



Universitat Jaume I

Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals

Grau en Enginyeria Química

***Diseño del tratamiento terciario de la
EDAR de Oropesa para la reutilización del
agua regenerada como agua de riego
para zonas verdes urbanas***


Trabajo Fin de Grado

Autor/a: María Lizandra Elcid

Tutor/a: María José Gimeno Pérez

Castellón, septiembre de 2021

0. Resumen



Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas


En el presente proyecto se realiza el diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para reutilizar el agua resultante como agua de riego para zonas verdes urbanas.

Todos los equipos que componen el tratamiento terciario están diseñados para hacer frente a un caudal de 4.200 m³/día, lo que conforma el 20% del caudal total de la EDAR de Oropesa.

El tratamiento consta de una primera etapa de ultrafiltración, que servirá como tratamiento previo a la ósmosis inversa (garantizando así el buen funcionamiento de esta). La segunda etapa es la ósmosis inversa, la cual es imprescindible en este proyecto dado que existe una alta conductividad del agua debido a que se producen infiltraciones del agua del mar por encima del nivel freático. Por último, se encuentra el circuito de cloración, que se utilizará solo en caso de ser requerido y que ya está instalado en la EDAR de Oropesa.

Finalmente, se realiza la viabilidad económica del proyecto para determinar la rentabilidad del mismo, siendo el principal motivo los altos costos que suponen los tratamientos como los que se diseñan para esta planta. El resultado muestra que el proyecto es rentable y la inversión inicial asciende a 374.750,98 €.

1. Índice General



Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua
regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

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. JUSTIFICACIÓN..... | 2 |
| 3. ALCANCE..... | 3 |
| 4. ANTECEDENTES..... | 4 |
| 4.1. Tratamiento de aguas residuales | 4 |
| 4.2. EDAR Oropesa..... | 5 |
| 4.2.1 Diagrama del proceso de la EDAR Oropesa..... | 5 |
| 4.3. Prescripciones técnicas para el tratamiento de regeneración | 7 |
| 5. Normas y referencias..... | 12 |
| 5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas..... | 12 |
| 5.2. Bibliografía..... | 13 |
| 5.3. Webgrafía | 14 |
| 5.4. Software empleado | 14 |
| 6. Definiciones y abreviaturas..... | 15 |
| 6.1. Definiciones | 15 |
| 6.2. Abreviaturas | 16 |
| 7. Requisitos de diseño..... | 18 |
| 7.1. Caudales de entrada al tratamiento terciario | 18 |
| 7.2. Calidad del agua a tratar..... | 18 |

Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua
regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

| | |
|--|----|
| 7.3. Criterios de calidad para la reutilización de las aguas | 19 |
| 8. Análisis de soluciones | 21 |
| 8.1. Tratamiento físico- químico y decantación | 21 |
| 8.2. Filtración | 24 |
| 8.3. Desalinización | 25 |
| 8.1.1. Ósmosis inversa..... | 25 |
| 8.1.3. Electrodialisis | 29 |
| 8.4. Desinfección..... | 30 |
| 8.2.1. Desinfección con rayos UV..... | 30 |
| 8.2.2. Cloración | 32 |
| 9. Resultados finales..... | 33 |
| 10. Planificación..... | 35 |
| 11. Orden de prioridad entre los documentos básicos..... | 37 |
| 12. Estudio de viabilidad económica..... | 38 |
| 12.1. Resumen del presupuesto | 38 |
| 12.2. Presupuesto de explotación | 39 |
| 12.2.1. Inversión inicial..... | 39 |
| 12.2.2. Gastos directos | 39 |
| 12.2.3. Amortización..... | 39 |
| 12.2.4. Gastos indirectos | 40 |

Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua
regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

| | |
|----------------------------------|----|
| 12.2.5. Gastos totales..... | 40 |
| 12.2.6. Ingresos | 40 |
| 12.2.7. Beneficio bruto | 41 |
| 12.2.8. Beneficio neto | 42 |
| 12.2.9. Flujo de caja | 43 |
| 12.2.10. Valor Actual Neto | 44 |
| 13. Índice de figuras | 46 |
| 14. Índice de tablas..... | 47 |

1. OBJETO

El propósito del presente proyecto es diseñar un tratamiento terciario en una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) que permita reutilizar el agua tratada para el riego de zonas verdes urbanas.

La instalación está diseñada para la EDAR de Oropesa, de la que es adjudicataria la empresa FACSA, y de la que es responsable del servicio de funcionamiento y mantenimiento del sistema de saneamiento y depuración de aguas residuales de Oropesa-Ribera de Cabanes (Castellón).

Debido a la alta conductividad que presenta el agua residual de Oropesa a causa del mal estado de la red de saneamiento, que se traduce en infiltraciones de aguas del nivel freático, se busca diseñar un tratamiento que consiga reducir la conductividad para asegurar que el agua regenerada es adecuada para el uso al que se quiere destinar. Además, se estudiará la mejor combinación de tratamientos para garantizar la desinfección del efluente cumpliendo así la normativa de reutilización de las aguas depuradas (RD 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas).

2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto surge de la necesidad de realizar un proyecto profesional que sirva para completar los estudios ligados al grado de Ingeniería Química.

Tras haber realizado las prácticas con la empresa FACSA en la EDAR de Oropesa a raíz de la asignatura EQ1034 Prácticas Externas y EQ1044 Trabajo de Final de Grado, se ha realizado el presente proyecto.

Gracias al conocimiento adquirido en lo referente a estaciones depuradoras de aguas residuales y suponiendo una futura mejora para la EDAR de Oropesa se piensa en la elaboración del diseño de un tratamiento terciario que permita la reutilización el agua tratada para riego de zonas verdes urbanas en los alrededores de Oropesa.

3. ALCANCE

Tal y como se ha comentado anteriormente se va a diseñar el tratamiento terciario de una estación depuradora.

Para cumplir con los requisitos que se exigen para la reutilización del agua tratada se ha de diseñar un tratamiento que disminuya la conductividad y un proceso de desinfección que elimine los posibles microorganismos patógenos del agua.

Así pues, la instalación estará compuesta de:

- Filtración
- Desalinización
- Desinfección

Una vez queda expuesto lo anterior, se define el alcance del proyecto como el siguiente:

- Diseñar y dimensionar los equipos que componen el tratamiento terciario.
- Realizar un estudio de viabilidad económica donde queden reflejados los costes de construcción y mantenimiento de la instalación.
- Realizar un estudio de seguridad y salud para la nueva instalación de la planta.
- Dimensionamiento del emplazamiento propio de la instalación.

4. ANTECEDENTES

4.1. Tratamiento de aguas residuales

Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) son imprescindibles para evitar el deterioro del medio y para preservar un recurso tan necesario como es el agua.

En una depuradora puede obtenerse agua depurada o agua regenerada dependiendo de a donde se vaya a destinar el agua tratada.

El agua depurada es aquella agua residual que ha sido sometida a un proceso de tratamiento que permite adecuar su calidad a la normativa de vertidos aplicable, (RD 509/1996 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas). No siempre opta a ser reutilizada, sino que su destino es el de ser vertida al dominio público hidráulico o al marítimo terrestre según convenga. No llevar a cabo una depuración de aguas residuales puede tener efectos altamente negativos para el medio ambiente y la salud de las personas debido al vertido de contaminantes procedentes de la actividad humana o industrial. Algunas de las modificaciones que puede sufrir el agua es la disminución del contenido en oxígeno, lo que afectaría a la flora y fauna del ecosistema receptor. También puede darse un exceso de crecimiento de algas debido a los nutrientes presentes en el agua y, además, se podrían extender organismos patógenos o sustancias tóxicas perniciosas para los humanos.

Por otro lado, el agua regenerada es el agua residual depurada que ha sido sometida a un proceso de tratamiento adicional (generalmente un tratamiento terciario) que permite adecuar la calidad del agua para el uso al que se destine según la normativa de reutilización de las aguas depuradas (RD 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas). Estos procesos permiten que se aminore la problemática que existe en cuanto a escasez de agua al reducir el consumo de agua nueva en lugares donde la sequía está a la orden del día.

4.2. EDAR Oropesa

La depuradora de Oropesa tiene las instalaciones apropiadas para depurar el agua residual generada en los municipios de Oropesa y la Ribera de Cabanes pudiendo hacer frente a 21.000 m³/día de caudal. La calidad de las aguas vertidas al cauce receptor cumple con todos los requerimientos establecidos por la legislación vigente, sin embargo, actualmente carece de un tratamiento que posibilite la reutilización del agua tratada. Por ello, en este apartado se describirá el proceso actual de la planta para tener el punto de partida para el diseño de un tratamiento terciario que permita utilizar el agua tratada para servicios urbanos.

4.2.1 Diagrama del proceso de la EDAR Oropesa

En la figura M.1 se muestra el diagrama que la EDAR de Oropesa tiene actualmente. Consta de pretratamiento, tratamiento secundario y línea de fangos.



Figura M.1. Diagrama de proceso de la EDAR de Oropesa.

El agua llega a la EDAR impulsada desde la Estación de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR) General. Hay un total de 7 EBAR que permiten recoger todos los vertidos del área de Oropesa para reunirlos en la EBAR General y enviarlos a la EDAR donde serán depurados.

Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

El pretratamiento tiene como objetivo acondicionar las aguas residuales para su posterior tratamiento además de proteger los equipos de la abrasión o de las obstrucciones que se generan debido a las arenas, residuos sólidos o grasas sobrenadantes. Para ello, se llevan a cabo dos operaciones: Desbaste (por medio de tamices) y Desarenador – Desengrasador.

Una vez el agua sale del pretratamiento va a parar a una arqueta que dirige el agua hasta los dos reactores biológicos de la planta. El tratamiento biológico se realiza por el procedimiento de fangos activados en los dos reactores biológicos, en régimen de aireación prolongada, mediante canales de oxidación concéntricos tipo ORBAL. En el tratamiento de fangos activados, las bacterias se mezclan continuamente con las aguas residuales y digieren los contaminantes orgánicos. Se inyecta aire al agua con el fin de satisfacer la demanda de oxígeno de los microorganismos y mantener los sólidos en suspensión y en contacto con las bacterias.

Una vez el agua sale de los reactores es dirigida a una arqueta de reparto que va a parar a tres decantadores secundarios circulares.

Como tratamiento final del agua se dispone de un laberinto de cloración. Se esteriliza el agua con hipoclorito sódico y se hace pasar por el laberinto para aumentar la superficie de contacto y así minimizar la incidencia de los gérmenes patógenos que todavía lleva el agua a la salida. Este tratamiento no es habitual utilizarlo y no está considerado como un tratamiento terciario. Generalmente se evita la cloración debido a que se pueden generar compuestos tóxicos como cloraminas, trihalometanos, ácidos haloacéticos, además de otros compuestos organoclorados.

Finalmente, en la línea de fangos se dispone de espesadores, deshidratación mecánica y una tolva de fangos.

Para el espesamiento de los fangos hay dos espesadores de gravedad en la planta. La concentración de fangos se realiza por gravedad, favorecida por la fuerte pendiente del fondo del aparato y por el arrastre de las rasquetas de fondo del mecanismo espesador.

Para deshidratar los fangos se hace mediante dos centrífugas que consiguen obtener una concentración de fangos del 30% siempre que la concentración de volátiles sea inferior al 45%.

Por último, para el almacenamiento de los fangos deshidratados se utiliza una tolva de 100 m³ de capacidad que proporciona un tiempo de retención de 9,5 días en temporada alta y 2,9 días en temporada baja. Este fango almacenado es recogido por una empresa externa que lo trata para utilizarlo como abono en ciertos cultivos.

4.3. Prescripciones técnicas para el tratamiento de regeneración

El tratamiento de regeneración de aguas tiene como objetivo mejorar la calidad del efluente de aguas residuales de la depuradora para cumplir con los requisitos de calidad de las aguas regeneradas.

Es preciso, por ello, que los equipos diseñados para procesos de depuración avanzados reduzcan la carga contaminante hasta valores admisibles en función del destino final del agua (usos urbanos, agrícolas, recreativos, industriales y ambientales). También es de vital importancia eliminar los microorganismos patógenos para asegurar la adecuada calidad sanitaria del agua. En la Figura M.2 se muestran las tecnologías más utilizadas para la regeneración de agua residual.

Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

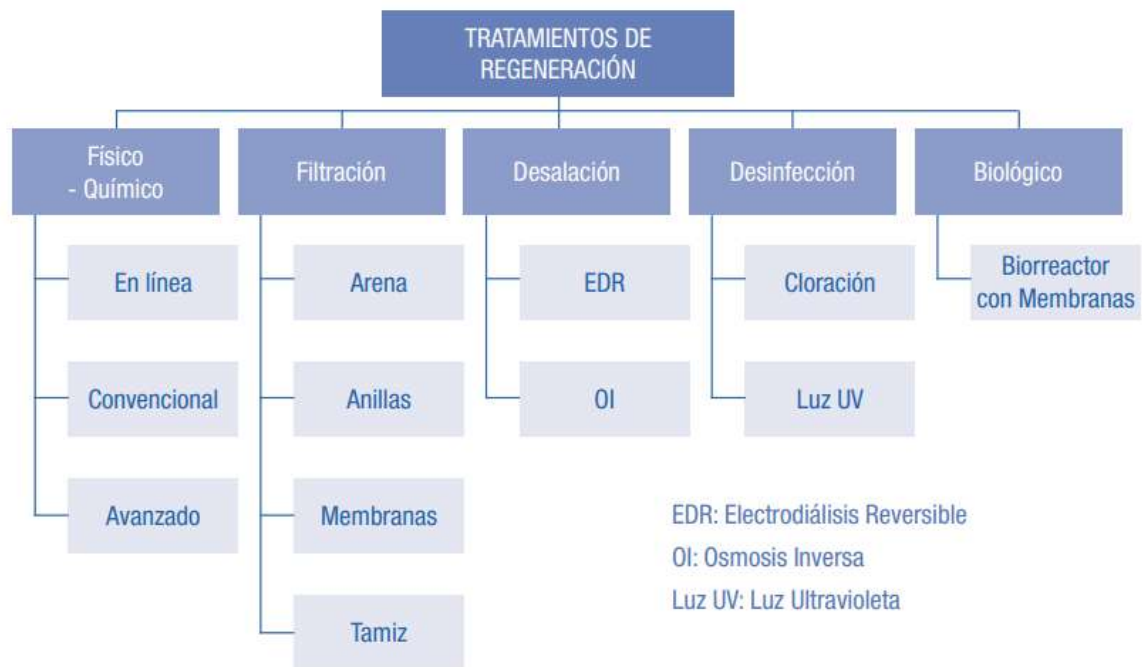


Figura M.2. Tecnologías de regeneración más empleadas. Fuente: Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007.

El tratamiento terciario debe ser diseñado en función del uso del agua regenerada debido a que los parámetros de calidad a conseguir son diferentes, según la regulación del RD de reutilización de aguas depuradas. En la tabla M.1 se muestran los tipos de calidad según los límites bacteriológicos del RD de reutilización.

Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

Tabla M.1. Tipos de calidad según los límites bacteriológicos del RD de reutilización. Fuente: Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007.

| USOS | Tipo de Calidad | <i>Escherichia coli</i> UFC/100 ml | Nematodos | <i>Legionella spp.</i> UFC/100 ml |
|---|-----------------|---------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| - Torres de refrigeración y condensadores evaporativos (3.2) | A | Ausencia | Ausencia | Ausencia |
| - Residenciales (1.1) | | Ausencia | < 1 huevo/10L | < 100 |
| - Recarga acuíferos inyección directa (5.2) | | Ausencia | < 1 huevo/10L | No se fija límite |
| - Servicios urbanos (1.2) - Riego agrícola sin restricciones (2.1) - Riego campos de golf (4.1) | B | < 100-200 | < 1 huevo/10L | < 100 |
| - Riego de productos agrícolas que no se consumen frescos. - Riego pastos animales productores. - Acuicultura (2.2) - Aguas proceso y limpieza industria alimentaria (3.1) | C | < 1.000 | < 1 huevo/10L | No se fija límite |
| - Recarga acuíferos por percolación a través del terreno (5.1) | | < 1.000 | No se fija límite | No se fija límite |
| - Riego cultivos leñosos, viveros y cultivos industriales (2.3) - Masas agua sin acceso público (4.2) | D | < 10.000 | < 1 huevo/10L | < 100 |
| - Riego de bosques y zonas verdes no accesible al público (5.3) | E | No se fija límite | No se fija límite | No se fija límite |
| - Ambientales: mantenimiento humedales, caudales mínimos (5.4) | F | La calidad se estudiará caso por caso | | |

Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

Según los tipos de calidad recogidos en la tabla anterior se proponen las siguientes líneas de tratamiento, incluyendo aquellos casos en los que sea necesario eliminar sales (ver figura M.3 y M.4).

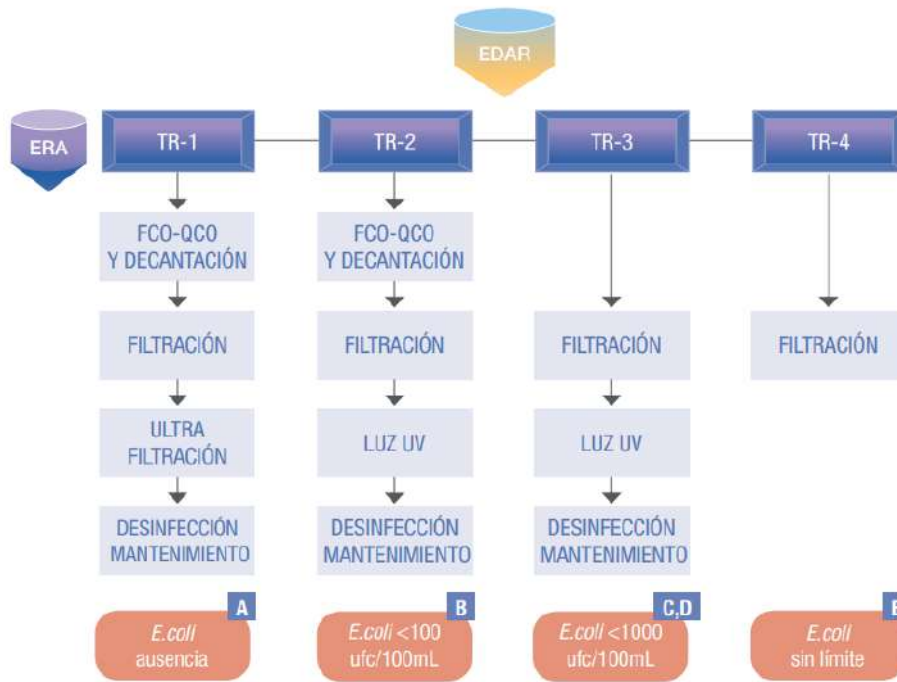


Figura M.3. Tratamientos propuestos sin desalación. Fuente: Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007.

