,38
2029	227.917,49	143.996,25	83.921,24

11.2.8. Beneficio neto

El beneficio neto se obtiene al restarle al beneficio bruto la cantidad correspondiente a los impuestos. Los impuestos para sociedades se pueden considerar un 25% de los beneficios brutos. En la Tabla M.14 se puede observar el beneficio neto anual calculado para 10 años.

Tabla M.14. Beneficio anual neto

Año	Beneficios brutos (€)	Beneficios netos (€)
2020	67.198,12	50.398,59
2021	68.878,02	51.658,52
2022	70.600,02	52.950,02
2023	72.365,03	54.273,77
2024	74.174,15	55.630,61
2025	76.028,50	57.021,38
2026	77.929,22	58.446,92
2027	79.877,45	59.908,09
2028	81.874,38	61.405,79
2029	83.921,24	62.940,93

11.2.9. Flujo de Caja

El Flujo de Caja (FC) es un indicador en el que se agregan los beneficios (netos) y las amortizaciones en un periodo de tiempo dado. En la Tabla M.15. se muestra el Flujo de Caja anual a diez años vista.

Tabla M.15. Flujo de Caja anual

Año	Beneficios netos (€)	Amortizaciones (€)	Flujo de Caja (€)
2020	50.398,59	17.987,43	68.386,02
2021	51.658,52	18.437,12	70.095,64
2022	52.950,02	18.898,04	71.848,06
2023	54.273,77	19.370,49	73.644,26
2024	55.630,61	19.854,76	75.485,37
2025	57.021,38	20.351,13	77.372,51
2026	58.446,92	20.859,90	79.306,82
2027	59.908,09	21.381,40	81.289,49
2028	61.405,79	21.915,94	83.321,73
2029	62.940,93	22.463,84	85.404,77

11.2.10. Valor Actual Neto

El VAN (Valor Actual Neto) indica la rentabilidad del proyecto. Se calcula mediante la Ecuación 11.1 teniendo en cuenta una tasa de crecimiento de 2,5% y se muestra en la Tabla M.16. Pueden darse tres casos diferentes:

- VAN < 0: el proyecto no es rentable en cierto periodo de tiempo
- VAN = 0: el proyecto no genera ni pérdidas ni ganancias
- VAN > 0: el proyecto es rentable, produce excedentes

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=0}^N \frac{FC_n}{(1+i_r)^n} \quad (\text{Ecuación 11.1})$$

Tabla M.16. Valor Actual Neto

Año	Flujo de caja (€)	$(1+i_r)^n$	$FC_n/(1+i_r)^n$ (€)
2020	68.386,02	1	68.386,02
2021	70.095,64	1,025	68.385,99
2022	71.848,06	1,0506	68.387,65
2023	73.644,26	1,0769	68.385,42
2024	75.485,37	1,1038	68.386,82
2025	77.372,51	1,1314	68.386,52
2026	79.306,82	1,1597	68.385,63
2027	81.289,49	1,1887	68.385,20
2028	83.321,73	1,2184	68.386,19
2029	85.404,77	1,2489	68.383,99
VAN = 448.061,49€			

11.2.11. Tasa Interna de Retorno

La TIR (Tasa Interna de Retorno) es la tasa de descuento que hace que el VAN de un proyecto sea igual a cero, es decir, la tasa de descuento a la cual el proyecto sería apenas aceptable mediante la regla anterior. Para cualquier tasa de descuento mayor a la TIR, el VAN será negativo. La TIR es, por lo tanto, la rentabilidad del dinero mantenido en el proyecto. Para su cálculo se iguala la Ecuación 11.1 a cero.

De esta manera, se obtiene un valor de la Tasa Interna de Retorno de 42,166%, muy por encima del interés nominal del dinero, por lo tanto, se puede afirmar que el proyecto es viable económicamente.

11.2.12. Periodo de Retorno

El Periodo de Retorno (PR), también llamado Pay-Back (PB) es el tiempo que se tarda en recuperar la inversión inicial del proyecto. Se calcula como el cociente entre la inversión inicial y el Flujo de Caja promedio anual. Realizado este cálculo, se obtiene un Periodo de Retorno de la inversión inicial de 3,45 años, es decir, aproximadamente de 3 años y 165 días.

3. Anexos

Índice

1.	Datos de partida	1
1.1.	Características del agua	1
1.2.	Caudales	3
1.3.	Agua de alimentación a la caldera.....	4
2.	Dimensionamiento de la planta de tratamiento.....	6
2.1.	Coagulación	6
2.2.	Floculación.....	8
2.3.	Sedimentación	10
2.4.	Producción de fangos.....	12
2.5.	Dosificación de hipoclorito sódico	13
2.6.	Filtración mediante filtro de arena y grava	14
2.7.	Filtración con filtro de carbón activo	16
2.8.	Dosificación de antiincrustante	16
2.9.	Filtración de seguridad (5µm).....	18
2.10.	Ósmosis inversa.....	19
2.11.	Dosificación de neutralizante.....	31
3.	Diseño de conducciones	33
3.1.	Tramo 1	34
3.2.	Tramo 2.....	35
3.3.	Tramo 3.....	35
3.4.	Tramo 4.....	36
3.5.	Tramo 5.....	37
3.6.	Tramo 6.....	37
3.7.	Tramo 7.....	38
3.8.	Tramo 8.....	39

3.9.	Resumen de las conducciones	39
4.	Bombas	40
4.1.	Bombeo de agua desde el pantano (Tramo P-DEC).....	44
4.2.	Bombeo de agua desde la salida del depósito hasta el filtro de cartucho (Tramo DEP-FC).....	47
4.3.	Bomba de alta (Tramo FC-OI).....	51
4.4.	Bombeo de permeado (Tramo OI-C).....	55
4.5.	Bombeo del agua de limpieza de los filtros (Tramo DEP-F).....	58
4.6.	Resumen de resultados obtenidos.....	61
5.	Instrumentación.....	62
6.	Estudio económico	64
6.1.	Instalación	64
6.1.1.	Equipos principales.....	64
6.1.2.	Bombas.....	65
6.1.3.	Depósitos y agitadores	66
6.1.4.	Instrumentación	67
6.1.5.	Conducciones y accesorios.....	68
6.1.6.	Coste total instalación	70
6.1.7.	Coste anual instalación	70
6.2.	Operación.....	70
6.2.1.	Reactivos	70
6.2.2.	Gestión de fangos	72
6.2.3.	Coste eléctrico	72
6.2.4.	Coste total de operación (anual)	74
6.3.	Coste total anual	74
7.	Estudio de Seguridad y Salud	75

8.	Catálogos de los equipos principales	81
8.1.	Filtro de arena y grava	81
8.2.	Filtro de carbón activo	82
8.3.	Cartuchos filtrantes.....	83
8.4.	Membranas.....	84
8.5.	Bombas de impulsión	85
8.6.	Bombas dosificadoras.....	89
8.7.	Depósitos de acumulación	90
8.8.	Depósitos dosificadores	91
8.9.	Agitadores	92

1. Datos de partida

1.1. Características del agua

Como se comentó anteriormente en el documento *Memoria* del presente trabajo, se pretende tratar el agua de un pantano cercano (de 25m de profundidad) para su posterior alimentación a una caldera de vapor, que se utilizará para el accionamiento de algunas máquinas en una papelería situada en la Comunidad Valenciana.

Para caracterizar el agua de entrada al tratamiento la empresa Servyeco realizó un análisis básico de ésta. Se trata de un análisis puntual realizado a finales del mes de Julio, por lo tanto, debe tenerse en cuenta que parámetros como los SS, la DQO...etc. en verano son más bajos en los pantanos, ya que influyen mucho las condiciones meteorológicas, y pueden alcanzar picos en otras épocas del año. Este análisis básico puede observarse en la Tabla A.1.

Tabla A.1. Análisis del agua de entrada

Parámetro	Resultado
Conductividad a 20°C (µS/cm)	836
pH	8
Turbidez (NTU)	11,3
DQO (mg O₂/l)	50
SS (mg/l)	34

Tal y como se ha comentado anteriormente y como puede observarse en la Tabla A.1, los valores de DQO y SS son bajos, pero éste es un análisis puntual y, al tratarse de un pantano, éstos no permanecen constantes durante todo el año, pudiendo alcanzar en otras épocas del año valores mucho más altos.

Además, la empresa disponía de una planta piloto para la realización de ensayos, lo que permitió conocer las características del agua de entrada al sistema de ósmosis inversa,

valores que se utilizarán posteriormente para el dimensionamiento de éste. El análisis se refleja en la Tabla A.2.

Tabla A.2. Análisis del agua de entrada al sistema de ósmosis inversa

Parámetro		Resultado
Aluminio (mg/l)	Al ³⁺	<0,5
Bicarbonatos (mg CaCO ₃ /l)	HCO ₃ ⁻	230
Calcio (mg/l)	Ca ²⁺	25
Carbonatos (mg CaCO ₃ /l)	CO ₃ ²⁻	<10
Cloruros (mg/l)	Cl ⁻	142
Conductividad a 20°C (µS/cm)	-	890
Demanda Química de Oxígeno (mg O ₂ /l)	DQO	<50
Fluoruro (mg/l)	F ⁻	<0,1
Fosfatos (mg/l)	PO ₄ ³⁻	0,39
Hierro total (mg/l)	Fe	<0,1
Magnesio (mg/l)	Mg ²⁺	61,9
Manganeso (mg/l)	Mn	<0,1
Nitratos (mg/l)	NO ₃ ⁻	11,9
pH	-	7,8
Potasio (mg/l)	K ⁺	8,6
Sílice (mg/l)	SiO ₂	8,1
Sodio (mg/l)	Na ⁺	104,2
Sólidos en suspensión (mg/l)	SS	<10
Sulfatos (mg/l)	SO ₄ ²⁻	105
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	TDS	712
Turbidez (NTU)	-	0,66

1.2. Caudales

Se requiere diseñar una instalación para asegurar la obtención de un caudal de permeado de $15\text{m}^3/\text{h}$ a la salida del tratamiento de ósmosis inversa, con una conversión del 75%. Por lo tanto, del caudal que entra al tratamiento (100%), el 75% es el permeado y el 25% restante la corriente de rechazo o concentrado. A continuación, se realizan los cálculos de las corrientes de entrada y rechazo para cumplir las condiciones:

Corriente de entrada al tratamiento de ósmosis inversa:

$$\frac{15 \frac{\text{m}^3 \text{permeado}}{\text{h}}}{0,75 \frac{\text{m}^3 \text{permeado}}{\text{m}^3 \text{entrada}}} = 20 \frac{\text{m}^3 \text{entrada}}{\text{h}}$$

Corriente de rechazo o concentrado:

$$20 \frac{\text{m}^3 \text{entrada}}{\text{h}} \cdot 0,25 \frac{\text{m}^3 \text{rechazo}}{\text{m}^3 \text{entrada}} = 5 \frac{\text{m}^3 \text{rechazo}}{\text{h}}$$

Ya que el caudal podría aumentar a causa de cualquier anomalía, por motivos de seguridad y para un buen funcionamiento de la planta, finalmente se ha decidido realizar el diseño de ésta para un caudal de entrada $25\text{m}^3/\text{h}$.

Por lo tanto, teniendo en cuenta que a la entrada del tratamiento de ósmosis inversa entrará el mismo caudal y que la conversión es del 75%, los caudales de permeado y rechazo o concentrado serán:

Caudal de permeado:

$$25 \frac{\text{m}^3 \text{entrada}}{\text{h}} \cdot 0,75 \frac{\text{m}^3 \text{permeado}}{\text{m}^3 \text{entrada}} = 18,75 \frac{\text{m}^3 \text{permeado}}{\text{h}}$$

Caudal de rechazo o concentrado:

$$25 \frac{\text{m}^3 \text{entrada}}{\text{h}} \cdot 0,25 \frac{\text{m}^3 \text{rechazo}}{\text{m}^3 \text{entrada}} = 6,25 \frac{\text{m}^3 \text{rechazo}}{\text{h}}$$

A continuación, en la Figura A.1 se representa el esquema con los caudales de entrada y salida de la ósmosis inversa.

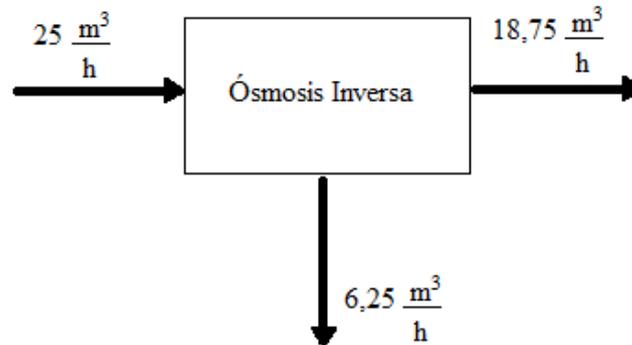


Figura A.1. Caudales de entrada y salida en la ósmosis inversa

1.3. Agua de alimentación a la caldera

Para realizar el diseño y dimensionamiento de la planta de forma correcta debe tenerse en cuenta la calidad del agua de alimentación requerida por el fabricante de calderas. Estos requisitos se reflejan en la Tabla A.3.

Tabla A.3. Características requeridas por el fabricante para el agua de alimentación

Parámetro	Límite
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	<60
Dureza total ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$)	< 5
pH	7-9
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	5-40

Además, tal y como se ha comentado anteriormente en el apartado 6.2 de la *Memoria*, otro parámetro a tener en cuenta para el agua de alimentación a calderas es la alcalinidad. Ya que el fabricante no proporcionó el valor límite, este dato se ha extraído de información bibliográfica, y según datos procedentes de la APAVE (Asociación de Propietarios de Unidades Eléctricas de Vapor) y la ABMA (Asociación de Fabricantes de Calderas

Americanos). En este caso, al tratarse de una caldera que trabaja a 12 bares de presión, el valor límite de alcalinidad según estos datos es de 350 mgCaCO₃/l (para valores de presión de trabajo entre 0 y 20 bares).

2. Dimensionamiento de la planta de tratamiento

En este apartado de los *Anexos* se presentan los cálculos de los equipos que forman la instalación y la dosificación de reactivos, partiendo de los datos anteriores.

2.1. Coagulación

Tras la realización de los ensayos Jar-Test se determinó como coagulante óptimo el ECOTAN BIO 90D, suministrado por Servyeco. Se trata de un polímero orgánico catiónico de origen vegetal, que no altera la alcalinidad del medio, por lo que, no modifica el pH del agua a tratar. En este caso, la dosis óptima determinada es de 50ppm y se dosifica puro.

Para hallar la dosis de reactivo se utiliza la Ecuación 2.1.

$$D = \frac{R \cdot Q}{\rho} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde:

- D es el caudal de reactivo que se dosifica (l/h)
- R es la dosis óptima de reactivo (mg/l)
- Q es el caudal de agua a tratar (l/h)
- ρ es la densidad del reactivo (mg/l)

$$D = \frac{50 \cdot 25000}{1,09 \cdot 10^6} = 1,14 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Teniendo en cuenta que la planta está en funcionamiento 20 horas al día:

$$1,15 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot 20 \frac{\text{h}}{\text{día}} = 23 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

Por lo tanto, al año se dosifican:

$$23 \frac{\text{l}}{\text{día}} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 8395 \frac{\text{l}}{\text{año}}$$

Los kg/año de reactivo puro que se necesitan son:

$$8395 \frac{\text{l}}{\text{año}} \cdot 1,09 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 9150 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

La dosificación de coagulante se realizará directamente en tubería mediante una bomba dosificadora de la marca DOSIM. En la Tabla A.4 se muestran las características de la bomba.

Tabla A.4. Bomba dosificadora de coagulante

Marca	DOSIM
Serie	Serie H
Modelo	HPVM 10 04
Caudal máximo (l/h)	4
Presión máxima (Pa)	$1 \cdot 10^6$
Potencia (kW)	0,019

Teniendo en cuenta que se dosificarán unos 23l/día se utilizará un depósito dosificador de polietileno lineal anti-uv de la marca DOSIM, con una capacidad de 300l, que incluye indicador de nivel grabado en la superficie exterior.

El depósito dosificador contará con un agitador, cuya potencia se calcula mediante la Ecuación 2.2., en el caso de régimen turbulento.

$$P = k \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D_a^5 \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Para comprobar el régimen turbulento se utiliza la Ecuación 2.3

$$Re = \frac{D_a^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Donde:

- P es la potencia del agitador (W)
- k es una constante, cuyo valor es 0,32
- ρ es la densidad del agua (kg/m^3)
- n es el número de revoluciones por segundo
- D_a es el diámetro del agitador (m)

- Re es el número de Reynolds (adimensional). En el caso de régimen turbulento $Re \geq 10000$
- μ es la viscosidad dinámica del agua ($N \cdot s/m^2$)

Por lo tanto, primero se comprueba el régimen turbulento, y, a continuación, se calcula la potencia del agitador, mediante la Ecuación 2.3 y la Ecuación 2.2, respectivamente.

$$Re = \frac{0,2^2 \cdot 6 \cdot 1000}{1 \cdot 10^{-3}} = 240000 > 10000 \text{ (R. turb.)}$$

$$P = 0,32 \cdot 1000 \cdot 6^3 \cdot 0,2^5 = 22,12 \text{ W}$$

A continuación, pueden observarse las características del agitador escogido en la Tabla A.5.

Tabla A.5. Características del agitador

Marca	DOSIM
Modelo	DAG 1200/55/360/I12V
Potencia (W)	75
Material eje/hélice	Acero inoxidable
Diámetro agitador (mm)	200

2.2. Floculación

Se ha elegido como floculante el ECOPOL AS 580 de Servyeco. Es un polímero aniónico de peso molecular medio-alto. En los ensayos Jar-Test se determinó una dosis óptima de 15ppm de reactivo diluido al 10%.

Para el cálculo del caudal a dosificar se utiliza la Ecuación 2.1.

$$D = \frac{15 \cdot 25000}{1 \cdot 10^6} = 0,38 \frac{l}{h}$$

Sabiendo que la planta está operativa 20 horas diarias:

$$0,38 \frac{l}{h} \cdot 20 \frac{h}{día} = 7,6 \frac{l}{día}$$

Anualmente se dosifican:

$$7,6 \frac{l}{día} \cdot 365 \frac{días}{año} = 2774 \frac{l}{año}$$

Para el cálculo de los kg de reactivo puro que se necesitan anualmente debe tenerse en cuenta la dilución al 10%:

$$D_{puro} = 15 \frac{mg}{l} \cdot \frac{10}{100} = 1,5 \frac{mg}{l}$$

A continuación, se calculan los kg/año de reactivo puro:

$$1,5 \frac{mg}{l} \cdot 25000 \frac{l}{h} \cdot \frac{kg}{1 \cdot 10^6 mg} \cdot \frac{7300h}{año} = 273,75 \frac{kg}{año}$$

Al igual que en la coagulación, la dosificación se realizará mediante una bomba dosificadora, inyectando el reactivo en tubería. Se ha elegido una bomba dosificadora de la marca DOSIM y sus características pueden observarse en la Tabla A.6.

Tabla A.6. Bomba dosificadora de floculante

Marca	DOSIM
Serie	Serie H
Modelo	HPVM 18 02
Caudal máximo (l/h)	2
Presión máxima (Pa)	$1,8 \cdot 10^6$
Potencia (kW)	0,019

Se ha elegido un depósito dosificador de floculante de polietileno lineal anti-uv de la marca DOSIM, con una capacidad de 120l.

Respecto al agitador, se utilizará el mismo agitador que el elegido en el proceso de coagulación.

2.3.Sedimentación

Con el fin de obtener un agua clarificada se utilizará un decantador troncocónico. Para el dimensionamiento de este equipo se requiere del valor de velocidad ascensional. De la búsqueda bibliográfica realizada y de la experiencia que dispone la empresa en este tipo de aguas, se ha estimado un valor de 1,5 m/h para la velocidad ascensional.

Para el dimensionamiento del decantador se utilizan las Ecuaciones 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7, respectivamente.

$$S = \frac{Q}{v_{asc}} \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

$$D = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

$$V = Q \cdot t_r \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

$$h = \frac{V}{S} \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

Donde:

- S es la superficie del decantador (m²)
- Q es el caudal de agua a tratar (m³/h)
- v_{asc} es la velocidad ascensional (m/h)
- D es el diámetro del decantador (m)
- V es el volumen del decantador (m³)
- t_r es el tiempo de residencia en el decantador (h)
- h es la altura cilíndrica (m)

$$S = \frac{25}{1,5} = 16,67 \approx 16,7\text{m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{16,7 \cdot 4}{\pi}} = 4,6\text{m}$$

Para el cálculo del volumen se considera un tiempo de residencia de 2h:

$$V = 25 \cdot 2 = 50\text{m}^3$$

$$h = \frac{50}{16,7} = 2,99 \approx 3\text{m}$$

Esta altura obtenida es de la parte cilíndrica del decantador. Para calcular la altura de la parte cónica se considera una inclinación de 60° con el fin de asegurar una buena decantación, ya que para este tipo de aguas se suelen utilizar decantadores con una inclinación entre 45° y 60°. Se utiliza la Ecuación 2.8.

$$\text{tg}(\theta) = \frac{h_c}{r} \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

Donde:

- $\text{tg}(\theta)$ es la tangente del ángulo
- h_c es la altura de la parte cónica del decantador (m)
- r es el radio del decantador (m)

$$h_c = \text{tg}(60) \cdot 2,3 = \sqrt{3} \cdot 2,3 = 3,98 \approx 4\text{m}$$

Se ha decidido considerar una altura de la parte cónica de 4m.

La altura total del decantador se calcula como la suma de las dos alturas obtenidas anteriormente, es decir $h_{\text{Tot}}=3+4=7\text{m}$.

El decantador que se instalará es del proveedor TREPOVI fabricado en PRFV, hecho a medida para el tratamiento.

A la salida del decantador se colocará un depósito de agua clarificada de 50m^3 de capacidad.

2.4. Producción de fangos

En este proyecto, la gestión de los fangos producidos estará a cargo de una empresa externa. A continuación, se realizan una serie de cálculos para tener una idea sobre la cantidad de fangos que se producen diariamente. La producción de fangos se calcula mediante la Ecuación 2.9.

$$P_F = Q \cdot SS \cdot \eta \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

Donde:

- P_F es la producción diaria de fangos (kgSS/día)
- Q es el caudal de agua a tratar (l/día)
- SS son los sólidos en suspensión (kgSS/l)
- η es el rendimiento del decantador, valor que suele estar en 0,6 y 0,8. En este caso se ha decidido considerar un rendimiento de 0,7

Primero se calcula la producción de fangos teniendo en cuenta el valor de SS obtenido en la analítica puntual ($SS=34\text{mg/l}$).

$$P_F = 25000 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot 20 \frac{\text{h}}{\text{día}} \cdot 34 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kgSS}}{\text{l}} \cdot 0,7 = 11,9 \frac{\text{kgSS}}{\text{día}}$$

Como se ha comentado anteriormente, se trata de un valor puntual de SS , que varía según las condiciones meteorológicas, entre otros factores. Por lo tanto, hay días que la concentración de SS puede estar en valores medios o alcanzar valores pico. Seguidamente, se realizan los cálculos para un valor medio de 150mgSS/l y para un valor pico de 400mgSS/l .

$$P_F = 25000 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot 20 \frac{\text{h}}{\text{día}} \cdot 150 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kgSS}}{\text{l}} \cdot 0,7 = 52,5 \frac{\text{kgSS}}{\text{día}}$$

$$P_F = 25000 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot 20 \frac{\text{h}}{\text{día}} \cdot 400 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kgSS}}{\text{l}} \cdot 0,7 = 140 \frac{\text{kgSS}}{\text{día}}$$

Los fangos se descargarán mediante una válvula manual a un depósito de fangos de 10m^3 de capacidad.

2.5. Dosificación de hipoclorito sódico

Se dosifica hipoclorito sódico antes de la entrada al primer filtro, para eliminar microorganismos patógenos. El reactivo suministrado por Servyeco, se dosifica puro, con una concentración de cloro activo de 165g/l. La dosis óptima para el tratamiento es de 1ppm, para tener un control de los niveles de cloro libre residual. La dosificación, en este caso, se calcula con la Ecuación 2.10.

$$D = \frac{R \cdot Q}{C} \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

Donde:

- D es el caudal de reactivo que se dosifica (l/h)
- R es la dosis óptima de reactivo (mg/l)
- Q es el caudal de agua a tratar (l/h)
- C es la concentración de cloro activo (mg/l)

$$D = \frac{1 \cdot 25000}{165 \cdot 10^3} = 0,15 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Diariamente se necesitan:

$$0,15 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot 20 \frac{\text{h}}{\text{día}} = 3 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

Y anualmente:

$$3 \frac{\text{l}}{\text{día}} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 1095 \frac{\text{l}}{\text{año}}$$

Por lo tanto, los kg/año que se consumen de hipoclorito sódico son:

$$1095 \frac{\text{l}}{\text{año}} \cdot 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 1423,5 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

El reactivo se dosificará directamente en la conducción mediante una bomba dosificadora de la marca DOSIM. Las características de ésta aparecen en la Tabla A.7.

Tabla A.7. Bomba dosificadora de hipoclorito sódico

Marca	DOSIM
Serie	Serie H
Modelo	HPVM 18 02
Caudal máximo (l/h)	2
Presión máxima (Pa)	$1,8 \cdot 10^6$
Potencia (kW)	0,019

El depósito dosificador de hipoclorito es de la marca DOSIM, fabricado en polietileno anti-uv, de 50l de capacidad. El agitador que se utilizará es el mismo que en los depósitos de coagulación y floculación.

2.6. Filtración mediante filtro de arena y grava

Posterior a la cloración, el agua entrará a un filtro de lecho de arena y grava para la retención de los sólidos en suspensión. La velocidad de filtración suele estar entre 10 y 30m/h, y, en este caso, para el dimensionamiento del filtro se ha elegido una velocidad de 20m/h.

La superficie del filtro se calcula mediante la Ecuación 2.11.

$$S_f = \frac{Q}{v_f} \quad (\text{Ecuación 2.11})$$

Donde:

- S_f es la superficie filtrante necesaria (m^2)
- Q es el caudal de agua a tratar (m^3/h)
- v_f es la velocidad de filtración (m/h)

$$S_f = \frac{25}{20} = 1,25\text{m}^2$$

Teniendo en cuenta el caudal, la velocidad de filtración y la superficie calculada se ha elegido un filtro de arena y grava de alto rendimiento, con 1,2m de lecho filtrante de la marca TREPOVI, totalmente anticorrosivo, con brazos y crepinas en PVC. El equipo se describe en la Tabla A.8.

Tabla A.8. Filtro de arena y grava

Marca	TREPOVI
$Q_{\text{máx}}$ (m³/h)	30,8
v_f (m/s)	20
S_f (m²)	1,5
Grava (kg)	250
Arena (kg)	2300
Diámetro (mm)	1400
Altura total (mm)	2560

2.7. Filtración con filtro de carbón activo

Como sistema de decoloración para la eliminación del cloro libre residual se ha optado por el uso de un filtro de carbón activo. Se ha elegido un equipo para poder tratar 25m³/h de caudal, y sus características se reflejan en la Tabla A.9.

Tabla A.9. Filtro de carbón activo

Marca	ATH
Modelo	DAQ – 363/1200/T
Q_{máx} (m³/h)	25
Carga carbón (kg)	675
Diámetro (mm)	1600
Altura total (mm)	1926

2.8. Dosificación de antiincrustante

A la salida del filtro de carbón activo se dosificará directamente en la conducción el antiincrustante ECOMET OI 115 de Servyeco. Tiene una densidad de 1,33g/cm³ y se dosificará diluido al 10%, siendo en este caso la dosis óptima de 5ppm.

Para el cálculo del caudal de dosificación se utiliza la Ecuación 2.1.

$$D = \frac{5 \cdot 25000}{1,33 \cdot 10^6} = 0,09 \frac{l}{h}$$

Diariamente se dosifican:

$$0,09 \frac{l}{h} \cdot 20 \frac{h}{día} = 1,8 \frac{l}{día}$$

Por lo tanto, al año se dosifican:

$$1,8 \frac{l}{día} \cdot 365 \frac{días}{año} = 657 \frac{l}{año}$$

Para el cálculo de los kg de reactivo puro que se necesitan anualmente debe tenerse en cuenta la dilución al 10%:

$$D_{\text{puro}} = 5 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot \frac{10}{100} = 0,5 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Seguidamente, se calculan los kg/año de reactivo puro:

$$0,5 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 25000 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot \frac{\text{kg}}{1 \cdot 10^6 \text{mg}} \cdot \frac{7300 \text{h}}{\text{año}} = 91,25 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

La dosificación se realiza mediante una bomba dosificadora de la marca DOSIM y sus características pueden observarse en la Tabla A.10.

Tabla A.10. Bomba dosificadora de antiincrustante

Marca	DOSIM
Serie	Serie H
Modelo	HPVM 20 01
Caudal máximo (l/h)	1
Presión máxima (Pa)	$2 \cdot 10^6$
Potencia (kW)	0,019

El depósito dosificador de antiincrustante es de la marca DOSIM, fabricado en polietileno anti-uv, de 50l de capacidad. Respecto al agitador, se utilizará el mismo que en los casos anteriores.

2.9. Filtración de seguridad (5µm)

Se instalará un sistema de filtración de seguridad por cartuchos de 5µm de tamaño de poro antes de la entrada al tratamiento de ósmosis inversa, para proteger las membranas de posibles atascos. Los cartuchos filtrantes elegidos son de la marca OSMOFILTER y aparecen en la Tabla A.11.

Tabla A.11. Cartucho filtrante de 5µm

Marca	OSMOFILTER
Modelo	FP2001
Q_{fmáx} (m³/h)	3,2
Altura (mm)	1016

Un cartucho filtrante es capaz de tratar un caudal máximo de 3,2m³/h. A continuación, mediante la Ecuación 2.12, se calculan los cartuchos necesarios para tratar 25m³/h.

$$N_f = \frac{Q}{Q_{fmáx}} \quad \text{(Ecuación 2.12)}$$

Donde:

N_f es el número cartuchos necesarios

Q es el caudal de agua a tratar (m³/h)

Q_{fmáx} es el caudal máximo que puede tratar un filtro de cartuchos (m³/h)

$$N_f = \frac{25}{3,2} = 7,8 \approx 8 \text{ cartuchos}$$

Por lo tanto, se necesitan 8 cartuchos para un caudal de entrada de 25m³/h. Teniendo en cuenta esto, se ha optado por un porta cartuchos de la marca HIDRO WATER, descrito en la Tabla A.12.

Tabla A.12. Características del filtro porta cartuchos

Marca	HIDRO WATER
Modelo	FI-0214-34
Material	AISI 316
Nº cartuchos	8
Altura cartucho (mm)	1016
Altura (mm)	1616
Diámetro (mm)	448

2.10. Ósmosis inversa

En este apartado se dimensiona el sistema de ósmosis inversa, a partir de los datos que aparecen en la Tabla A.2. El dimensionamiento se realiza mediante la simulación con el programa ROSA de DOW FILMTEC, obteniendo, de esta manera, las concentraciones de iones a la salida del tratamiento, el valor del caudal en cada corriente, y otros datos como la presión, el consumo energético...etc.

Para la simulación se ha tenido en cuenta un tratamiento formado por un solo paso (el permeado no se vuelve a tratar, pasa directamente al uso que se le quiere dar) y dos etapas (el concentrado que se obtiene en la primera etapa pasa a una segunda para volver a tratarlo, obteniendo una mayor conversión). En la Tabla A.13 aparecen las características del tratamiento.

Tabla A.13. Sistema de ósmosis inversa

1 Paso	Etapas	2 tubos	12 membranas
	1	6 membranas por tubo	
	Etapas	1 tubo	6 membranas
	2	6 membranas por tubo	

Además, también se ha tenido en cuenta un factor de ensuciamiento $FF = 0,85$, un caudal de permeado $P = 18,75\text{m}^3/\text{h}$ y una conversión del 75%. Se han realizado tres simulaciones: a 20°C y en dos condiciones más desfavorables, 18 y 25°C , para comprobar que en cada caso el agua que sale del tratamiento cumple con el límite de dureza requerido por el fabricante.

Simulación a 20°C

Raw Water TDS	749.67 mg/l	% System Recovery (7/1)	75.01 %
Water Classification	Well Water SDI < 3	Flow Factor (Pass 1)	0.85
Feed Temperature	20.0 C		

Pass #	Pass 1	
	1	2
Stage #		
Element Type	LE-440i	LE-440i
Pressure Vessels per Stage	2	1
Elements per Pressure Vessel	6	6
Total Number of Elements	12	6
Pass Average Flux	25.49 l/mh	
Stage Average Flux	28.88 l/mh	18.70 l/mh
Permeate Back Pressure	0.00 bar	0.00 bar
Booster Pressure	0.00 bar	0.00 bar
Chemical Dose	-	
Energy Consumption	0.41 kWh/m ³	

Pass 1			
Stream #	Flow (m ³ /h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)
1	25.00	0.00	749.67
3	25.00	8.80	749.67
5	6.25	4.81	2946.43
7	18.75	-	14.13
7/1	% Recovery	75.01	

Project Information:
Análisis a 20°C

Design Warnings:
-None-

Solubility Warnings:

Langelier Saturation Index > 0

Stiff & Davis Stability Index > 0

Antiscalants may be required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.

Project Information: Análisis a 20 °C

Case-specific:

System Details

Feed Flow to Stage 1	25.00 m ³ /h	Pass 1 Permeate Flow	18.75 m ³ /h	Osmotic Pressure:
Raw Water Flow to System	25.00 m ³ /h	Pass 1 Recovery	75.01 %	Feed 0.41 bar
Feed Pressure	8.80 bar	Feed Temperature	20.0 C	Concentrate 1.53 bar
Flow Factor	0.85	Feed TDS	749.67 mg/l	Average 0.97 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	18	Average NDP 6.10 bar
Total Active Area	735.77 M ²	Average Pass 1 Flux	25.49 lmh	Power 7.64 kW
Water Classification: Well Water SDI < 3				Specific Energy 0.41 kWh/m ³

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m ³ /h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m ³ /h)	Conc Flow (m ³ /h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m ³ /h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	LE-44oi	2	6	25.00	8.46	0.00	10.83	6.74	14.17	28.88	0.00	0.00	9.54
2	LE-44oi	1	6	10.83	6.39	0.00	6.25	4.81	4.59	18.70	0.00	0.00	28.35

Pass Streams (mg/l as Ion)							
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate		Permeate		
			Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	8.58	8.58	18.31	29.52	1.13	3.05	1.60
Na	103.92	103.92	238.25	410.36	1.19	3.78	1.83
Mg	61.74	61.74	141.98	245.39	0.36	1.11	0.55
Ca	24.93	24.93	57.35	99.12	0.14	0.44	0.22
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	1.45	1.45	6.73	16.58	0.00	0.00	0.00
HCO3	281.38	281.38	638.42	1090.08	3.13	9.62	4.71
NO3	11.93	11.93	24.47	37.75	2.34	6.39	3.33
Cl	142.38	142.38	327.51	566.04	0.80	2.57	1.23
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	105.28	105.28	242.45	419.55	0.38	1.18	0.58
SiO2	8.08	8.08	18.55	32.02	0.07	0.20	0.10
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	5.91	5.91	7.80	10.75	6.31	8.64	6.88
TDS	749.67	749.67	1714.04	2946.43	9.54	28.35	14.13
pH	7.80	7.80	7.99	8.04	5.94	6.28	6.07

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

Langelier Saturation Index > 0

Stiff & Davis Stability Index > 0

Antiscalants may be required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.

Stage Details

Stage 1 Element Recovery		Perm Flow (m ³ /h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m ³ /h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.11	1.34	5.69	12.50	749.67	8.46
2	0.11	1.26	6.85	11.16	838.63	8.03
3	0.12	1.20	8.29	9.90	944.57	7.66
4	0.13	1.14	10.10	8.70	1073.34	7.36
5	0.14	1.09	12.44	7.56	1233.78	7.11
6	0.16	1.05	15.55	6.46	1439.77	6.90
Stage 2 Element Recovery		Perm Flow (m ³ /h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m ³ /h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.09	0.94	18.49	10.83	1714.04	6.39
2	0.09	0.87	21.80	9.89	1875.28	6.04
3	0.09	0.80	25.95	9.02	2052.98	5.72
4	0.09	0.73	30.91	8.23	2248.25	5.45
5	0.09	0.66	36.89	7.50	2462.14	5.21
6	0.09	0.59	44.16	6.84	2695.03	5.00

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.80	7.80	8.04
Langelier Saturation Index	-0.06	-0.06	1.32
Stiff & Davis Stability Index	0.41	0.41	1.29
Ionic Strength (Molal)	0.02	0.02	0.06
TDS (mg/l)	749.67	749.67	2946.43
HCO ₃	281.38	281.38	1090.08
CO ₂	5.91	5.91	10.74
CO ₃	1.45	1.45	16.58
CaSO ₄ (% Saturation)	0.60	0.60	5.07
BaSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SrSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF ₂ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO ₂ (% Saturation)	7.02	7.02	24.86
Mg(OH) ₂ (% Saturation)	0.01	0.01	0.10

Simulación a 18°C

Raw Water TDS	749.61 mg/l	% System Recovery (7/1)	75.00 %
Water Classification	Well Water SDI < 3	Flow Factor (Pass 1)	0.85
Feed Temperature	18.0 C		

Pass #	Pass 1	
Stage #	1	2
Element Type	LE-440i	LE-440i
Pressure Vessels per Stage	2	1
Elements per Pressure Vessel	6	6
Total Number of Elements	12	6
Pass Average Flux	25.48 lmh	
Stage Average Flux	28.67 lmh	19.11 lmh
Permeate Back Pressure	0.00 bar	0.00 bar
Booster Pressure	0.00 bar	0.00 bar
Chemical Dose	-	
Energy Consumption	0.43 kWh/m ³	

Pass 1			
Stream #	Flow (m ³ /h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)
1	25.00	0.00	749.61
3	25.00	9.37	749.69
5	6.25	5.25	2950.00
7	18.75	-	12.55
7/1	% Recovery	75.00	

Project Information:

Análisis a 18 °C

Design Warnings:

-None-

Solubility Warnings:

Langelier Saturation Index > 0

Stiff & Davis Stability Index > 0

Antiscalants may be required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.

Project Information: Análisis a 18 °C

Case-specific:

System Details

Feed Flow to Stage 1	25.00 m ³ /h	Pass 1 Permeate Flow	18.75 m ³ /h	Osmonic Pressure:
Raw Water Flow to System	25.00 m ³ /h	Pass 1 Recovery	75.00 %	Feed 0.40 bar
Feed Pressure	9.37 bar	Feed Temperature	18.0 C	Concentrate 1.52 bar
Flow Factor	0.85	Feed TDS	749.69 mg/l	Average 0.96 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	18	Average NDP 6.62 bar
Total Active Area	735.77 M ²	Average Pass 1 Flux	25.48 lmh	Power 8.13 kW
Water Classification: Well Water SDI < 3				Specific Energy 0.43 kWh/m ³

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m ³ /h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m ³ /h)	Conc Flow (m ³ /h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m ³ /h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	LE-440i	2	6	25.00	9.02	0.00	10.94	7.24	14.06	28.67	0.00	0.00	8.50
2	LE-440i	1	6	10.94	6.90	0.00	6.25	5.25	4.69	19.11	0.00	0.00	24.74

Pass Streams (mg/l as Ion)							
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate		Permeate		
			Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	8.58	8.58	18.30	29.97	1.02	2.73	1.45
Na	103.92	103.92	236.17	410.82	1.05	3.26	1.61
Mg	61.74	61.74	140.69	245.47	0.32	0.96	0.48
Ca	24.93	24.93	56.83	99.15	0.13	0.38	0.19
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	1.38	1.38	6.40	16.14	0.00	0.00	0.00
HCO3	281.38	281.38	633.08	1091.56	2.78	8.30	4.15
NO3	11.93	11.93	24.57	38.72	2.10	5.70	3.00
Cl	142.38	142.46	324.71	566.54	0.70	2.21	1.08
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	105.28	105.28	240.20	419.56	0.34	1.02	0.51
SiO2	8.08	8.08	18.39	32.04	0.06	0.17	0.09
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	6.11	6.11	7.92	10.88	6.48	8.76	7.06
TDS	749.61	749.69	1699.36	2950.00	8.50	24.74	12.55
pH	7.80	7.80	7.99	8.05	5.89	6.22	6.02

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

Langelier Saturation Index > 0

Stiff & Davis Stability Index > 0

Antiscalants may be required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.

Stage Details

Stage 1 Element Recovery		Perm Flow (m³/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m³/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.11	1.32	5.13	12.50	749.69	9.02
2	0.11	1.25	6.14	11.18	837.33	8.58
3	0.12	1.19	7.40	9.93	941.69	8.20
4	0.13	1.14	8.98	8.74	1068.52	7.89
5	0.14	1.09	11.00	7.61	1226.46	7.63
6	0.16	1.05	13.71	6.52	1429.24	7.41
Stage 2 Element Recovery		Perm Flow (m³/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m³/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.09	0.95	16.18	10.94	1699.36	6.90
2	0.09	0.88	19.07	9.99	1859.06	6.53
3	0.09	0.81	22.61	9.11	2036.09	6.20
4	0.09	0.75	26.87	8.30	2232.22	5.91
5	0.09	0.68	31.98	7.55	2449.06	5.66
6	0.09	0.62	38.17	6.87	2688.07	5.44

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.80	7.80	8.05
Langelier Saturation Index	-0.10	-0.10	1.28
Stiff & Davis Stability Index	0.37	0.37	1.26
Ionic Strength (Molal)	0.02	0.02	0.06
TDS (mg/l)	749.61	749.69	2950.00
HCO ₃	281.38	281.38	1091.56
CO ₂	6.11	6.11	10.88
CO ₃	1.38	1.38	16.14
CaSO ₄ (% Saturation)	0.60	0.60	5.07
BaSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SrSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF ₂ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO ₂ (% Saturation)	7.28	7.28	25.62
Mg(OH) ₂ (% Saturation)	0.01	0.01	0.11

To balance: 0.08 mg/l Cl added to feed.

Simulación a 25°C

Raw Water TDS	749.84 mg/l	% System Recovery (7/1)	75.00 %
Water Classification	Well Water SDI < 3	Flow Factor (Pass 1)	0.85
Feed Temperature	25.0 C		

Pass #	Pass 1	
	1	2
Stage #	LE-440i	LE-440i
Element Type	LE-440i	LE-440i
Pressure Vessels per Stage	2	1
Elements per Pressure Vessel	6	6
Total Number of Elements	12	6
Pass Average Flux	25.48 lmh	
Stage Average Flux	29.42 lmh	17.60 lmh
Permeate Back Pressure	0.00 bar	0.00 bar
Booster Pressure	0.00 bar	0.00 bar
Chemical Dose	-	
Energy Consumption	0.35 kWh/m ³	

Pass 1			
Stream #	Flow (m ³ /h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)
1	25.00	0.00	749.84
3	25.00	7.61	749.97
5	6.25	3.91	2931.61
7	18.75	-	18.87
7/1	% Recovery	75.00	

Project Information:

Análisis a 25 °C

Design Warnings:

-None-

Solubility Warnings:

Langelier Saturation Index > 0

Stiff & Davis Stability Index > 0

Antiscalants may be required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.

Project Information: Análisis a 25 °C

Case-specific:

System Details

Feed Flow to Stage 1	25.00 m ³ /h	Pass 1 Permeate Flow	18.75 m ³ /h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	25.00 m ³ /h	Pass 1 Recovery	75.00 %	Feed	0.41 bar
Feed Pressure	7.61 bar	Feed Temperature	25.0 C	Concentrate	1.55 bar
Flow Factor	0.85	Feed TDS	749.97 mg/l	Average	0.98 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	18	Average NDP	5.00 bar
Total Active Area	735.77 M ²	Average Pass 1 Flux	25.48 lmh	Power	6.60 kW
Water Classification: Well Water SDI < 3				Specific Energy	0.35 kWh/m ³

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m ³ /h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m ³ /h)	Conc Flow (m ³ /h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m ³ /h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	LE-44oi	2	6	25.00	7.26	0.00	10.57	5.69	14.43	29.42	0.00	0.00	12.67
2	LE-44oi	1	6	10.57	5.34	0.00	6.25	3.91	4.32	17.60	0.00	0.00	39.64

Pass Streams (mg/l as Ion)							
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate		Permeate		
			Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	8.58	8.58	18.31	28.24	1.45	3.93	2.02
Na	103.92	104.05	243.96	408.65	1.62	5.47	2.50
Mg	61.74	61.74	145.38	244.67	0.49	1.61	0.75
Ca	24.93	24.93	58.72	98.84	0.19	0.64	0.30
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	1.61	1.61	7.59	17.59	0.00	0.00	0.00
HCO3	281.38	281.38	652.39	1083.68	4.20	13.91	6.42
NO3	11.93	11.93	24.10	34.98	3.03	8.33	4.25
Cl	142.38	142.38	335.36	564.36	1.09	3.75	1.70
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	105.28	105.28	248.37	418.70	0.52	1.72	0.79
SiO2	8.08	8.08	18.99	31.90	0.09	0.29	0.14
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	5.51	5.51	7.58	10.47	5.96	8.40	6.53
TDS	749.84	749.97	1753.18	2931.61	12.67	39.64	18.87
pH	7.80	7.80	7.98	8.02	6.06	6.41	6.20

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

Langelier Saturation Index > 0

Stiff & Davis Stability Index > 0

Antiscalants may be required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.

Stage Details

Stage 1 Element Recovery		Perm Flow (m ³ /h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m ³ /h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.11	1.39	7.36	12.50	749.97	7.26
2	0.12	1.30	8.97	11.11	842.42	6.86
3	0.12	1.22	10.97	9.81	952.56	6.53
4	0.13	1.16	13.49	8.59	1086.49	6.25
5	0.15	1.10	16.76	7.43	1253.42	6.02
6	0.17	1.05	21.14	6.33	1467.83	5.83
Stage 2 Element Recovery		Perm Flow (m ³ /h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m ³ /h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.09	0.92	25.62	10.57	1753.18	5.34
2	0.09	0.84	30.53	9.64	1918.00	5.02
3	0.09	0.75	36.42	8.81	2096.59	4.74
4	0.08	0.68	43.67	8.05	2288.72	4.49
5	0.08	0.60	52.54	7.38	2493.40	4.27
6	0.08	0.53	63.39	6.78	2708.74	4.08

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.80	7.80	8.02
Langelier Saturation Index	0.05	0.05	1.40
Stiff & Davis Stability Index	0.51	0.51	1.36
Ionic Strength (Molal)	0.02	0.02	0.06
TDS (mg/l)	749.84	749.97	2931.61
HCO ₃	281.38	281.38	1083.68
CO ₂	5.51	5.51	10.47
CO ₃	1.61	1.61	17.59
CaSO ₄ (% Saturation)	0.60	0.60	5.06
BaSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SrSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF ₂ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO ₂ (% Saturation)	6.46	6.46	23.08
Mg(OH) ₂ (% Saturation)	0.01	0.01	0.09

To balance: 0.13 mg/l Na added to feed.

A continuación, se calcula la dureza del agua a la salida del tratamiento en los tres casos simulados, para asegurar que en cada uno de ellos el agua cumple con los requisitos del fabricante. La dureza se calcula a partir de las concentraciones de los iones Mg^{2+} y Ca^{2+} mediante la Ecuación 2.13.

$$TH = 2,5 \cdot c_{Ca} + 4,2 \cdot c_{Mg} \quad (\text{Ecuación 2.13})$$

Donde:

- TH es la dureza total (mgCaCO₃/l)
- c_{Ca} es la concentración de calcio (mgCa/l)
- c_{Mg} es la concentración de magnesio (mgMg/l)

Simulación a 20°C

En esta simulación se han obtenido las siguientes concentraciones: 0,22mgCa/l y 0,55mgMg/l.

$$TH = 2,5 \cdot 0,22 + 4,2 \cdot 0,55 = 2,86 \frac{\text{mgCaCO}_3}{l}$$

Simulación a 18°C

Las concentraciones obtenidas de calcio y magnesio son de 0,19mgCa/l y 0,48mgMg/l.

$$TH = 2,5 \cdot 0,19 + 4,2 \cdot 0,48 = 2,49 \frac{\text{mgCaCO}_3}{l}$$

Simulación a 25°C

En este caso las concentraciones son 0,3mgCa/l y 0,75mgMg/l.

$$TH = 2,5 \cdot 0,3 + 4,2 \cdot 0,75 = 3,9 \frac{\text{mgCaCO}_3}{l}$$

Por lo tanto, puede observarse como en los tres casos la dureza cumple con el límite requerido por el fabricante (< 5mgCaCO₃/l).

Para el dimensionamiento y realización de cálculos posteriores se tendrá en cuenta la simulación realizada a 20°C. Con la ayuda del programa ROSA también se ha obtenido el consumo energético por m³ de agua a tratar, que en este caso es de 0,41kWh/m³, la presión de entrada del agua en el sistema de ósmosis inversa, que es de 8,8·10⁵Pa, y el caudal de cada una de las corrientes en ambas etapas del tratamiento. A continuación, en la Figura A.2 se muestra el esquema de la ósmosis inversa y los caudales obtenidos.

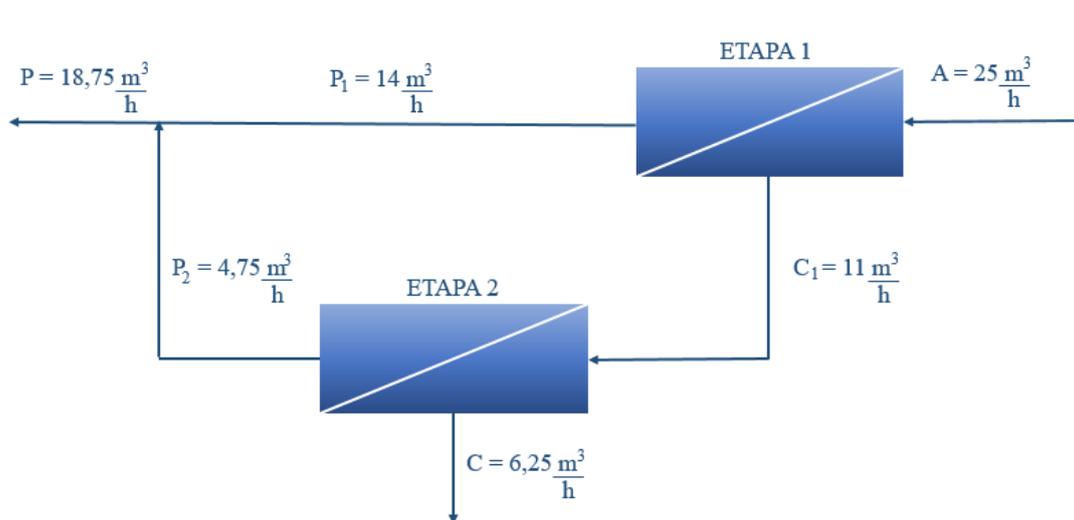


Figura A.2. Esquema y caudales del tratamiento de ósmosis inversa

Las corrientes que aparecen en la figura anterior son las siguientes:

- A: alimento al sistema de ósmosis
- P₁: corriente de permeado de la primera etapa
- P₂: corriente de permeado de la segunda etapa
- P: corriente de permeado total, suma de las dos etapas
- C₁: corriente de concentrado o rechazo de la primera etapa
- C: corriente de concentrado o rechazo de la segunda etapa

Respecto a las membranas, de acuerdo con los resultados de la simulación, se utilizarán 18 membranas en total. Todas ellas del modelo LE-440i de DOW FILMTEC. En la Tabla A.14 se muestran las características de estas membranas.