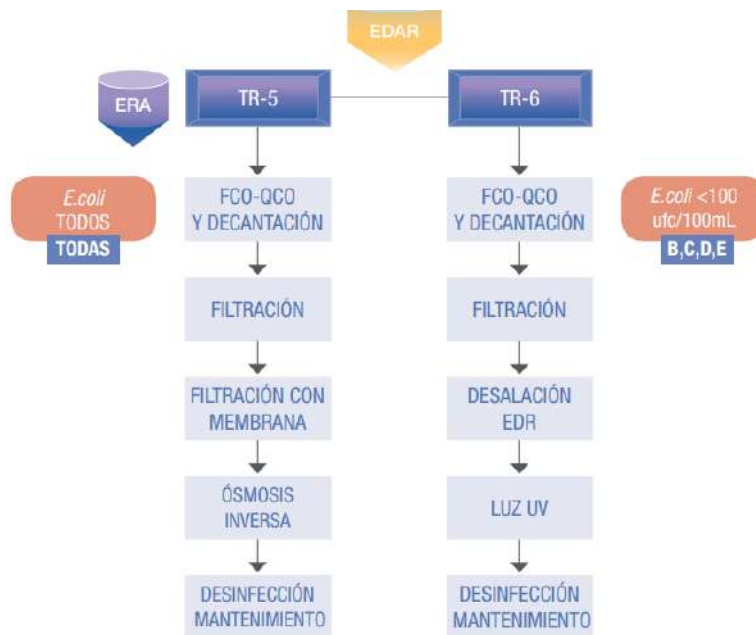


Figura M.4. Tratamientos propuestos con desalación. Fuente: Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007.

Los tratamientos TR-5 y TR-6 se proponen para aquellos casos en los que sea necesario eliminar sales del efluente, como es el caso de la EDAR de Oropesa, debido a que tiene una conductividad extremadamente alta que la inutiliza para ser usada como agua de riego de zonas urbanas. Por esto, se van a valorar únicamente estas dos propuestas de tratamiento.

El tratamiento TR-5 se compone de un físico-químico con decantación, una filtración, una filtración con membranas, una desalación mediante ósmosis inversa y una desinfección de mantenimiento.

Debido a la exigencia de la ósmosis inversa en cuanto a la calidad del influente, es necesaria la instalación de un tratamiento previo, siendo el más utilizado la ultrafiltración. Asimismo, se recomienda la inclusión de una etapa previa compuesta de un físico – químico con decantación lamelar más una filtración para proteger la membrana de ultrafiltración.

El tratamiento TR-6 se compone de físico-químico con decantación, filtración, desalación mediante EDR, desinfección con luz ultravioleta y desinfección de mantenimiento.

La desalación mediante EDR necesita un tratamiento previo para evitar problemas de funcionamiento. Para ello, se recomienda la instalación de un tratamiento físico-químico con decantación lamelar y una filtración que permita limpiezas en continuo.

5. Normas y referencias

5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

- UNE 157001-2014. Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.
- Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Ley 2/1992, de 26 de marzo, del Gobierno Valenciano, de saneamiento de aguas residuales de la Comunidad Valenciana.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
- UNE-EN17176, para tuberías y accesorios de PVC-O.
- UNE-EN10312, para tubos de acero inoxidable soldados para la conducción de líquidos acuosos incluyendo el agua destinada al consumo humano.
- Norma DIN 24255, por la que se define los campos de trabajo hidráulicos y principales dimensiones de las bombas centrífugas de aspiración axial.
- DIN8062, estándar para tuberías PVC de abastecimiento de aguas.

5.2. Bibliografía

- H. K. Shon, S. Vigneswaran, I. S. Kim, J. Cho, and H. H. Ngo, “*Effect of pretreatment on the fouling membranes: Application in biologically treated sewage effluent*”, J. Memb. Sci., vol.234, no. 1-2, pp. 111-120, 2004, doi: 10.1016/j.memsci.2004.01.015.
- 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., (2013). EQ1027. *Seguridad e Higiene en la Industria Química*. Universitat Jaume I materials.
- M. Díez González and C. Macorra García, “Utilización de membranas como tratamientos terciarios para regeneración de aguas residuales: membranas cerámicas”, *Tecnol. y Desarro.*, no. 12, p.4, 2014.
- L. Fan, T. Nguyen, F. A. Roddick, and J. L. Harris, “Low-pressure membrane filtration of secondary effluent in wáter reuse: Pretreatment for fouling reduction”, J. Memb. Sci., vol.320, no. 1-2, pp.135-142, 2008, doi: 10.1016/j.memsci.2008.03.058.
- American Water Works Association Research Foundation, Lyonnaise des Eaux, Water Research Comision of South Africa, (1998). *Tratamiento del agua por procesos de membrana. Principios, procesos y aplicaciones*. Ed. Mc Graw-Hill.
- S. Á. Blanco, J. Antonio, and M. Roca, “Procesos de membrana: Generalidades y aplicaciones al ciclo integral del agua.”

5.3. Webgrafía

- https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/GUIA%20RD%201620_2007__tcm30-213764.pdf
- https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Guia_desalacion.pdf
- <https://www.lenntech.es>
- Filtración de agua por membranas: Avance y Perspectiva. <https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/filtración-de-agua-por-membranas/>
- Tipos de membrana – Aedyr. <https://aedyr.com/tipos-membranas>
- “CATÁLOGO EN LÍNEA | TORAYFIL® Toray UF Membrane | PRODUCTOS | <https://www.toraywater.com/products/mf/catalog/hfu-2020an.html>
- https://www.toraywater.com/services/cleaning/cle_002.html
- <http://tiendahidroserver.es/deposito-vertical-con-patas/201-deposito-de-agua-vertical-con-patas-20000-litros.html>

5.4. Software empleado

- Microsoft Word 2011
- Microsoft Excel 2011
- AutoCAD 2008/2019
- Projection Tool for PVDF Hollow Fiber Membrane Module “HF-Series”

6. Definiciones y abreviaturas

6.1. Definiciones

- Sequedad: Es el porcentaje en peso de sólidos secos
- Estabilidad: Es el porcentaje de materia volátil sobre la materia seca
- Conductividad: Es la propiedad de todo elemento que tiene la facultad de conducir la electricidad.
- Turbidez: Es la medida del grado de transparencia que pierde el agua por la presencia de partículas en suspensión.
- Salinidad: Es el contenido de sal disuelta en un cuerpo de agua.
- pH: Es la medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución.
- Total de Sólidos Disueltos (TSD): Es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión micro-granular.
- Sólidos en suspensión (SS): Se refieren a pequeñas partículas sólidas que permanecen en suspensión en agua como un coloide o debido al movimiento del agua.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.
- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅): Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.
- Fouling: Es la deposición de partículas en superficies donde el ensuciamiento compromete la funcionalidad.

6.2. Abreviaturas

- EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales
- EBAR: Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales
- EDR: Electrodialisis Reversible
- UFC: Unidades Formadoras de Colonias
- NTU: Nephelometric Turbidity Unit
- SS: Sólidos en Suspensión
- TSD: Total de Sólidos Disueltos
- UF: Ultrafiltración
- OI: Ósmosis Inversa
- ED: Electrodialisis
- UV: Ultravioleta
- UVA: Ultravioleta A
- UVB: Ultravioleta B
- UVC: Ultravioleta C
- DBO₅: Demanda Biológica de oxígeno
- DQO: Demanda Química de oxígeno
- PVDF: Fluoruro de Polivinilideno
- TMC: Limpieza de Mantenimiento de Toray
- CIP: Limpieza con productos químicos
- FS: Factor de Seguridad
- Q: Caudal
- P: Potencia
- V: Volumen
- Ca²⁺: Calcio
- Mg²⁺: Magnesio
- Na⁺: Sodio
- CO₃²⁻: Carbonatos
- HCO₃⁻: Bicarbonatos
- Cl⁻: Cloro

Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua
regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

- SO_4^{2-} : Sulfatos
- NaClO: Hipoclorito de sodio
- FeCl_3 : Cloruro de hierro
- HNO_3 : Ácido nítrico
- NaOH: Hidróxido de sodio
- dS: Decisiemens
- m: metros
- mg: miligramos
- l: litros
- meq: miliequivalentes
- μm : micrómetros
- Å: Ångstrom
- *rev/min*: revoluciones/minuto
- *kW*: kilowatio

7. Requisitos de diseño

En este apartado se van a detallar las condiciones y características necesarias para el desarrollo del tratamiento terciario.

7.1. Caudales de entrada al tratamiento terciario

El caudal a la entrada del tratamiento terciario es el que proviene de los decantadores secundarios.

El caudal medio diario es de 21.000 m³/día, es decir 875 m³/h, pero el tratamiento terciario se va a dimensionar para hacer uso de un 20% del agua total que sale del tratamiento secundario. Así pues, se va reutilizar 4.200 m³/día, o lo que es igual, 175 m³/h.

7.2. Calidad del agua a tratar

Una vez el agua bruta ha pasado por cada uno de los procesos que se encuentran en la EDAR de Oropesa se dirige al tratamiento terciario con las características detalladas en la tabla M.2.

Tabla M.2. Características del agua a tratar.

| Parámetros | Valor |
|-------------------------|----------------------------|
| SS | 3-10 ppm |
| Turbidez | 2-5 NTU |
| Nematodos Intestinales | 6-10 huevos/10L |
| <i>Escherichia coli</i> | 30.000-70.000 UFC/100mL |

El agua que se va a tratar tiene una conductividad especialmente alta que roza valores de hasta 10 dS/m. Valor que supera en exceso el límite de 3dS/m para agua destinada al riego de zonas verdes urbanas.

7.3. Criterios de calidad para la reutilización de las aguas

Para poder reutilizar el agua depurada para riego de zonas verdes urbanas se deben cumplir los parámetros límite indicados en la tabla M.3 correspondiente a calidad 1.2 (Riego de zonas verdes urbanas: parques, campos deportivos y similares) del Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

Tabla M.3. Valor máximo admisible para cada parámetro en el efluente.

| Parámetros | Valor Máximo Admisible (VMA) |
|-------------------------|-------------------------------------|
| SS | 20 ppm |
| Turbidez | 10 NTU |
| Nematodos Intestinales | 1 huevo/10L |
| <i>Escherichia coli</i> | 200 UFC/100mL |

Además de los valores máximos admisibles dispuestos en la tabla anterior, existen otros parámetros que no se exigen a nivel de normativa de reutilización, pero que son imprescindibles para garantizar la calidad del agua de uso para riego de zonas verdes urbanas. Estos se exponen en la tabla M.4.

Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

Tabla M.4. Valores normales en aguas de riego.

| Parámetros | Símbolo | Unidad | Valores normales en aguas de riego |
|---------------------------|-------------|--------|------------------------------------|
| Conductividad eléctrica | CE_a | dS/m | 0 - 3 |
| Total sólidos en solución | TSD | mg/l | 0 - 2000 |
| Calcio | Ca^{2+} | meq/l | 0 - 20 |
| Magnesio | Mg^{2+} | meq/l | 0 - 5 |
| Sodio | Na^+ | meq/l | 0 - 40 |
| Carbonatos | CO_3^{2-} | meq/l | 0 - 0,1 |
| Bicarbonatos | HCO_3^- | meq/l | 0 - 10 |
| Cloro | Cl^- | meq/l | 0 - 30 |
| Sulfatos | SO_4^{2-} | meq/l | 0 - 20 |

8. Análisis de soluciones

En este apartado se van a desarrollar y analizar cuáles son los tratamientos más convenientes para el diseño del tratamiento terciario, según las características del agua a tratar. Como se ha visto en el apartado de requisitos de diseño, los valores del agua a tratar de sólidos suspendidos y turbidez ya cumplen los límites que exige la legislación para la reutilización de aguas depuradas, sin embargo, los valores de la conductividad y los microorganismos patógenos del agua (E. Coli y nematodos intestinales) no cumplen con lo exigido para considerarse un agua adecuada para el riego.

Como se ha visto en el apartado 4.3 (prescripciones técnicas para el tratamiento de regeneración) se ha llegado a la conclusión de que puede haber dos tipos de tratamiento posibles con las características que tiene la planta de Oropesa. Las dos opciones constarían de una primera etapa físico-química con decantación y una posterior filtración. Seguidamente, la opción TR-5 contaría con desalación por ósmosis inversa y la opción TR-6 contaría con desalación por electrodiálisis reversible con desinfección ultravioleta. Resumidamente:

Tratamiento TR-5 (Opción 1): Tratamiento físico-químico + Decantación + Filtración + Ósmosis inversa.

Tratamiento TR-6 (Opción 2): Tratamiento físico-químico + Decantación + Filtración + Electrodiálisis Reversible + Desinfección ultravioleta.

En los siguientes puntos se van a describir los procesos mencionados en los dos tipos de tratamiento.

8.1. Tratamiento físico- químico y decantación

El tratamiento físico-químico del agua residual tiene como finalidad, mediante la adición de ciertos productos químicos, la alteración del estado físico de estas sustancias que permanecerían por tiempo indefinido de forma estable para convertirlas en partículas susceptibles de separación por sedimentación o flotación. En el primer paso, la coagulación, se desestabilizan los coloides por neutralización de sus cargas.

Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

Posteriormente, en la floculación, se forman los flóculos como resultado de la colisión y adherencia entre partículas coaguladas, aumentando su volumen y peso de forma que puedan decantar.

Los coagulantes más comúnmente utilizados en la depuración de aguas residuales son el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato ferroso, sulfato y cloruro férricos.

Para el diseño de un proceso de coagulación-floculación es necesario llevar a cabo el ensayo Jar-test con la finalidad de determinar el tipo de coagulante óptimo, la dosis óptima de coagulante, el pH óptimo para el tratamiento, el tiempo de retención y la velocidad de agitación óptima que asegure una buena mezcla en el proceso de coagulación y un buen contacto entre las partículas en el proceso de floculación.

Una vez conocidas las dosis óptimas de coagulante y floculante y el caudal que se va a tratar se pueden diseñar los tanques de coagulación y floculación (ver figura M.5), donde se producirá una agitación con una velocidad específica.



Figura M.5. Ejemplo de tanque de coagulación y floculación. Fuente: Fotografía capturada en la EDAR de Castellón.

Tras realizar una coagulación y floculación se debe diseñar un decantador lamelar que permita que los flóculos formados en la etapa físico-química decanten y se produzca su posterior eliminación.

El decantador lamelar (ver figura M. 6) debe ser diseñado para la separación eficiente de sedimentos del agua en continuo, y deben tener dos propósitos fundamentales:

1. Aumentar la superficie de decantación
2. Obtener un flujo laminar

El caudal de entrada es canalizado a través de una tubería hasta la cámara de decantación, dónde se encuentra la distribución de lamelas que permiten aumentar la superficie efectiva de decantación. Con el paso del fluido entre las lamelas se produce la separación de los sólidos en suspensión que resbalan por la pendiente de las lamelas hacia el fondo del decantador mientras que el agua limpia sigue una trayectoria ascendente hacia la superficie superior del decantador.



Figura M.6. Decantador lamelar. Fuente: AEMA
(<http://aguasindustriales.es>)

8.2. Filtración

Esta etapa sirve como pretratamiento ya que asegura que se elimine o se reduzca al máximo el riesgo de atascamiento de las membranas por la acumulación de sustancias, materiales y microorganismos sobre su superficie. Las incrustaciones, como el atascamiento de sales, afectan drásticamente la vida útil y la eficiencia de las membranas, ya que empeora la calidad del agua tratada y genera un incremento de la presión necesaria para su funcionamiento.

La filtración que más suele emplearse en estos casos es la ultrafiltración.

La Ultrafiltración (UF) es un proceso de separación por membrana, dentro de la tecnología de membranas para el tratamiento de agua, que permite la separación mecánica de sólidos suspendidos o disueltos mediante un tamiz, utilizando la presión hidrostática para forzar el agua a través de una membrana semipermeable.

Las dos fases que están en contacto con la membrana son líquidas y se encuentran a distinta presión hidrostática. Ciertos componentes de la fase líquida se transferirán desde el lado de la alta presión hacia el de baja presión.

Las pequeñas partículas disueltas en el líquido pasan a través de la membrana porosa, mientras que las grandes moléculas disueltas, los coloides y los sólidos en suspensión, que no pasan a través de los poros, son retenidos (ver figura M.7).

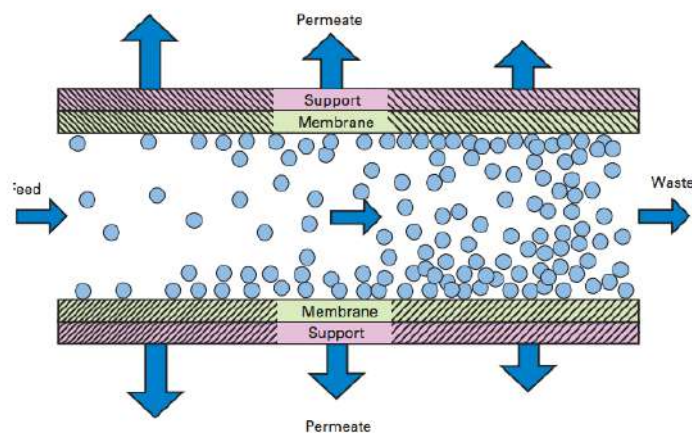


Figura M.7. Esquema de la ultrafiltración.

Las membranas de ultrafiltración tienen un tamaño de poro que permite separar tamaños de partículas de distinta naturaleza dentro del rango 0,04 y 0,2 μm .

8.3. Desalinización

Para la disminución de la conductividad del agua, se van a estudiar los siguientes tratamientos: ósmosis inversa y electrodiálisis.

8.1.1. Ósmosis inversa

El fenómeno de la ósmosis inversa (OI) se da cuando, a través de una membrana semipermeable, el agua fluye desde la solución de menor salinidad hasta otra de mayor concentración salina.

Según una regla fundamental de la naturaleza, este sistema intentará alcanzar el equilibrio, es decir, intentará alcanzar la misma concentración a ambos lados de la membrana. El flujo de agua desde la solución más diluida hacia la más concentrada se detendrá cuando se alcance un equilibrio entre ambas concentraciones. La fuerza que provoca ese movimiento se conoce como presión osmótica y está relacionada con la concentración de sales en el interior de ambas soluciones. La ósmosis inversa consiste en invertir este proceso aplicando una presión superior a la presión osmótica correspondiente, en el lado de la solución más concentrada. Con esto se consigue que la dirección del flujo del agua vaya del lado de la solución más concentrada a la solución más diluida. Ambos procesos se ven reflejados de forma gráfica en la figura M.8.