Tabla A.14. Membrana LE-440i

Marca	DOW FILMTEC
Modelo	LE-440i
Material	Thin Film Composite (TFC)
Presión de trabajo máxima (Pa)	$41 \cdot 10^5$
Temperatura de trabajo máxima (°C)	45
SDI máximo (alimento)	5
Rechazo de sales (%)	99,3
Longitud (mm)	1029
Diámetro (mm)	201

Para el total de 18 membranas se necesitarán 3 tubos de presión, 2 tubos para la primera etapa y 1 tubo para la segunda etapa, cada uno de ellos con 6 membranas. Las características de estos tubos se recopilan en la Tabla A.15.

Tabla A.15. Tubos de presión

Marca	BEL
Modelo	BEL8-S 600
Material	Polímero Reforzado con Fibra (FRP)
Presión de trabajo máxima (Pa)	$41 \cdot 10^5$
Nº de tubos de presión	3

2.11. Dosificación de neutralizante

Debido a que el pH disminuye con el tratamiento de ósmosis inversa, se dosificará como neutralizante NaOH. En este caso no hay dosis óptima de reactivo, si no que se dosificará en función del pH a la salida del tratamiento (para conseguir que su valor esté entre 7 y 8). Se utilizará hidróxido sódico al 50% de riqueza con una densidad de $1,35\text{g/cm}^3$, proporcionado por Servyeco. Para poder realizar un cálculo aproximativo se considera una dosis de 1,5ppm en base a la experiencia que tiene la empresa en este tipo de tratamientos.

El cálculo del caudal a dosificar se realiza con la Ecuación 2.1.

$$D = \frac{1,5 \cdot 25000}{1,35 \cdot 10^6} = 0,028 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Por lo tanto, al día se dosifican:

$$0,028 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot 20 \frac{\text{h}}{\text{día}} = 0,56 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

Y anualmente:

$$0,56 \frac{\text{l}}{\text{día}} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 204,4 \frac{\text{l}}{\text{año}}$$

El reactivo se vende al 50% en kg, por lo tanto, a continuación, se calculan los kg/año que se necesitan:

$$204,4 \frac{\text{l}}{\text{año}} \cdot 1,35 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 275,94 \approx 276 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

La dosificación se realiza mediante una bomba dosificadora de la marca DOSIM y sus características pueden observarse en la Tabla A.16.

Tabla A.16. Bomba dosificadora de hidróxido sódico

Marca	DOSIM
Serie	Serie H
Modelo	HPVM 20 01
Caudal máximo (l/h)	1
Presión máxima (Pa)	$2 \cdot 10^6$
Potencia (kW)	0,019

El depósito dosificador de neutralizante es de la marca DOSIM, fabricado en polietileno anti-uv, de 50l de capacidad. Respecto al agitador, se utilizará el mismo que en los casos anteriores.

3. Diseño de conducciones

Para el cálculo de los diámetros y velocidades de las conducciones, se ha dividido la instalación en los siguientes tramos:

- **Tramo 1:** desde el pantano hasta la entrada al decantador
- **Tramo 2:** desde la salida del decantador hasta la bomba de alta
- **Tramo 3:** desde la bomba de alta hasta la entrada al tratamiento de ósmosis inversa
- **Tramo 4:** desde la salida del permeado de la primera etapa hasta la segunda etapa
- **Tramo 5:** desde la salida del permeado total de la ósmosis inversa hasta la caldera
- **Tramo 6:** desde la salida del concentrado de la ósmosis inversa hasta la red de alcantarillado (desagüe)
- **Tramo 7:** desde el depósito de agua clarificada hasta los filtros (filtro de arena y grava y filtro de carbón activo)
- **Tramo 8:** desde los filtros hasta la red de alcantarillado (desagüe)

Además, también debe tenerse en cuenta el material de las tuberías; en las de baja presión se utilizará PVC y en las de alta presión acero inoxidable. Por lo tanto, las tuberías de todos los tramos serán de PVC, excepto de los tramos 3 y 4, que serán de acero.

Para el dimensionamiento de las conducciones se seguirá el siguiente procedimiento:

1. Suponer una velocidad máxima de circulación del agua
2. Calcular el diámetro interno de la conducción
3. Elegir el diámetro nominal y el espesor según fabricantes o normas, a partir del diámetro interno calculado
4. Una vez elegido el diámetro nominal y el espesor, se obtiene el diámetro interno real, y, a partir de éste, el valor de la velocidad real

Las ecuaciones que se utilizarán son las siguientes:

$$S_c = \frac{Q}{v_{sup}} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

$$D_{i\text{Real}} = D_e - 2e \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

$$S_{c\text{Real}} = \frac{\pi}{4} D_{i\text{Real}}^2 \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

$$V_{\text{Real}} = \frac{Q}{S_{c\text{Real}}} \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

Donde:

- S_c es la sección del tubo (m^2)
- Q es el caudal de agua a tratar (m^3/s)
- v_{sup} es la velocidad de circulación del agua (supuesta) a través de la conducción (m/s)
- D_i es el diámetro interno de la conducción (m)
- D_e es el diámetro externo de la conducción (m)
- e es el espesor de la conducción (m)
- $D_{i\text{Real}}$ es el diámetro interno real de la conducción (m)
- $S_{c\text{Real}}$ es la sección real de la conducción (m^2)
- V_{Real} es la velocidad (calculada) a la que circula el agua (m/s)

3.1. Tramo 1

El caudal a tratar en el Tramo 1 es de $25\text{m}^3/\text{h}$ y la velocidad de circulación del agua se considera de $1,8\text{m/s}$. La tubería es de PVC.

Aplicando la Ecuación 3.1 se obtiene la sección de la conducción en este tramo.

$$S_c = \frac{25}{\frac{3600}{1,8}} = 3,86 \cdot 10^{-3} \text{m}^2$$

A partir de la Ecuación 3.2 se calcula el diámetro de la conducción.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,86 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,07\text{m}$$

Según la norma DIN 8062 se escoge un diámetro nominal de 0,075m, que es el mismo que el diámetro externo, y un espesor de 0,0018m. A partir de estos datos y con la Ecuación 3.3 se calcula el diámetro interno real de la conducción.

$$D_{i\text{Real}} = 0,075 - 2 \cdot 0,0018 = 0,0714\text{m}$$

Con la Ecuación 3.4 se calcula la sección que tendrá la conducción.

$$S_{c\text{Real}} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0714^2 = 4 \cdot 10^{-3}\text{m}^2$$

Finalmente se obtiene la velocidad a la que circulará el agua por la conducción con la Ecuación 3.5.

$$v_{\text{Real}} = \frac{25}{\frac{3600}{4 \cdot 10^{-3}}} = 1,73 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.2. Tramo 2

En este tramo el caudal a tratar es de 25m³/h, se supone una velocidad de 1,8m/s y el material de la tubería es el PVC. En este tramo las características son las mismas que en el Tramo 1, por lo tanto, se obtienen los mismos resultados.

3.3. Tramo 3

El caudal a tratar en el Tramo 3 es de 25m³/h, se supone una velocidad de 1,8m/s y la tubería es de acero inoxidable, ya que es de alta presión.

Se calcula la sección mediante la Ecuación 3.1.

$$S_c = \frac{25}{\frac{3600}{1,8}} = 3,86 \cdot 10^{-3}\text{m}^2$$

Con la Ecuación 3.2 se obtiene el diámetro interno.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,86 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,07\text{m}$$

Según la norma ANSI B 36.19 se escoge un diámetro nominal de 0,0762m (3 pulgadas). El diámetro exterior es de 0,0889m. El espesor es de 0,00211m. A continuación, se obtiene el diámetro interno real de la conducción mediante la Ecuación 3.3.

$$D_{i\text{Real}} = 0,0889 - 2 \cdot 0,00211 = 0,0847\text{m}$$

La Ecuación 3.4 proporciona la sección real de la conducción.

$$S_{c\text{Real}} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0847^2 = 5,63 \cdot 10^{-3}\text{m}^2$$

La velocidad real a la que circulará el agua por la conducción se calcula con la Ecuación 3.5.

$$v_{\text{Real}} = \frac{\frac{25}{3600}}{5,63 \cdot 10^{-3}} = 1,23 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.4. Tramo 4

Al tratarse de una tubería de alta presión es de acero inoxidable, y el caudal en este tramo es de 14m³/h. En este caso no se puede estimar una velocidad de salida del permeado de la primera etapa hasta la segunda. En consecuencia, se ha realizado una búsqueda bibliográfica para determinar el diámetro de la conducción. Para tuberías de este material en ósmosis inversa y para caudales similares se utilizan diámetros nominales de 1,5 pulgadas, es decir, 0,0381m. Según la norma ANSI B 36.19 en tuberías con este diámetro nominal, el diámetro externo es de 1,9 pulgadas, es decir, 0,0483m y el espesor de 0,00165m.

En este caso se calcula directamente el diámetro interno real mediante la Ecuación 3.3.

$$D_{i\text{Real}} = 0,0483 - 2 \cdot 0,00165 = 0,045\text{m}$$

A continuación, con la Ecuación 3.4, se obtiene la sección real de la tubería.

$$S_{c\text{Real}} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,045^2 = 1,59 \cdot 10^{-3}\text{m}^2$$

Por último, se realiza el cálculo de la velocidad real de circulación del agua en la conducción con la Ecuación 3.5.

$$v_{\text{Real}} = \frac{\frac{25}{3600}}{1,59 \cdot 10^{-3}} = 4,37 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.5. Tramo 5

En el Tramo 5 el caudal es de 18,75m³/h y la velocidad supuesta de 1,8m/s. La tubería es de PVC.

Primero se realiza el cálculo de la sección mediante la Ecuación 3.1.

$$S_c = \frac{\frac{18,75}{3600}}{1,8} = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{m}^2$$

El diámetro interno se obtiene a partir de la Ecuación 3.2.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,89 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,061 \text{m}$$

Según la norma DIN 8062 se elige un diámetro nominal de 0,075m y es el mismo que el diámetro exterior. El espesor es de 0,0018m. El diámetro interno real de la conducción se calcula mediante la Ecuación 3.3.

$$D_{i\text{Real}} = 0,075 - 2 \cdot 0,0018 = 0,0714 \text{m}$$

La Ecuación 3.4 proporciona la sección real de la conducción.

$$S_{c\text{Real}} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0714^2 = 4 \cdot 10^{-3} \text{m}^2$$

La velocidad real a la que circula el agua se obtiene con la Ecuación 3.5.

$$v_{\text{Real}} = \frac{\frac{18,75}{3600}}{4 \cdot 10^{-3}} = 1,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.6. Tramo 6

La conducción correspondiente a este tramo es de PVC y el caudal de 6,25m³/h. Es muy difícil suponer la velocidad de salida del concentrado del tratamiento de ósmosis inversa. En consecuencia, se ha tomado un valor de diámetro nominal según datos bibliográficos. En tuberías de estas características y con caudales similares los diámetros nominales suelen ser

de unos 0,025m. Teniendo en cuenta este diámetro (igual al externo), según la norma DIN 8062, el espesor es de 0,0015m. Por lo tanto, a partir de la Ecuación 3.3 se calcula el diámetro interno real de la conducción.

$$D_{i\text{Real}} = 0,025 - 2 \cdot 0,0015 = 0,022\text{m}$$

A continuación, con la Ecuación 3.4, se calcula la sección real de la tubería.

$$S_{c\text{Real}} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,022^2 = 3,8 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$$

Finalmente, se realiza el cálculo de la velocidad real de circulación del agua mediante la Ecuación 3.5.

$$v_{\text{Real}} = \frac{6,25}{\frac{3600}{3,8 \cdot 10^{-4}}} = 4,57 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.7. Tramo 7

En este tramo se considera un caudal de 35m³/h, una velocidad de 1,8m/s y el material de la tubería, PVC. A partir de estos datos se calcula la sección de la conducción con la Ecuación 3.1.

$$S_c = \frac{35}{\frac{3600}{1,8}} = 5,4 \cdot 10^{-3}\text{m}^2$$

Seguidamente, se obtiene el diámetro interno de la conducción con la Ecuación 3.2.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,083\text{m}$$

Según la norma DIN 8062 para tuberías de PVC el diámetro nominal que se elige es de 0,09m el espesor es de 0,0018m. A continuación, se obtiene el diámetro interno real de la conducción mediante la Ecuación 3.3.

$$D_{i\text{Real}} = 0,09 - 2 \cdot 0,0018 = 0,0864\text{m}$$

La Ecuación 3.4 proporciona la sección real de la conducción.

$$S_{c\text{Real}} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0864^2 = 5,86 \cdot 10^{-3}\text{m}^2$$

La velocidad real a la que circulará el agua por la conducción se calcula con la Ecuación 3.5.

$$v_{\text{Real}} = \frac{\frac{35}{3600}}{5,86 \cdot 10^{-3}} = 1,66 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.8. Tramo 8

El caudal del Tramo 8 es de 35m³/h, la conducción es de PVC y se supone una velocidad de 1,8m/s. Los datos son los mismos que en el Tramo 7, por lo tanto, se obtienen los mismos resultados.

3.9. Resumen de las conducciones

En el presente apartado se recopilan las características de diseño de las conducciones de cada tramo. Esto puede observarse en la Tabla A.17.

Tabla A.17. Características de las conducciones

Tramo	Material	Q (m ³ /h)	D _n (m)	D _e (m)	D _{iReal} (m)	v _{Real} (m/s)
1	PVC	25	0,075	0,075	0,0714	1,73
2	PVC	25	0,075	0,075	0,0714	1,73
3	A. Inox. AISI 316	25	0,0762	0,0889	0,0847	1,23
4	A. Inox. AISI 316	14	0,0381	0,0483	0,045	4,37
5	PVC	18,75	0,075	0,075	0,0714	1,3
6	PVC	6,25	0,025	0,025	0,022	4,57
7	PVC	35	0,09	0,09	0,0864	1,66
8	PVC	35	0,09	0,09	0,0864	1,66

4. Bombas

En este apartado se dimensionan las bombas de impulsión del agua. Para ello, se calculan las pérdidas de carga de los tramos rectos y de los accidentes, las presiones en los puntos de aspiración e impulsión, la carga y la potencia de las bombas y el NPSH disponible.

Para la realización de estos cálculos, se han tenido en cuenta los siguientes tramos:

- **Tramo P-DEC:** Bombeo de agua desde el pantano hasta la entrada del decantador
- **Tramo DEP-FC:** Bombeo de agua desde el depósito de agua clarificada hasta la entrada del filtro de cartuchos
- **Tramo FC-OI:** Bombeo del agua desde el filtro de cartuchos hasta la entrada del sistema de ósmosis inversa
- **Tramo OI-C:** Bombeo de permeado desde la salida de la ósmosis inversa hasta la caldera de vapor
- **Tramo DEP-F:** Bombeo de agua desde el depósito de agua clarificada a los filtros, para realizar el lavado de éstos

Para el cálculo de la carga de la bomba se utiliza la Ecuación 4.1.

$$h = (z_2 - z_1) + \frac{1}{g} \left(\left(\frac{v_2^2}{2\alpha_2} - \frac{v_1^2}{2\alpha_1} \right) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Delta F \right) \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Donde:

- h es la carga de la bomba (m)
- z_2 es la altura en el punto final de impulsión (m)
- z_1 es la altura en el punto inicial de aspiración (m)
- g es la gravedad ($9,81\text{m/s}^2$)
- v_2 es la velocidad en el punto final de impulsión (m/s)
- v_1 es la velocidad en el punto inicial de aspiración (m/s)
- P_2 es la presión en el punto final de impulsión (Pa)
- P_1 es la presión en el punto inicial de aspiración (Pa)
- ρ es la densidad del agua (kg/m^3)

- $\alpha_2 = \alpha_1 = 1$ en régimen turbulento
- ΔF es la pérdida de carga total o pérdida de energía mecánica por unidad de masa (J/kg)

La pérdida de carga se calcula mediante la Ecuación 4.2.

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_a \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Donde

- ΔF_r es la pérdida de carga en los tramos rectos debido al rozamiento y turbulencias (J/kg)
- ΔF_a es la pérdida de carga total por rozamiento y turbulencias en los accidentes del sistema (J/kg)

El cálculo de la pérdida de carga en los tramos rectos se realiza mediante la Ecuación 4.3.

$$\Delta F_r = 2fv^2 \frac{L}{D} \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Donde:

- f es el factor de Fanning, que se obtiene a partir del gráfico de Moody en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa (ϵ/D) de la superficie del tubo.
- v es la velocidad media a lo largo de la conducción (m/s)
- L es la longitud del tramo recto (m)
- D es el diámetro de la conducción (m)

También debe calcularse el número de Reynolds mediante la Ecuación 4.4.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Donde:

- Re es el número de Reynolds (adimensional). En el caso de régimen turbulento $Re \geq 10000$
- ρ es la densidad del agua (kg/m^3)

- v es la velocidad media de la conducción (m/s)
- D es el diámetro de la conducción (m)
- μ es la viscosidad dinámica del agua ($N \cdot s/m^2$)

Mediante la Ecuación 4.5 se calcula la pérdida de carga en los accidentes.

$$\Delta F_a = \sum K \frac{v^2}{2} \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Donde:

- K es una constante característica de cada accidente
- v es la velocidad media de la conducción (m/s)

En la Figura A.3. se observa el gráfico de Moody, necesario para llevar a cabo los cálculos anteriores.

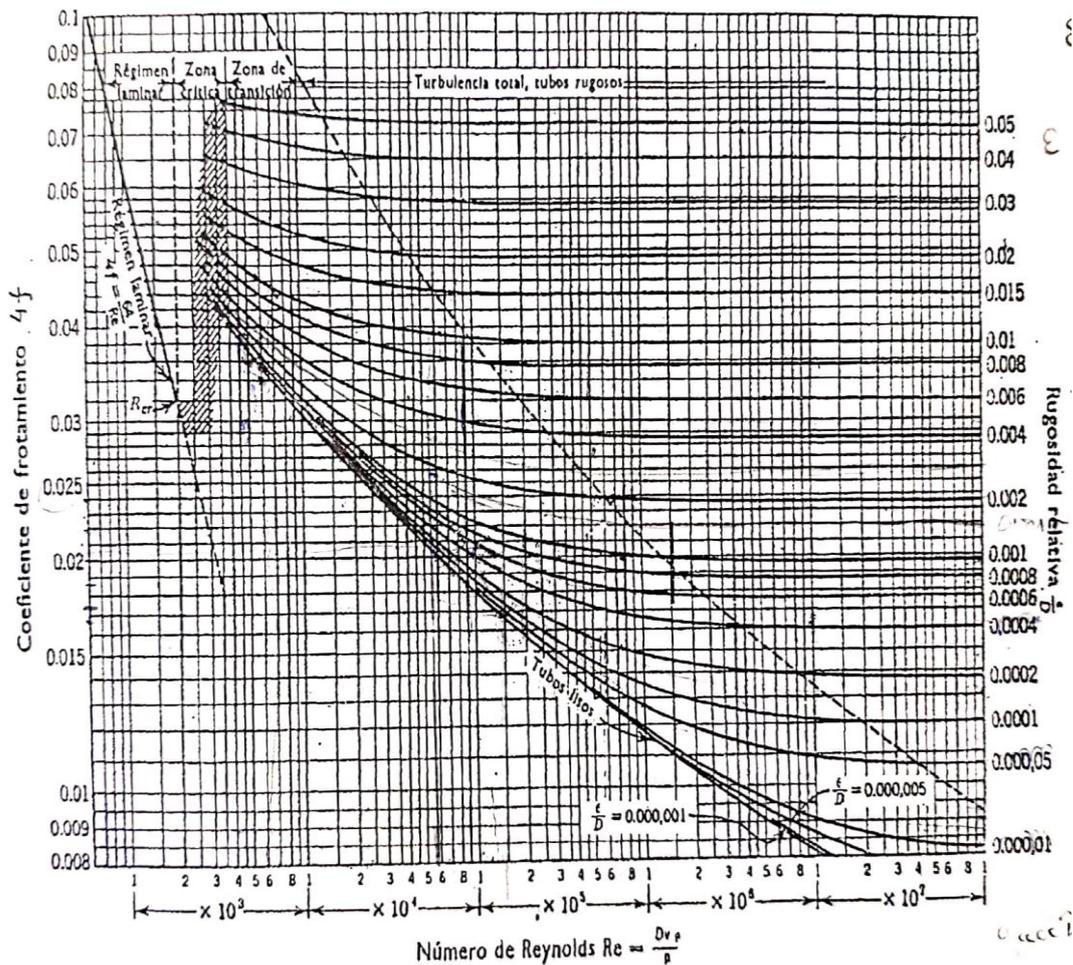


Figura A.3. Gráfico de Moody

También se realiza el cálculo de la potencia de la bomba con la Ecuación 4.6.

$$P = \frac{h \cdot g \cdot m}{\eta} \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Donde:

- h es la carga de la bomba (m)
- g es la gravedad (9,81m/s²)
- m es el caudal másico (kg/s)
- η es el rendimiento de la bomba

Finalmente, tras realizar el cálculo de la carga de la bomba y la potencia, se calcula el NPSH disponible, mediante la Ecuación 4.7, para compararlo con el NPSH requerido. El NPSH disponible es el que se dispone en el sistema para mantener el caudal deseado de líquido en la tubería de aspiración, mientras que el requerido depende del fabricante. Este último representa la carga mínima de aspiración para que no se produzca la cavitación de la bomba para un caudal dado. Para que una bomba tenga un funcionamiento correcto el NPSH disponible debe ser mayor al NPSH requerido. En caso contrario, se producirá la vaporización parcial del líquido originando bolsas de gas, fenómeno conocido como cavitación.

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} = (z_1 - z_3) + \frac{1}{g} \left(\frac{P_1 - P_v}{\rho} + \frac{v_1^2}{2\alpha_1} - \Delta F_{\text{asp}} \right) \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

Donde:

- $\text{NPSH}_{\text{disp}}$ es el disponible en el sistema (m)
- z_1 es la altura en el punto inicial de aspiración (m)
- z_3 es la altura en el punto final de aspiración (m)
- g es la gravedad (9,81m/s²)
- P_1 es la altura en el punto inicial de aspiración (Pa)
- P_v es la presión de vapor del agua. A 20°C su valor es de 2339,26Pa
- ρ es la densidad del agua (kg/m³)
- v_1 es la velocidad en el punto inicial de aspiración (m/s)

- $\alpha_1=1$ en régimen turbulento
- ΔF_{asp} es la pérdida de carga total en el tramo de aspiración. Se calcula de la misma forma que la pérdida de carga total, teniendo en cuenta únicamente el tramo recto y los accidentes en el tramo de aspiración (J/kg)

Para el cálculo del $NPSH_{disp}$ utilizando la Ecuación 4.7 se ha considerado el sistema que aparece en la Figura A.4.

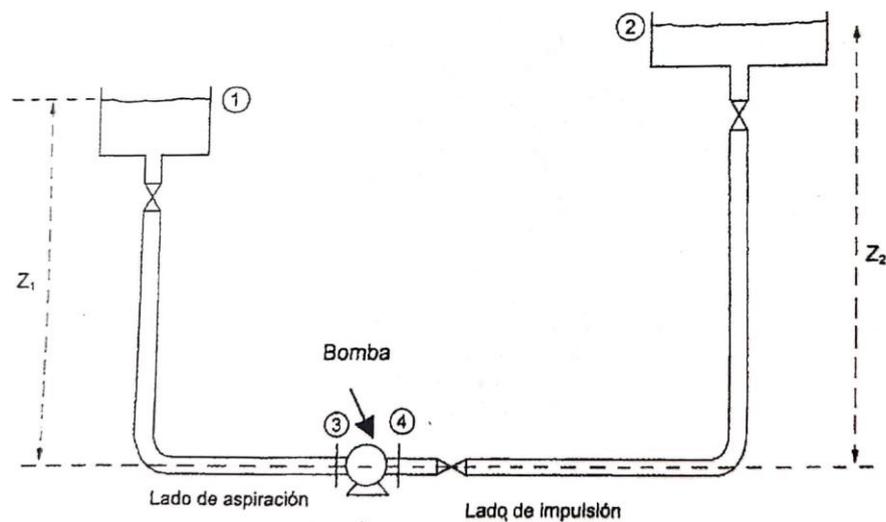


Figura A.4. Esquema del sistema considerado para el cálculo de $NPSH_{disp}$

4.1. Bombeo de agua desde el pantano (Tramo P-DEC)

A continuación, se realizan los cálculos necesarios para el bombeo del agua desde el pantano al decantador.

Para el cálculo de la carga de la bomba se tienen en cuenta las siguientes alturas:

- $z_2= 9\text{m}$
- $z_1= -10\text{m}$

La velocidad v_2 se considera la misma que en la tubería (1,73m/s) y la velocidad v_1 se considera 0 dada la gran superficie del agua en el pantano.

Las presiones son las siguientes:

- $P_2 = P_{atm} = 1,013 \cdot 10^5\text{Pa}$ ya que el decantador está abierto a la atmosfera

- $P_1 = P_{atm} + \rho g h_{H_2O} = 1,013 \cdot 10^5 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 10 = 1,994 \cdot 10^5 \text{Pa}$ (se encuentra por debajo del nivel del agua)

Para el cálculo de la pérdida de carga en el tramo recto se considera lo siguiente:

- $L=49\text{m}$
- $v=1,73\text{m/s}$
- $D=0,0714\text{m}$
- $\mu=1 \cdot 10^{-3} \text{Pa}\cdot\text{s}$
- ε absoluta (PVC)=0,0015mm
- $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015}{71,4} = 2,1 \cdot 10^{-5}$

El número de Reynolds se calcula con la Ecuación 4.4.

$$Re = \frac{1000 \cdot 1,73 \cdot 0,0714}{1 \cdot 10^{-3}} = 1,24 \cdot 10^5 \text{ (R. turb.)}$$

A partir del número de Reynolds y la rugosidad relativa, mediante el gráfico de Moody se obtiene el factor de Fanning $f = 4,375 \cdot 10^{-3}$.

Sustituyendo estos valores en la Ecuación 4.3 se calcula la pérdida de carga en el tramo recto.

$$\Delta F_r = 2 \cdot 4,375 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73^2 \frac{49}{0,0714} = 17,97 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Para el cálculo de la pérdida de carga en los accidentes se tiene en cuenta la Tabla A.18.

Tabla A.18. Accidentes en el Tramo P-DEC

Accidente	Unidades	K
Codo de 90° STD.	1	0,75
Válvula de retención	1	2
Válvula de diafragma	1	2,3
		$\sum K = 5,05$

Con estos datos, a partir de la Ecuación 4.5 se obtiene la pérdida de carga de los accidentes.

$$\Delta F_a = 5,05 \cdot \frac{1,73^2}{2} = 7,56 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

A continuación, la pérdida de carga total se calcula con la Ecuación 4.2.

$$\Delta F = 17,97 + 7,56 = 25,53 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

El cálculo de la carga de la bomba se realiza con la Ecuación 4.1.

$$h = (9 - -10) + \frac{1}{9,81} \left(\frac{1,73^2}{2} + \frac{1,013 \cdot 10^5 - 1,994 \cdot 10^5}{1000} + 25,53 \right) = 11,75\text{m}$$

Con la Ecuación 4.6 se obtiene la potencia de la bomba.

$$25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \cdot \frac{1000\text{kg}}{\text{m}^3} = 6,94 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$P = \frac{11,75 \cdot 9,81 \cdot 6,94}{0,7} = 1142,79\text{W} \approx 1,14\text{kW}$$

En este caso, al tener una altura negativa de 10m, los fabricantes recomiendan el uso de bombas sumergibles. Además, también se recomienda, ya que al tratarse de un pantano el nivel del agua varía. Por lo tanto, se utilizará una bomba sumergible de 3,73kW (5C.V.), y debe tenerse en cuenta que en este caso no hay tramo de aspiración, por lo tanto no se calcula el NPSH_{disp}. Las características principales de la bomba elegida se encuentran en la Tabla A.19.

Tabla A.19. Bomba sumergible Tramo P-DEC

Marca	BLOCH
Serie	VORTEX
Modelo	500 AISI 316
Potencia (kW)	3,73

4.2. Bombeo de agua desde la salida del depósito hasta el filtro de cartucho (Tramo DEP-FC)

En este apartado se detallan los cálculos necesarios para el bombeo desde la salida del depósito de agua clarificada hasta el filtro de cartucho. Las alturas son las siguientes:

- $z_2 = 4\text{m}$
- $z_1 = 6,4\text{m}$

La velocidad v_2 se considera la misma que en la tubería (1,73m/s) y la velocidad v_1 se aproxima a 0 porque la superficie del agua en el depósito es mucho mayor que en la conducción (el caudal es constante).

En este tramo las presiones se calculan:

- $P_2 = P_{fc} = 3 \cdot 10^5\text{Pa}$ se considera como presión de entrada al microfiltro
- $P_1 = P_{atm} + \rho g h_{H_2O} = 1,013 \cdot 10^5 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,5 = 1,26 \cdot 10^5\text{Pa}$ (se encuentra por debajo del nivel del agua)

Los datos a tener en cuenta para la realización del cálculo de la pérdida de carga en el tramo recto son los siguientes:

- $L = 22,65\text{m}$
- $v = 1,73\text{m/s}$
- $D = 0,0714\text{m}$
- $\mu = 1 \cdot 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$
- ε absoluta (PVC) = 0,0015mm
- $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015}{71,4} = 2,1 \cdot 10^{-5}$

El número de Reynolds es el mismo que en el Tramo P-DEC ($1,24 \cdot 10^5$). Con este valor y la rugosidad relativa se obtiene el factor de Fanning $f = 4,375 \cdot 10^{-3}$ (es el mismo que en el Tramo P-DEC).

Con la Ecuación 4.3 se calcula la pérdida de carga en el tramo recto.

$$\Delta F_r = 2 \cdot 4,375 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73^2 \cdot \frac{22,65}{0,0714} = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Los accidentes presentes en este tramo pueden observarse en la Tabla A.20.

Tabla A.20. Accidentes en el Tramo DEP-FC

Accidente	Unidades	K
Codo de 90° STD.	6	0,75·6
Válvula de retención	1	2
Válvula de mariposa	1	0,52
Salida	1	1
		$\sum K = 8,02$

A continuación, con la Ecuación 4.5 se obtiene la pérdida de carga de los accidentes.

$$\Delta F_a = 8,02 \cdot \frac{1,73^2}{2} = 12 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

En este caso también debe tenerse en cuenta la pérdida de carga que se produce en el filtro de arena y grava y en el filtro de carbón activo. Según el fabricante, la pérdida de carga en estos filtros puede considerarse de 0,5 bar.

Para obtener la carga ΔF_f se utiliza la Ecuación 4.8.

$$\Delta F_f = \frac{\Delta P_f}{\rho} \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

Donde:

- ΔF_f es la pérdida de carga en el filtro (J/kg)
- ΔP_f es la pérdida de carga en el filtro (Pa)
- ρ es la densidad del agua (kg/m³)

$$\Delta F_f = \frac{5 \cdot 10^4}{1000} = 50 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Como la pérdida de carga es la misma en los dos filtros, en este caso la pérdida de carga total se calcula con la Ecuación 4.9.

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_a + 2\Delta F_f \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

$$\Delta F = 8,31 + 12 + 2 \cdot 50 = 120,31 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Con la Ecuación 4.1 se calcula la carga de la bomba.

$$h = (4 - 6,4) + \frac{1}{9,81} \left(\frac{1,73^2}{2} + \frac{3 \cdot 10^5 - 1,26 \cdot 10^5}{1000} + 120,31 \right) = 27,75\text{m}$$

La potencia de la bomba se obtiene mediante la Ecuación 4.6, considerando un caudal másico de 6,94 kg/s (al igual que en el Tramo P-DEC).

$$P = \frac{27,75 \cdot 9,81 \cdot 6,94}{0,7} = 2698,94\text{W} \approx 2,7\text{kW}$$

Por último, se calcula el $NPSH_{\text{disp}}$ de la bomba con la Ecuación 4.7. Para este cálculo debe tenerse en cuenta que la longitud del tramo recto de aspiración es de 8,4m y que los accidentes presentes en este tramo son los que se observan en la Tabla A.21.

Tabla A.21. Accidentes en el tramo de aspiración (DEP-FC)

Accidente	Unidades	K
Codo de 90° STD.	2	0,75·2
Válvula de mariposa	1	0,52
Salida	1	1
		$\sum K = 3,02$

Por lo tanto, para el cálculo de la pérdida de carga se utilizan las ecuaciones 4.3, 4.5 y 4.2, respectivamente, considerando únicamente el tramo de aspiración.

$$\Delta F_{\text{rasp}} = 2 \cdot 4,375 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73^2 \cdot \frac{8,4}{0,0714} = 3,08 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\Delta F_{\text{acasp}} = 3,02 \cdot \frac{1,73^2}{2} = 4,52 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\Delta F_{\text{asp}} = 3,08 + 4,52 = 7,6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} = (6,4 - 1,5) + \frac{1}{9,81} \left(\frac{1,26 \cdot 10^5 - 2339,26}{1000} - 7,6 \right) = 16,73\text{m}$$

Se ha elegido una bomba de la marca Ideal de 4kW, cuyas características se encuentran en la Tabla A.22.

Tabla A.22. Bomba del Tramo DEP-FC

Marca	Ideal
Serie	CPR
Modelo	50-200/2M
Potencia (kW)	4

El NPSH requerido de esta bomba es de 2m, por lo tanto, es menor que el NPSH disponible calculado anteriormente. Dicho esto, no habrá cavitación y el funcionamiento de la bomba será correcto.

4.3. Bomba de alta (Tramo FC-OI)

En este apartado se realiza el dimensionamiento del bombeo de alta presión, para impulsar el agua desde el filtro de cartuchos hasta el sistema de ósmosis inversa.

Las alturas en el punto final de la impulsión y en el punto inicial de aspiración son las siguientes:

- $z_2 = 1,4\text{m}$
- $z_1 = 3,4\text{m}$

La velocidad v_2 se considera la misma que en la tubería en el tramo de impulsión (1,65 m/s) y la velocidad v_1 se considera la misma que en la tubería en el tramo de aspiración (1,73 m/s).

Las presiones son las siguientes:

- $P_2 = P_{OI} = 8,8 \cdot 10^5 \text{Pa}$, se considera la presión obtenida en la simulación
- $P_1 = P_{FC} - \Delta P_{FC} = 3 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^4 = 2,5 \cdot 10^5 \text{Pa}$

En este caso el cálculo de la pérdida de carga debe realizarse por tramos (aspiración e impulsión) ya que varía el material, la velocidad y el diámetro de tubería. Se aplicarán las Ecuaciones 4.5, 4.3 y 4.2 adaptadas a cada tramo para la realización de los cálculos. Los datos a tener en cuenta se exponen a continuación:

- $L_{asp} = 2,5\text{m}$
- $L_{imp} = 1\text{m}$
- $v_{asp} = 1,73\text{m/s}$
- $v_{imp} = 1,65\text{m/s}$
- $D_{asp} = 0,0714\text{m}$
- $D_{imp} = 0,0732\text{m}$
- $\mu = 1 \cdot 10^{-3} \text{Pa}\cdot\text{s}$
- ε absoluta (PVC) = 0,0015mm
- $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015}{71,4} = 2,1 \cdot 10^{-5}$ (aspiración)
- ε absoluta (acero inoxidable) = 0,03mm

- $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,03}{73,2} = 4,1 \cdot 10^{-4}$ (impulsión)

Tramo de aspiración

En el presente tramo el diámetro, la velocidad, el material de la tubería y el número de Reynolds son los mismos que en el Tramo P-DEC y en el Tramo DEP-FC ($1,24 \cdot 10^5$), por lo tanto, el factor de Fanning también lo es ($f = 4,375 \cdot 10^{-3}$).

Con la Ecuación 4.3 se calcula la pérdida de carga en el tramo recto de aspiración.

$$\Delta F_{\text{rasp}} = 2 \cdot 4,375 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73^2 \cdot \frac{2,5}{0,0714} = 0,92 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Los accidentes presentes en este tramo de aspiración se observan en la Tabla A.23.

Tabla A.23. Accidentes en el tramo de aspiración (FC-OI)

Accidente	Unidades	K
Codo de 90° STD.	1	0,75
Válvula de mariposa	1	0,52
		$\sum K = 1,27$

Mediante la Ecuación 4.5 se obtiene la pérdida de carga de los accidentes en el tramo de aspiración.

$$\Delta F_{\text{acasp}} = 1,27 \cdot \frac{1,73^2}{2} = 1,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Con la Ecuación 4.2 se calcula la pérdida de carga total en el tramo de aspiración.

$$\Delta F_{\text{asp}} = 0,92 + 1,9 = 2,82 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Tramo de impulsión

En el presente tramo, el diámetro, la velocidad y el material de la tubería cambian. Por lo tanto, el número de Reynolds se calcula con la Ecuación 4.4.

$$Re = \frac{1000 \cdot 1,65 \cdot 0,0732}{1 \cdot 10^{-3}} = 1,21 \cdot 10^5 \text{ (R. turb.)}$$

Con este valor, con la rugosidad relativa ($4,1 \cdot 10^{-4}$) y el gráfico de Moody se obtiene un factor de Fanning $f = 5 \cdot 10^{-3}$.

A continuación, se calcula la pérdida de carga en el tramo recto de impulsión con la Ecuación 4.3.

$$\Delta F_{r_{imp}} = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,65^2 \cdot \frac{1}{0,0732} = 0,37 \frac{J}{kg}$$

En la Tabla A.24 aparecen los accidentes de este tramo.

Tabla A.24. Accidentes en el tramo de impulsión (FC-OI)

Accidente	Unidades	K
Codo de 90° STD.	1	0,75
Válvula de retención	1	2
		$\sum K = 2,75$

Mediante la Ecuación 4.5 se obtiene la pérdida de carga de los accidentes en el tramo de impulsión.

$$\Delta F_{ac_{imp}} = 2,75 \cdot \frac{1,65^2}{2} = 3,74 \frac{J}{kg}$$

La pérdida de carga total en el tramo de impulsión se obtiene a partir de la Ecuación 4.2.

$$\Delta F_{imp} = 0,37 + 3,74 = 4,11 \frac{J}{kg}$$

La pérdida de carga total en el Tramo FC-OI se obtiene como la suma de la pérdida de carga en el tramo de aspiración y el tramo de impulsión.

$$\Delta F = 2,82 + 4,11 = 9,93 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

A continuación, se calcula la carga de la bomba con la Ecuación 4.1.

$$h = (1,4 - 3,4) + \frac{1}{9,81} \left(\left(\frac{1,65^2}{2} - \frac{1,73^2}{2} \right) + \frac{8,8 \cdot 10^5 - 2,5 \cdot 10^5}{1000} + 6,93 \right) = 62,91\text{m}$$

La potencia de la bomba se obtiene mediante la Ecuación 4.6, considerando un caudal másico de 6,94 kg/.

$$P = \frac{62,91 \cdot 9,81 \cdot 6,94}{0,7} = 6118,75\text{W} \approx 6,12\text{kW}$$

Por último, se calcula el $\text{NPSH}_{\text{disp}}$ de la bomba con la Ecuación 4.7, teniendo en cuenta los datos obtenidos anteriormente en el tramo de aspiración.

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} = (3,4 - 1,9) + \frac{1}{9,81} \left(\frac{2,5 \cdot 10^5 - 2339,26}{1000} + \frac{1,73^2}{2} - 2,82 \right) = 26,61\text{m}$$

La bomba elegida es de la marca Ideal de 12kW. Sus características se encuentran en la Tabla A.25.

Tabla A.25. Bomba de alta presión

Marca	Ideal
Serie	CPS
Modelo	65-240
Potencia (kW)	12

El NPSH requerido es de 1m para el caudal a tratar, por lo tanto, el NPSH disponible es mucho más alto y no tendrá lugar la cavitación.

4.4. Bombeo de permeado (Tramo OI-C)

A continuación, se realizan los cálculos correspondientes al dimensionamiento del bombeo de permeado a caldera.

Las alturas son las siguientes:

- $z_2 = 0,5\text{m}$
- $z_1 = 1\text{m}$

La velocidad $v_2 = v_1 = v_{\text{conducción}} = 1,3\text{m/s}$.

Las presiones son las siguientes:

- $P_2 = 3 \cdot 10^5\text{Pa}$ se considera la presión del agua de entrada a la caldera
- $P_1 = P_{\text{atm}} = 1,013 \cdot 10^5\text{Pa}$

Para el cálculo de la pérdida de carga en el tramo recto se tiene en cuenta:

- $L = 3\text{m}$
- $v = 1,3\text{m/s}$
- $D = 0,0714\text{m}$
- $\mu = 1 \cdot 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$
- ε absoluta (PVC) = $0,0015\text{mm}$
- $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015}{71,4} = 2,1 \cdot 10^{-5}$

En este tramo varía el caudal y la velocidad respecto a tramos anteriores, por lo tanto, se calcula el número de Reynolds con la Ecuación 4.4.

$$\text{Re} = \frac{1000 \cdot 1,3 \cdot 0,0714}{1 \cdot 10^{-3}} = 9,28 \cdot 10^4 \text{ (R. turb.)}$$

Seguidamente, con el número de Reynolds obtenido y la rugosidad relativa, se obtiene el factor de Fanning $f = 4,875 \cdot 10^{-3}$.

Mediante la Ecuación 4.3 se calcula la pérdida de carga en el tramo recto.

$$\Delta F_r = 2 \cdot 4,875 \cdot 10^{-3} \cdot 1,3^2 \cdot \frac{3}{0,0714} = 0,69 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

En la Tabla A.26 aparecen los accidentes de este tramo.

Tabla A.26. Accidentes en el Tramo OI-C

Accidente	Unidades	K
Codo de 90° STD.	2	0,75·2
Válvula de retención	1	2
Válvula de mariposa	1	0,52
		$\sum K = 4,02$

De esta manera, con la Ecuación 4.5 se obtiene la pérdida de carga de los accidentes.

$$\Delta F_a = 4,02 \cdot \frac{1,3^2}{2} = 3,4 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Con estos resultados, mediante la Ecuación 4.2 se realiza el cálculo de la pérdida de carga total en el Tramo OI-C.

$$\Delta F = 0,69 + 3,4 = 4,09 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Con la Ecuación 4.1 se calcula la carga de la bomba.

$$h = (0,5 - 1) + \frac{1}{9,81} \left(\left(\frac{1,3^2}{2} - \frac{1,3^2}{2} \right) + \frac{3 \cdot 10^5 - 1,013 \cdot 10^5}{1000} + 4,09 \right) = 20,17\text{m}$$

La potencia de la bomba se obtiene mediante la Ecuación 4.6.

$$18,75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \cdot \frac{1000\text{kg}}{\text{m}^3} = 5,2 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$P = \frac{20,17 \cdot 9,81 \cdot 5,2}{0,7} = 1469,87\text{W} \approx 1,47\text{kW}$$

Finalmente se calcula el $\text{NPSH}_{\text{disp}}$ de la bomba con la Ecuación 4.7. Para ello, debe tenerse en cuenta que la longitud del tramo recto de aspiración es de 1m, y los accidentes pueden observarse en la Tabla A.27.

Tabla A.27. Accidentes en el tramo de aspiración (OI-C)

Accidente	Unidades	K
Válvula de mariposa	1	0,52
		$\sum K = 0,52$

Para el cálculo de la pérdida de carga se utilizan las Ecuaciones 4.3, 4.5 y 4.2, respectivamente, considerando únicamente el tramo de aspiración.

$$\Delta F_{\text{rasp}} = 2 \cdot 4,875 \cdot 10^{-3} \cdot 1,3^2 \cdot \frac{1}{0,0714} = 0,23 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\Delta F_{\text{acasp}} = 0,52 \cdot \frac{1,3^2}{2} = 0,44 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\Delta F_{\text{asp}} = 0,23 + 0,44 = 0,67 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} = (1 - 1) + \frac{1}{9,81} \left(\frac{1,013 \cdot 10^5 - 2339,26}{1000} - 0,67 \right) = 10,02\text{m}$$

La bomba elegida es de la marca Ideal con una potencia de 4kW, cuyas características se encuentran en la Tabla A.28.

Tabla A.28. Bomba del Tramo OI-C

Marca	Ideal
Serie	CPR
Modelo	50-250/2M
Potencia (kW)	4

El NPSH requerido de esta bomba es de 2,5m, es inferior al disponible calculado anteriormente, por lo que no se dará el fenómeno de cavitación, y el funcionamiento de la bomba será el correcto.

4.5. Bombeo del agua de limpieza de los filtros (Tramo DEP-F)

En este apartado se dimensiona el sistema de bombeo del agua desde el depósito de agua clarificada hasta los filtros (filtro de arena y grava y filtro de carbón activo) para el lavado de éstos. El lavado se realizará en contracorriente y el caudal de lavado necesario es de $35\text{m}^3/\text{h}$.

El lavado automático se activará en dos casos: cuando el tiempo de funcionamiento del filtro supere las 20 horas, y cuando el diferencial de presión detecte que la presión a la entrada del filtro supera la presión de salida en $0,5\text{bar}$ ($5 \cdot 10^4\text{Pa}$). Ambos filtros incluyen válvulas que se abrirán y cerrarán de manera que la limpieza se realice correctamente. El tiempo de limpieza suele estar entre 20 y 30 minutos.

La salida del agua de lavado de los filtros irá a tuberías de desagüe.

Para el dimensionamiento de la bomba se tienen en cuenta las siguientes alturas:

- $z_2 = 4,3\text{m}$
- $z_1 = 4,9\text{m}$

La velocidad $v_2 = 1,66\text{m/s}$ (se considera la velocidad de la conducción) y la velocidad v_1 se considera nula, ya que el punto se encuentra en el depósito y la superficie de éste es mucho mayor que la de la conducción (se considera el caudal de agua constante).

Las presiones son las siguientes:

- $P_2 = 3,5 \cdot 10^5\text{Pa}$
- $P_1 = P_{\text{atm}} + \rho g h_{\text{H}_2\text{O}} = 1,013 \cdot 10^5 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,5 = 1,26 \cdot 10^5\text{Pa}$ (se encuentra por debajo del nivel del agua)

Para el cálculo de la pérdida de carga se dispone de los siguientes datos:

- $L = 9,7\text{m}$
- $v = 1,66\text{m/s}$
- $D = 0,0864\text{m}$
- $\mu = 1 \cdot 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$
- ε absoluta (PVC) = $0,0015\text{mm}$

- $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015}{86,4} = 1,74 \cdot 10^{-5}$

Ya que el caudal, el diámetro y la velocidad varían en este tramo, se calcula el número de Reynolds con la Ecuación 4.4.

$$Re = \frac{1000 \cdot 1,66 \cdot 0,0864}{1 \cdot 10^{-3}} = 1,43 \cdot 10^5 \text{ (R. turb.)}$$

Con el número de Reynolds obtenido y la rugosidad relativa, mediante el gráfico de Moody se obtiene el factor de Fanning $f = 4,1875 \cdot 10^{-3}$.

Con la Ecuación 4.3 se calcula la pérdida de carga en el tramo recto.

$$\Delta F_r = 2 \cdot 4,1875 \cdot 10^{-3} \cdot 1,66^2 \cdot \frac{9,7}{0,0864} = 2,59 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

En la Tabla A.29 pueden observarse los accidentes del tramo DEP-F

Tabla A.29. Accidentes en el Tramo DEP-F

Accidente	Unidades	K
Codo de 90° STD.	2	0,75·2
Válvula de retención	1	2
Válvula de mariposa	1	0,52
Salida	1	1
		$\sum K = 5,02$

Mediante la Ecuación 4.5 se obtiene la pérdida de carga de los accidentes.

$$\Delta F_a = 5,02 \cdot \frac{1,66^2}{2} = 6,92 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Con estos resultados y con la Ecuación 4.2 se calcula la pérdida de carga total.

$$\Delta F = 2,59 + 6,92 = 9,51 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Con la Ecuación 4.1 se calcula la carga de la bomba.

$$h = (4,3 - 4,9) + \frac{1}{9,81} \left(\frac{1,66^2}{2} + \frac{3,5 \cdot 10^5 - 1,26 \cdot 10^5}{1000} + 9,51 \right) = 23,34\text{m}$$

Mediante la Ecuación 4.6 se obtiene la potencia de la bomba.

$$35 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \cdot \frac{1000\text{kg}}{\text{m}^3} = 9,72 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$P = \frac{23,34 \cdot 9,81 \cdot 9,72}{0,7} = 3179,35\text{W} \approx 3,18\text{kW}$$

Por último, el $\text{NPSH}_{\text{disp}}$ de la bomba se calcula con la Ecuación 4.7. Por lo tanto, para este cálculo se tiene en cuenta la longitud del tramo de aspiración, que en este caso es de 0,6m y los accidentes que se observan en la Tabla A.30.

Tabla A.30. Accidentes en el tramo de aspiración (DEP-F)

Accidente	Unidades	K
Válvula de mariposa	1	0,52
		$\sum K = 0,52$

Las Ecuaciones 4.3, 4.5 y 4.2 se utilizan para el cálculo de las pérdidas de carga, considerando únicamente el tramo de aspiración.

$$\Delta F_{\text{rasp}} = 2 \cdot 4,1875 \cdot 10^{-3} \cdot 1,66^2 \cdot \frac{0,7}{0,0864} = 0,19 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\Delta F_{\text{acasp}} = 0,52 \cdot \frac{1,66^2}{2} = 0,72 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\Delta F_{\text{asp}} = 0,19 + 0,72 = 0,91 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$NPSH_{disp} = (4,9 - 4,2) + \frac{1}{9,81} \left(\frac{1,26 \cdot 10^5 - 2339,26}{1000} - 0,91 \right) = 13,21\text{m}$$

La bomba elegida es de la marca Ideal con una potencia de 7kW, cuyas características se encuentran en la Tabla A.31.

Tabla A.31. Bomba de limpieza de filtros (Tramo DEP-F)

Marca	Ideal
Serie	CPR
Modelo	80-380T
Potencia (kW)	7

El NPSH requerido de esta bomba es de 3m. No tendrá lugar la cavitación, ya que es inferior al NPSH disponible calculado.

4.6. Resumen de resultados obtenidos

A continuación, en la Tabla A.32 se muestra un resumen de los resultados más relevantes obtenidos en los anteriores apartados, relacionados con el dimensionamiento de los diferentes sistemas de bombeo necesarios en la instalación.