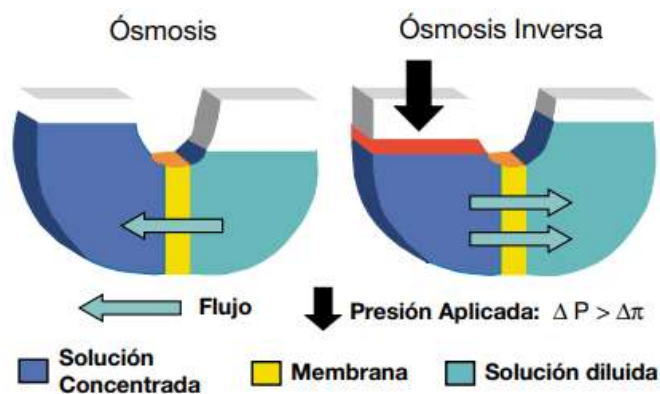


Figura M.8. Esquemas de los fenómenos de ósmosis natural y ósmosis inversa. Fuente: Guía de desalación, Ministerio de Sanidad y Política Social.

Las membranas de ósmosis inversa pueden tener distinta configuración según lo que mejor se adapte al proceso. Comercialmente se consideran cuatro configuraciones básicas:

1. Plato y Marco
2. Tubular
3. Fibra hueca
4. Arrollamiento en espiral

8.1.1.1. Configuración Plato – Marco y configuración Tubular.

Estas configuraciones corresponden al inicio de la tecnología de la ósmosis inversa. Son las configuraciones que se consideraron en un primer momento.

Ambas presentan menor densidad de empaquetado de membrana, con el consiguiente mayor coste económico, en comparación con configuraciones más modernas como la de arrollamiento en espiral y fibra hueca.

Este tipo de configuraciones suelen usarse en la industria alimentaria (por ejemplo, en concentraciones de zumos fruta) o en el tratamiento de aguas residuales.

La configuración “Plato – Marco” usa una membrana plana que se coloca en el centro de un marco, circular o rectangular, que actúa de soporte (ver figura M.9). Las membranas se disponen a ambos lados de un plato por el que se recoge el permeado producido.

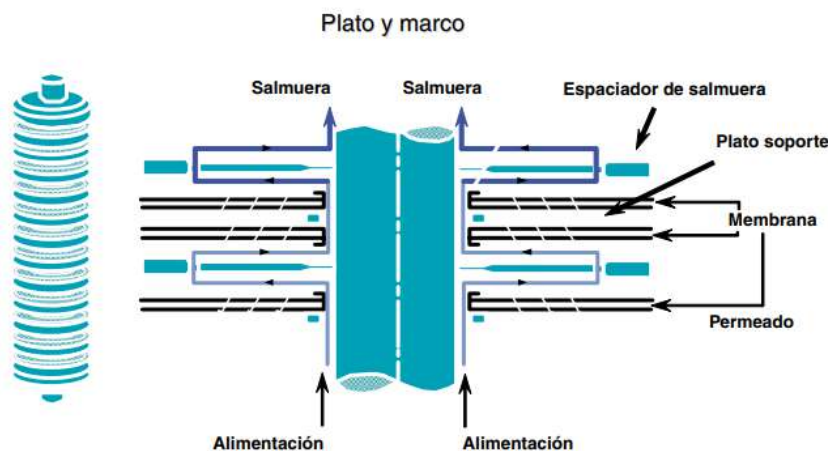


Figura M. 9. Esquema de la configuración "plato-marco". Fuente: Guía de la desalación, Ministerio de Sanidad y Política Social.

En la configuración tubular la membrana va alojada dentro de un tubo, normalmente de PVC, que soporta la presión. El agua alimenta a la membrana por su interior y el permeado se obtiene por la parte exterior de la misma manera que el tubo produce el permeado por su exterior que se recoge en el fondo del recipiente en el que va dispuesto dicho tubo.

8.1.1.2. Configuración Fibra hueca.

La fibra hueca se produce con su propia estructura soporte. Estas fibras son tan finas como el tamaño de un cabello humano ($84 \mu\text{m}$).

Las fibras se agrupan en tubos en forma de “U” con los extremos abiertos impregnados en una placa epoxy. El conjunto de fibras se encapsula dentro de un recipiente de presión con su punto de alimentación dispuesto en el centro de uno de los extremos (ver figura M.10).

El flujo dentro de la caja de presión se reparte de forma radial de modo que el permeado penetra a través de las paredes de la fibra y fluye por el hueco reuniéndose en el extremo opuesto de la caja de presión. El agua que no ha pasado a través de la membrana arrastra las sales hacia la salida del concentrado dispuesto en el extremo opuesto.

Como esta configuración tiene una alta densidad de empaquetamiento, se producen complicaciones a causa del ensuciamiento debido a que los sólidos en suspensión fluyen con mayor dificultad a través de las fibras.

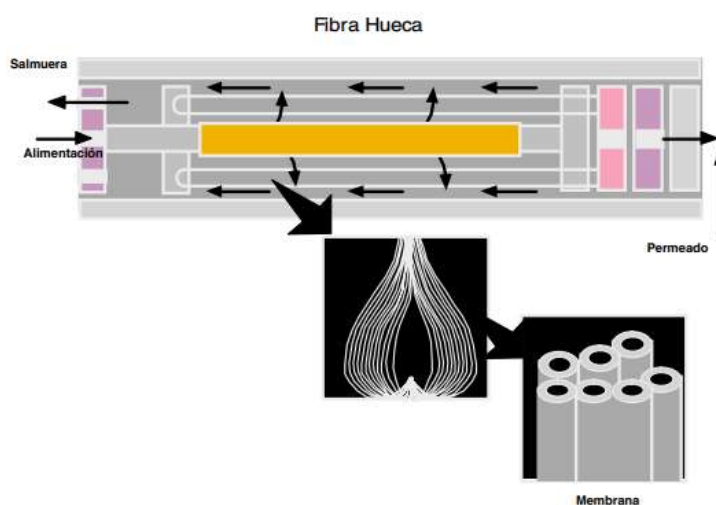


Figura M. 10. Esquema de la configuración fibra hueca. Fuente: Guía de desalación, Ministerio de Sanidad y Política Social.

8.1.1.3. Configuración en arrollamiento en espiral.

La configuración en arrollamiento en espiral (figura M.11) es la que más se está extendiendo actualmente. Se fabrican en forma de lámina sobre un material soporte. Dos de estas láminas u hojas se agrupan entre sí, pero opuestas y separadas por un espaciador que actúa como canal para el flujo de permeado. Ambos lados y uno de los extremos de este conjunto, se sellan mediante unos cordones o líneas de pegamento para formar un conjunto de varias capas a modo de sobre.

Estos elementos se disponen en recipientes cilíndricos conocidos como cajas de presión, capaces de soportar las elevadas presiones de operación. Parte del agua fluye a través de la membrana, recorre un camino espiral y es recogida en el tubo de permeado. El agua que no pasa a través de la membrana circula a lo largo del elemento paralelamente al tubo de permeado, arrastrado las sales hacia la salida de concentrado situada en el extremo opuesto de la caja de presión.

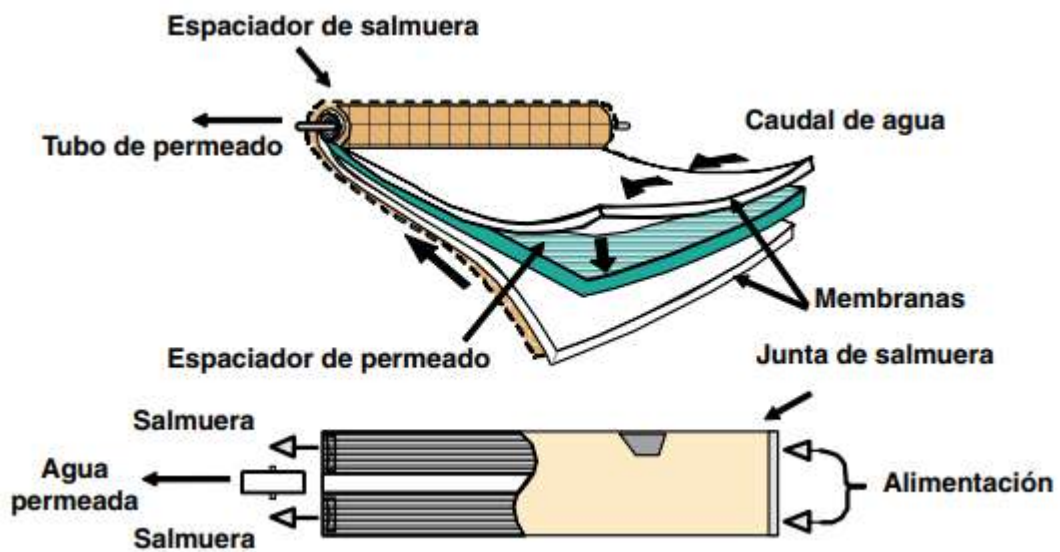


Figura M.11. Componentes de un elemento de ósmosis inversa de arrollamiento en espiral. Fuente: Guía de desalación, Ministerio de Sanidad y Política Social.

8.1.3. Electrodiálisis

La electrodiálisis (ED) es un proceso electroquímico empleado para la desalación de agua con alto contenido en sales disueltas (ver figura M.12).

El principio de funcionamiento de esta técnica es la transferencia de los iones disueltos desde el agua de aportación, a otra solución donde se concentra, a través de unas membranas selectivas al paso de cationes o aniones y mediante la aplicación de un campo eléctrico. Como resultado de este proceso se obtiene un agua producto con una concentración de sales menor que el agua de alimentación y un subproducto de rechazo, la salmuera, con una elevada concentración de sales. Las dos corrientes de agua fluyen en paralelo entre las membranas: el agua producto se desala progresivamente, mientras que la salmuera se va concentrando. Los cationes del agua a tratar atraviesan la membrana catiónica hacia el cátodo pasando a continuación a la salmuera. De similar manera, los aniones del agua a tratar atraviesan la membrana aniónica hacia el ánodo pasando después a la salmuera. Por lo tanto, en el proceso de electrodiálisis sólo se mueven a través de las membranas los sólidos disueltos, pero no el solvente (agua).

El sentido y la tasa del transporte de cada ion dependen de su carga y su movilidad, de la conductividad de la solución, de las concentraciones relativas, de la intensidad del campo eléctrico aplicado, y está estrechamente relacionado con las características de la membrana de intercambio iónico. La capacidad de eliminación puede aumentarse mediante la unión en serie de varias pilas.

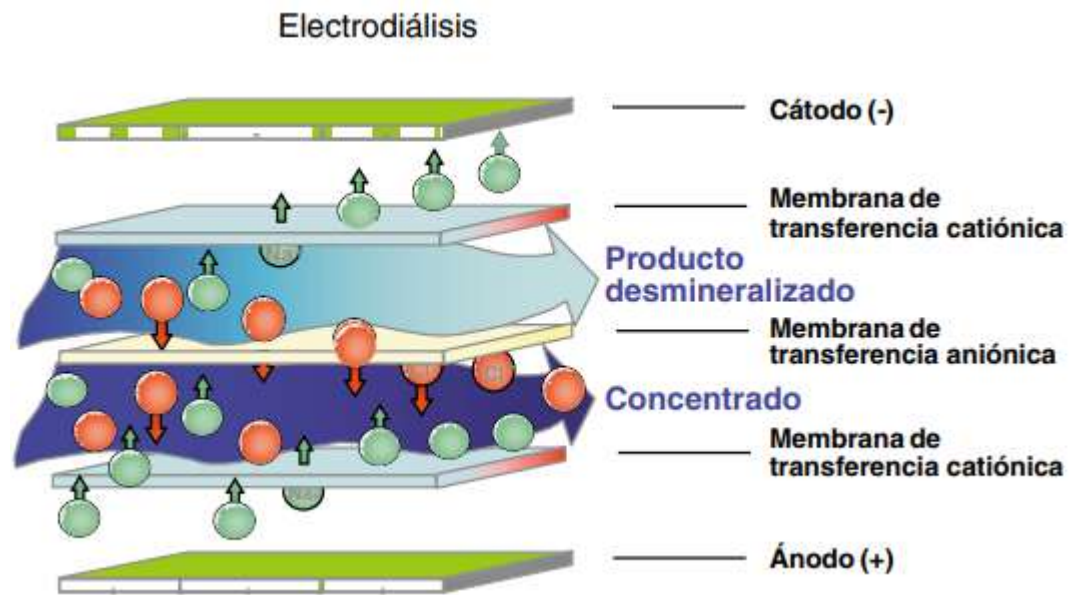


Figura M.12. Esquema del proceso de electrodiálisis. Fuente: Guía de desalación, Ministerio de Sanidad y Política Social.

8.4. Desinfección

En la etapa de desinfección se van a desarrollar dos métodos: desinfección con rayos ultravioletas (UV) y cloración. La EDAR de Oropesa posee un laberinto de cloración así que se podría aprovechar la instalación para el tratamiento terciario. No obstante, la implantación de estos dependerá del tratamiento anterior ya que, en procesos como la ósmosis inversa, se elimina casi un 99% de microorganismos, por lo que no sería necesaria la instalación de un proceso de desinfección.

8.2.1. Desinfección con rayos UV

La luz ultravioleta es esa porción del espectro electromagnético que se encuentra entre los rayos X y la luz visible. Se han definido cuatro regiones del espectro UV: UV al vacío entre 100 y 200 nm, UVC entre 200 y 280 nm, UVB entre 280 y 315 nm, y UVA entre 315 y 400 nm. Los ultravioletas eficaces en la desinfección se encuentran entre los 200 nm y 400 nm o bien entre los 2.000 y 4.000 Angstrom (Å), ($1\text{Å} = 10^{-6}\text{m}$).

Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

El espectro UV se puede dividir en:

- Ondas UV largas, (entre 3250 y 3900 Å). Esta longitud de onda se encuentra en la radiación solar, pero tienen un valor germicida escaso.
- Ondas UV medias, (entre 2950 y 3250 Å). Se encuentra en la radiación solar. Con tiempo de exposición suficiente tiene efectos germicidas.
- Ondas UV cortas, (entre 2000 y 2950 Å). Su generación es artificial y tiene efectos de destrucción de bacterias, virus, algas, esporas y otros gérmenes.

Los diseños de reactores UV pueden ser clasificados en sistemas de canal abierto, o sistemas de contacto en conducto cerrado.

Los sistemas de canal abierto son comunes en desinfección de aguas residuales y consisten en armazones de lámparas UV orientadas de forma vertical u horizontal al flujo de agua residual. Los sistemas cerrados sin contacto se usan para agua limpia o residual. Los sistemas cerrados de contacto consisten en lámparas UV colocadas dentro de camisas transmisoras de UV sumergidas dentro del flujo de agua (ver figura M.13).



Figura M.13. Lámparas UV montadas en canal. Imagen sacada en la EDAR de Castellón.

8.2.2. Cloración

El cloro es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual doméstica debido a que destruye los organismos inactivándolos mediante la oxidación del material celular.

Como ya se ha comentado anteriormente la depuradora dispone de un circuito de cloración (ver figura M.14), lo que hace que sea mucho más fácil implantarlo en el proceso terciario. El reactivo que se utiliza es el hipoclorito sódico (NaClO). Sus principales ventajas son el sencillo mantenimiento de las instalaciones y su buena relación calidad/precio, pero debe tenerse en cuenta que la instalación debe cumplir la normativa APQ-3, debido a que es un producto tóxico y peligroso, y necesita una plataforma para evitar que se descargue el producto.



Figura M.14. Circuito de cloración. Fuente: Foto sacada en la EDAR de Oropesa.

9. Resultados finales

Una vez analizadas todas las alternativas expuestas en el presente proyecto y de tener en cuenta las especificaciones requeridas para que sea posible la reutilización del agua de Oropesa para riego de zonas verdes, se ha concretado el diseño que se va describir a continuación.

El tratamiento terciario se va a alimentar con 175 m³/h del agua que sale del tratamiento secundario de la EDAR de Oropesa.

En primer lugar, el agua a reutilizar saldrá de uno de los decantadores que tiene la planta (el decantador número uno) y será impulsada mediante una bomba hasta la entrada de la ultrafiltración, proceso requerido para posibilitar el buen funcionamiento de la ósmosis inversa.

Acto seguido, el agua libre de sólidos en suspensión será impulsada hasta el proceso de ósmosis inversa, en el que se hará pasar mediante una bomba de alta presión para permitir la eliminación de sales. Este proceso es ampliamente importante debido a la alta conductividad que posee el agua residual de Oropesa, sin el cual quedaría imposibilitada la reutilización de esta agua con fines relacionados al riego de zonas verdes urbanas.

Además, debido a la delicadeza de los procesos de ultrafiltración y ósmosis inversa se ha de llevar una limpieza de las membranas con el fin de mantener las instalaciones en buen estado durante el máximo tiempo posible. Así pues se instalarán cuatro tanques, donde dos de ellos servirán para guardar los reactivos necesarios para la limpieza de las membranas, otro servirá para utilizar la misma agua que sale del proceso de ultrafiltración como agua para la limpieza y el último, que servirá para crear las disoluciones con las que se realizará finalmente las limpiezas diarias, mensuales y anuales de sendos procesos.

Finalmente, el agua que salga de la ósmosis inversa pasará por el circuito de cloración ya instalado en la planta para evitar así cualquier tipo de bacteria no deseada una vez el agua abandone la EDAR de Oropesa y se empiece a reutilizar como agua para riego.

Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

El proceso descrito se puede observar en la figura M.15.