Tabla A.32. Resumen de los resultados obtenidos para el dimensionamiento de bombas

Tramo	ΔF (J/kg)	h (m)	P_{necesaria} (kW)	NPSH_{disp} (m)
P-DEC	25,53	11,75	1,14	-
DEP-FC	120,31	27,75	2,7	16,76
FC-OI	9,93	62,91	6,12	26,61
OI-C	4,09	20,17	1,47	10,02
DEP-F	9,51	23,34	3,18	13,21

5. Instrumentación

La planta de tratamiento contará con diferentes instrumentos de medida, que se detallan a continuación:

Conductivímetro

Se instalarán tres instrumentos para medir la conductividad en los puntos de la instalación que aparecen a continuación:

- Entrada del decantador
- Salida del permeado de la segunda etapa de ósmosis inversa
- Salida del concentrado de la segunda etapa de ósmosis inversa

Caudalímetro

Los caudalímetros se instalarán en los siguientes puntos:

- Entrada del decantador
- Salida del depósito de agua clarificada
- Entrada de los módulos de ósmosis inversa
- Salida del permeado del tratamiento de ósmosis inversa
- Salida del concentrado del tratamiento de ósmosis inversa

Turbidímetro

A lo largo de la instalación se pondrán tres turbidímetros:

- Entrada del decantador
- Entrada de los módulos de ósmosis inversa
- Salida de los módulos de ósmosis inversa

Manómetro

Los manómetros se instalarán en los siguientes puntos:

- Entrada del filtro de arena y grava
- Salida del filtro de arena y grava
- Salida del filtro de carbón activo

- Salida del filtro de cartuchos de 5 μ m
- Entrada a los módulos de ósmosis inversa
- Salida de los módulos de ósmosis inversa

Medidor de presión diferencial

Se dispondrá de tres medidores de presión diferencial en los siguientes equipos:

- Filtro de arena y grava
- Filtro de carbón activo
- Filtro de cartuchos de 5 μ m

Sonda de Redox

Se colocará una sonda de Redox para medir la capacidad de desinfección del agua:

- Entrada del filtro de cartuchos de 5 μ m, antes de la dosificación de antiincrustante

Sonda de pH

Las sondas para la medición de pH se instalarán en los siguientes puntos:

- Entrada del decantador
- Entrada de los módulos de ósmosis inversa
- Salida del permeado de la segunda etapa de ósmosis inversa
- Salida del concentrado de la segunda etapa de ósmosis inversa

6. Estudio económico

6.1. Instalación

6.1.1. Equipos principales

A continuación, en la Tabla A.33, aparecen los equipos principales que forman la instalación y los precios de éstos. Los precios que aparecen en los catálogos no incluyen los impuestos, por lo tanto, debe tenerse en cuenta un 21% correspondiente al IVA. Para el cálculo del precio total se utiliza la Ecuación 6.1.

$$P_T = P + 0,21 \cdot P \quad (\text{Ecuación 6.1})$$

Donde:

- P_T es el precio total incluyendo el 21% de IVA (€)
- P es el precio sin IVA (€)

Tabla A.33. Equipos principales y precios

Equipo	Precio sin IVA (€)	Precio con IVA (€)
Decantador TREPOVI con escalera de acceso y plataforma	25.000,00	30.250,00
Filtro de arena y grava	9.554,00	11.560,34
Filtro de carbón activo	7.020,00	8.494,20
Cartuchos filtrantes y porta cartuchos	2.254,00	2.727,34
Sistema de ósmosis inversa	40.000,00	48.400,00
	TOTAL= 83.828,00	TOTAL = 101.431,88

6.1.2. Bombas

En el presente apartado se detallan los precios de las bombas de impulsión de agua y las bombas dosificadoras de reactivos. A los precios obtenidos de catálogos debe sumarse el 21% de IVA, utilizando la Ecuación 6.1. Esto se refleja en la Tabla A.34.

Tabla A.34. Precios de bombas de impulsión de agua y bombas dosificadoras

Bomba	Precio sin IVA (€)	Precio con IVA (€)
Bomba sumergible BLOCH VORTEX 500 AISI 316	4.363,00	5.279,23
Bomba IDEAL CPR 50-200/2M (salida depósito de agua clarificada)	2.102,00	2.543,42
Bomba CPS 65-240 (alta presión)	2.462,00	2.979,02
Bomba CPR 50-250/2M (impulsión de permeado)	2.078,00	2.514,38
Bomba CPR 80-380T (impulsión del agua para el lavado de los filtros)	2.628,00	3.179,88
Bomba HPVM 10 04 dosificadora de coagulante	536,00	648,56
Bomba HPVM 18 02 dosificadora de floculante	502,00	607,42
Bomba HPVM 18 02 dosificadora de hipoclorito sódico	502,00	607,42
Bomba HPVM 20 01 dosificadora de antiincrustante	478,00	578,38
Bomba HPVM 20 01 dosificadora de hidróxido sódico	478,00	578,38
	TOTAL =16.129,00	TOTAL= 19.516,09

6.1.3. Depósitos y agitadores

Seguidamente, en la Tabla A.35 se muestran los precios de los depósitos grandes y los depósitos que se utilizarán para los reactivos. Además, debe sumarse el 21% del IVA a los precios proporcionados por el proveedor. Para ellos se utiliza la Ecuación 6.1.

Tabla A. 35. Depósitos y precios

Depósito	Precio sin IVA (€)	Precio con IVA (€)
Depósito de agua clarificada de 50m³ de capacidad (TREPOVI)	4.018,00	4.861,78
Depósito fangos de 10m³ de capacidad (TREPOVI)	1.526,00	1.846,46
Depósito para el coagulante de 300l de capacidad (DOSIM)	154,00	186,34
Depósito para el floculante de 120l de capacidad (DOSIM)	125,00	151,25
Depósito para el hipoclorito sódico de 50l de capacidad (DOSIM)	78,00	94,38
Depósito para el antiincrustante de 50l de capacidad (DOSIM)	78,00	94,38
Depósito para el hidróxido sódico de 50l de capacidad (DOSIM)	78,00	94,38
TOTAL=	6.057,00	7.328,97

Además, en la instalación serán necesarios 5 agitadores para los depósitos de reactivos. Se utilizarán agitadores con una potencia de 75W de la marca DOSIM. El precio por agitador es de 495,00€ sin IVA. Aplicando el 21% de IVA mediante la Ecuación 6.1 el precio por agitador es de 598,95. Por lo tanto, el coste total de los 5 agitadores sin IVA es de 2.475,00€ y con IVA incluido es de 2.994,75€.

Por lo tanto, el precio total de los depósitos y agitadores es de 8.529,00€ sin IVA, y de 10.323,72€ con IVA.

6.1.4. Instrumentación

A continuación, en la Tabla A.36, se detalla la instrumentación necesaria en la instalación, las unidades, el precio por unidad y total sin IVA, y el precio con IVA (aplicando la Ecuación 6.1).

Tabla A.36. Instrumentos de medida y precios

Instrumento	Uds.	Precio por Ud. sin IVA (€)	Precio por Ud. con IVA (€)	Precio total sin IVA (€)	Precio total con IVA (€)
Conductivímetro ENDRESS	3	2.345,00	2.837,45	7.035,00	8.512,35
Caudalímetro SIEMENS	5	1.201,2	1.453,45	6.006,00	7.267,26
Turbidímetro HANNA instruments	3	789,00	954,69	2.367,00	2.864,07
Manómetro	6	140,00	169,40	840,00	1.016,40
Sonda de Redox Dosim	1	165,00	199,65	165,00	199,65
Sonda de pH Dosim	4	157,00	189,97	628,00	759,88
Instalación eléctrica y programación PLC	1	20.000,00	24.200,00	20.000,00	24.200,00
				TOTAL= 37.041,00	TOTAL= 44.819,61

6.1.5. Conducciones y accesorios

Las conducciones a instalar son de PVC PN 16atm y acero inoxidable AISI316 con soldadura. En la Tabla A.37 puede observarse la longitud necesaria y los precios por metro de conducción. Debido a que el precio proporcionado es sin IVA, se debe sumar el 21% correspondiente a éste.

Tabla A.37. Conducciones y precios

Conducción	m	Precio sin IVA (€/m)	Precio con IVA (€/m)	Precio total sin IVA (€)	Precio total con IVA (€)
PVC PN 16atm, DN75mm	77,15	15,17	18,36	1.170,37	1.416,15
PVC PN 16atm , DN25mm	5	6,78	8,20	33,90	41,02
PVC PN16 atm, DN90mm	25,7	20,51	24,82	527,11	637,87
Acero Inoxidable AISI316 con soldadura DN76,2mm (3")	1	24,96	30,20	24,96	30,20
Acero Inoxidable AISI316 con soldadura DN38,1mm (1,5")	21	10,32	12,49	216,72	262,23
				TOTAL= 1.973,06	TOTAL= 2.387,47

En la Tabla A.38. se detallan las válvulas y accidentes considerados en los diferentes tramos de la instalación para el cálculo de la pérdida de carga debido a éstos. Al precio unitario proporcionado por el proveedor se suma el 21% de IVA.

Tabla A.38. Elementos de la instalación y precios

Elemento	Uds.	Precio por Ud. sin IVA (€)	Precio por Ud. con IVA (€)	Precio total sin IVA (€)	Precio total con IVA (€)
Codo 90° STD PVC, DN75mm	10	10,42	12,61	104,20	126,10
Codo 90° STD PVC, DN90mm	2	16,90	20,45	33,80	40,90
Codo 90° STD AISI 316, DN76,2 mm (3")	1	85,45	103,39	85,45	103,39
Válvula retención PVC, DN75mm	3	50,25	60,80	150,75	182,40
Válvula retención PVC, DN90mm	1	149,50	180,80	149,5	180,80
Válvula retención, AISI 316, DN76,2 mm (3")	1	167,00	202,07	167,00	202,07
Válvula mariposa PVC, DN75mm	3	60,58	73,30	181,74	219,90
Válvula mariposa PVC, DN90mm	1	75,50	91,36	75,50	91,36
Válvula diafragma DN75mm	1	190,66	230,70	190,66	230,70
Salida encañonada PVC, DN75mm	1	6,70	8,11	6,70	8,11
Salida encañonada PVC, DN90mm	1	8,13	9,83	8,13	9,83
				TOTAL= 1.153,43	TOTAL= 1.395,56

El precio total correspondiente a las conducciones y accesorios de la instalación es de 3.126,49€ sin IVA y 3783,03€ con IVA.

6.1.6. Coste total instalación

El coste total de la instalación es la suma de todos los costes calculados en los anteriores puntos del apartado 6.1.

$$\begin{aligned}\text{Coste total instalación} &= 101.431,88 + 19.516,09 + 10.323,72 \\ &+ 44.819,61 + 3.783,03 = 179.874,33\text{€}\end{aligned}$$

6.1.7. Coste anual instalación

Para el cálculo del coste anual que supone la planta de tratamiento de aguas diseñada en este proyecto, debe tenerse en cuenta la amortización de todos los equipos y elementos. El periodo de amortización que se considera es de 10 años.

A continuación, el coste total de la planta obtenido en el apartado 6.1.6 se divide entre el periodo de amortización para obtener el coste anual de la instalación.

$$\text{Coste anual instalación} = \frac{179.874,33}{10} = 17.987,43 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

El coste anual de la instalación es de 17.987,43€.

6.2. Operación

6.2.1. Reactivos

A lo largo del tratamiento se dosifican varios reactivos. Teniendo en cuenta la cantidad de reactivo que se necesita anualmente (kg/año) incluyendo el suministro, se calcula el coste de cada uno de los reactivos por año.

ECOTAN BIO 90D (coagulante)

Anualmente se necesitan 9150 kg de ECOTAN BIO 90D y el precio de venta de éste es de 0,75€/kg.

$$9150 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \cdot 0,75 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 6.862,5 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

ECOPOL AS 580 (floculante)

Son necesarios 273,75kg/año de ECOPOL AS 580. El precio de este reactivo es de 3,2€/kg.

$$273,75 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \cdot 3,2 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 876 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Hipoclorito sódico

Según cálculos anteriores, se utilizarán anualmente 1423,5kg de hipoclorito sódico para desinfectar el agua, a un precio de 0,8€/kg.

$$1423,5 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \cdot 0,8 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 1.138,8 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

ECOMET OI115 (antiincrustante)

Anualmente se necesitan 91,25kg. El precio del ECOMET OI115 es de 8,65€/kg.

$$91,25 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \cdot 8,65 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 789,31 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Hidróxido sódico

Se ha estimado una cantidad de unos 276kg/año de hidróxido sódico para regular el pH a la salida de los módulos de ósmosis inversa. El precio de éste es de 0,5€/kg.

$$276 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \cdot 0,5 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 138 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Coste total reactivos

Sumando el coste anual de cada uno de los reactivos a utilizar, se obtiene el coste total de los reactivos en un año.

$$6.862,5 + 876 + 1.138,8 + 789,31 + 138 = 9804,61 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

6.2.2. Gestión de fangos

La gestión de los fangos producidos será realizada por una empresa externa, a un precio de 20€/t. A continuación, se estiman los fangos producidos haciendo una media entre la producción obtenida con el valor de SS de la analítica puntual (34mgSS/l) realizada y los valores de SS supuestos, un valor medio (150mgSS/l) y un valor pico (400mgSS/l). Estos cálculos se han realizado en el apartado 2.4 de *Anexos*. Se obtuvieron los siguientes resultados:

- SS=34mg/l → P_F=11,9kgSS/día
- SS=150mg/l → P_F=52,5kgSS/día
- SS=400mg/l → P_F=140kgSS/día

Por lo tanto, realizando la media:

$$\frac{11,9 + 52,5 + 140}{3} = 68,13 \frac{\text{kgSS}}{\text{día}}$$

Anualmente se estiman:

$$68,13 \frac{\text{kgSS}}{\text{día}} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 24.868,67 \frac{\text{kgSS}}{\text{año}}$$

El coste para gestionar los residuos generados en un año es:

$$24.868,67 \frac{\text{kgSS}}{\text{año}} \cdot 20 \frac{\text{€}}{1000\text{kgSS}} = 497,37 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

6.2.3. Coste eléctrico

Para el cálculo del coste eléctrico anual de la instalación deben tenerse en cuenta las diferentes bombas, los agitadores y el sistema de ósmosis inversa. Para ello, se ha considerado el valor de la electricidad en España actualmente, que es de 0,1255€/kWh

A continuación, en la Tabla A.39. se muestran las bombas de impulsión de agua y las bombas dosificadoras de reactivo, la potencia de cada una y el coste eléctrico. Para calcular el coste eléctrico por hora a partir de la potencia se utiliza la Ecuación 6.2. Considerando 20 horas de funcionamiento diarias y 365 días al año, se calcula el coste eléctrico anual.

$$C_h = P \cdot P_{\text{elect}} \quad (\text{Ecuación 6.2})$$

Donde:

- C_h es el coste eléctrico por hora (€/h)
- P es la potencia que tiene la bomba (kW)
- P_{elect} es el precio actual de la electricidad en España (€/kWh)

Tabla A.39. Consumo eléctrico anual de las bombas

Bomba	P (kW)	C_h (€/h)	C_a (€/año)
Bomba sumergible BLOCH VORTEX 500 AISI 316	3,73	0,47	3.431,00
Bomba IDEAL CPR 50-200/2M (salida depósito de agua clarificada)	4	0,50	3.650,00
Bomba CPS 65-240 (alta presión)	12	1,51	11.023,00
Bomba CPR 50-250/2M (impulsión de permeado)	4	0,50	3.650,00
Bomba CPR 80-380T (impulsión del agua para el lavado de los filtros)	7	0,88	6424,00
Bomba HPVM 10 04 dosificadora de coagulante	0,019	0,0023845	17,41
Bomba HPVM 18 02 dosificadora de floculante	0,019	0,0023845	17,41
Bomba HPVM 18 02 dosificadora de hipoclorito sódico	0,019	0,0023845	17,41
Bomba HPVM 20 01 dosificadora de antiincrustante	0,019	0,0023845	17,41
Bomba HPVM 20 01 dosificadora de hidróxido sódico	0,019	0,0023845	17,41
			TOTAL= 28.265,05

También se utilizarán 5 agitadores de 0,075kW de potencia cada uno. Aplicando la Ecuación 6.2 para un agitador, se obtiene un precio de 0,0094125€/h y 68,71€/año. Teniendo en cuenta que hay 5 agitadores el coste eléctrico anual de éstos es de 343,55€/año.

Además, según los resultados obtenidos en la simulación, en la ósmosis inversa hay un consumo de 0,41kWh/m³. Considerando que el caudal a tratar es de 25m³/h, 20 horas de funcionamiento diarias durante 365 días al año y el precio de la electricidad, se calcula el coste eléctrico anual.

$$0,41 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \cdot 0,1255 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 20 \frac{\text{h}}{\text{día}} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 9.390,54 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Por lo tanto, el coste eléctrico total es la suma del coste debido a las bombas, los agitadores, y el sistema de ósmosis inversa.

$$28.265,05 + 343,55 + 9.390,54 = 37.999,14 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

6.2.4. Coste total de operación (anual)

Para el cálculo del coste total de operación durante el periodo de un año, deben sumarse los costes anuales calculados en los puntos anteriores que forman parte del apartado 6.2.

$$\text{Coste total de operación(anual)} = 9.804,61 + 497,33 + 37.999,14 = 48.301,08 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

6.3. Coste total anual

El coste total anual se obtiene como la suma del coste de la instalación y de los costes de operación durante un año.

$$17.987,43 + 48.301,08 = 66.288,51 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

7. Estudio de Seguridad y Salud

La Ley 31/1995 (LRPL) establece como obligación, entre otras, la evaluación de riesgos en el trabajo. Esta evaluación consiste en identificar los posibles riesgos, valorar los daños y las consecuencias que puedan causar, y establecer una serie de medidas correctoras oportunas.

Para la realización del análisis, en este caso se utilizará el método INSHT (Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo), un método general cuantitativo para la valoración de riesgos.

En este método se asignan niveles de riesgo siguiendo el siguiente criterio:

Consecuencias del daño:

- Leve: daños superficiales, molestias...etc.
- Importante: quemaduras, asma...etc.
- Serio: Amputaciones, lesiones graves...etc.

Probabilidad de que ocurra:

- Poco posible: se conoce que ha pasado en alguna parte.
- Posible: es raro que suceda, pero posible.
- Casi seguro: es muy probable que suceda.

Según estos niveles, el método INSHT establece un índice de tolerabilidad, que puede observarse en la Tabla A.40.

Tabla A.40. Índice de tolerabilidad INSHT

		Consecuencias		
		Leve	Importante	Serio
Probabilidad	Poco posible	Trivial (T)	Tolerable (TO)	Moderado (M)
	Posible	Tolerable (TO)	Moderado (M)	Importante (I)
	Casi seguro	Moderado (MO)	Importante (I)	Intolerable (IN)

Estos niveles de riesgo son la base en la toma de decisión respecto a las acciones que deben realizarse y la urgencia de éstas. Los criterios para la decisión de medidas preventivas son los siguientes:

- **Trivial (T):** no se requiere acción específica.
- **Tolerable (TO):** no hay necesidad de mejorar la acción preventiva, aunque deben considerarse soluciones más rentables y mejoras económicas. Además, requiere comprobaciones periódicas.
- **Moderado (M):** se deben implantar medidas en un periodo determinado de tiempo para reducir el riesgo.
- **Importante (I):** No se debe comenzar el trabajo antes de reducir el riesgo.
- **Intolerable (IN):** No se debe empezar ni continuar el trabajo hasta que no se reduzca el riesgo, y si es imposible, debe prohibirse el trabajo.

A continuación, se evalúan los riesgos que se considera que afectan a la instalación:

Ruido (1)

En la presente instalación hay exposición al ruido debido a bombas centrífugas, algún equipo, grupos de presión...etc.

Caídas al mismo nivel (2)

Cuando se acumulan objetos, herramientas y elementos de trabajo en zonas de paso o donde se encuentran las mangueras de dosificación, cables...etc. que puedan causar tropezones y caídas.

Caídas a distinto nivel (3)

Algunos equipos y tuberías que forman la instalación están a cierta altura, por lo tanto, hay escaleras, zonas de paso más estrechas a cierto nivel...etc.

Golpes y cortes (4)

En zonas de paso estrechas, especialmente en zonas de depósitos y equipos de dosificación, que además de tener dimensiones reducidas, hay equipos, válvulas y tuberías por medio, y una caída podría causar cortes y golpes graves.

Caída de objetos (5)

Si se trabaja a cierta altura y no se dispone de un lugar donde dejar las herramientas, éstas podrían caer causando accidentes en otros trabajadores.

Lesiones por manipulación manual y sobreesfuerzos (6)

Se pueden dar a la hora de cargar sacos, bidones, garrafas, bolsas de basura industriales...etc., y en caso de intentar manipular de forma manual motores, bombas y demás equipos de gran peso.

Riesgos por soldadura (7)

En trabajos de reparación y mantenimiento pueden realizarse trabajos de soldadura. Debido a éstos se dan riesgos por humos (que al inhalarse pueden dañar las vías respiratorias, el sistema nervioso e incluso provocar cáncer) y radiaciones (se pueden dar proyecciones de chispas y partículas causando quemaduras, conjuntivitis dolorosas...etc.) de los procesos de soldadura.

Contacto eléctrico (8)

Existe el riesgo por contacto eléctrico ya que hay paneles de control, cuadros, motores, bombas...etc.

Fuga o derrame de productos químicos (9)

En este tipo de instalaciones donde se manejan productos químicos pueden tener lugar fugas o derrames.

Contacto con sustancias (10)

Al trabajar con productos químicos se puede entrar en contacto con ellos, tanto por inhalación, ingestión, contacto con la piel y contacto con los ojos, lo que puede tener diversas consecuencias, dependiendo del producto químico del que se trate.

En la Tabla A.41. se evalúan los riesgos expuestos y la posible necesidad de tomar medidas en la instalación mediante el método INSHT.

Tabla A.41. Evaluación de riesgos según el método INSHT

Riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Tolerancia
1	Posible	Leve	TO
2	Posible	Importante	M
3	Poco posible	Serio	M
4	Posible	Importante	M
5	Poco posible	Importante	TO
6	Casi seguro	Importante	I
7	Posible	Importante	M
8	Poco posible	Importante	TO
9	Poco posible	Serio	M
10	Poco posible	Importante	TO

Según estos resultados, a continuación, se exponen las medidas preventivas:

Ruido (1)

Cuando se realizan tareas de revisión, mantenimiento o reparación en zonas con equipos ruidosos (motores, bombas...etc.), o si se va a permanecer cerca de estos equipos durante un periodo de tiempo, es necesario el uso de protección auditiva para evitar que, con el tiempo, se pierda capacidad auditiva. Así mismo, estas zonas deberán de estar señalizadas con el pictograma de uso obligatorio de protección auditiva.

Caídas al mismo nivel (2)

Se deberá mantener un orden y limpieza, y evitar acumulaciones de objetos, herramientas y demás elementos que puedan provocar tropezones y caídas en las zonas de paso.

Caídas a distinto nivel (3)

Las zonas de la planta en las que haya riesgo de caída desde una altura mayor a 2m deberán contar con barandilla (mínimo de 90 cm de altura), listón intermedio y rodapié (30cm).

Si se realizan trabajos a alturas mayores a 4m, las escalas que permiten acceder a estas alturas poseerán arcos de seguridad, y los operarios deberán tener formación específica en trabajos en altura y utilizar cinturón de seguridad, arnés o un sistema similar.

Además, se utilizarán EPIs para la realización de trabajos a cierta altura.

Golpes y cortes (4)

Las zonas de paso que se consideren estrechas deberán estar señalizadas con la correspondiente barra con franjas amarillas y negras, y un cartel advirtiendo del riesgo de caídas, golpes y posibles cortes.

Caída de objetos (5)

Las zonas altas deberán contar con rodapié, ya que de esta forma se evita la caída de objetos a niveles inferiores. Los trabajadores utilizarán cinturones portaherramientas para poder guardar las herramientas.

Lesiones por manipulación manual y sobreesfuerzos (6)

No se deben manipular manualmente equipos y elementos muy pesados, y se deben cumplir los límites establecidos por el RD 487/97 sobre manipulación de cargas y sus valores máximos. También al cargar sacos, bidones...etc. deberán cumplirse estos límites para evitar sobreesfuerzos, por lo tanto, si no es posible que una persona lo realice, se pedirá ayuda a otro trabajador o se utilizarán elevadores, transportadores...etc.

Riesgos por soldadura (7)

Las zonas de trabajo deberán mantenerse ventiladas para evitar la acumulación de humos. El trabajador utilizará EPIs de protección facial, protección del cuerpo y protecciones de manos, brazos y pies.

Contacto eléctrico (8)

Se colocarán pictogramas de riesgo eléctrico en las zonas donde se encuentren elementos que puedan producir contacto eléctrico.

Fuga o derrame de productos químicos (9)

Colocar cubetos de retención para que en caso de fuga o derrame se reduzca el riesgo de accidentes. Además, los trabajadores deberán disponer y conocer el plan de actuación en caso de fuga o derrame.

Contacto con sustancias (10)

Los trabajadores deberán tener cierta formación en el manejo de productos químicos, además de información sobre los reactivos a manejar y utilizarán EPIs.

Teniendo en cuenta estas medidas, los riesgos serán reducidos y se podrá poner en marcha el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas con más seguridad. Se requiere analizar periódicamente los riesgos para asegurar la eficacia de las medidas tomadas y que no hay aparición de nuevos riesgos.

8. Catálogos de los equipos principales

8.1. Filtro de arena y grava



ALTO RENDIMIENTO HIGH PERFORMANCE
1,2 m. lecho filtrante filtration bed lit filtration



Ø mm	Conexiones Connections Conexions DN mm.	Velocidad filtración Filtration rate Vitesse filtration m ³ /h/m ²	Superficie Surface (m ²)	Caudal Flow Débit (m ³ /h)	Grava Gravel Gravière (Kg.)	Arena Sand Sable (Kg.)
①①①①	50	10	0,79	7,85	150	1300
	65	20		15,71		
	65	30		23,56		
						Total 1 450 Kg.
①②①①	65	10	1,13	11,31	175	1775
	65	20		22,62		
	80	30		33,93		
						Total 1 950 Kg.
①④①①	65	10	1,54	15,39	250	2300
	80	20		30,79		
	100	30		46,18		
						Total 2 550 Kg.
①⑥①①	80	10	2,01	20,11	300	3000
	100	20		40,21		
	100	30		60,32		
						Total 3 300 Kg.