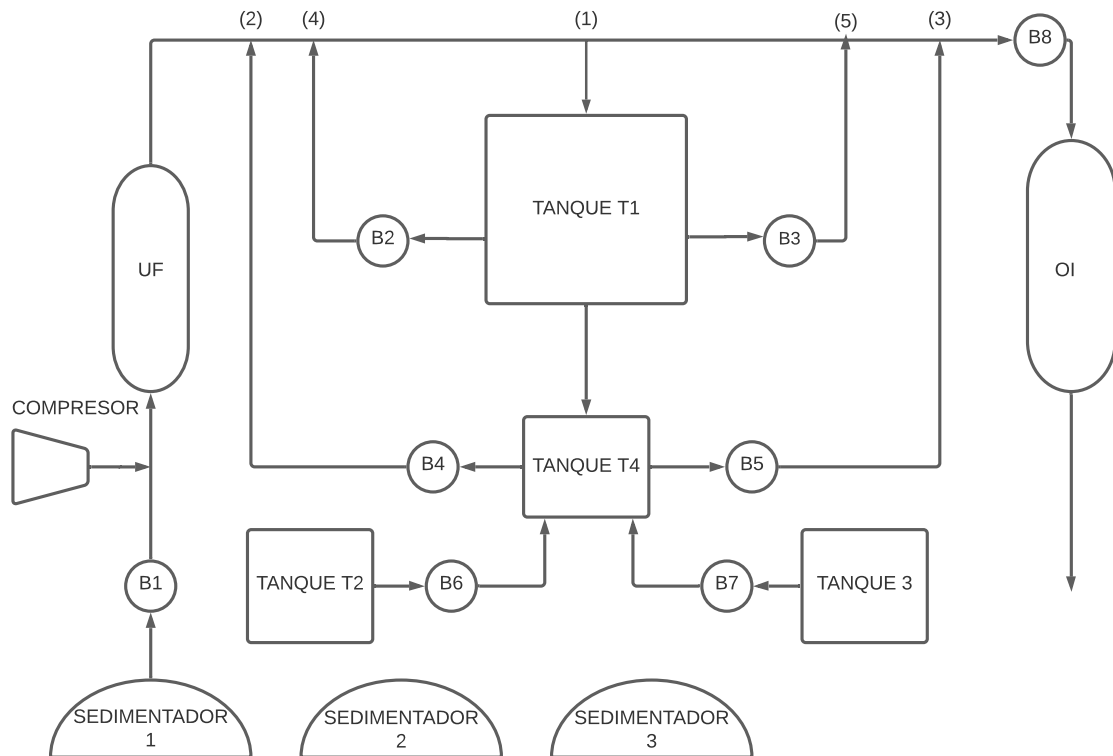


Figura M.15. Esquema del tratamiento terciario diseñado para la planta de Oropesa.

10. Planificación

Para realizar la planificación del proyecto se van a tener en cuenta las diversas fases y la duración de estas. Se muestran en la tabla M.5.

Tabla M.5. Planificación del proyecto.

| Fase | Descripción | Duración (Días laborables) |
|-------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Entrega y aceptación del proyecto | 15 |
| 2 | Preparación de la zona de instalación | 7 |
| 3 | Instalación del sistema de bombeo | 35 |
| 4 | Instalación de las conducciones | 30 |
| 5 | Instalación de equipos y depósitos | 50 |
| 6 | Instalación eléctrica | 6 |
| 7 | Automatización | 10 |
| 8 | Puesta en marcha y prueba | 15 |

Se ha estimado una duración del proyecto de 168 días consecutivos, teniendo en cuenta posibles retrasos (recepción de equipo y material, condiciones meteorológicas, etc.) y una jornada laboral de 8 horas diarias, de lunes a viernes. La fecha de inicio es 15/09/2021 y la fecha fin es 06/03/2022. Para observar la planificación de manera gráfica se ha representado las fases en el diagrama de Gantt mostrado en la figura M.16.

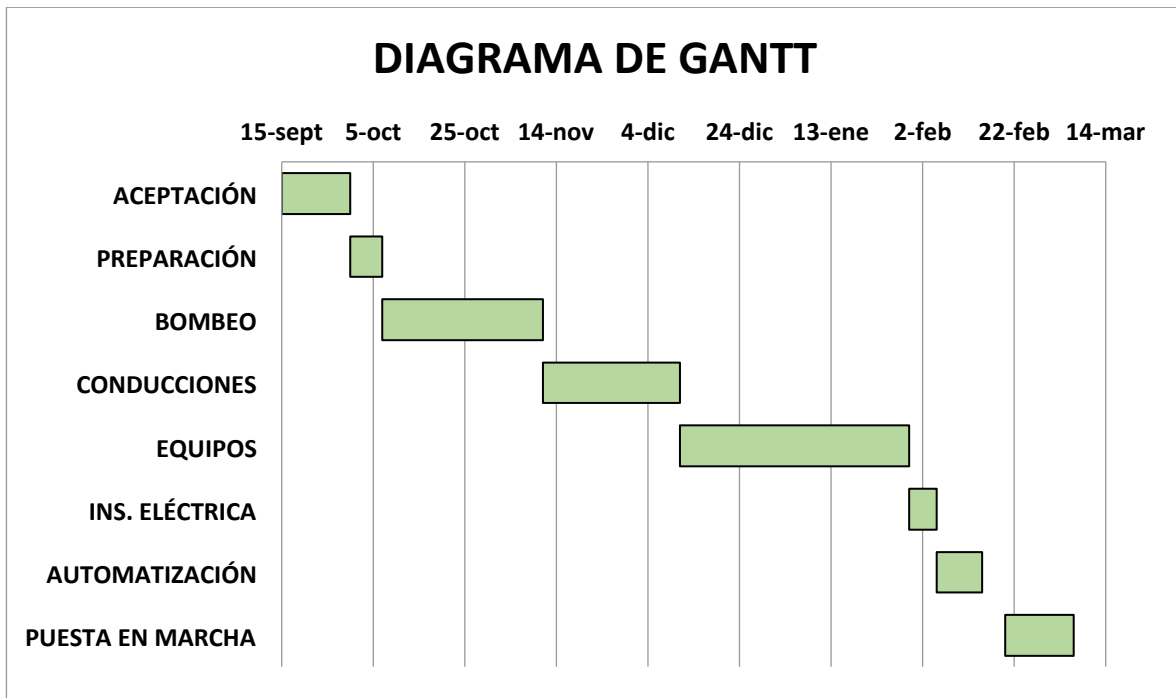


Figura M.16. Diagrama de Gantt.

11. Orden de prioridad entre los documentos básicos

La memoria del proyecto, se estructurará de acuerdo con la norma UNE 157001-2014, “Criterios generales para la elaboración de los documentos que constituyen un proyecto técnico”.

Esta norma tiene por objeto establecer las consideraciones generales que permitan precisar las características que deben satisfacer los proyectos de productos, obras; y edificios (excluidas viviendas), instalaciones (incluidas instalaciones de viviendas), servicios o software (soporte lógico), para que sean conformes al fin a que están destinados.

El Proyecto constará de la siguiente estructura documental:

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

12. Estudio de viabilidad económica

El estudio de viabilidad económica es el análisis que permite conocer la rentabilidad de un proyecto y decidir a partir de ese si el proyecto sigue adelante o no.

12.1. Resumen del presupuesto

En este apartado se recogen el resumen del Presupuesto de Ejecución Material (PEM) descrito en el Anexo I apartado 6.1 Instalación dentro del punto 6 correspondiente al Estudio Económico. Todos los datos que se muestran en la tabla M.6 tienen el IVA incluido, lo que constituye el precio final de estos.

Tabla M.6. PEM.

| Partida | Precio total (€) |
|----------------------------|-------------------------|
| Equipos principales | 235.675,00 |
| Bombas | 7.854,10 |
| Tanques | 59.214,70 |
| Conducciones | 1.676,57 |
| Accesorios | 5.291,19 |

En la tabla M.7 se indica el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC), que es la suma del PEM, gastos generales (15% del PEM) y el beneficio industrial (6% PEM).

Tabla M.7. PEC.

| | |
|-----------------------------|---------------------|
| PEM | 309.711,56 € |
| Gastos Generales | 46.456,73 € |
| Beneficio Industrial | 18.582,69 € |
| PEC | 374.750,98 € |

El presupuesto total del proyecto *Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas* asciende a TRES CIENTOS SETENTA Y CUATRO MIL SETECIENTOS CINCUENTA EUROS CON NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS.

12.2. Presupuesto de explotación

12.2.1. Inversión inicial

La inversión inicial corresponde al presupuesto material, gastos generales y beneficio industrial, o lo que es lo mismo, el PEC. Así pues la inversión inicial es de 374.750,98 €.

12.2.2. Gastos directos

Los gastos directos son aquellos que tienen que ver con la actividad industrial de la planta. Tales como el uso de reactivos y el coste eléctrico, cuyos valores se encuentran descritos en el Anexo I apartado 6.2. El valor de los gastos directos es de 1.104.858,85 €/año.

12.2.3. Amortización

La amortización hace referencia a la pérdida del valor de los activos o pasivos con el paso del tiempo. Para el cálculo de este valor que se encuentra en el apartado 6.1.7 del Anexo I se ha tenido en cuenta la vida útil de los equipos que se ha considerado en 20 años. Por ello, el valor de la amortización es de 15.485,58 €/año.

12.2.4. Gastos indirectos

En cuanto a los gastos indirectos como pueden ser alumbrado, operarios de la planta, etcétera, se considera que la EDAR de Oropesa ya cuenta con estos gastos, por lo que la implementación del tratamiento terciario no generaría más gastos indirectos de los ya existentes.

12.2.5. Gastos totales

Puesto que se ha considerado que no hay gastos indirectos, los gastos totales corresponden a los gastos directos y asciende a un valor de 1.104.858,85 €/año.

12.2.6. Ingresos

Para saber los ingresos de la planta se ha realizar una estimación del precio de venta del agua. Así que lo primero será conocer el coste de producción del agua. Se realizará dividiendo el gasto total anual por la producción de agua anual.

$$4200 \frac{m^3}{día} \cdot 365 \frac{días}{año} = 1.533.000 \frac{m^3}{año}$$

$$Coste\ de\ producción = \frac{1.104.858,85}{1.533.000} = 0,72 \frac{€}{m^3}$$

El coste de producción por metro cuadrado es de 0,72 € y tras revisar los datos recogidos por el INE de 2016 se estima el precio del agua en 1,31€/m³. Por lo que se puede calcular los ingresos del primer año como se muestra a continuación.

$$1.533.000 \frac{m^3}{año} \cdot 1,31 \frac{€}{m^3} = 2.008.230 \text{ €/año}$$

12.2.7. Beneficio bruto

Para el cálculo del beneficio bruto se tiene en cuenta un IPC (Índice de Precios de Consumo) de 1,76%. Se construye la tabla M.8 donde se expresa el beneficio bruto de 20 años desde la puesta en marcha del proyecto.

Tabla M.8. Beneficio bruto anual.

| Año | Ingresos (€) | Gastos totales (€) | Beneficios brutos (€) |
|-------------|---------------------|---------------------------|------------------------------|
| 2022 | 2.008.230 | 1.104.858,85 | 887.885,57 |
| 2024 | 2.079.541,77 | 1.144.092,12 | 919.964,06 |
| 2026 | 2.153.385,79 | 1.184.718,56 | 953.181,66 |
| 2028 | 2.229.852,01 | 1.226.787,63 | 987.578,8 |
| 2030 | 2.309.033,52 | 1.270.350,57 | 1.023.197,37 |
| 2032 | 2.391.026,74 | 1.315.460,41 | 1.060.080,75 |
| 2034 | 2.475.931,53 | 1.362.172,09 | 1.098.273,86 |
| 2036 | 2.563.851,26 | 1.410.542,5 | 1.137.823,19 |
| 2038 | 2.654.893,01 | 1.460.630,52 | 1.178.776,9 |
| 2040 | 2.749.167,62 | 1.512.497,16 | 1.221.184,88 |

12.2.8. Beneficio neto

El beneficio neto se calcula restándole al beneficio bruto la parte correspondiente de impuestos (en este caso el 25% de los beneficios brutos). De tal forma que se obtiene la tabla M.9.

Tabla M.9. Beneficio neto anual.

| Año | Beneficios brutos (€) | Beneficios netos (€) |
|-------------|------------------------------|-----------------------------|
| 2022 | 887.885,57 | 665.914,18 |
| 2024 | 919.964,06 | 689.973,05 |
| 2026 | 953.181,66 | 714.886,24 |
| 2028 | 987.578,8 | 740.684,1 |
| 2030 | 1.023.197,37 | 767.398,03 |
| 2032 | 1.060.080,75 | 795.060,57 |
| 2034 | 1.098.273,86 | 823.705,39 |
| 2036 | 1.137.823,19 | 853.367,39 |
| 2038 | 1.178.776,9 | 884.082,68 |
| 2040 | 1.221.184,88 | 915.888,66 |

12.2.9. Flujo de caja

El flujo de caja hace referencia a las salidas y entradas netas de dinero que tiene una empresa o proyecto en un período determinado. En la tabla M.10 están expresados los flujos de caja de 20 años.

Tabla M.10. Flujo de caja anual.

| Año | Beneficios netos (€) | Amortizaciones (€) | Flujo de caja (€) |
|-------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 2022 | 665.914,18 | 15.485,58 | 693.013,94 |
| 2024 | 689.973,05 | 15.485,58 | 693.252,45 |
| 2026 | 714.886,24 | 15.485,58 | 693.491,05 |
| 2028 | 740.684,1 | 15.485,58 | 693.729,73 |
| 2030 | 767.398,03 | 15.485,58 | 693.968,49 |
| 2032 | 795.060,57 | 15.485,58 | 694.207,34 |
| 2034 | 823.705,39 | 15.485,58 | 694.446,27 |
| 2036 | 853.367,39 | 15.485,58 | 694.685,28 |
| 2038 | 884.082,68 | 15.485,58 | 694.924,38 |
| 2040 | 915.888,66 | 15.485,58 | 695.163,57 |

12.2.10. Valor Actual Neto

El VAN (Valor Actual Neto) corresponde al valor presente de los flujos de cajas netos (ingresos-egresos) originados por una inversión.

Para calcular el VAN se utiliza la ecuación (1).

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

Donde:

I_0 es el valor de desembolso inicial de la inversión.

FC_n representa los flujos de caja en cada periodo n .

i_r es la tasa de crecimiento.

n es el número de periodos considerados.

Según sea el valor del VAN se puede interpretar de la siguiente manera:

$VAN > 0$ La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida, por lo que el proyecto puede aceptarse.

$VAN = 0$ La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas. Dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida, la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

$VAN < 0$ La inversión produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida, por lo que el proyecto debería rechazarse.

Así pues en la tabla M.11 se van a detallar los valores que se obtienen, así como el valor final de VAN teniendo en cuenta una tasa de crecimiento del 2,5%.

Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

Tabla M.11. Valor Actual Neto.

| Año | Flujo de caja (€) | $(1 + i_r)^n$ | $FC/(1 + i_r)^n$ (€) |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------|--|
| 2022 | 693.013,94 | 1 | 693.013,94 |
| 2024 | 693.252,45 | 1,0506 | 659.847,67 |
| 2026 | 693.491,05 | 1,1038 | 628.268,66 |
| 2028 | 693.729,73 | 1,1597 | 598.200,97 |
| 2030 | 693.968,49 | 1,2184 | 569.572,26 |
| 2032 | 694.207,34 | 1,2801 | 542.313,66 |
| 2034 | 694.446,27 | 1,3449 | 516.359,61 |
| 2036 | 694.685,28 | 1,413 | 491.647,67 |
| 2038 | 694.924,38 | 1,4845 | 468.118,39 |
| 2040 | 695.163,57 | 1,5597 | 445.715,18 |
| VAN= 10.715.403,48 € | | | |

El VAN ha resultado ser positivo por lo que se puede confirmar que la rentabilidad del proyecto es favorable.

13. Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura M. 1. Diagrama de proceso de la EDAR de Oropesa. | 5 |
| Figura M. 2. Tecnologías de regeneración más empleadas. Fuente: Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007. | 7 |
| Figura M. 3. Tratamientos propuestos sin desalación. | 9 |
| Figura M. 4. Tratamientos propuestos con desalación. | 9 |
| Figura M. 5. Ejemplo de tanque de coagulación y floculación. | 21 |
| Figura M. 6. Decantador lamelar. | 22 |
| Figura M. 7. Esquema de ultrafiltración. | 23 |
| Figura M. 8. Esquemas de los fenómenos de ósmosis natural y ósmosis inversa. | 24 |
| Figura M. 9. Esquema de la configuración "plato-marco". | 25 |
| Figura M. 10. Esquema de la configuración fibra hueca. | 26 |
| Figura M. 11. Componentes de un elemento de ósmosis inversa de arrollamiento en espiral. | 27 |
| Figura M. 12. Esquema del proceso de electrodiálisis. | 29 |
| Figura M. 13. Lámparas UV montadas en canal. | 30 |
| Figura M. 14. Circuito de cloración. | 31 |
| Figura M. 15. Esquema del tratamiento terciario diseñado para la planta de Oropesa. | 33 |
| Figura M. 16. Diagrama de Gantt. | 35 |

14. Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla M. 1. Tipos de calidad según los límites bacteriológicos del RD de reutilización. | 9 |
| Tabla M. 2. Características del agua a tratar. | 18 |
| Tabla M. 3. Valor máximo admisible para cada parámetro en el efluente. | 9 |
| Tabla M. 4. Valores normales en aguas de riego. | 20 |
| Tabla M. 5. Planificación del proyecto. | 35 |
| Tabla M. 6. PEM. | 38 |
| Tabla M. 7. PEC. | 39 |
| Tabla M. 8. Beneficio bruto anual. | 41 |
| Tabla M. 9. Beneficio neto anual. | 42 |
| Tabla M. 10. Flujo de caja anual. | 43 |
| Tabla M. 11. Valor Actual Neto. | 45 |

3. Anexos

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| ANEXO I. CÁLCULOS | 1 |
| 1. Elección del tratamiento terciario | 1 |
| 1.1. Características del agua de entrada y de salida | 1 |
| 1.2. Caudal de entrada al tratamiento terciario..... | 5 |
| 1.3. Propuestas para el tratamiento terciario | 5 |
| 1.4. Método de jerarquías analíticas para la selección del tratamiento terciario..... | 7 |
| 2. Dimensionamiento del tratamiento terciario | 14 |
| 2.1. Coagulación-floculación y decantación | 14 |
| 2.1.1. Experimento Jar-Test | 14 |
| 2.2. Filtración | 20 |
| 2.3. Ultrafiltración | 20 |
| 2.3.1. Selección de la membrana..... | 20 |
| 2.3.2. Diagrama de proceso de ultrafiltración | 29 |
| 2.3.3. Limpieza de contralavado con agua de permeado (backwash)..... | 30 |
| 2.3.4. Limpieza TMC | 31 |
| 2.3.5. Limpieza CIP..... | 33 |
| 2.3.6. Volumen total del tanque de agua de retrolavado para limpieza (T1) | 35 |
| 2.3.6. Volumen total del tanque de hipoclorito de sodio (T2) | 36 |

| | |
|--|----|
| 2.3.7. Volumen total del tanque de ácido nítrico (T3) | 36 |
| 2.3.8. Volumen total del tanque de preparación de las disoluciones de limpieza (T4)..... | 36 |
| 2.3.9. Resumen dimensionamiento de los tanques de ultrafiltración | 37 |
| 2.4. Ósmosis inversa..... | 38 |
| 2.4.1. Selección de la membrana..... | 38 |
| 2.4.2. Limpieza mediante procedimiento de enjuague (<i>flushing procedure</i>)..... | 41 |
| 2.4.2. Limpieza CIP de las membranas de ósmosis inversa..... | 42 |
| 3. Diseño de conducciones | 43 |
| 3.1. Tramo 1 | 46 |
| 3.2. Tramo 2 | 47 |
| 3.3. Tramo 3 | 48 |
| 3.4. Tramo 4 | 48 |
| 3.5. Tramo 5 | 48 |
| 3.6. Tramo 6 | 48 |
| 3.7. Tramo 7 y 8 | 49 |
| 3.8. Tramo 9 | 50 |
| 3.9. Tramo 10 y 11 | 50 |
| 3.10. Tramo 12 y 13 | 51 |
| 3.11. Resumen del diseño de conducciones | 52 |
| 4. Bombas..... | 53 |

| | |
|---|----|
| 4.1. Bomba B1 (tramo 1-2) | 56 |
| 4.2. Bomba B2 y B3 (tramos 7 y 8) | 59 |
| 4.3. Bomba B4 y B5 (tramos 10 y 11) | 60 |
| 4.4. Bombas B6 y B7 (tramos 12 y 13)..... | 61 |
| 4.5. Bomba B8 (tramo 3-4) | 62 |
| 4.6. Resumen de las bombas | 62 |
| 5. Instrumentación..... | 63 |
| 5.1. Válvulas..... | 63 |
| 5.2. Caudalímetros..... | 65 |
| 5.3. Manómetros..... | 66 |
| 5.4. Controladores PID..... | 67 |
| 5.5. Sensores..... | 68 |
| 5.5.1. Sensor de temperatura | 68 |
| 5.5.2. Sensor de nivel | 68 |
| 5.5.3. Sensor de pH | 69 |
| 5.6. Compresor | 69 |
| 6. Estudio económico | 70 |
| 6.1. Instalación | 70 |
| 6.1.1. Equipos principales | 70 |
| 6.1.2. Bombas..... | 71 |

| | |
|---|-----|
| 6.1.3. Tanques | 72 |
| 6.1.4. Conducciones | 73 |
| 6.1.5. Accesorios | 74 |
| 6.1.6. Coste total de la instalación..... | 75 |
| 6.1.7. Coste anual de la instalación | 75 |
| 6.2. Operación | 75 |
| 6.2.1. Reactivos | 75 |
| 6.2.2. Coste eléctrico | 76 |
| 6.2.3. Coste total de operación | 78 |
| 6.3. Coste total anual | 78 |
| 7. Estudio de Seguridad y Salud..... | 79 |
| 8. Índice de figuras | 86 |
| 9. Índice de tablas..... | 87 |
| ANEXO II. RESULTADOS OBTENIDOS DEL SOFTWARE TORAY PARA LA MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN | 90 |
| ANEXO III. CATÁLOGOS DE LOS EQUIPOS..... | 94 |
| Membrana de ultrafiltración..... | 94 |
| Membrana de ósmosis inversa | 96 |
| Electrobomba MN65-200B (B1 y B8)..... | 98 |
| Electrobomba P5S-150/5T (B2 y B3) | 100 |
| Bombas CM65-125B (B4 y B5) y CM40-200A (B6 y B7) | 103 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| Válvula de diafragma | 105 |
| Válvula de globo | 105 |
| Válvula de retención..... | 107 |
| Caudalímetro | 108 |
| Manómetro | 109 |
| Sensor de nivel | 110 |
| Sensor de temperatura | 111 |
| Controlador PID EP66 IP67 | 112 |
| Compresor | 114 |

ANEXO I. CÁLCULOS

1. Elección del tratamiento terciario

1.1. Características del agua de entrada y de salida

Para conocer cuáles son los procesos que se deben incorporar al tratamiento terciario es necesario conocer las características con las que entra y ha de salir el agua para poder reutilizarse como agua de riego.

Según el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, los límites de vertido son los que se encuentran en la tabla A.1.

Tabla A.1. Límites de vertido según R.D. Ley 11/95 y R.D. 509/96.

| Parámetro | Concentración | %Reducción |
|------------------|-----------------------------|------------|
| DBO ₅ | 25 mg de O ₂ /l | 70-90 |
| DQO | 125 mg de O ₂ /l | 75 |
| S.S. | 35 mg/l | 90 |
| P total | 2 mg/l | 80 |
| N total | 15 mg/l | 70-80 |

Los límites normales con los que suele salir el agua de Oropesa al cauce receptor se encuentran en la tabla A.2.

Tabla A.2. Valores normales de salida del agua del proceso sin tratamiento terciario.

| Parámetro | Concentración | %Reducción |
|------------------------|-------------------------------|-------------------|
| DBO₅ | 1-5 mg de O ₂ /l | 70-90 |
| DQO | 20-50 mg de O ₂ /L | 75 |
| S.S. | 3-10 mg/L | 90 |
| P total | 0,2-1 mg/L | 80 |
| N total | 3-6mg/L | 70-80 |

Como se puede observar en la tabla anterior, los valores a la salida del tratamiento actual (sin tratamiento terciario) cumplen con las exigencias de la normativa vigente, estando muy por debajo de los límites establecidos.

A continuación se exponen en la tabla A.3 los límites que se exigen en el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas para el uso previsto del agua regenerada. En este caso, se requiere el uso del agua regenerada con calidad 1.2 denominada como agua de servicios, en los que incluye riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares), baldeo de calles, sistemas contra incendios y lavado industrial de vehículos.

Tabla A.3. Valores límite para la reutilización exigidos por el R.D. 1620/2007

| Nematodos intestinales | Escherichia Coli | Sólidos en suspensión (S.S.) | Turbidez | Otros criterios |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------|------------------------|
| 1 huevo/10L | 200 UFC/100mL | 20 mg/L | 10 UNT | 100 UFC/L |

Además de los valores límite expresados en la tabla anterior, existen otros parámetros que son imprescindibles para garantizar la calidad del agua de uso de riego de zonas verdes urbanas. Los valores de los parámetros de calidad óptimos se exponen en la tabla A.4.

Tabla A.4. Contenido de sales óptimo para garantizar la calidad del agua de riego.

| Parámetros | Símbolo | Unidad | Valores normales en aguas de riego |
|---------------------------|-----------------|---------------|---|
| <u>Contenido en sales</u> | | | |
| Conductividad eléctrica | CE _a | dS/m | 0 - 3 |
| Total sólidos en solución | TSD | mg/l | 0 - 2000 |

El valor de la conductividad es también un valor exigido por el R.D. 1620/2007. Si no se puede garantizar que el agua tendrá una conductividad por debajo de 3 dS/m, se vería afectado cualquier cultivo que se regase con esta agua regenerada.

Tras realizar el seguimiento diario del agua de Oropesa durante tres meses, y observando los archivos de la conductividad del agua de varios años, se ha detectado que la conductividad oscila siempre entre 9 y 10 dS/m. Estos valores tan extremadamente altos, se deben a la existencia de infiltraciones de agua del mar por encima del nivel freático, lo que ocasiona grandes problemas a la depuradora y también supone todo un reto para diseñar un tratamiento terciario para la planta, ya que requiere un proceso de desalación.

Por otro lado, algunos de los valores que actualmente posee el agua de salida de la planta no cumplen los valores que se exigen para la reutilización de aguas como se puede comprobar en la tabla A.5. Los valores que no cumplen con las exigencias son: nematodos intestinales y escherichia coli, lo cual va implicar su estudio y tratamiento con la idea de cumplir el objetivo del presente proyecto.

Tabla A.5. Valores de salida de planta sin tratamiento terciario.

| Nematodos intestinales | Escherichia Coli | Sólidos en suspensión (S.S.) | Turbidez | Otros criterios |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------|------------------------|
| 6-10 huevos/10L | 30.000-70.000 UFC/100mL | 3-10 mg/L | 2-5 UNT | 0 UFC/L |

1.2. Caudal de entrada al tratamiento terciario

La EDAR de Oropesa está diseñada para tratar 21.000 m³ diariamente, o lo que es lo mismo, para 875 m³/h. Tras estudiar varias opciones, se ha considerado utilizar solo un 20% de este caudal de salida como entrada al tratamiento terciario, ya que, si se utilizara todo el caudal las dimensiones de los equipos serían demasiado grandes para el espacio del que dispone la planta, consecuentemente, el caudal de entrada del tratamiento terciario va a ser de 4.200 m³/día que traducido a horas son 175 m³/h. Además, con estos 4.200 m³/día se puede abastecer adecuadamente el riego de la población de Oropesa.

1.3. Propuestas para el tratamiento terciario

En este apartado se van a nombrar las propuestas de tratamiento terciario y cual será la que vaya más acorde con el proceso que se va a diseñar.

Tras analizar múltiples depuradoras con condiciones parecidas a la EDAR de Oropesa se han previsto, por un lado, cuatro propuestas de tratamiento terciario sin desalación (ver figura A.1), y por otro, dos propuestas para tratamiento con desalación (ver figura A.2).

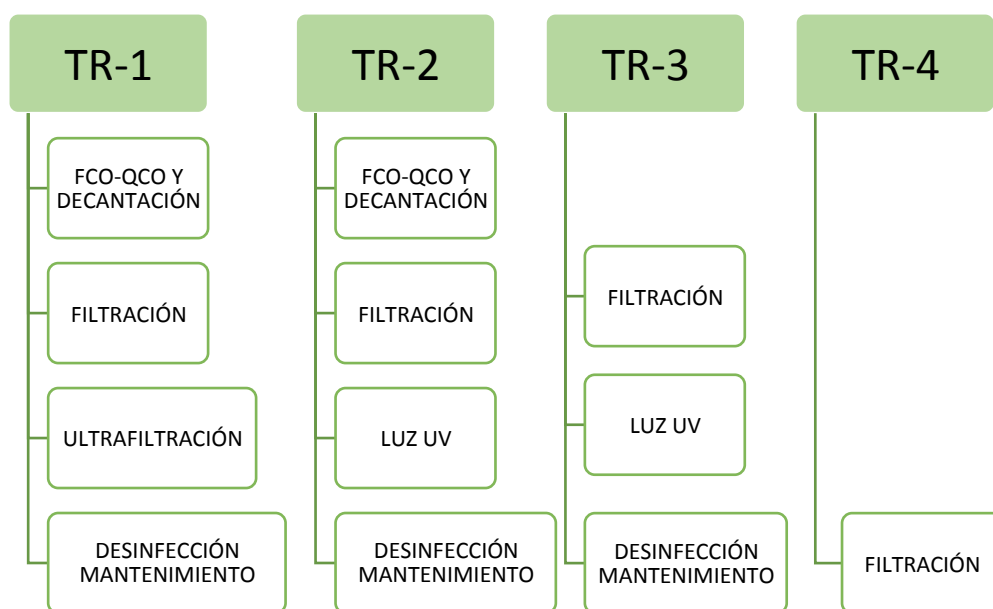


Figura A.1. Tratamientos terciarios propuestos sin desalación. Fuente: Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007.

Las propuestas sin desalación son rápidamente descartadas debido a que las condiciones del proceso impiden obtener un agua que cumpla con los requisitos exigidos debido a la alta conductividad del agua de Oropesa. Es preciso que el tratamiento terciario tenga un proceso de desalación que reduzca la conductividad por debajo de 3dS/m, y por ello, la decisión estará entre las dos propuestas restantes.

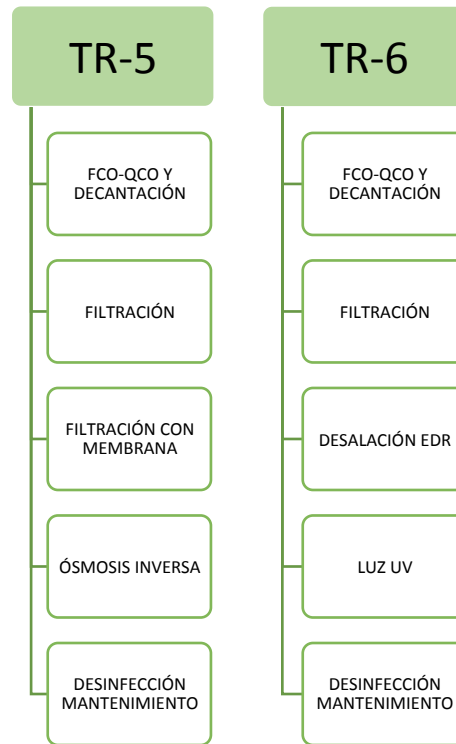


Figura A.2. Tratamientos terciarios propuestos con desalación. Fuente: Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007.

Finalmente, queda como posibles tratamientos terciarios, el tratamiento TR-5 y el TR-6. El primero de ellos consta de un procedimiento físico-químico con su posterior decantación. Este tratamiento físico-químico se compone de coagulación, floculación y decantación lamelar. Seguidamente se aplicaría una filtración mediante filtros de arena y se pasaría a filtración con membrana como la ultrafiltración (etapa necesaria para garantizar el buen funcionamiento de la ósmosis inversa). Por último, se desalaría el agua mediante ósmosis inversa. Como en la ósmosis inversa se eliminan el 99% de las bacterias y microorganismos, no haría falta una etapa de desinfección pero, en caso de que hiciera falta, se mantendría el laberinto de cloración que ya dispone la planta de Oropesa.

En cuanto al tratamiento TR-6, este también dispone de una primera etapa físico-química y decantación, además de filtración. En este procedimiento no se requiere de una filtración con membrana previa a la etapa de desalación. Esta desalación se realizaría mediante electrodiálisis reversible. Finalmente, en este caso sí que se necesita la desinfección, por lo que se propone utilizar la luz ultravioleta. Igual que en el caso anterior, se mantendría el laberinto de cloración por si hiciera falta en algún momento.

1.4. Método de jerarquías analíticas para la selección del tratamiento terciario

Dado que existen dos alternativas para el tratamiento terciario y ambas requieren de coagulación, floculación, decantación y filtración, solo se tendrán en cuenta para la toma de decisión final los procesos que no tienen en común. En el caso del tratamiento TR-5 se tendrá en cuenta la ultrafiltración y la ósmosis inversa y en el tratamiento TR-6 se tendrá en cuenta la electrodiálisis reversible y la desinfección por luz UV. Para la selección óptima del tratamiento terciario a diseñar se aplicará el método de las jerarquías analíticas.

El método de las jerarquías analíticas es una herramienta desarrollada por Thomas L. Saaty que sirve como marco de referencia comprensivo y racional para estructurar un problema de decisión y evaluar las alternativas de solución. El fundamento consiste en establecer una jerarquía donde los sub-problemas sean comprendidos fácilmente. Cuando la jerarquía se ha construido, los decisores evalúan sus elementos sistemáticamente comparándolos unos con otros (solo se compararan dos elementos al mismo tiempo). Estas comparaciones pareadas se establecerá mediante la escala mostrada en la tabla A.6.

Tabla A.6. Escala comparativa de elementos. Fuente: Apuntes asignatura "Proyectos de la Ingeniería (EQ 1031)".

| Importancia | Definición | Explicación |
|--------------------|-----------------------|--|
| 1 | Igual importancia | Dos elementos contribuyen idénticamente al objetivo. |
| 3 | Dominancia débil | La experiencia manifiesta que existe una débil dominancia de un elemento sobre otro. |
| 5 | Fuerte dominancia | La experiencia manifiesta una fuerte dominancia de un elemento sobre otro. |
| 7 | Demostrada dominancia | La dominancia de un elemento sobre otro es completamente demostrada. |
| 9 | Absoluta dominancia | Las evidencias demuestran que un elemento es absolutamente dominado por otro. |
| 2, 4, 6, 8 | Valores intermedios | Son valores intermedios de decisión. |

Para llevar a cabo el método se seguirá el esquema del proceso jerárquico mostrado en la figura A.3.

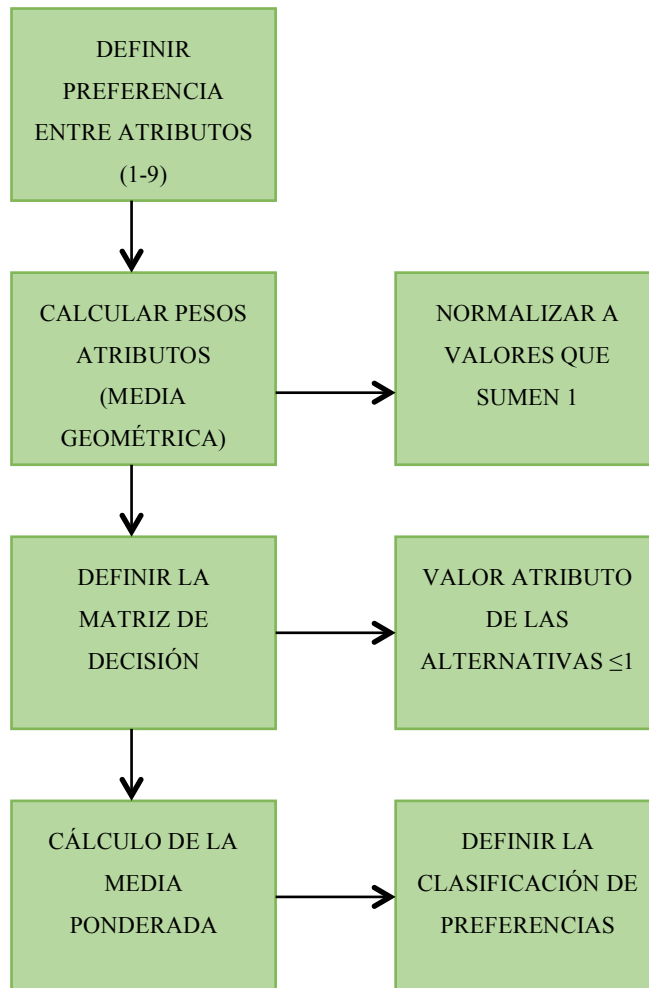


Figura A.3. Esquema del método de jerarquías analíticas. Fuente: Apuntes asignatura "Proyectos de ingeniería (EQ 1031)"

El primer paso es definir la preferencia que hay entre los elementos. Las características que van a ser comparadas van a ser: coste económico, gasto energético, aplicación y rendimiento, calidad del agua tratada y vida útil de las membranas. Así pues, en la tabla A.7 se muestran estas características para cada uno de los tratamientos seleccionados.