Ht	Hf	Hc
2220	260	1400

Ht	Hf	Hc
2420	325	1400

Ht	Hf	Hc
2560	380	1400

Ht	Hf	Hc
2850	425	1600

■

8.2. Filtro de carbón activo

DECLORADORES DAQ-M

Decloradores de accionamiento manual para la eliminación de cloro libre, contaminantes orgánicos, desodorización y decoloración del agua.



- Cuerpo construido en poliéster reforzado con fibra de vidrio.
- Válvula manual de disco cerámico, con conexión 1", en los modelos DAQ-M.
- Batería de 5 válvulas de esfera en PVC de accionamiento manual, para modelos DAQ-MPA.
- Distribuidores interiores adecuados al caudal de diseño.
- Manómetros en entrada y salida para control de la pérdida de carga del lecho de carbón. Modelos DAQ-MPA.

- Completos con carga de carbón activo de cáscara de coco, de granulometría seleccionada para un óptimo rendimiento.
- Presión máxima de trabajo 8 bar.
- Temperatura de trabajo 0°C a 35°C.

Modelo	Q. Máx. m ³ /h	Carga Kgs	Ø Con.
DAQ-M/020/25	0,4	11	1"
DAQ-M/030/25	0,6	17	1"
DAQ-M/045/25	0,9	25	1"
DAQ-M/070/25	1,4	40	1"
DAQ-M/100/25	2,0	56	1"
DAQ-M/125/25	2,5	70	1"
DAQ-M/165/50	3,3	95	2"
DAQ-M/200/50	4,0	112	2"
DAQ-MPA/285/50	5,7	160	2"
DAQ-MPA/425/50	8,5	235	2"
DAQ-MPA/600/65	12,0	335	2"
DAQ-MPA/850/65	17,0	475	2"
DAQ-MPA/1200/80	25,0	675	2½"

8.3. Cartuchos filtrantes

Cartuchos estándar y especiales / *Standard and special filter*

Polipropileno / *Polypropylene*

Ref.	Descripción / <i>Description</i>	Altura / <i>Height</i>	Micras / <i>Microns</i>	Caudal máx. / <i>Flow max.</i>
FS1001	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	10"	1μ	0,3 m ³ /h
FS1002	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	10"	5μ	0,8 m ³ /h
FS1009	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	10"	20μ	1,7 m ³ /h
FS1007	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	10"	50μ	1,9 m ³ /h
FS1006	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	20"	1μ	0,6 m ³ /h
FS1003	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	20"	5μ	1,6 m ³ /h
FS1010	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	20"	20μ	2,5 m ³ /h
FS1008	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	20"	50μ	2,6 m ³ /h
FS1013	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	30"	1μ	0,9 m ³ /h
FS1014	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	30"	5μ	2,4 m ³ /h
FP2003	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	40"	1μ	1,2 m ³ /h
FP2001	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	40"	5μ	3,2 m ³ /h
FP2004	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	40"	10μ	3,5 m ³ /h
FP2002	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	40"	20μ	4 m ³ /h
FP2005	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	40"	50μ	6 m ³ /h
FP2010	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	50"	1μ	3,5 m ³ /h
FP2011	Cartucho polipropileno <i>Polypropylene filter</i>	50"	5μ	4 m ³ /h



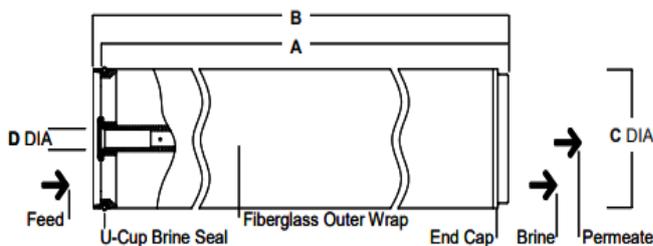
8.4.Membranas

Product Specifications

Product	Part number	Active area ft ² (m ²)	Feed spacer thickness (mil)	Permeate flow rate gpd (m ³ /d)	Stabilized salt rejection (%)	Minimum salt rejection (%)
LE-440i	246670	440 (41)	28	12,650 (48)	99.3%	99.0%

1. Permeate flow and salt rejection based on the following standard conditions: 2,000 ppm NaCl, 150 psi (10.3 bar), 77°F (25°C), pH 8 and 15% recovery.
2. For comparison, the LE-440i will have a permeate flow of 13,400 gpd (51 m³/d) and stabilized salt rejection of 99.3% when normalized to a feed solution of 1,500 ppm NaCl as used by some manufacturers.
3. Flow rates for individual elements may vary but will be no more than 15% below the value shown.
4. Sales specifications may vary as design revisions take place.
5. Active area guaranteed +/-3%. Active area as stated by FilmTec is not comparable to nominal membrane area often stated by some manufacturers. Measurement method described in Form No. 609-00434.

Figure 1



Operating Limits

• Membrane Type	Polyamide Thin-Film Composite
• Maximum Operating Temperature ^a	113°F (45°C)
• Maximum Operating Pressure	600 psig (41 bar)
• Maximum Pressure Drop	15 psig (1.0 bar)
• pH Range, Continuous Operation ^a	2 - 11
• pH Range, Short-Term Cleaning (30 min.) ^b	1 - 13
• Maximum Feed Flow	85 gpm (19 m ³ /hr)
• Maximum Feed Silt Density Index	SDI 5
• Free Chlorine Tolerance ^c	<0.1 ppm

^a Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).

^b Refer to Cleaning Guidelines in specification sheet 609-23010.

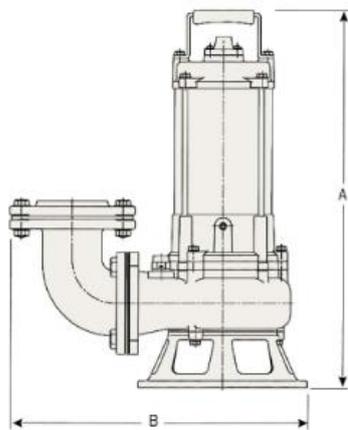
^c Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, FilmTec recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin 609-22010 for more information.

8.5. Bombas de impulsión



SERIE VORTEX AISI 316

Electrobomba sumergible de achique INOX. AISI 316



Aplicaciones

Bombas con una construcción muy robusta. Particularmente indicadas para aguas residuales agresivas, industria química, farmacéutica, alimentaria, aguas ácidas ó particularmente alcalinas, textil, metalúrgicas, aguas salinas, etc.

Construcción

Bomba

Carcasa externa en acero inoxidable AISI 316.
Tapa motor acero inoxidable AISI 316.
Cuerpo de bomba acero inoxidable AISI 316.
Rodete VORTEX de acero inoxidable AISI 316.
Eje de acero inoxidable.
Doble cierre mecánico en carburo de silicio en cámara de aceite.
Juntas en VITON.

Motor

Protección IP 68.
Aislamiento clase F.
Inmersión máx. de la bomba 30 mts.
Temperatura máxima del líquido 50° C.
PH: de 3 a - 14.
Densidad máxima permitida 1100 Kgs/m³.

10 metros de cable alimentación H07RNF

Dimensiones

Tipo	CV	A	B	Peso Kg.
VORTEX 100 AISI 316	1	427	237	16
VORTEX 200 AISI 316	2	521	465	29
VORTEX 300 AISI 316	3	521	465	32
VORTEX 500 AISI 316	5	568	495	43

Datos de servicio

Tipo	CV	VOLT.		l/min m ³ /h	m.c.a.												AMP	IMP DN	Paso Solid.
		I	III		0	100	200	350	400	600	800	1000	1200	1315					
VORTEX 100 AISI 316	1	230	-	12	11,5	6,8	2									5,3	2"	35	
VORTEX 200 AISI 316	2	-	400	16	15	14	12,7	11	8	5						3,6	DN 80	35	
VORTEX 300 AISI 316	3	-	400	20	19	17	16,5	16	13	9	7					5,1	DN 80	35	
VORTEX 500 AISI 316	5	-	400	28	27	26	25	24	21	18	13,7	8	2			8,4	DN 80	35	

● **DISEÑO Y CONSTRUCCION**

Bombas centrífugas de cámara partida de una y dos etapas con las bridas de aspiración e impulsión fundidas en su cuerpo inferior para permitir un fácil acceso y desmontaje de las partes móviles evitando la desconexión de las tuberías.

Los impulsores han sido diseñados con la más alta tecnología para garantizar el mejor rendimiento dentro del campo útil de trabajo de cada bomba. Dependiendo del modelo, pueden incorporar dos impulsores en disposición espalda contra espalda, o un solo rodete de doble aspiración, de modo que el empuje axial quede siempre compensado.

La estanqueidad hidráulica en el eje se consigue mediante empaquetadura con casquillo protector del eje u opcionalmente mediante cierre mecánico normalizado.

APLICACIONES

La amplia gama de bombas presentada, con caudales hasta 400 m³/h y alturas hasta 170 mca permite una gran diversidad de usos, incluyendo riegos, abastecimientos de agua potable, estaciones depuradoras, instalaciones de calefacción y aire acondicionado, equipos contraincendios, trasiego de líquidos en plantas industriales, minas, construcciones, etc.

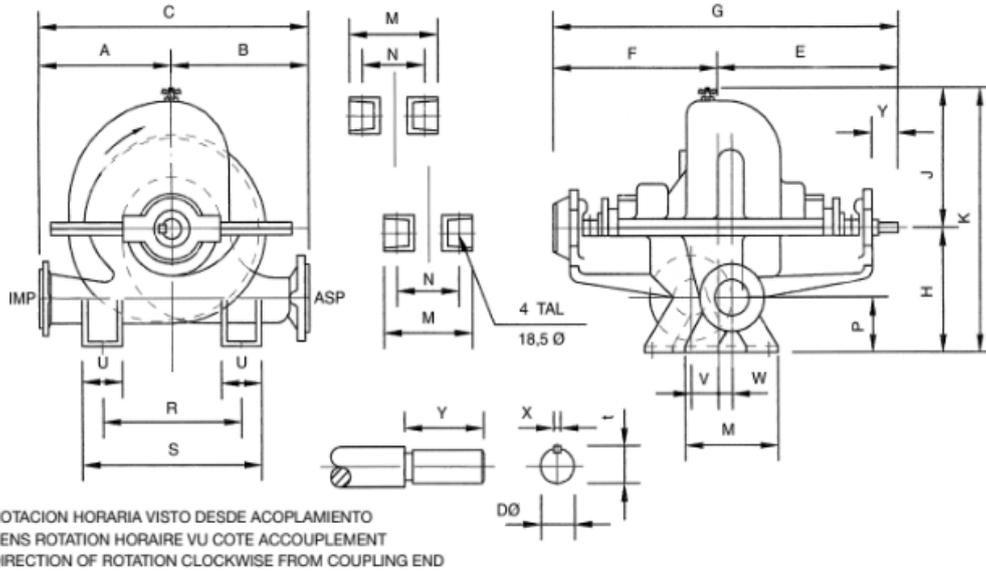
Adecuación para manejar líquidos o ligeramente contaminados y con temperaturas hasta 90° C.



CPR 200-300 T

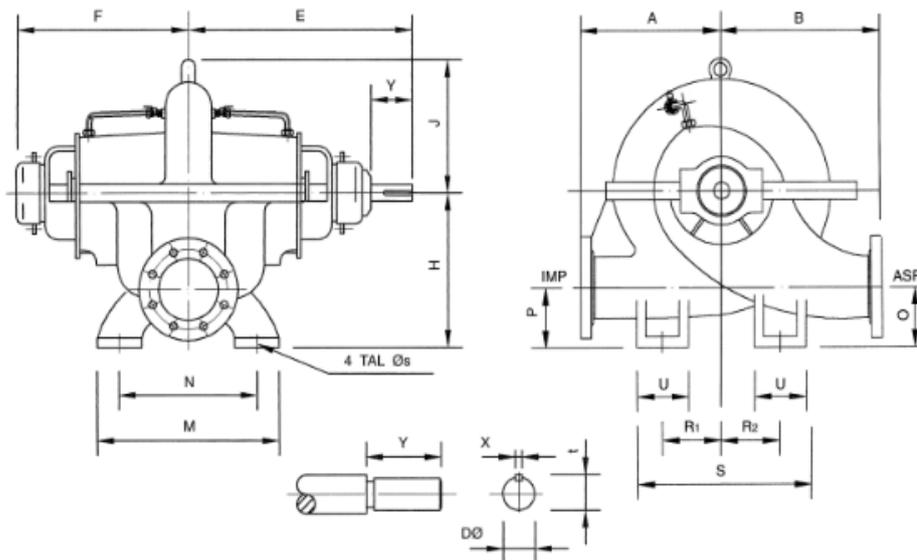


CPS 80-240



TIPO / TYPE	SUC ASP	DEL IMP	A	B	C	E	F	G	H	J	K	M	N
CPR 50-200/2M	80	50	225	225	450	400	232	732	230	217	200	160	120
CPR 50-250/2M	65	50	225	250	475	374	316	690	245	230	475	160	120
CPR 65-250/2M	100	65	250	250	500	435	367	802	260	252	512	200	150
CPR 65-315/2M(A)	80	65	275	275	550	378	349	766	285	265	550	200	150
CPR 65-315/2M(B)	80	65	275	275	550	378	349	766	285	265	550	200	150
CPR 80-315/2M	100	80	265	300	565	431	358	789	290	305	595	200	160
CPR 100-315/2M	125	100	340	350	690	540	441	981	350	352	702	260	210
CPR 125-400/2M	150	125	365	375	740	575	479	1054	400	420	820	360	300
CPR 150-400/2M	200	150	400	425	825	630	623	1129	425	495	920	360	300

TIPO / TYPE	SUC ASP	DEL IMP	P	R	S	U	V	W	X	Y	t	D	KG
CPR 50-200/2M	80	50	105	245	325	80	65	30	8	70	33	30	118
CPR 50-250/2M	65	50	95	245	325	80	65	25	8	60	28	25	120
CPR 65-250/2M	100	65	115	270	350	80	65	33	10	72	42	38	164
CPR 65-315/2M(A)	80	65	105	310	390	80	70	30	8	60	28	25	180
CPR 65-315/2M(B)	80	65	105	310	390	80	70	30	8	60	28	25	177
CPR 80-315/2M	100	80	120	300	400	100	80	33	10	75	36	32	215
CPR 100-315/2M	125	100	140	400	520	120	110	34	10	99	36	32	325
CPR 125-400/2M	150	125	150	400	520	120	100	40	12	80	46	42	478
CPR 150-400/2M	200	150	175	505	625	120	150	45	14	120	54	50	612



TIPO / TYPE	SUC ASP	IMP DEL	A	B	E	F	H	J	M	N	O	P	R1	R2	S	U	X	Y	t	DØ	SØ	Kg
CPR 80-300T	125	80	240	320	375	321	310	240	280	220	140	140	115	115	330	100	8	56	28	25	23	130
CPR 80-380T	100	80	285	340	375	321	310	275	280	220	135	135	170	170	440	100	8	56	28	25	23	158
CPR 100-240T	150	100	210	310	375	321	330	223	280	220	160	160	80	80	260	100	8	56	28	25	23	158
CPR 100-290T	150	100	230	310	375	321	310	230	280	220	150	150	100	100	300	100	8	56	28	25	23	137
CPR 100-380T	150	100	300	400	480	392	360	300	330	270	150	150	170	170	440	100	12	90	45	42	23	240
CPR 125-240T	150	125	235	350	394	340	330	230	330	270	150	150	105	105	310	100	8	56	28	25	23	180
CPR 125-300T	150	125	245	335	394	340	330	250	330	270	155	155	135	135	370	100	8	56	28	25	23	182
CPR 150-260T	200	150	355	380	480	417	385	225	370	300	190	190	200	200	500	150	12	90	45	42	23	270
CPR 150-300T	200	150	270	365	480	392	415	280	370	310	180	180	135	135	370	100	12	90	45	42	23	253
CPR 150-300TA(N)	200	150	355	380	480	417	385	270	370	300	190	190	200	200	500	150	12	90	45	42	23	280
CPR 150-380T	200	150	310	410	480	392	390	290	370	310	180	180	175	175	450	100	12	90	45	42	23	286
CPR 200-300T	250	200	300	450	512	424	495	315	470	410	210	210	160	160	420	100	12	90	45	42	23	372
CPR 200-380T	200	200	350	480	512	424	400	320	470	410	175	175	210	210	520	100	12	90	45	42	23	348
CPR 200-640T	250	200	525	550	700	618	595	450	480	400	370	370	277	277	715	160	18	100	69	65	27	950
CPR 250-300T	250	250	360	430	512	424	460	315	470	410	210	210	210	210	520	100	12	90	45	42	23	350
CPR 250-380T	250	250	420	540	512	424	475	375	490	410	210	210	235	235	570	100	12	90	45	42	23	420
CPR 250-600T	300	250	600	650	820	690	620	465	540	440	275	275	325	325	850	200	22	150	85	80	27	1050
CPS 65-240	80	65	225	280	399	331	250	254	300	240	120	120	145	145	350	65	8	70	28	25	22	120
CPS 80-240	100	80	230	270	399	331	280	249	300	240	150	150	145	145	350	65	8	70	28	25	22	130
CPS 80-300	100	80	275	290	399	331	280	274	300	240	130	130	145	145	350	65	8	70	28	25	22	150
CPS 100-240	150	100	250	310	500	400	340	308	300	240	170	170	145	145	350	75	12	100	45	42	22	195
CPS 100-300	125	100	275	320	399	331	320	299	300	240	150	150	145	145	350	65	8	70	28	25	22	175

8.6. Bombas dosificadoras

Caudal	Máx Caudal l/h	Máx Presión bar	Caudal l/h	Presión bar	Caudal por inyección	Inyección/min.	Tubo mm	Watt W	Peso lordo Kg
20 01	1	20	1,5	10	0,14	120	4 X 8	19 W	4,1
18 02	2	18	3	9	0,23	150	4 X 8	19 W	4,1
10 04	4	10	7	5	0,45	150	4 X 6	19 W	4,1
07 06	6	7	7	3,5	0,66	150	4 X 6	19 W	4,1
04 08	8	4	10	2	0,89	150	4 X 6	19 W	4,1
02 16	16	2	17	1	1,8	150	6 X 8	19 W	4,1

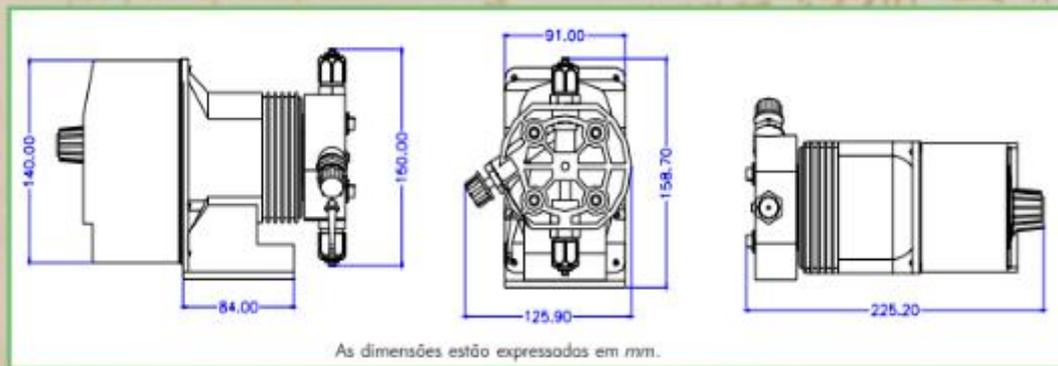
Las indicaciones de caudal están referidas a mediciones efectuadas con H₂O a 20 °C a la contrapresión indicada.

Alimentación eléctrica: 115 - 230 - 24 VCA.

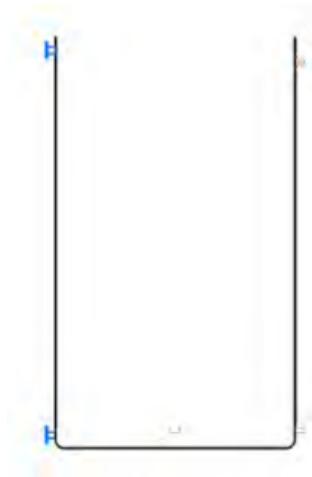
Bajo pedido están disponibles otras alimentaciones.

La Serie HMS se puede suministrar con cabezal en Acrílico, PVDF, Acero Inox y PP.

Todos los cabezales están disponibles en versión autopurgante a excepción de la versión en Acero Inox.



8.7. Depósitos de acumulación



VOLUMEN (litros)	Ø (mm)	ALTURA (mm)
4000	1600	2100
4000	1800	1700
5000	2000	1700
6000	2000	2000
8000	2000	2650
10000	2250	2600
10000	2500	2150
15000	2250	3900
15000	2500	3015
20000	2250	5150
20000	2500	4200
25000	2500	5200
30000	2500	6250
40000	3000	5750
40000	3400	4500
50000	3400	5600
50000	4000	4100

Accesorios incluidos:

- Bridas de entrada y salida DN 50
- Anclajes
- Orejas de elevación
- Pintura de poliuretano anti UV (Color RAL a escoger)
- Barrera química con resina Isofálica

8.8. Depósitos dosificadores

DEPOSITOS DOSIFICADORES

CARACTERÍSTICAS

- Depósitos dosificadores cilíndricos
- Fabricados en polietileno lineal anti-uv
- Gran resistencia química
- Permiten el montaje compacto de agitador, bombas dosificadoras, cañas de aspiración, sondas de nivel, válvulas de vaciado, resistencias calefactoras,...
- Color: blanco translucido en todos los modelos.
- Azul en modelos D-120 y D-210. Bajo pedido otros colores.
- Tapa grande roscada y con juntas de estanqueidad.
- Indicador de nivel grabado en la superficie exterior.
- Material de calidad alimentaria.
- Superficie exterior lisa de fácil limpieza.



MODELO	CAPACIDAD (l)	DIMENSIONES (mm)		
		D	H	B
D-50	50	380	520	170
D-120	120	500	715	280
D-230	230	560	950	280
D-300	300	610	1190	280
D-580	580	790	1255	275
D-1050	1050	995	1470	275

DEPOSITOS DE 580 A 1050 L



DEPOSITOS HASTA 300 L



8.9. Agitadores

AGITADORES “DAG”

- Agitadores estándar con hélice marina para todo tipo de aplicaciones.

- Alimentación 220/380 III (Opcional monofásico)
- Hélice marina.
- Longitud hasta 1200 mm (otras medidas a consultar)
- Fabricados con eje y hélice en AISI 316 o recubiertos en PP



AGITADORES EN PP:

- Fijación con brida para instalación en el depósito
- Revestimiento en PP.
- Totalmente estanco.



AGITADORES EN INOX (directos):

- Velocidad rápida.
- Fijación por brida para instalación en depósito.
- Densidades máximas de 40° Bé y una Viscosidad máxima de 1.500 C.P. a presión atmosférica
- Incorpora soporte guía para evitar descentrado del eje.