Tabla A.7. Datos técnicos de los dos procesos a comparar.

| Propiedades | Ósmosis Inversa | Electrodialísis |
|---|---|--|
| Coste económico (€/m³) | 1.900 | 2.050 |
| Gasto energético (kwh/m³) | 3,7 - 6 | 2,64 - 5,5 |
| Aplicación y rendimiento (%) | > 90 | 80 - 95 |
| Calidad del agua tratada (% rechazo) | Sales disueltas >90 Bacterias = 100 Virus = 100 Pirógenos = 100 Materia orgánica = 100 Partículas = 100 Sílice > 90 | Sales disueltas >90 Bacterias = 0 Virus = 0 Pirógenos = 0 Materia orgánica = 0 Partículas = 0 Sílice = 0 |
| Vida útil de las membranas (años) | 3 - 5 | 10 |

A continuación, se procede a construir la tabla A.8 donde se encuentran las distintas características (atributos) ordenados de mayor a menor. El atributo más importante es el coste económico ya que puede existir una gran diferencia entre ambos procesos. El segundo más importante es el consumo energético, que será una de las características que más gasto económico va a generar. Cuanto menor sea el consumo energético, menor será el coste energético. El siguiente parámetro será el rendimiento y aplicación, valorando positivamente el valor más alto de rendimiento.

También se valorará la calidad del agua tratada, puesto que es importante dependiendo del proceso. En el caso de la ósmosis inversa se eliminan bacterias, virus, etc., en cambio en la electrodiálisis sería necesario aplicar un posterior tratamiento de desinfección para eliminarlas. Finalmente, como parámetro importante también está la vida útil de las membranas, ya que esto también implica un coste añadido. Cuantos más años dure una membrana más se ahorrará en cuanto al cambio de membranas.

Tabla A.8. Importancia de los atributos.

| | Coste económico | Gasto energético | Aplicación y rendimiento | Calidad del agua tratada | Vida útil de las membranas |
|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Coste económico | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| Gasto energético | 1/3 | 1 | 5 | 6 | 8 |
| Aplicación y rendimiento | 1/5 | 1/5 | 1 | 3 | 5 |
| Calidad del agua tratada | 1/7 | 1/6 | 1/3 | 1 | 7 |
| Vida útil de las membranas | 1/9 | 1/8 | 1/5 | 1/7 | 1 |

Una vez se ha definido la importancia entre los atributos en la tabla A.7, el siguiente paso es calcular el peso de cada atributo (media geométrica). El cálculo del peso se realiza multiplicando las intensidades obtenidas de cada atributo y elevándolo a la inversa del número de atributos totales.

$$W_1 = (1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 9)^{\frac{1}{5}} = 3,936$$

$$W_2 = \left(\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 8\right)^{\frac{1}{5}} = 2,402$$

$$W_3 = \left(\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{5} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5\right)^{\frac{1}{5}} = 0,903$$

$$W_4 = \left(\frac{1}{7} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 7\right)^{\frac{1}{5}} = 0,561$$

$$W_5 = \left(\frac{1}{9} \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{7} \cdot 1\right)^{\frac{1}{5}} = 0,209$$

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 = 8,011$$

A continuación, se normalizan los valores para que la suma de todos ellos sea igual a 1. Para ello, se divide cada uno de los pesos entre el peso total.

$$F_1 = \frac{W_1}{W_T} = \frac{3,936}{8,011} = 0,491$$

$$F_2 = \frac{W_2}{W_T} = \frac{2,402}{8,011} = 0,3$$

$$F_3 = \frac{W_3}{W_T} = \frac{0,903}{8,011} = 0,113$$

$$F_4 = \frac{W_4}{W_T} = \frac{0,561}{8,011} = 0,07$$

$$F_5 = \frac{W_5}{W_T} = \frac{0,209}{8,011} = 0,026$$

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 = 1$$

En la mayoría de los casos, se construye la matriz de decisión con valores del 1 al 0, pero en este caso, al haber solo dos alternativas, se van a poner del 1 al 0,5, ya que de otra forma darían valores que no corresponderían a la realidad.

Tabla A.9. Matriz de decisión.

| Alternativa | Coste económico | Gasto energético | Aplicación y rendimiento | Calidad del agua tratada | Vida útil de las membranas |
|-----------------|-----------------|------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Ósmosis inversa | 1 | 0,5 | 1 | 1 | 0,5 |
| Electrodialisis | 0,5 | 1 | 1 | 0,5 | 1 |

Como último paso se calculan las medias ponderadas de cada alternativa. Para ello, se realiza el sumatorio de la multiplicación de cada peso del atributo por su valor.

$$\text{Ósmosis inversa} = (0,491 \cdot 1) + (0,3 \cdot 0,5) + (0,113 \cdot 1) + (0,07 \cdot 1) + (0,026 \cdot 0,5) = 0,837$$

$$\text{Electrodialisis} = (0,491 \cdot 0,5) + (0,3 \cdot 1) + (0,113 \cdot 1) + (0,07 \cdot 0,5) + (0,026 \cdot 1) = 0,7195$$

Tras la realización del cálculo se ha comprobado que la ósmosis inversa tiene el valor más alto, por lo que el tratamiento terciario escogido será el TR-5, el cual incluye el tratamiento físico-químico, decantación, filtración, filtración por membrana y ósmosis inversa.

2. Dimensionamiento del tratamiento terciario

2.1. Coagulación-floculación y decantación

El agua tratada en la planta que emerge de los decantadores secundarios sale normalmente con un contenido en sólidos entre 1 y 10 mg/l, siendo extremadamente anómalo que salga con 10 mg/l. No obstante, se procede a verificar experimentalmente los valores de contenido en sólidos y turbidez del agua mediante la realización de un experimento Jar-Test para determinar si es necesaria la implantación de un sistema coagulación-floculación, y si así fuera, determinar cuál sería la dosis óptima de coagulante y floculante.

2.1.1. Experimento Jar-Test

Para la experimentación se ha utilizado cloruro férrico (FeCl_3) al 20% como coagulante. Este reactivo produce una disminución del pH acidificando el medio, por lo que se ha de añadir hidróxido de sodio (NaOH) 1M para neutralizarlo. Como floculante se ha utilizado poliacrilamida ($(\text{C}_3\text{H}_5\text{NO})_n$) al 1%.

Para realizar la prueba, se recogieron 16 litros de agua del efluente de la EDAR de Oropesa y se trasladaron al laboratorio de la Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales de la Universitat Jaume I.

Una vez en el laboratorio, se realizó la medición de los parámetros indicados en la tabla A.10 con la idea de conocer los datos de partida del agua que se dispone.

Tabla A.10. Valores del agua de partida.

| Parámetros | Unidades | Valores | Valores medios |
|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| Turbidez | NTU | 4,22 / 4,04 / 3,96 | 4,07 |
| pH | Unidades de pH | 8,114 / 8,11 / 8,109 | 8,11 |
| Conductividad | μS | 9340 / 9350 / 9340 | 9343 |

Debido a la claridad del agua, se decidió realizar una prueba antes del experimento para comprobar si los reactivos iban a ser eficaces o no. Así pues, se introdujo un litro de agua en un recipiente y se puso en marcha el agitador a 170 rev/min. Tras dos minutos agitándose, se añadió 0,1 ml de FeCl_3 y 0,49 ml de NaOH (para neutralizar 1 ml FeCl_3 son necesarios 4,9 ml de NaOH). Acto seguido se añadió 1 ml de poliacrilamida y tras treinta segundos agitándose a 170 rev/min, se redujo la velocidad de agitación a 50 rev/min durante tres minutos. Una vez transcurrido este tiempo, se paró el agitador y se observaron los resultados descritos en la tabla A.11.

Tabla A.11. Parámetros de la experimentación de prueba.

| Parámetros | Prueba |
|-----------------------------------|---------------|
| pH | 8,134 |
| Velocidad de sedimentación | Muy baja |
| Volumen de fangos | 0 |
| Tamaño del flóculo | Muy pequeño |
| Turbidez (NTU) | 7,38 |

Tras esta prueba se concluyó que con una cantidad tan pequeña de reactivo, ocurría el efecto contrario al que se quería conseguir. La muestra se enturbió más de lo que estaba en un primer momento y no sedimentaron los flóculos como se esperaba. Así que a continuación se realizó el experimento Jar-Test variando las dosis de los reactivos en cada muestra (seis en total) tal y como se muestra en la tabla A.12.

Tabla A.12. Dosis de reactivos en cada muestra.

| Muestras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| NaOH (ml) | 0,49 | 0,98 | 1,47 | 1,96 | 2,45 | 2,94 |
| FeCl₃ (ml) | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| Poliacrilamida (ml) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Para realizar el experimento Jar-Test, tal y como se ha comentado anteriormente, primero se añade el FeCl₃. Una vez añadido, se introduce el NaOH y se mantiene una velocidad de agitación de 170 rev/min durante dos minutos. Seguidamente se añade la poliacrilamida y se mantiene la velocidad durante treinta segundos. Finalmente, se cambia la velocidad de agitación a 50 rev/min y se mantiene durante tres minutos más. Tras este tiempo se para la agitación y se observa el comportamiento de cada una de las muestras. Los resultados obtenidos del experimento se encuentra en la tabla A.13.

Esta primera prueba se realiza para conocer cuál es la dosis óptima de coagulante. Una vez se analicen los resultados obtenidos se decidirá cual de las seis dosis es la más adecuada para el agua que se trata y se efectuará la segunda parte del experimento para conocer la dosis óptima de floculante.

Tabla A.13. Resultados de la prueba Jar-Test para la elección de la dosis óptima de coagulante.

| Muestras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------------------|--------------|--------------|-----------|-----------|----------|----------|
| pH | 8,10 | 8,14 | 8,13 | 8,13 | 8,13 | 8,13 |
| Velocidad de sedimentación | Despreciable | Despreciable | Muy lenta | Muy lenta | Lenta | Lenta |
| Cantidad de fango (cm) | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,8 |
| Tamaño flóculo | Pequeño | Pequeño | Pequeño | Pequeño | Pequeño | Pequeño |
| Turbidez (NTU) | 3,35 | 5,01 | 2,62 | 2,94 | 2,72 | 1,4 |

Los resultados muestran que la muestra 6 es la que más bajo valor de turbidez presenta, lo cual indica su mayor clarificación, además, es la muestra que menos tarda en sedimentar, por lo que se mantendrá fija la cantidad de coagulante en 0,6 ml de FeCl_3 y se procederá de la misma forma para la obtención de la dosis óptima de floculante. Para ello, se muestra en la tabla A.14, las cantidades de reactivos que se van a utilizar en cada muestra.

Tabla A.14. Dosis de reactivos en cada muestra.

| Muestras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| NaOH (ml) | 2,94 | 2,94 | 2,94 | 2,94 | 2,94 | 2,94 |
| FeCl₃ (ml) | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Poliacrilamida (ml) | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 |

Realizando el experimento de la misma forma que anteriormente y fijando la dosis de FeCl₃ en 0,6 ml, se obtienen los resultados mostrados en la tabla A.15.

Tabla A.15. Resultados de la prueba Jar-Test para la elección de la dosis óptima de floculante.

| Muestras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| pH | 8,123 | 8,151 | 8,144 | 8,138 | 8,133 | 8,139 |
| Velocidad de sedimentación | Muy lenta | Muy lenta | Lenta | Media | Media | Rápida |
| Cantidad de fango (cm) | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
| Tamaño flóculo | Pequeño | Mediano | Mediano | Grande | Grande | Grande |
| Turbidez (NTU) | 5,56 | 7,53 | 8,14 | 2,82 | 3,52 | 0,82 |

Finalmente, se ha determinado tras la obtención de los resultados que la dosis óptima de floculante es de 2 ml de poliacrilamida.

Conociendo las dosis óptimas y sabiendo las concentraciones de los reactivos se obtiene la tabla A.16, donde se muestran las dosis expresadas en ppm.

Tabla A.16. Dosificación expresada en ppm.

| Reactivo | Dosis |
|--------------------------------------|--------------|
| FeCl₃ (coagulante) | 6 ppm |
| Poliacrilamida (floculante) | 1 ppm |

Tras la realización del experimento Jar-Test se ha concluido que no es necesaria una etapa de coagulación-floculación y decantación en este tratamiento terciario. El agua que sale de los decantadores tiene un contenido en sólidos de 3 ppm y una turbidez de 4,07 NTU. Hay que dosificar bastante reactivo para conseguir bajar mínimamente la turbidez, por lo que se ha considerado que el agua es lo suficientemente clara como para no necesitar esta etapa físico-química con posterior decantación.

2.2. Filtración

La filtración sería la etapa posterior a la etapa físico-química y la decantación para eliminar la mayor cantidad de sólidos posibles, pero dado que se ha considerado que no es necesaria una etapa físico-química, se puede considerar de igual forma que el agua sale lo suficientemente limpia como para no utilizar filtración.

2.3. Ultrafiltración

La ultrafiltración va a servir como etapa previa a la ósmosis inversa para asegurar el buen funcionamiento de la etapa de desalación.

A continuación, se va a realizar el diseño para tratar el efluente secundario procedente de la EDAR de Oropesa con el objetivo de producir 4.200 m³/día de agua regenerada.

2.3.1. Selección de la membrana

Para la selección de la membrana óptima para la ultrafiltración se va a utilizar el *software* llamado *Projection Tool* desarrollado por el fabricante de membranas Toray. Se van a comparar diferentes membranas de polivinildifluoruro (PVDF) dado que este material está caracterizado por su alta resistencia química y su durabilidad.

Para utilizar la herramienta ofrecida por el fabricante, se ha de indicar el caudal del agua a tratar y algunas características que se muestran en la tabla A.17.

Tabla A.17. Datos introducidos en el software Toray para obtener la membrana óptima en el proceso de ultrafiltración.

| Q (m ³ /h) | Turbidez (NTU) | SS (mg/l) | DQO (mg/l) | NH ₄ (mg/l) | T (°C) |
|-----------------------|----------------|-----------|------------|------------------------|--------|
| 4.200 | 5 | 6,5 | 35 | 2 | 20 |

Las membranas que comercializa el fabricante Toray pueden estar sometidas a tres tipos de limpieza distintos: limpieza de mantenimiento de Toray (TMC), limpieza con productos químicos (CIP) y limpieza a contralavado (*backwash*). La limpieza *backwash* se lleva a cabo después de cada ciclo de filtrado y se basa en introducir agua del permeado por la parte interior de la membrana de forma que esta atraviesa la membrana en contracorriente a como lo hace en funcionamiento normal del ciclo. La limpieza TMC se realiza una vez al día y, consiste en empapar las membranas con una disolución de NaClO durante un periodo de tiempo. Por último, la limpieza CIP se hace varias veces al año (indicado por el fabricante según el agua que se esté tratando) e implica, hacer circular a través de la membrana una disolución ácida (ácido nítrico), una básica (hipoclorito de sodio) y agua de permeado.

A continuación, se van a comparar dos membranas de PVDF con configuración de fibra hueca. Se han elegido las dos membranas que poseen mayor área debido a que el caudal a tratar es bastante alto. Además, se compararán las diferencias que existen entre estas si tuvieran limpieza de mantenimiento Toray o si no la tuvieran.

Tabla A.18. Características de las membranas HFU-2020series y HFU-1020series con y sin limpieza de mantenimiento TMC.

| | HFU-2020series (A = 72 m²) | | HFU-1020SERIES (A = 29 m²) | |
|--|--|---------------------|--|---------------------|
| | Sin limpieza TMC | Con limpieza TMC | Sin limpieza TMC | Con limpieza TMC |
| Flujo de permeado instantáneo, J_{inst} (m³/(m²·día)) | 1,506 | 2,016 | 1,536 | 2,036 |
| Caudal de filtrado en un módulo (m³/día) | 108,461 | 145,127 | 44,53 | 59,055 |
| Flujo de contralavado, J_{contr} (m³/(m²·día)) | 1,657 | 2,217 | 1,689 | 2,24 |
| Ciclos de filtración (ciclos/días) | 41,95 | 41,27 | 41,96 | 41,28 |
| Número de módulos | 46 | 35 | 112 | 86 |
| Rechazo (m³/día) | 280,56 | 264,07 | 278,73 | 263,34 |
| Caudal de alimentación (m³/día) | 4480,56 | 4464,07 | 4478,73 | 4463,34 |
| Conversión (%) | 93,74 | 94,08 | 93,78 | 94,10 |
| Flujo neto (m³/(m²·día)) | 1,268 | 1,667 | 1,293 | 1,684 |

De las dos membranas analizadas con y sin mantenimiento se deduce que el hecho de que lleve incorporada esta limpieza TMC permite que el número de módulos sea menor, por lo que se decide que sea cual sea la membrana seleccionada se le va a aplicar una limpieza de mantenimiento TMC. Por otro lado, aunque se han seleccionado las dos membranas que tienen mayor área, hay bastante diferencia entre ellas, por lo que se observa como se necesita un menor número de módulos para el modelo HFU-2020series que para el HFU-1020series (35 frente a 86).

A continuación, se va a calcular el caudal de permeado, así como el número de ciclos de las membranas para asegurar que los resultados que ofrece el software son correctos. Después se calculará el área de filtración que se necesita para obtener el caudal de permeado deseado y el $J_{inst.}$ mostrado en la tabla X. Finalmente, se determinará el número de módulos que tiene cada membrana.

Para calcular el número de ciclos que tienen las membranas en un día se utiliza la ecuación (1) donde $t_{total\ filtrado}$ es igual a 34,16 minutos en sendos ciclos, tal y como se muestra en la tabla X.

$$n^{\circ} \text{ ciclos por día} = \frac{1 \text{ ciclo}}{t_{total\ filtrado}} = \frac{1 \text{ ciclo}}{34,16 \text{ min} \cdot \frac{1h}{60 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 h}} = 42,15 \text{ ciclos} \quad (1)$$

$t_{total\ filtrado}$: tiempo total de filtrado (min).

El número de ciclos obtenido es muy similar al número de ciclos calculado por el software (41,95 min). Para el cálculo de los siguientes apartados se utilizará el dato calculado en la ecuación (1).

Membrana HFU-2020series

Se calcula el caudal de permeado con las condiciones de las que disponemos mediante la ecuación (2).

$$Q_{perm\ corregido} = \frac{Q\ permeado}{n^{\circ}\ ciclos\ al\ día} = \frac{4.200 \frac{m^3}{día}}{42,15 \frac{ciclos}{día} \cdot 0,5 \frac{h}{ciclo} \cdot \frac{1\ día}{24\ h}} = 4782,92 \frac{m^3}{día} \quad (2)$$

$Q_{permeado}$: caudal de permeado (m^3/h)

Ahora se procede a determinar el área total mediante la ecuación (3) y conociendo el valor de J_{inst} con la tabla A.17 para poder conocer finalmente el número de módulos necesarios.

$$A_{total} = \frac{Q_{perm\ corregido}}{J_{inst}} = \frac{4782,92 \frac{m^3}{día}}{2,016 \frac{m^3}{día \cdot m^2}} = 2372,48 m^2 \quad (3)$$

A_{total} : área total (m^2)

J_{inst} : Flujo de permeado instantáneo ($m^3/(m^2 \cdot día)$)

$$n^{\circ}\ módulos = \frac{A_{total}}{A_{membranas}} = \frac{2372,48 m^2}{72 m^2} = 32,95 \approx 33\ módulos \quad (4)$$

Para la membrana HFU-2020series se necesitan 33 módulos (con el software se obtienen 35 módulos).

Membrana HFU-1020series

Para la membrana HFU-1020series se procede de la misma forma que en la otra membrana para la obtención del número de módulos. Para el cálculo del área total se utilizará el mismo caudal de permeado corregido y la J_{inst} que indica en la tabla para esta membrana.

$$A_{total} = \frac{Q_{perm\ corregido}}{J_{inst}} = \frac{4782,92 \frac{m^3}{día}}{2,036 \frac{m^3}{día \cdot m^2}} = 2349,175 m^2 \quad (5)$$

$$n^o \text{ módulos} = \frac{A_{total}}{A_{membranas}} = \frac{2349,175 m^2}{29 m^2} = 81 \text{ módulos} \quad (6)$$

Para la membrana HFU-1020series se necesitan 81 módulos (con el software se obtienen 86 módulos).

Tras analizar las dos membranas, se opta por la de mayor superficie ($72 m^2$), ya que el número de membranas es bastante menor y esto hace que la instalación sea más sencilla de controlar y operar. Además, se añade la opción de limpieza de mantenimiento TMC para evitar los problemas que se puedan ocasionar debido al ensuciamiento (como puede ser el fouling). Así pues, el diseño de la instalación de ultrafiltración se hace mediante membranas del tipo HFU-2020series con limpieza de mantenimiento TMC.

Como se ha comentado anteriormente las membranas también disponen de otro tipo de limpieza llamada CIP (“Clean in place”). A continuación se mostrarán en la tabla A.18 las características anteriores para la membrana HFU-2020series variando la frecuencia de limpieza CIP. Con un factor de 0,5 se realizarían 6 limpiezas CIP al año, con un factor de 1 se realizarían 12 limpiezas y con un factor de 2 se realizarían 24 limpiezas al año.

Tabla A.19. Características con la membrana HFU-2020series variando el factor de frecuencia CIP.

| Factor de frecuencia CIP | 0,5 | 1 | 2 |
|--|------------|----------|----------|
| Flujo de permeado instantáneo, J_{inst} ($m^3/(m^2 \cdot día)$) | 1,448 | 2,016 | 2,810 |
| Caudal de filtrado en un módulo ($m^3/día$) | 104,287 | 145,127 | 202,296 |
| Flujo de contralavado, J_{contr} ($m^3/(m^2 \cdot día)$) | 1,593 | 2,217 | 3,091 |
| Ciclos de filtración (ciclos/días) | 41,04 | 41,27 | 41,44 |
| Número de módulos | 49 | 35 | 25 |
| Rechazo ($m^3/día$) | 293,87 | 264,07 | 242,61 |
| Caudal de alimentación ($m^3/día$) | 4493,87 | 4464,07 | 4442,61 |
| Conversión (%) | 93,46 | 94,08 | 94,54 |
| Flujo neto ($m^3/(m^2 \cdot día)$) | 1,19 | 1,667 | 2,333 |

Tras la obtención de los resultados se ha determinado que el factor de frecuencia CIP más conveniente sea de 1, es decir, 12 limpiezas por el método CIP al año. Es cierto que con un factor de 2 se disminuiría la cantidad de módulos en 10 con respecto a un factor de frecuencia de 1, pero tratándose de un agua que sale bastante clarificada durante todo el año, se considera que 24 limpiezas CIP es excesivo además de costoso por el aumento de la cantidad de reactivos.

Las características de la membrana se encuentran en la tabla X y las condiciones de operación en la tabla A.20.

Tabla A.20. Características de la membrana HFU-2020series.

| Características de la membrana | Unidad | Valor |
|--|----------------|----------------------------|
| Material de la membrana | - | PVDF (polivinildifluoruro) |
| Tamaño de poro nominal | µm | 0,01 |
| Área de superficie de la membrana externa | m ² | 72 |

Tabla A.21. Parámetros de operación de la membrana HFU-2020series.

| Parámetros de operación | Unidad | Valor |
|---|-----------------------|-------|
| Flujo máximo de agua de alimentación / Filtrado | m ³ /h | 12 |
| Flujo máximo de retrolavado | m ³ /h | 13,5 |
| Flujo de aire máximo | Nm ³ /h | 9 |
| Presión máxima de entrada | kPa | 300 |
| Presión máxima de retrolavado | kPa | 300 |
| Presión transmembrana de funcionamiento normal | kPa | 0-200 |
| Rango de temperatura de funcionamiento | °C | 0-40 |
| Rango de pH | Durante la filtración | 1-10 |



Figura A.4. Membrana HFU-2020series de PVDF con módulo de fibra hueca. Fuente: Toray.

2.3.2. Diagrama de proceso de ultrafiltración

Tras la elección de la membrana se diseña el diagrama de proceso que se va a llevar a cabo en el proceso de ultrafiltración.

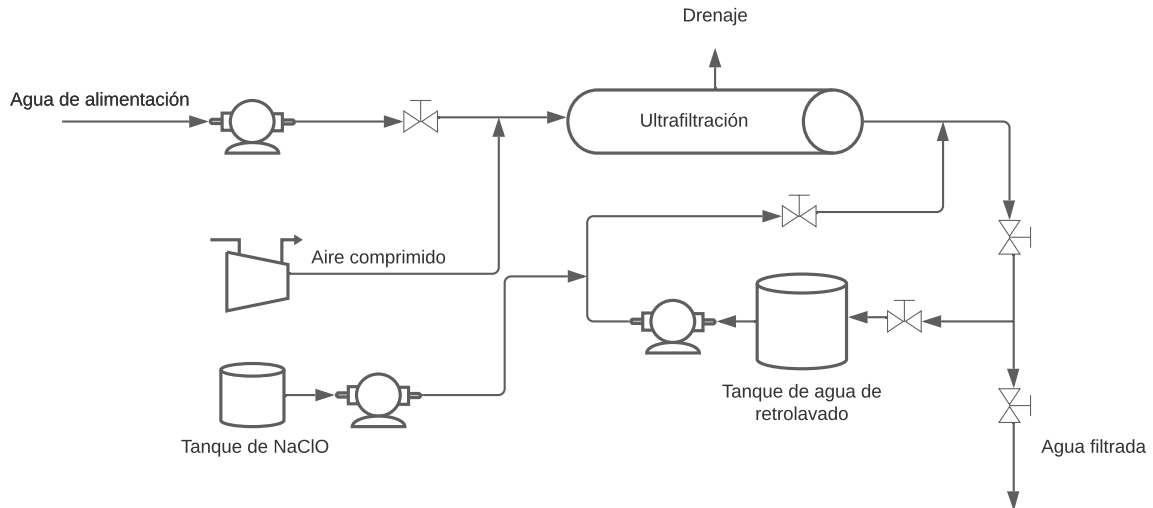


Figura A.5. Diagrama de proceso de la ultrafiltración.

El proceso constará del dispositivo de ultrafiltración, un compresor (ya que se necesita aire comprimido para el proceso de ultrafiltración), un tanque de agua de retrolavado (donde se utilizará la misma agua filtrada que sale del proceso para circular a contracorriente por las membranas de ultrafiltración y realizar así las limpiezas backwash después de cada ciclo de filtrado), un tanque de NaClO (que se mezclará con la corriente de agua de retrolavado para permitir las limpiezas CIP programadas). Por último, para que se lleven a cabo cada una de las operaciones, se utilizarán tres bombas centrífugas y cinco válvulas de compuerta.

Además de los dos tanques (agua de retrolavado y NaClO) se van a necesitar dos tanques más. Uno para el HNO_3 y otro para la preparación de las disoluciones de limpieza.

2.3.3. Limpieza de contralavado con agua de permeado (backwash)

En este apartado se va a detallar cuál es el volumen de permeado necesario para realizar la limpieza a contralavado con una duración de un minuto en un solo módulo mediante la ecuación (7).

$$V_{contr_{mod}} = J_{contr} \cdot A_{membrana} \cdot t_L \quad (7)$$

Donde:

J_{contr} : Flujo de contralavado ($m^3/(\text{día} \cdot m^2)$)

$A_{membrana}$: Área de la membrana elegida (m^2)

t_L : tiempo de limpieza (min)

De modo que:

$$V_{contr_{mod}} = 2,217 \frac{m^3}{\text{día} \cdot m^2} \cdot 72m^2 \cdot 1 \text{ min} \cdot \frac{1h}{60 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 h} = 0,111m^3$$

A continuación, con el número de módulos que tiene la instalación se puede calcular el volumen de contralavado total a partir de la ecuación (8).

$$V_{TOTAL_{contr}} = V_{contr_{mod}} \cdot n^{\circ} \text{ módulos} = 0,111 \cdot 35 = 3,885m^3 \quad (8)$$

Por último, teniendo en cuenta que el número de retrolavados diarios coincide con el número de ciclos de filtrado, se puede calcular el caudal diario de permeado con la ecuación (9).

$$Q_{RL} = 41,27 \frac{\text{ciclos}}{\text{día}} \cdot 3,885 \frac{m^3}{\text{ciclo}} = 160,33 \frac{m^3}{\text{día}} \quad (9)$$

2.3.4. Limpieza TMC

Para poder realizar la limpieza TMC es necesario conocer la cantidad de agua que se requiere para preparar la disolución de hipoclorito sódico, la cantidad de producto químico que se va a utilizar y el agua de aclarado. Así pues, se calcula el volumen de agua que cabe en cada módulo con la ecuación (10) y el volumen de agua que se introduce en los módulos totales con la ecuación (11). Los datos de la membrana se encuentran en el anexo X.

$$V_{agua_{mod}} = \frac{m_{membrana_{agua}} - m_{membrana_{vacía}}}{\rho_{agua}} = \frac{92 \text{ kg} - 49 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,043 \text{ m}^3 \quad (10)$$

Donde:

$m_{membrana_{agua}}$: Peso de la membrana con agua (kg)

$m_{membrana_{vacía}}$: Peso de la membrana sin agua (kg)

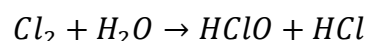
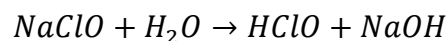
ρ_{agua} : Densidad del agua (kg/m³)

$$V_{total_{módulos}} = V_{agua_{mod}} \cdot n^{\circ} \text{ módulos} = 0,043 \text{ m}^3 \cdot 35 \text{ módulos} = 1,505 \text{ m}^3 \quad (11)$$

Para calcular la cantidad de hipoclorito sódico que se necesita para la limpieza TMC se utiliza la concentración de cloro en NaClO (300 mg/L) determinando la molaridad del cloro con la ecuación (12).

$$M(Cl_2) = \frac{[Cl_2]}{PM(Cl_2)} = \frac{0,3 \frac{\text{g}}{\text{L}}}{71 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 4,225 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad (12)$$

Las reacciones que van a producirse van a ser:



A partir de la molaridad del cloro y el volumen total que se ha calculado para los módulos, se determinan los moles de cloro mediante la ecuación (13).

$$n(Cl_2) = M(Cl_2) \cdot V_{total\,módulos} = 4,225 \cdot 10^{-3} \frac{mol}{L} \cdot \frac{1000L}{1m^3} \cdot 1,505m^3 = 6,36mol \quad (13)$$

Según la estequiometría de la reacción anterior, se necesita la misma cantidad de NaClO que de cloro para producir un mol de HClO (el compuesto que permite la desinfección de las membranas). Por lo que la cantidad de NaClO se requiere el uso de la ecuación (14).

$$n(Cl_2) = n(NaClO) = \frac{m(NaClO)}{PM(NaClO)} \quad (14)$$

$$m(NaClO) = 6,36 \, mol \cdot 74,44 \frac{g}{mol} = 473,44 \, g \, de \, NaClO$$

Debido a que la riqueza del NaClO comercial es del 10% se calcula la masa del compuesto que se necesitará para la limpieza con la ecuación (15).

$$m(NaClO_{comercial}) = \frac{m(NaClO)}{riqueza(NaClO)} = \frac{473,44 \, g}{0,1} = 4734,4 \, g \quad (15)$$

Finalmente, con la densidad (1,18 kg/L) y la masa de NaClO, se puede determinar el volumen necesario con la ecuación (16).

$$V_{NaClO_{TMC}} = \frac{m(NaClO_{comercial})}{\rho(NaClO)} = \frac{4734,4 \, g}{1180 \frac{g}{L}} = 4,012 \, L \, NaClO \quad (16)$$

Por lo tanto, son necesarios 4,012 L de NaClO para llevar a cabo la limpieza TMC. Esta disolución se emplea en el depósito de NaClO.

A continuación, se calcula la cantidad de agua de aclarado necesaria. Para ello, en el ANEXO X se encuentra el caudal de permeado que circula por la membrana después de eliminar la disolución empapadora para toda la instalación (7,44 m³/día). Como la limpieza TMC se realiza una vez al día el volumen a emplear será el del agua de aclarado calculado con la ecuación (17) más el volumen requerido para preparar la disolución de NaClO.

$$V_{TMC\text{ agua aclarado}} = 7,44 \frac{m^3}{día} \cdot \frac{1 día}{1 limpieza\ TMC} = 7,44\ m^3 \quad (17)$$

El valor del volumen total necesario para realizar la limpieza TMC diariamente se obtiene mediante la ecuación (18).

$$V_{TOTAL\ TMC} = V_{total\ módulos} + V_{TMC\text{ agua aclarado}} = 1,505 + 7,44 = 8,945\ m^3 \quad (18)$$

El volumen de agua necesario es de 8,945 m³.

2.3.5. Limpieza CIP

La limpieza CIP se realiza 12 veces al año según el fabricante de la membrana, así pues, para llevarla a cabo se debe determinar la cantidad de agua de permeado necesaria para preparar la disolución a utilizar, la cantidad de compuestos químicos y el caudal de agua clarificado.

Para calcular el volumen del permeado, se utiliza el dato que proporciona el fabricante del caudal necesario para realizar la limpieza CIP (50 L/min por módulo para cada una de las disoluciones de limpieza) mediante la ecuación (19).

$$Q_{CIP\text{ limpieza}} = Q_{CIP\text{ módulo}} \cdot n^{\circ}\text{ módulos} = 50 \frac{L}{min} \cdot 35\text{ módulos} = 1750 \frac{L}{min} \quad (19)$$

$$Q_{CIP\text{ limpieza}} = 1750 \frac{L}{min} \cdot \frac{1m^3}{1000L} \cdot \frac{60\ min}{1\ h} = 105 \frac{m^3}{h}$$

Se procede ahora a la determinación de la cantidad de hipoclorito para realizar la limpieza CIP. Para ello, se calcula la concentración de NaClO teniendo en cuenta la concentración de cloro recomendada por el fabricante de las membranas (3000 mg Cl₂/L) mediante la ecuación (20).

$$M(Cl_2) = \frac{[Cl_2]}{PM(Cl_2)} = \frac{3g/L}{71\ g/mol} = 0,042\ mol/L \quad (20)$$

Si se tiene en cuenta la estequiometría mencionada en el apartado 2.3.4, se determina la concentración de NaClO necesaria según la ecuación (21).

$$[NaClO] = M(NaClO) \cdot PM(NaClO) \quad (21)$$

$$[NaClO] = 0,042 \frac{mol}{L} \cdot 74,44 \frac{g}{mol} = 3,13 \frac{g}{L} \text{ de NaClO}$$

El compuesto químico NaClO utilizado en esta limpieza es el mismo que el empleado en la limpieza TMC. En la ficha técnica suministrada por el fabricante, se observa que la concentración y la riqueza del producto es del 10%. Así que se determina la concentración de NaClO comercial necesario con la ecuación (22).

$$[NaClO]_{comercial} = 100 \frac{g}{L} \cdot \frac{1 mol}{74,44 g} = 1,343 \frac{mol}{L} \quad (22)$$

Teniendo en cuenta la riqueza se obtiene la ecuación (23).

$$[NaClO]_{comercial} = 1,343 \frac{mol}{L} \cdot 0,1 = 0,1343 \frac{mol}{L} \quad (23)$$

Se calcula el caudal de NaClO igualando la equivalencia del NaClO de la instalación y la comercial de manera que se obtiene la ecuación (24).

$$n_{eq NaClO ins} = n_{eq NaClO com} \quad (24)$$

$$0,042 \frac{mol}{L} \cdot 50 \frac{L}{min} \cdot \frac{60 min}{1 hora} \cdot 35 \text{ módulos} = 0,1343 \frac{mol}{L} \cdot V_{NaClO CIP}$$

$$V_{NaClO CIP} = 32,91 m^3$$

La cantidad de NaClO comercial calculado se mezcla con agua de permeado hasta obtener los 105 m³ del volumen total con la ecuación (25).

$$V_{CIP agua mod} = 105 - 32,91 = 72,09 m^3 \quad (25)$$

El volumen de ácido nítrico utilizado en la limpieza CIP se calcula como el producto entre el caudal de limpieza CIP calculado anteriormente y el tiempo de residencia (que es de una hora) según la ecuación (26).

$$V_{HNO_3CIP} = Q_{CIPlimpieza} \cdot t_R = 105 \frac{m^3}{h} \cdot 1h = 105 m^3 \quad (26)$$

Por último, se calcula el volumen total de agua de permeado que se necesita para llevar a cabo la limpieza CIP mediante la ecuación (27).

$$V_{TOTALCIP} = V_{CIPagua_{mod}} + V_{agua_{aclarado}CIP} = 72,09 + 105 = 177,09 m^3 \quad (27)$$

2.3.6. Volumen total del tanque de agua de retrolavado para limpieza (T1)

El volumen total se determina con la ecuación (28) teniendo en cuenta el agua necesaria para las tres limpiezas (backwash, TMC y CIP) y suponiendo un factor de seguridad de 10%.

$$V_{T1} = (V_{TOTAL_{contr}} + V_{TOTAL_{TMC}} + V_{TOTAL_{CIP}}) \cdot FS \quad (28)$$

$$V_{T1} = (3,885 + 8,945 + 177,09) \cdot 1,10 = 208,91 m^3$$

Para almacenar este volumen de agua se emplea un tanque vertical de acero galvanizado con capacidad de 245 m³ con un diámetro de 6 m y una altura de 9 m de la empresa Tankeros S.L.