AGITADORES EN INOX (reductor):

- Con reductor de salida
- Eje intercambiable

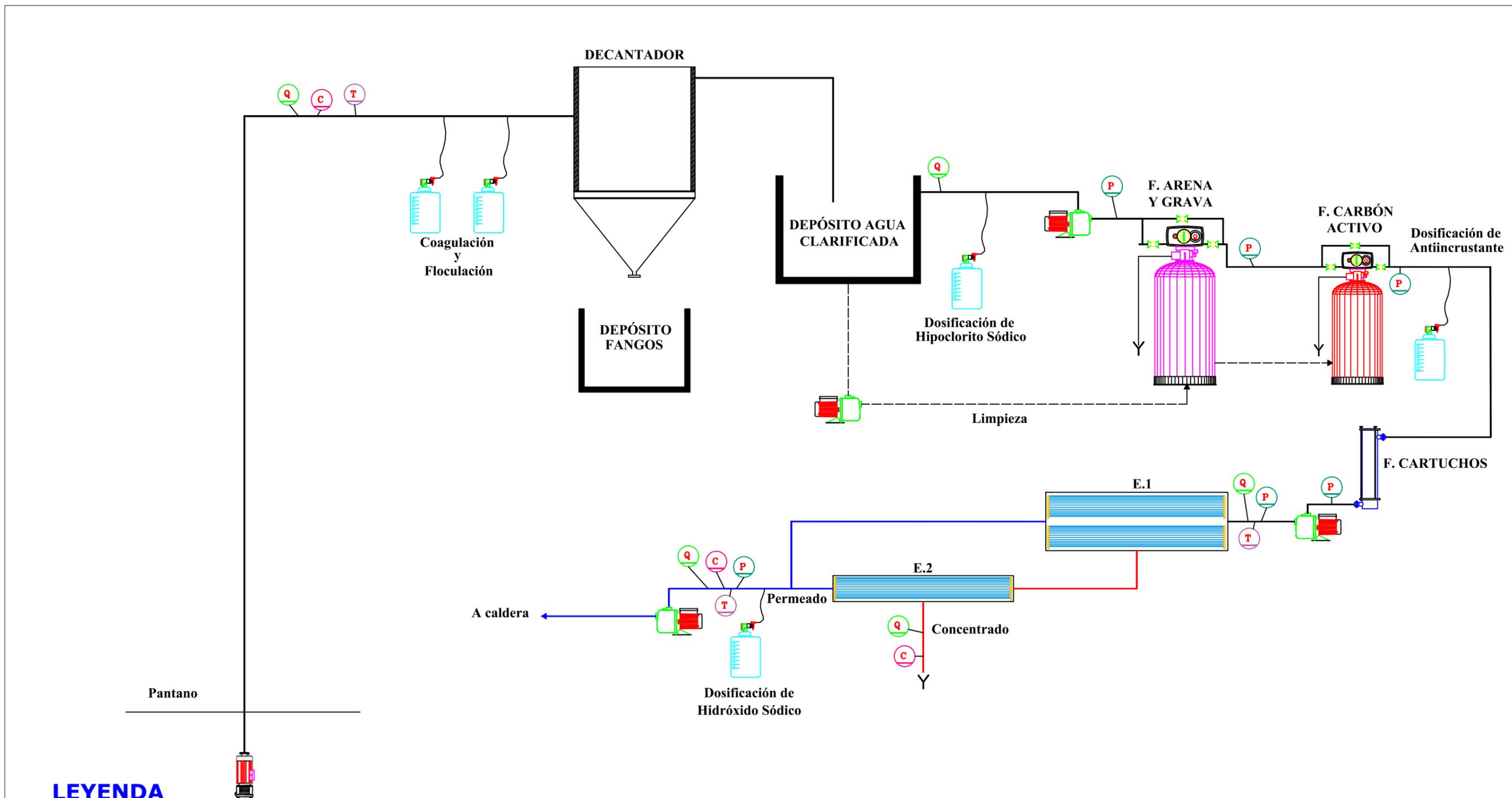


Agitadores específicos en función del proceso requerido

4. Planos

Índice

1. Diagrama de flujo de la instalación	1
2. Distribución en planta.....	2
3. Impulsión del agua de pantano y tratamiento físico-químico	3
4. Filtración y ósmosis inversa	4

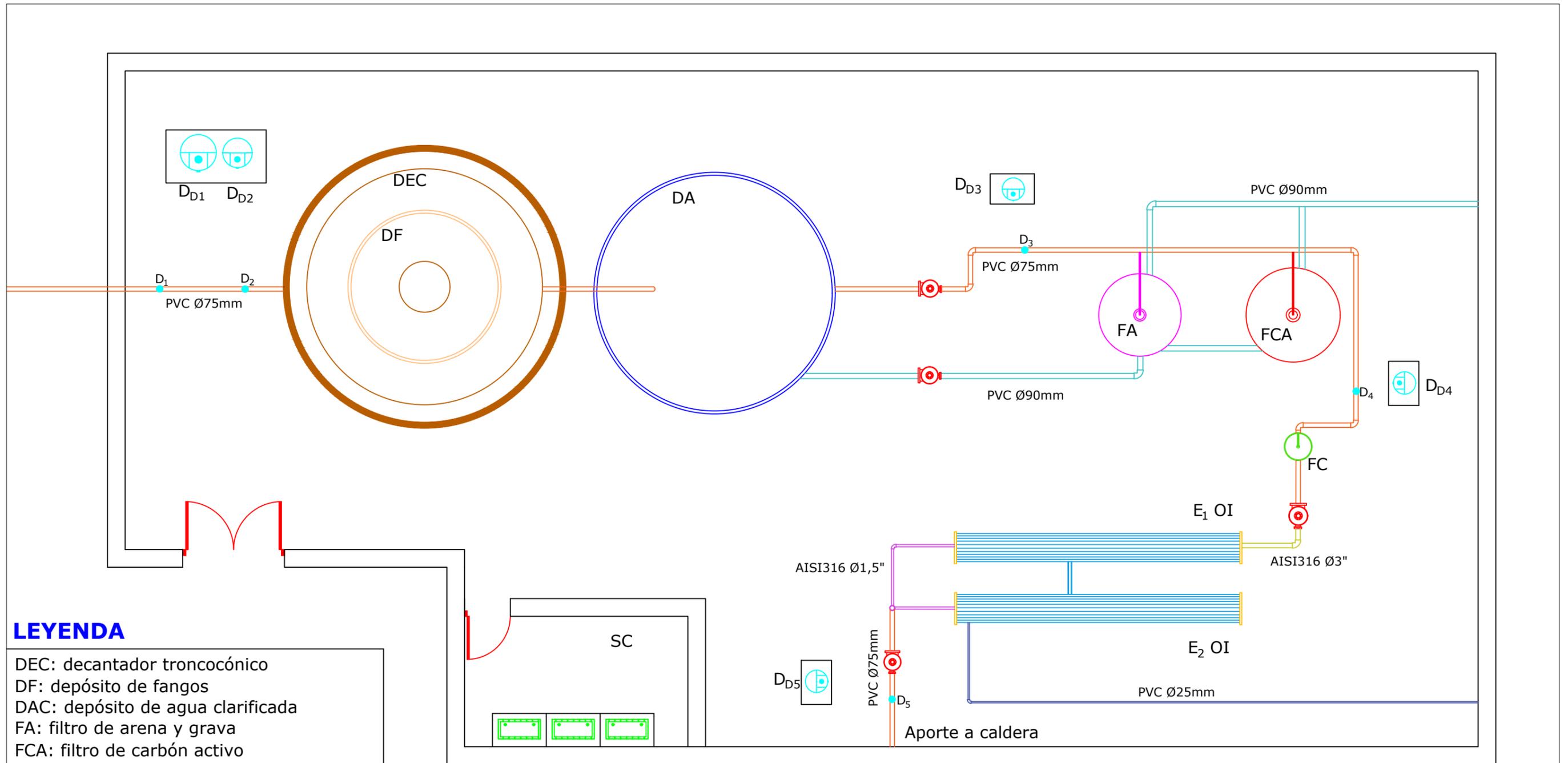


LEYENDA

- Q Caudalímetro
- C Conductivímetro
- P Medidor de presión
- T Turbidímetro

B. sumergible

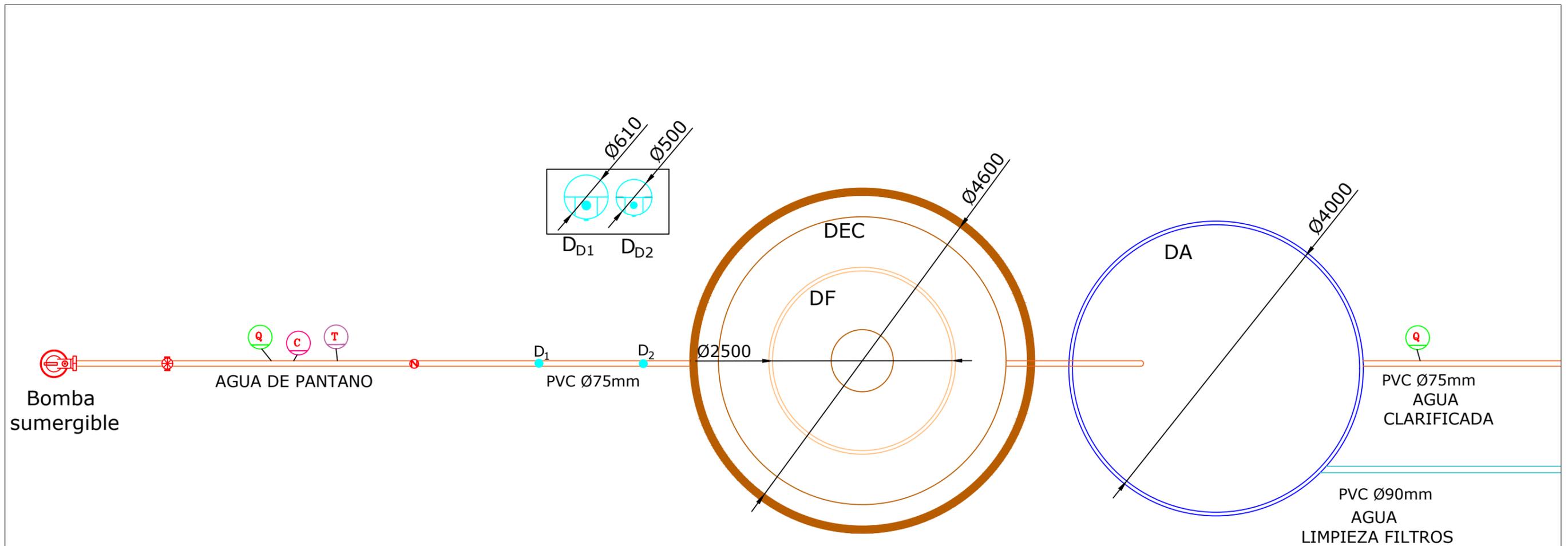
Razón	Escala	Título	
TFG	-	Diagrama de flujo de la instalación	
	Unidades	Autor/a	Nº Plano
	-	Blaga, Anca Claudia	1
	Proyección		
			



LEYENDA

- DEC: decantador troncocónico
- DF: depósito de fangos
- DAC: depósito de agua clarificada
- FA: filtro de arena y grava
- FCA: filtro de carbón activo
- FC: filtro de cartuchos de 5µm
- E₁ OI: primera etapa de la ósmosis inversa
- E₂ OI: segunda etapa de la ósmosis inversa
- SC: sala de control
- D_{D1}: depósito dosificador de coagulante
- D_{D2}: depósito dosificador de floculante
- D_{D3}: depósito dosificador de hipoclorito
- D_{D4}: depósito dosificador de antiincrustante
- D_{D5}: depósito dosificador de neutralizante

Razón	Escala	Título	
TFG	1:100	Distribución en planta	
 UNIVERSITAT JAUME I	Unidades	Autor/a	Nº Plano
	mm		
	Proyección		
			



LEYENDA

D₁: dosificación de coagulante

D₁: dosificación de floculante

Q: caudalímetro

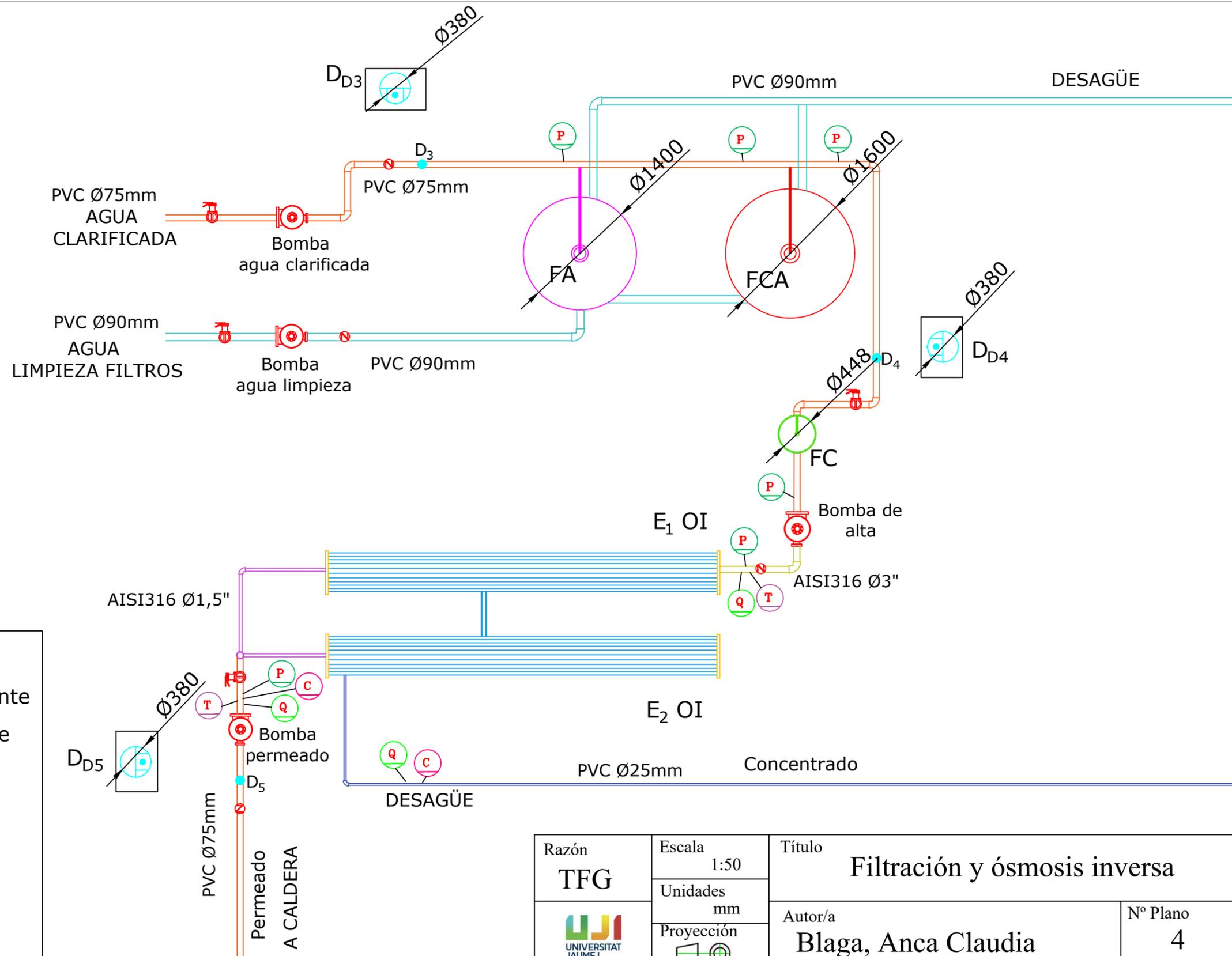
C: conductímetro

T: turbidímetro

⊗: válvula de diafragma

⊘: válvula de retención

Razón TFG	Escala 1:50	Título Impulsión del agua de pantano y tratamiento fisico-químico	
	Unidades mm		
 UNIVERSITAT JAUME I	Proyección 	Autor/a Blaga, Anca Claudia	Nº Plano 3



LEYENDA

- D₃: dosificación de hipoclorito
- D₄: dosificación de antiincrustante
- D₅: dosificación de neutralizante
- Q: caudalímetro
- C: conductivímetro
- T: turbidímetro
- P: medidor de presión
- ⊗: válvula de mariposa
- ⊘: válvula de retención

Razón TFG	Escala 1:50	Título Filtración y ósmosis inversa	
	Unidades mm		
 UNIVERSITAT JAUME I	Proyección 	Autor/a Blaga, Anca Claudia	Nº Plano 4

5. Pliego de Condiciones

Índice

1.	Pliego de condiciones generales	1
1.1.	Disposiciones generales	1
1.2.	Contrato de obra	1
1.2.1.	Documentación del contrato de obra	1
1.2.2.	Formalización del contrato de obra	2
2.	Pliego de condiciones facultativas	3
2.1.	Promotor.....	3
2.1.1.	Responsabilidad del Promotor.....	3
2.2.	El Proyectista.....	5
2.2.1.	Responsabilidad del Proyectista	5
2.3.	El Contratista.....	7
2.3.1.	Responsabilidad del Contratista	7
3.	Pliego de condiciones económicas.....	10
3.1.	Contrato de obra	10
3.2.	Criterio general.....	11
3.3.	Precios.....	11
3.4.	Fianzas	11
3.5.	Indemnizaciones	12
3.6.	Seguro y conservación de la obra	12
3.7.	Retención en concepto de garantía	12
3.8.	Plazos de ejecución de la obra.....	13
3.9.	Liquidación final de la obra.....	13
4.	Pliego de condiciones legales	14
4.1.	Contrato de obra	14
4.2.	Rescisión del contrato	14

4.3. Formalización del contrato.....	14
5. Pliego de condiciones técnicas.....	15
5.1. Condiciones técnicas generales	15
5.2. Condiciones técnicas particulares	16
5.2.1. Conducciones	16
5.2.2. Accesorios	16
5.2.3. Bombas.....	17
5.2.4. Decantador	17
5.2.5. Filtros	18
5.2.6. Ósmosis inversa.....	19

1. Pliego de condiciones generales

1.1. Disposiciones generales

El presente Pliego de Condiciones tiene por finalidad regular la ejecución de la obra fijando los niveles técnicos y de calidad exigibles, definiendo las intervenciones que corresponden, según el contrato y de acuerdo a la legislación aplicable, al promotor, al contratista, sus técnicos y encargados, así como las relaciones entre ellos y sus correspondientes obligaciones en concordancia al cumplimiento del contrato de obra.

1.2. Contrato de obra

El presente contrato tiene por objetivo el diseño y construcción de una planta de tratamiento de aguas superficiales para su posterior alimentación a una caldera. Se recomienda la contratación de la ejecución de las obras por unidades de obra, con arreglo a los documentos del proyecto y en cifras fijas. El Director de Obra ofrecerá la documentación necesaria para su realización.

1.2.1. Documentación del contrato de obra

Integran el contrato de obra los siguientes documentos, relacionados por orden de prelación atendiendo al valor de sus especificaciones, en el caso de posibles interpretaciones, omisiones o contradicciones:

- Las condiciones fijadas en el contrato de obra.
- El presente Pliego de Condiciones.
- La documentación gráfica y escrita del proyecto: Planos, Memoria, Anexos, Estado de Mediciones y Presupuestos.

En caso de interpretación prevalecen las especificaciones literales sobre las gráficas y las cotas sobre las medidas a escala tomadas de los planos.

1.2.2. Formalización del contrato de obra

Los Contratos se formalizarán, en general, mediante documento privado, que podrá elevarse a escritura pública, a petición de cualquiera de las partes.

El cuerpo de estos documentos contendrá:

- La comunicación de la adjudicación.
- La copia del recibo de depósito de la fianza (en caso de que se haya exigido).
- La cláusula en la que se exprese, de forma categórica, que el Contratista se obliga al cumplimiento estricto del contrato de obra, conforme a lo previsto en el Pliego de Condiciones, junto con la Memoria y Anexos, el Estado de Mediciones, Presupuestos, Planos y todos los documentos que han de servir de base para la realización de las obras definidas en el presente Proyecto.

2. Pliego de condiciones facultativas

2.1.Promotor

Es la persona física o jurídica, pública o privada, que individual o colectivamente decide, impulsa, programa y financia, con recursos propios o ajenos, las obras para sí mismo o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título.

Asume la iniciativa de todo el proceso de la obra, impulsando la gestión necesaria para llevar a cabo la obra inicialmente proyectada, y se hace cargo de todos los costes necesarios. Según la legislación vigente, a la figura del promotor se añadirán también las de gestor de sociedades cooperativas, comunidades de propietarios, u otras análogas que asumen la gestión económica de la obra.

Cuando las Administraciones Públicas y los organismos sujetos a la legislación de contratos de las Administraciones Públicas actúen como promotores, se regirán por la legislación de contratos de las Administraciones Públicas y, en lo no contemplado en la misma, por las disposiciones de la LOE.

2.1.1. Responsabilidad del Promotor

- Ostentar sobre la propiedad la titularidad de un permiso que le faculte para construir en él.

- Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto correspondiente, así como autorizar al director de obra, al director de la ejecución de la obra y al contratista posteriores modificaciones del mismo que fueran imprescindibles para llevar a buen fin el proyecto.

- Elegir y contratar a los distintos agentes, con la titulación y capacitación profesional necesaria, que garanticen el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para realizar en su globalidad y realizar el objeto de lo promovido, en los plazos estipulados y en las condiciones de calidad mínima exigibles mediante el cumplimiento de los requisitos básicos estipulados para las instalaciones.

- Gestionar y hacerse cargo de las preceptivas licencias y demás autorizaciones administrativas procedentes, de conformidad con la normativa aplicable.

- Garantizar los daños materiales que la instalación pueda sufrir, para la adecuada protección de los intereses de los usuarios finales, en las condiciones legalmente establecidas, asumiendo la responsabilidad civil de forma personal e individualizada, tanto por actos propios como por actos de otros agentes por los que, con arreglo a la legislación vigente, se deba responder.

- Contratar a los técnicos redactores del preceptivo estudio de seguridad y salud o estudio básico, en su caso, al igual que a los técnicos coordinadores en la materia en la fase que corresponda, todo ello según lo establecido en el R.D. 1627/97, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas en materia de seguridad y salud en las obras de construcción.

- El Promotor no podrá dar orden de inicio de las obras hasta que el contratista haya redactado su plan de seguridad y, además, este haya sido aprobado por el coordinador en materia de seguridad y salud en fase de ejecución de la obra, dejando constancia expresa en el acta de aprobación realizada al efecto.

- Efectuar el denominado aviso previo a la autoridad laboral competente, haciendo constar los datos de la obra, redactándolo de acuerdo a lo especificado en el Anexo III del R.D.1627/97. Una copia del mismo deberá exponerse en la obra de forma visible, actualizándolo si fuese necesario.

- Suscribir el acta de recepción final de las obras, una vez concluidas éstas, haciendo constar la aceptación de las obras, que podrá efectuarse con o sin reservas y que deberá abarcar la totalidad de las obras o fases completas. En el caso de hacer mención expresa a reservas para la recepción, deberán mencionarse de manera

detallada las deficiencias y se deberá hacer constar el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados.

- Entregar al adquirente y usuario inicial, en su caso, el manual de uso y mantenimiento del mismo y demás documentación de obra ejecutada, o cualquier otro documento exigible por las administraciones competentes.

2.2.El Projectista

Es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto.

Podrán redactar proyectos parciales del proyecto, o partes que lo complementen, otros técnicos, de forma coordinada con el autor de éste.

Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos según lo previsto en el apartado 2 del artículo 4 de la LOE, cada proyectista asumirá la titularidad de su proyecto.

2.2.1. Responsabilidad del Projectista

- Redactar el proyecto por encargo del Promotor, con sujeción a la normativa técnica en vigor y conteniendo la documentación necesaria para tramitar tanto la licencia de obras y demás permisos administrativos como para ser interpretada y poder ejecutar totalmente la obra, entregando al promotor las copias autorizadas correspondientes, debidamente visadas por su colegio profesional.
- Definir el concepto global del proyecto de ejecución con el nivel de detalle gráfico y escrito suficiente y calcular los elementos fundamentales de la instalación.
- Concretar en el proyecto el emplazamiento de cuartos de máquinas, de contadores, hornacinas, espacios asignados para subida de conductos, reservas de huecos de ventilación, alojamiento de sistemas de telecomunicación y, en general, de aquellos elementos necesarios en la instalación para facilitar las determinaciones concretas y

especificaciones detalladas que son cometido de los proyectos parciales, debiendo estos adaptarse al proyecto de ejecución, y no pudiendo contravenirlo en modo alguno.

- Deberá entregarse necesariamente un ejemplar del proyecto complementario al arquitecto antes del inicio de las obras o instalaciones correspondientes.

- Acordar con el promotor la contratación de colaboraciones parciales de otros técnicos profesionales.

- Facilitar la colaboración necesaria para que se produzca la adecuada coordinación con los proyectos parciales exigibles por la legislación o la normativa vigente y que sea necesario incluir para el desarrollo adecuado del proceso, que deberán ser redactados por técnicos competentes, bajo su responsabilidad y suscritos por persona física. Los proyectos parciales serán aquellos redactados por otros técnicos cuya competencia puede ser distinta e incompatible con las competencias del ingeniero y, por tanto, de exclusiva responsabilidad de estos. Elaborar aquellos proyectos parciales o estudios complementarios exigidos por la legislación vigente en los que es legalmente competente para su redacción, excepto declinación expresa del ingeniero y previo acuerdo con el promotor, pudiendo exigir la compensación económica en concepto de cesión de derechos de autor y de la propiedad intelectual si se tuviera que entregar a otros técnicos, igualmente competentes para realizar el trabajo, documentos o planos del proyecto por él redactado, en soporte papel o informático.

- Ostentar la propiedad intelectual de su trabajo, tanto de la documentación escrita como de los cálculos de cualquier tipo, así como de los planos contenidos en la totalidad del proyecto y cualquiera de sus documentos complementarios.

2.3.El Contratista

Es el agente que asume, contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al Proyecto y al Contrato de obra.

Cabe efectuar especial mención de que la ley señala como responsable explícito de los vicios o defectos constructivos al contratista general de la obra, sin perjuicio del derecho de repetición de éste hacia los subcontratistas.

2.3.1. Responsabilidad del Contratista

- Tener la capacitación profesional o titulación que habilita para el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para actuar como constructor.

- Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.

- Examinar la documentación aportada por los técnicos redactores correspondientes, tanto del Proyecto de Ejecución como de los proyectos complementarios, así como del Estudio de Seguridad y Salud, verificando que le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada o, en caso contrario, solicitando las aclaraciones pertinentes.

- Elaborar, antes del comienzo de las obras, el plan de seguridad y salud de la obra en aplicación del estudio correspondiente, y disponer, en todo caso, la ejecución de las medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observancia de la normativa vigente en materia de seguridad e higiene en el trabajo.

- Ostentar la Jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordinar las intervenciones de los subcontratistas y trabajadores autónomos.

- Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- Disponer de los medios materiales y humanos que la naturaleza y entidad de la obra impongan, disponiendo del número adecuado de oficiales, suboficiales y peones que la obra requiera en cada momento, bien por personal propio o mediante subcontratistas al efecto, procediendo a solapar aquellos oficios en la obra que sean compatibles entre sí y que permitan acometer distintos trabajos a la vez sin provocar interferencias, contribuyendo con ello a la agilización y finalización de la obra dentro de los plazos previstos.
- Llevar a cabo la ejecución material de las obras de acuerdo con el proyecto, las normas técnicas de obligado cumplimiento y las reglas de la buena construcción.
- Custodiar el Libro de órdenes y seguimiento de la obra, y dar el enterado a las anotaciones que se practiquen en el mismo. - Facilitar al Aparejador o Arquitecto Técnico, con antelación suficiente, los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.
- Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final. Así como suscribir con el Promotor el acta de recepción de la obra.
- Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.
- Suscribir las garantías de obra que se señalan en el Artículo 19 de la Ley de Ordenación de la Edificación y que, en función de su naturaleza, alcanzan períodos de 1 año (daños por defectos de terminación o acabado de las obras), 3 años (daños por defectos o vicios de elementos constructivos o de instalaciones que afecten a la

habitabilidad) o 10 años (daños en cimentación o estructura que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad de la instalación).

- El Constructor dará comienzo a las obras en el plazo marcado en el Pliego de Condiciones particulares, desarrollándolas en la forma necesaria para que dentro de los periodos parciales en aquel ejecutados los trabajos correspondientes y, en consecuencia, la ejecución total se lleve a efecto dentro del plazo exigido en el Contrato. Obligatoriamente y por escrito deberá el contratista dar cuenta al Director de Obra del comienzo de los trabajos al menos con tres días de antelación.

3. Pliego de condiciones económicas

Las condiciones económicas fijan el marco de relaciones económicas para el abono y recepción de la obra. Tienen un carácter subsidiario respecto al contrato de obra, establecido entre las partes que intervienen, Promotor y Contratista, que es en definitiva el que tiene validez.

3.1. Contrato de obra

Se aconseja que se firme el contrato de obra, entre el Promotor y el Contratista, antes de iniciarse las obras, evitando en lo posible la realización de la obra por administración. A la Dirección Facultativa se le facilitará una copia del contrato de obra, para poder certificar los términos pactados. Sólo se aconseja contratar por administración aquellas partidas de obra irrelevantes y de difícil cuantificación, o cuando se desee un acabado muy esmerado.

El contrato de obra deberá prever las posibles interpretaciones y discrepancias que pudieran surgir entre las partes, así como garantizar que la Dirección Facultativa pueda, de hecho, COORDINAR, DIRIGIR y CONTROLAR la obra, por lo que es conveniente que se especifiquen y determinen con claridad, como mínimo, los siguientes puntos:

- Documentos a aportar por el Contratista
- Condiciones de ocupación del edificio e inicio de las obras
- Determinación de los gastos de enganches y consumos
- Responsabilidades y obligaciones del Contratista: Legislación laboral
- Responsabilidades y obligaciones del Promotor
- Presupuesto del Contratista
- Revisión de precios
- Forma de pago: Certificaciones
- Retenciones en concepto de garantía (nunca menos del 5%).
- Plazos de ejecución: Planning
- Retraso de la obra: Penalizaciones
- Recepción de la obra: Provisional y definitiva
- Litigio entre las partes

Dado que este Pliego de Condiciones Económicas es complemento del contrato de obra, en caso de que no exista contrato de obra alguno entre las partes se le comunicará a la Dirección Facultativa, que pondrá a disposición de las partes el presente Pliego de

Condiciones Económicas que podrá ser usado como base para la redacción del correspondiente contrato de obra.

3.2. Criterio general

Todos los agentes que intervienen en el proceso de la construcción, definidos en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (L.O.E.), tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas, pudiendo exigirse recíprocamente las garantías suficientes para el cumplimiento diligente de sus obligaciones de pago.

3.3. Precios

Si el Contratista, antes de la firma del contrato de obra, no hubiese realizado la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

3.4. Fianzas

En el caso de que el Contratista presente una fianza si se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas. el arquitecto-director, en nombre y representación del promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o, podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza o garantía, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el promotor, en el caso de que el importe de la fianza o garantía no bastare para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

La fianza recibida será devuelta al Contratista en un plazo establecido en el contrato de obra, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra.

3.5. Indemnizaciones

La indemnización por retraso en la terminación se establecerá en un porcentaje del importe total de los trabajos contratados o cantidad fija, que deberá indicarse en el Contrato suscrito entre Contratista y Promotor, por cada día natural de retraso, contados a partir del día de terminación fijado en el Calendario de obra. Las sumas resultantes se descontarán y retendrán con cargo a la fianza o a la retención.

3.6. Seguro y conservación de la obra

El Contratista está obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva.

El Contratista está obligado a conservar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva.

3.7. Retención en concepto de garantía

Del importe total de las certificaciones se descontará un porcentaje, que se retendrá en concepto de garantía. Este valor no deberá ser nunca menor del 5% y responderá de los trabajos mal ejecutados y de los perjuicios que puedan ocasionarle al Promotor.

Esta retención en concepto de garantía quedará en poder del Promotor durante el tiempo designado como periodo de garantía, pudiendo ser dicha retención, "en metálico" o mediante un aval bancario que garantice el importe total de la retención.

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en representación del Promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

La fianza retenida en concepto de garantía será devuelta al Contratista en el plazo estipulado en el contrato, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El promotor podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas atribuibles a la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros o subcontratos.

3.8.Plazos de ejecución de la obra

En el contrato de obra deberán figurar los plazos de ejecución y entregas, tanto totales como parciales. Además, será conveniente adjuntar al respectivo contrato un Planning de la ejecución de la obra donde figuren de forma gráfica y detallada la duración de las distintas partidas de obra que deberán conformar las partes contratantes.

3.9.Liquidación final de la obra

Entre el Promotor y Contratista, la liquidación de la obra deberá hacerse de acuerdo con las certificaciones conformadas por la Dirección de Obra. Si la liquidación se realizara sin el visto bueno de la Dirección de Obra, ésta sólo mediará en caso de desavenencia o desacuerdo, en el recurso ante los Tribunales.

Si el Promotor no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente al que se hubiere comprometido, el Contratista tendrá el derecho de percibir la cantidad pactada en el Contrato suscrito con el Promotor, en concepto de intereses de demora, durante el espacio de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación. Si aún transcurrieran dos meses a partir del término de dicho plazo de un mes sin realizarse dicho pago, tendrá derecho el Contratista a la resolución del contrato, procediéndose a la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que éstos reúnan las condiciones preestablecidas y que su cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

4. Pliego de condiciones legales

4.1. Contrato de obra

El Contratista, con carácter general, está obligado a ejecutar esmeradamente todas las obras que se le asignan, así como a cumplir rigurosamente todas las condiciones estipuladas en este Pliego o en el Contrato.

De la calidad y buena ejecución de las obras contratadas, el Contratista será el único responsable, no teniendo derecho a indemnizaciones en el caso de mayor precio que pudiese costarle la obra, ni por las erradas maniobras que cometiera durante la construcción, siendo a su cuenta y riesgo independientemente de la inspección que de ellas haya podido haber hecho el Técnico Director de obra.

4.2. Rescisión del contrato

La rescisión, si se produjera, se regirá por el Reglamento General de Contratación para Aplicación de la Ley de Contratos de Estado, por el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales y demás disposiciones vigentes. Serán causas suficientes de rescisión las siguientes:

- Muerte o incapacidad del Contratista
- Quiebra del Contratista
- Alteraciones del contrato por modificación del proyecto, variación en las unidades de obra, incumplimiento de contrato o abandono o suspensión de la obra sin causa justificada

4.3. Formalización del contrato

La formalización del contrato se verificará por documento privado con el compromiso por ambas partes, Propiedad y Contratista de elevarlo a Documento Público a petición de cualquiera de ellos, como complemento del Contrato, los Planos y demás documentos del Proyecto irán firmados por ambos.

5. Pliego de condiciones técnicas

5.1. Condiciones técnicas generales

Los productos, equipos y sistemas suministrados deberán cumplir las condiciones que sobre ellos se especifican en los distintos documentos que componen el Proyecto. Asimismo, sus calidades serán acordes con las distintas normas que sobre ellos estén publicadas y que tendrán un carácter de complementariedad a este apartado del pliego. Tendrán preferencia en cuanto a su aceptabilidad aquellos materiales que estén en posesión de documento de idoneidad técnica que avale sus cualidades, emitido por organismos técnicos reconocidos.

El contratista será responsable de que los materiales empleados cumplan con las condiciones exigidas, independientemente del nivel de control de calidad que se establezca para la aceptación de los mismos.

El contratista notificará al director de ejecución de la obra, con suficiente antelación, la procedencia de los materiales que se proponga utilizar, aportando, cuando así lo solicite el director de ejecución de la obra, las muestras y datos necesarios para decidir acerca de su aceptación.

Estos materiales serán reconocidos por el director de ejecución de la obra antes de su empleo en obra, sin cuya aprobación no podrán ser acopiados en obra ni se podrá proceder a su colocación. Así mismo, aún después de colocados en obra, aquellos materiales que presenten defectos no percibidos en el primer reconocimiento, siempre que vaya en perjuicio del buen acabado de la obra, serán retirados de la obra. Todos los gastos que ello ocasionase serán a cargo del Contratista.

En los materiales y equipos con garantía propia, se trasladará la garantía que concede el fabricante.

5.2. Condiciones técnicas particulares

5.2.1. Conducciones

PVC

Las conducciones de PVC que se utilizarán en los tramos de baja presión en la instalación son diseñadas de acuerdo con la norma DIN 8062, de diferentes diámetros nominales:

- DN25
- DN75
- DN90

Acero Inoxidable AISI 316

Para las tuberías de alta presión el material utilizado será el acero inoxidable AISI 316. Estas tuberías se diseñaron de acuerdo con la norma ANSI B 36.19. Los diámetros nominales a utilizar son los siguientes:

- DN1,5"
- DN3"

La longitud de cada tubería será medida según los cálculos y documentos gráficos del Proyecto y se comprobará que su situación y recorrido se corresponden con éstos, y que hay espacio suficiente para su instalación.

También se realizarán pruebas de resistencia mecánica y estanqueidad según la norma CTE. DB-HS y según las normas indicadas por la compañía suministradora.

Para su conservación y mantenimiento se deberán proteger de los golpes.

5.2.2. Accesorios

Los accesorios, como válvulas y codos, se instalarán en cada tramo del material que corresponda a éste y teniendo en cuenta el diámetro nominal, para asegurar la compatibilidad entre los diferentes elementos.

5.2.3. Bombas

Los sistemas de bombeo a utilizar y sus características se indican en el documento *Anexos*.

Bombas Ideal CPR/CPS

El lugar de emplazamiento de estas bombas se situará lo más cerca posible del nivel del líquido evitando tramos de aspiración demasiado largos. Para su correcto funcionamiento deberá colocarse la bomba en tal posición para que el NPSH disponible sea siempre mayor al requerido.

La tubería de aspiración debe ser corta, hermética a la entrada de aire, con el menor número de codos, y éstos con el mayor radio de curvatura. El último tramo antes de la bomba debe ser recto.

La tubería de impulsión debe ser hermética, debe estar dimensionada adecuadamente para no causar excesivas pérdidas de carga, y, si es necesario, se instalará una válvula de retención a la salida de la bomba.

Bomba sumergible VORTEX

Bomba sumergible construida en acero inoxidable AISI 316, de construcción muy robusta. La inmersión máxima de la bomba es de 30m y permite líquidos a una temperatura máxima de 50°C, con pH entre 3 y 14 y con una densidad máxima de 1100kg/m³. Estas condiciones deben cumplirse para su correcto funcionamiento.

5.2.4. Decantador

Decantador troncocónico construido en PRFV de 4,6m de diámetro con acabado exterior estándar y pies de acero pintado. Posee cono inferior de 60°, canal Thompson regulable, 3 bridas DN75, orejas de elevación, escalera tipo “gato” y plataforma de mantenimiento superior.

Está diseñado según la norma UNE EN 13121-3.

5.2.5. Filtros

Arena y grava

El filtro totalmente anticorrosivo está construido con un liner interior de fibra de vidrio que le confiere la resistencia estructural, siendo un filtro de alta fiabilidad y duración. Posee brazos colectores y crepinas en PVC, ABS inalterables. La placa de crepinas se encuentra integrada y soldada directamente en la estructura cilíndrica, para una resistencia inigualable. Dispone de conexiones entrada-salida altamente robustas en PRFV integradas en el filtro. Para un correcto funcionamiento debe operar a una velocidad de filtración de 20m/h y tener una carga de arena de 2300kg y de grava de 250kg. La caída de presión debe ser inferior a 0,5bar, en caso contrario, deberá realizarse la limpieza del filtro.

Carbón activo

Filtro declorador construido en PRFV con batería de 5 válvulas de esfera en PVC de accionamiento manual.

Para su correcto funcionamiento para un caudal de 25m³/h la carga de carbón de éste es de 675kg.

La presión máxima de trabajo es de 8bar y la temperatura de trabajo de 0°C a 35°C.

Al superar una pérdida de carga de 0,5bar deberá realizarse su limpieza.

Filtro de seguridad

Filtro porta cartuchos fabricado en acero inoxidable AISI316 con juntas en silicona FDA, diseñado conforme la normativa EN 13445. Permite una presión de trabajo hasta 8bar y un rango de temperaturas de -20°C a 150°C.

Posee certificado CE y ATEX.

Los cartuchos pueden usarse como filtro final o como pre-filtro, han sido probados para obtener una filtración de al menos el 95% de las partículas en suspensión si se utilizan correctamente, sin superar el caudal que pueden tratar. En el este caso cada cartucho podrá tratar un caudal máximo de 3,2 m³/h, por lo tanto, para el caudal a tratar y un funcionamiento correcto se necesitarán 8 cartuchos.

5.2.6. Ósmosis inversa

Para el correcto funcionamiento de las membranas LE-44i la presión máxima de trabajo es de 41bar y la temperatura de 45°C. El agua de alimentación a la membrana debe poseer un SDI inferior a 5. El intervalo de pH durante la operación es 2 a 11.

Debe tenerse en cuenta que la contrapresión del permeado no debe sobrepasar nunca la presión de alimentación y asegurarse que los productos químicos a utilizar son compatibles con la membrana.

Cada tubo de presión BEL 8-S 600 admite un número de 6 membranas y una presión máxima de trabajo de 41bar.

Los demás materiales que se utilicen en la obra, equipos, elementos e instrumentos para la instalación que no se han señalado en el presente Pliego de Condiciones, serán de primera calidad y reunirán las condiciones de bondad necesarias a juicio de la Dirección Técnica.

6. Estado de Mediciones

Índice

1.	Estado de mediciones.....	1
1.1.	Partida 1: Equipos principales	1
1.2.	Partida 2: Bombas	2
1.3.	Partida 3: Depósitos y agitadores	3
1.4.	Partida 4: Instrumentación	4
1.5.	Partida 5: Conducciones y accesorios	5

1. Estado de mediciones

En el presente documento se encuentran desglosadas todas las partidas a tener en cuenta para la elaboración del presupuesto final del proyecto, con las unidades y cantidades necesarias en cada uno de los casos.

Hay un total de 5 partidas:

- Equipos principales
- Bombas
- Depósitos y agitadores
- Instrumentación
- Conducciones y accesorios

1.1.Partida 1: Equipos principales

En la Tabla E.1 se muestra el estado de mediciones de los equipos principales que componen la planta.

Tabla E.1. Partida 1: Equipos principales

Elemento	Unidad	Cantidad
Decantador con escalera de acceso y plataforma	Ud.	1
Filtro de arena y grava	Ud.	1
Filtro de carbón activo	Ud.	1
Cartuchos filtrantes y porta cartuchos	Ud.	1
Sistema de ósmosis inversa	Ud.	1

1.2.Partida 2: Bombas

En la Tabla E.2 aparece el estado de mediciones de las bombas de impulsión de agua y de las bombas dosificadoras de reactivo.

Tabla E.2. Partida 2: Bombas

Elemento	Unidad	Cantidad
Bomba sumergible BLOCH VORTEX 500 AISI 316	Ud.	1
Bomba IDEAL CPR 50-200/2M (salida depósito de agua clarificada)	Ud.	1
Bomba CPS 65-240 (alta presión)	Ud.	1
Bomba CPR 50-250/2M (impulsión de permeado)	Ud.	1
Bomba CPR 80-380T (impulsión del agua para el lavado de los filtros)	Ud.	1
Bomba HPVM 10 04 dosificadora de coagulante	Ud.	1
Bomba HPVM 18 02 dosificadora de floculante/ hipoclorito sódico	Ud.	2
Bomba HPVM 20 01 dosificadora de antiincrustante/ hidróxido sódico	Ud.	2

1.3.Partida 3: Depósitos y agitadores

En el presente apartado, en la Tabla E.3 se muestra el estado de mediciones referente a los depósitos y agitadores necesarios en la instalación.

Tabla E.3. Partida 3: Depósitos y agitadores

Elemento	Unidad	Cantidad
Depósito de agua clarificada de 50m³ de capacidad (TREPOVI)	Ud.	1
Depósito fangos de 10m³ de capacidad (TREPOVI)	Ud.	1
Depósito para el coagulante de 300l de capacidad (DOSIM)	Ud.	1
Depósito para el floculante de 120l de capacidad (DOSIM)	Ud.	1
Depósito para el hipoclorito sódico / antiincrustante / hidróxido sódico de 50l de capacidad (DOSIM)	Ud.	3
Agitador Dosim de 75W	Ud.	5

1.4.Partida 4: Instrumentación

En la Tabla E.4 puede observarse el estado de mediciones correspondiente a la instrumentación a utilizar.

Tabla E.4. Partida 4: Instrumentación

Elemento	Unidad	Cantidad
Conductivímetro ENDRESS	Ud.	3
Caudalímetro SIEMENS	Ud.	5
Turbidímetro HANNA instruments	Ud.	3
Manómetro	Ud.	6
Sonda de Redox Dosim	Ud.	1
Sonda de pH Dosim	Ud.	4
Instalación eléctrica y programación PLC	Ud.	1

1.5.Partida 5: Conducciones y accesorios

A continuación, en la Tabla E.5 aparece el estado de mediciones de las conducciones y accesorios del proyecto.

Tabla E.5. Partida 5: Conducciones y accesorios

Elemento	Unidad	Cantidad
Tubería PVC PN 16atm, DN75mm	m	77,15
Tubería PVC PN 16atm, DN25mm	m	5
Tubería PVC PN16 atm, DN90mm	m	25,7
Tubería Acero Inoxidable AISI316 con soldadura DN76,2mm (3")	m	1
Tubería Acero Inoxidable AISI316 con soldadura DN38,1mm (1,5")	m	21
Codo 90° STD PVC, DN75mm	Ud.	10
Codo 90° STD PVC, DN90mm	Ud.	2
Codo 90° STD AISI 316, DN76,2 mm (3")	Ud.	1
Válvula retención PVC, DN75mm	Ud.	3
Válvula retención PVC, DN90mm	Ud.	1
Válvula retención, AISI 316, DN76,2 mm (3")	Ud.	1
Válvula mariposa PVC, DN75mm	Ud.	3
Válvula mariposa PVC, DN90mm	Ud.	1
Válvula diafragma DN75mm	Ud.	1
Salida encañonada PVC, DN75mm	Ud.	1
Salida encañonada PVC, DN90mm	Ud.	1

7. Presupuesto

Índice

1.	Presupuesto de Ejecución de Material	1
1.1.	Partida 1: Equipos principales	1
1.2.	Partida 2: Bombas	2
1.3.	Partida 3: Depósitos y agitadores	3
1.4.	Partida 4: Instrumentación	4
1.5.	Partida 5: Conducciones y accesorios	5
1.6.	Partida 6: Mano de obra	6
1.7.	Presupuesto de Ejecución de Material total	6
2.	Presupuesto de Ejecución por Contrata	7

1. Presupuesto de Ejecución de Material

El Presupuesto de Ejecución de Material se encuentra desglosado en las siguientes partidas presupuestarias:

- Equipos principales
- Bombas
- Depósitos y agitadores
- Instrumentación
- Conducciones y accesorios
- Mano de obra

1.1.Partida 1: Equipos principales

La primera partida está compuesta por los equipos principales que forman la planta de tratamiento de aguas. Puede observarse en la Tabla P.1.

Tabla P.1. Presupuesto de la Partida 1: Equipos principales

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Decantador con escalera de acceso y plataforma	Ud.	1	30.250,00	30.250,00
Filtro de arena y grava	Ud.	1	11.560,34	11.560,34
Filtro de carbón activo	Ud.	1	8.494,20	8.494,20
Cartuchos filtrantes y porta cartuchos	Ud.	1	2.727,34	2.727,34
Sistema de ósmosis inversa	Ud.	1	48.400,00	48.400,00
TOTAL				101.431,88

1.2.Partida 2: Bombas

La segunda partida hace referencia a las bombas necesarias en la instalación, tanto para impulsar el agua, como a las bombas dosificadoras de reactivo. Éstas aparecen en la Tabla P.2.

Tabla P.2. Presupuesto de la Partida 2: Bombas

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Bomba sumergible BLOCH VORTEX 500 AISI 316	Ud.	1	5.279,23	5.279,23
Bomba IDEAL CPR 50-200/2M (salida depósito de agua clarificada)	Ud.	1	2.543,42	2.543,42
Bomba CPS 65-240 (alta presión)	Ud.	1	2.979,02	2.979,02
Bomba CPR 50-250/2M (impulsión de permeado)	Ud.	1	2.514,38	2.514,38
Bomba CPR 80-380T (impulsión del agua para el lavado de los filtros)	Ud.	1	3.179,88	3.179,88
Bomba HPVM 10 04 dosificadora de coagulante	Ud.	1	648,56	648,56
Bomba HPVM 18 02 dosificadora de floculante/ hipoclorito sódico	Ud.	2	607,42	1.214,84
Bomba HPVM 20 01 dosificadora de antiincrustante/ hidróxido sódico	Ud.	2	578,38	1.156,76
TOTAL				19.516,09

1.3.Partida 3: Depósitos y agitadores

En la tercera partida se muestran los depósitos de acumulación, los depósitos dosificadores de reactivos y los agitadores necesarios. A continuación, pueden observarse en la Tabla P.3.

Tabla P.3. Presupuesto de la Partida 3: Depósitos y agitadores

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Depósito de agua clarificada de 50m³ de capacidad (TREPOVI)	Ud.	1	4.861,78	4.861,78
Depósito fangos de 10m³ de capacidad (TREPOVI)	Ud.	1	1.846,46	1.846,46
Depósito para el coagulante de 300l de capacidad (DOSIM)	Ud.	1	186,34	186,34
Depósito para el floculante de 120l de capacidad (DOSIM)	Ud.	1	151,25	151,25
Depósito para el hipoclorito sódico / antiincrustante / hidróxido sódico de 50l de capacidad (DOSIM)	Ud.	3	94,38	283,14
Agitador Dosim de 75W	Ud.	5	598,95	2.994,75
TOTAL				10.323,72

1.4.Partida 4: Instrumentación

En la cuarta partida se hace referencia a los instrumentos de medida necesarios, que se reflejan en la Tabla P.4.

Tabla P.4. Presupuesto de la Partida 4: Instrumentación

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Conductivímetro ENDRESS	Ud.	3	2.837,45	8.512,35
Caudalímetro SIEMENS	Ud.	5	1.453,45	7.267,26
Turbidímetro HANNA instruments	Ud.	3	954,69	2.864,07
Manómetro	Ud.	6	169,40	1.016,40
Sonda de Redox Dosim	Ud.	1	199,65	199,65
Sonda de pH Dosim	Ud.	4	189,97	759,88
Instalación eléctrica y programación PLC	Ud.	1	24.200,00	24.200,00
TOTAL				44.819,61

1.5.Partida 5: Conducciones y accesorios

La quinta partida está compuesta por las conducciones y accesorios de la instalación. Éstos se muestran en la Tabla P.5.

Tabla P.5. Presupuesto de la Partida 5: Conducciones y accesorios

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Tubería PVC PN 16atm, DN75mm	m	77,15	18,36	1.416,15
Tubería PVC PN 16atm, DN25mm	m	5	8,20	41,02
Tubería PVC PN16 atm, DN90mm	m	25,7	24,82	637,87
Tubería Acero Inoxidable AISI316 con soldadura DN76,2mm (3")	m	1	30,20	30,20
Tubería Acero Inoxidable AISI316 con soldadura DN38,1mm (1,5")	m	21	12,49	262,23
Codo 90° STD PVC, DN75mm	Ud.	10	12,61	126,10
Codo 90° STD PVC, DN90mm	Ud.	2	20,45	40,90
Codo 90° STD AISI 316, DN76,2 mm (3")	Ud.	1	103,39	103,39
Válvula retención PVC, DN75mm	Ud.	3	60,80	182,40
Válvula retención PVC, DN90mm	Ud.	1	180,80	180,80
Válvula retención, AISI 316, DN76,2 mm (3")	Ud.	1	202,07	202,07
Válvula mariposa PVC, DN75mm	Ud.	3	73,30	219,90
Válvula mariposa PVC, DN90mm	Ud.	1	91,36	91,36
Válvula diafragma DN75mm	Ud.	1	230,70	230,70
Salida encañonada PVC, DN75mm	Ud.	1	8,11	8,11
Salida encañonada PVC, DN90mm	Ud.	1	9,83	9,83
TOTAL				3.783,03

1.6.Partida 6: Mano de obra

En la sexta partida se muestran los costes correspondientes a la mano de obra necesaria, que son el 8,33% del coste de la instalación. Esto se observa en la Tabla P.6.

Tabla P.6. Presupuesto de la Partida 6: Mano de obra

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio total (€)
Mano de Obra	%	8,33	15.000
TOTAL			15.000

1.7.Presupuesto de Ejecución de Material total

El Presupuesto de Ejecución de Material total (PEM) es la suma de todas las partidas anteriores. Aparece reflejado en la Tabla P.7.

Tabla P.7. PEM

Partida	Precio total (€)
Equipos principales	101.431,88
Bombas	19.516,09
Depósitos y agitadores	10.323,72
Instrumentación	44.819,61
Conducciones y válvulas	3.783,03
Mano de obra	15.000,00
PEM	194.874,33

2. Presupuesto de Ejecución por Contrata

El Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se obtiene teniendo en cuenta el PEM, los gastos generales, que son un 15% del PEM (incluyen los gastos debidos a licencias, seguridad y salud y tratamiento y vertido de residuos) y el beneficio industrial, un 6% del PEM. El PEC se observa en la Tabla P.8.

Tabla P.8. PEC

PEM	194.874,33€
Gastos generales	29.231,15€
Beneficio industrial	11.692,46€
PEC	235.797,94€

El presupuesto total del proyecto *Diseño de una planta de tratamiento de aguas superficiales para su posterior alimentación a caldera* asciende a **DOS CIENTOS TREINTA Y CINCO MIL SETECIENTOS NOVENTA Y SIETE EUROS CON NOVENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.**