2.3.6. Volumen total del tanque de hipoclorito de sodio (T2)

En este apartado se determina el volumen necesario del tanque de hipoclorito de sodio con la ecuación (29). Se tiene en cuenta el volumen que se necesita en la limpieza TMC y CIP y un factor de seguridad del 10%.

$$V_{T2} = (V_{NaClO_{TMC}} + V_{NaClO_{CIP}}) \cdot FS = (4,012 \cdot 10^{-3} + 32,91) \cdot 1,10 = 36,21 \text{ m}^3 \quad (29)$$

El depósito T2 tiene una capacidad de 42,4 m³ con un diámetro de 3 m y una altura de 6 m. Es de poliéster con fibra de vidrio proporcionado por la empresa Hidroserver.

2.3.7. Volumen total del tanque de ácido nítrico (T3)

En este apartado se determina el volumen necesario del tanque de ácido nítrico mediante la ecuación (30) teniendo en cuenta el volumen de ácido nítrico necesario para la limpieza CIP y un factor de seguridad del 10%.

$$V_{T3} = Q_{CIP_{limpieza}} \cdot FS = 105 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1,10 = 115,5 \text{ m}^3 \quad (30)$$

El depósito T3 tiene una capacidad de 118 m³ con un diámetro de 5 m y una altura de 6 m. El depósito es de poliéster con fibra de vidrio y está proporcionado por la empresa Hidroserver.

2.3.8. Volumen total del tanque de preparación de las disoluciones de limpieza (T4)

En este apartado se dimensiona el tanque que va a servir para preparar las disoluciones de hipoclorito de sodio de la limpieza TMC y CIP, y además, funcionará como almacén de HNO₃ antes de introducirse en la instalación. Para su diseño se tendrá en cuenta el caudal de la limpieza CIP ya que es el más grande de todos, un factor de seguridad de 10% y un tiempo de residencia de una hora tal y como se muestra en la ecuación (31).

$$V_{T4} = Q_{CIP_{limpieza}} \cdot FS \cdot t_R = 105 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1,10 \cdot 1\text{h} = 115,5 \text{ m}^3 \quad (31)$$

El depósito T4 será igual que el depósito T3 con una capacidad de 118 m³ de diámetro 5 m y altura 6 m. El material será poliéster con fibra de vidrio y de la empresa Hidroserver.

2.3.9. Resumen dimensionamiento de los tanques de ultrafiltración

En este apartado se van a resumir en la tabla A.22 las dimensiones de los tanques utilizados para llevar a cabo las diferentes limpiezas que tiene la ultrafiltración.

Tabla A.22. Resumen de las dimensiones de los tanques de ultrafiltración.

| Tanques | Volumen (m ³) | Volumen tanque (m ³) | Diámetro (m) | Altura (m) |
|--|---------------------------|----------------------------------|--------------|------------|
| Permeado (T1) | 208,91 | 245 | 6 | 9 |
| Hipoclorito de sodio, NaClO (T2) | 36,21 | 42,4 | 3 | 6 |
| Ácido nítrico, HNO₃ (T3) | 115,5 | 118 | 5 | 6 |
| Preparación disoluciones (T4) | 115,5 | 118 | 5 | 6 |

2.4. Ósmosis inversa

La ósmosis inversa va a permitir reducir la alta conductividad que tiene el agua y, además, eliminar prácticamente el 100% de bacterias presentes en el agua.

El agua que sale de la ultrafiltración es lo suficientemente clara para permitir que el proceso de ósmosis inversa ocurra sin dificultades debidas a la disminución de la eficiencia de la membrana por problemas de *fouling* (incrustaciones provocadas por sólidos en suspensión, coloides, etc.).

2.4.1. Selección de la membrana

De igual forma que para la ultrafiltración se va a seleccionar una membrana de ósmosis inversa para el diseño del proceso. También se escogerá entre membranas del fabricante Toray, más concretamente, aquellas que están especialmente indicadas para agua del mar. Tras la experiencia anterior a la hora de seleccionar las membranas, se ha decidido incluir los métodos de limpieza de igual forma que para las membranas de ultrafiltración.

La superficie de una membrana de ósmosis inversa está sujeta a fouling. Es por ello que se ha diseñado el proceso de manera que el tratamiento previo a la ósmosis inversa evite el ensuciamiento tanto como sea posible. Este ensuciamiento puede causar una disminución del rendimiento en el funcionamiento a largo plazo.

El fabricante da una serie de instrucciones para evitar el fouling antes de que ocurra. Se ha de limpiar las membranas cuando:

1. La presión diferencial normalizada aumente más del 20%.
2. El caudal del permeado disminuya más del 10%.
3. El paso de sal aumente más del 20%.

Para seleccionar el procedimiento correcto de limpieza se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Si las incrustaciones son hidróxidos metálicos (por ejemplo, hidróxido férrico o incrustaciones de calcio), los procedimientos de limpieza ácidos son los más efectivos.
- Si se sospecha que las incrustaciones son orgánicas o biológicas, se recomienda limpiar con agentes alcalinos o detergentes.

En este caso, las incrustaciones son más probables que se produzcan por componentes biológicos, por lo que la limpieza que se realizará será la TMM-340 (que se explicará en los próximos apartados).

Además de este procedimiento de limpieza también se aplicará como en el caso anterior la limpieza CIP.

Pues bien, siguiendo con la selección de las membranas se van a comparar en la tabla A.23 entre la TM820M-440 (que es una membrana estándar de 41 m³) y la TM820V-440 (que es una membrana de 41 m³ clasificada como *low energy*).

Tabla A.23. Comparación entre membranas de ósmosis inversa.

| | TM820M-440 | TM820V-440 |
|--|-------------------|-------------------|
| Área de la membrana (m²) | 41 | 41 |
| Rechazo de sales (%) | 99,8 | 99,8 |
| Caudal del producto (m³/día) | 29,2 | 37,5 |

Se ha decidido utilizar las membranas TM820V-440, ya que tienen el mismo porcentaje de rechazo de sales pero se produce más agua con la misma área de membrana. Además, están diseñadas eficientemente para que sean de baja energía.

En la tabla A.24 se van a detallar los parámetros de la membrana seleccionada para el proceso de ósmosis inversa.

Tabla A.24. Características de la membrana seleccionada TM820V-440 del fabricante Toray.

| | |
|--|--------------------------|
| Rechazo de sales | 99,8% |
| Área activa de membrana | 41m ² |
| Flujo de permeado | 37,5 m ³ /día |
| Recuperación | 8% |
| Tipo | Membrana de poliamida |
| Máxima temperatura de operación | 45 °C |

En la siguiente figura A.6 se muestra un esquema de la membrana TM820V-440.

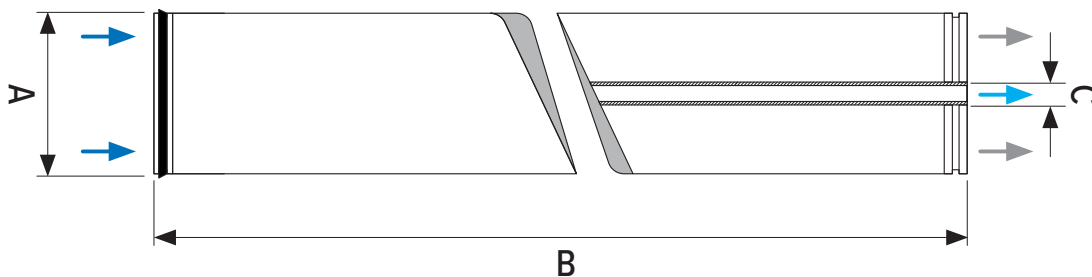


Figura A.6. Esquema de la membrana TM820V-440.

Las medidas de la membrana son A=201mm, B=1016mm y C=29mm. A continuación se van a calcular las membranas necesarias para obtener un permeado de 4200 m³/día.

Para el cálculo de las membranas necesarias se sabe que una membrana es capaz de tratar 37,5 m³/día, así que mediante la ecuación (37) se obtiene el resultado deseado.

$$N^{\circ} \text{ membranas} = \frac{4200 \text{ m}^3/\text{día}}{37,5 \text{ m}^3/\text{día}} = 112 \text{ membranas} \quad (37)$$

Estas membranas irán organizadas en bastidores que pueden albergar hasta 24 tubos. El número de bastidores se calcula con la ecuación (38).

$$N^{\circ} \text{ bastidores} = \frac{112 \text{ membranas}}{24 \text{ membranas/bastidor}} \approx 5 \text{ bastidores} \quad (38)$$

Además de los 5 bastidores, se va a sobredimensionar añadiendo un bastidor más por si fuera necesario. Así que finalmente el proceso de ósmosis inversa estará formado por 6 bastidores y 144 membranas.

2.4.2. Limpieza mediante procedimiento de enjuague (*flushing procedure*)

Se recomienda que para que la limpieza química de las membranas sea lo más efectiva posible, previamente se ha de realizar un procedimiento de enjuague utilizando agua limpia.

En este caso se utilizará el agua de permeado que se almacena en el tanque T1 de la ultrafiltración. El procedimiento consiste en eliminar las incrustaciones aprovechando la alta velocidad a baja presión. Es efectivo siempre y cuando se aplique antes de que haya una disminución significativa del rendimiento. En la tabla A.25 se muestran las condiciones de operación para este procedimiento.

Tabla A.25. Condiciones de operación para el uso del procedimiento de enjuague.

| Presión | Flujo de agua | Alimentación máxima | Temperatura | Periodo |
|----------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------------|------------|
| Baja presión (0,1-0,2 MPa) | Caudal de descarga alto | 200 L/min | $\leq 40^{\circ}\text{C}$ | 0,5-1 hora |

Para hacer uso del tanque T1 (agua de permeado de ultrafiltración) se instalará una bomba que impulse el agua hasta las membranas de ósmosis inversa.

2.4.2. Limpieza CIP de las membranas de ósmosis inversa

Este tipo de limpieza sirve como mantenimiento de las membranas de ósmosis inversa. Actúan eliminando los contaminantes de la superficie de las membranas disolviéndolos o separándolos mediante interacción física y química con los productos químicos de limpieza. Para ello se utilizarán los tanques diseñados para la ultrafiltración (tanques T2, T3 y T4) y se realizará, al igual que para la ultrafiltración, 12 veces al año según recomendación el fabricante.

Los pasos a seguir serán los siguientes:

1. Lavado con agua de permeado de las membranas de ósmosis inversa.
2. Limpieza con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA-4Na).
 - 1,0% en peso, pH 11,0 ajustado con NaOH, 35°C.
 - 1 hora de recirculación seguida de 1 hora de remojo, repetir tres veces y luego remojar durante toda la noche.
3. Enjuague con permeado.
4. Limpieza con ácido cítrico.
 - 2,0% en peso, si ajuste de pH.
 - 1 hora de recirculación seguida de 1 hora de remojo, repetir dos veces.
5. Enjuague con permeado.

3. Diseño de conducciones

En este apartado se van a diseñar las conducciones necesarias para llevar a cabo la ultrafiltración y la ósmosis inversa. Se calculará el diámetro y la sección de cada tramo diferenciándolos para cada proceso. En la figura A.7 se muestran los diferentes tramos a estudiar.

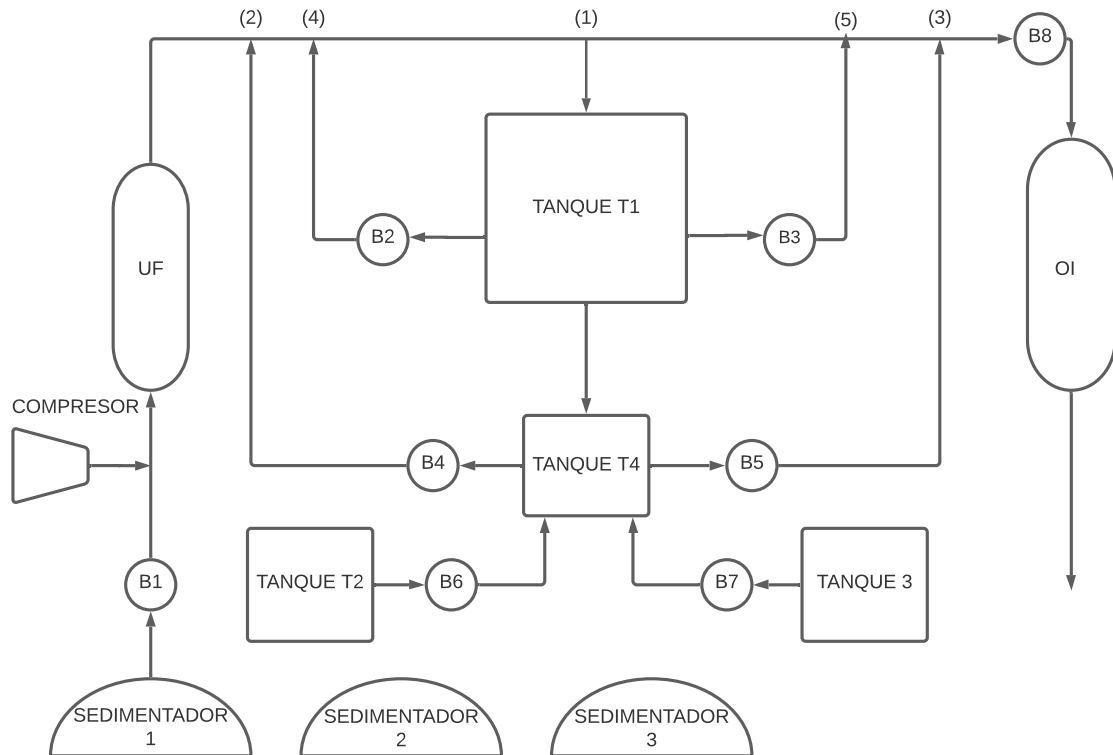


Figura A.7. Esquema del proceso de ultrafiltración y ósmosis inversa con definición de puntos.

Se pueden definir los siguientes tramos:

Tramo 1: Desde el sedimentador 1 hasta la bomba B1.

Tramo 2: Desde la bomba B1 hasta la entrada de la ultrafiltración.

Tramo 3: Desde la salida de la ultrafiltración hasta la bomba B8.

Tramo 4: Desde bomba B8 hasta entrada de la ósmosis inversa.

Tramo 5: Tramo de salida de la ósmosis inversa.

Tramo 6: Desde el punto (1) hasta la entrada del tanque T1.

Tramo 7: Desde el tanque T1 hasta el punto (4).

Tramo 8: Desde el tanque T1 hasta el punto (5).

Tramo 9: Desde el tanque T1 hasta el tanque T4.

Tramo 10: Desde el tanque T4 hasta el punto (2).

Tramo 11: Desde el tanque T4 hasta el punto (3).

Tramo 12: Desde el tanque T2 hasta el tanque T4.

Tramo 13: Desde el tanque T3 hasta el tanque T4.

Para realizar el diseño de las conducciones se va a seguir el siguiente procedimiento:

1. Suponer la velocidad máxima de circulación del agua (siendo 0,50 m/s la mínima velocidad de circulación posible y 3,50 m/s la máxima).
2. Calcular el diámetro interno de la conducción.
3. Elegir el diámetro nominal y el espesor según el fabricante, a partir del diámetro interno calculado.
4. Una vez elegido el diámetro nominal y el espesor, se obtiene el diámetro interno real y, finalmente, el valor de la velocidad real.

Para ello se van a utilizar las ecuaciones (32), (33), (34), (35) y (36).

$$S_c = \frac{Q}{v_{sup}} \quad (32)$$

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} \quad (33)$$

$$D_{i_{Real}} = D_e - 2e \quad (34)$$

$$S_{c_{Real}} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{i_{Real}}^2 \quad (35)$$

$$v_{Real} = \frac{Q}{S_{c_{Real}}} \quad (36)$$

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 supuesta del agua 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)
- $D_{i_{Real}}$ es el diámetro interno real de la conducción (m)
- $S_{c_{Real}}$ es la sección real de la conducción (m^2)
- v_{Real} es la velocidad obtenida a la que circula el agua (m/s)

3.1. Tramo 1

En el primer tramo se supone una velocidad de 3 m/s sabiendo que el caudal es de 175 m³/h. El material utilizado para este tramo va a ser PVC-O y va desde la salida del sedimentador 1 hasta la bomba B1.

Aplicando la ecuación (32) se obtiene la sección de la conducción supuesta.

$$S_c = \frac{175}{3600} = 1,62 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Sabiendo la sección y con la ecuación (33) se obtiene el diámetro interno de la conducción.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,62 \cdot 10^{-2}}{\pi}} = 0,144 \text{ m}$$

Para calcular el diámetro interno real, se elige un diámetro nominal (externo) de 160 mm según la norma UNE-EN17176 para tuberías de agua residual tratada que tendrá un espesor de 2,8 mm. Así pues, con la ecuación (34) se obtiene el diámetro interno real.

$$D_{i_{Real}} = 0,16 - 2 \cdot 0,0028 = 0,154 \text{ m}$$

A continuación se calcula la sección real con el resultado del diámetro interno real y con la ecuación (35).

$$S_{c_{Real}} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,154^2 = 1,86 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Finalmente se calcula la velocidad real a la que circulará el agua por el tramo 1 con la ecuación (36).

$$v_{Real} = \frac{175}{3600 \cdot 1,86 \cdot 10^{-2}} = 2,61 \text{ m/s}$$

3.2. Tramo 2

Este tramo va desde la bomba B1 hasta la entrada de la ultrafiltración. El caudal es de 175 m³/h y la velocidad se supone de 3 m/s. Como la presión en este tramo va a ser bastante alta, el material que se va a utilizar para la tubería es de acero inoxidable según la norma UNE-EN 10312.

Así pues, se calcula la sección supuesta.

$$S_c = \frac{175}{\frac{3600}{3}} = 1,62 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Con la sección, se obtiene el diámetro interno.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,62 \cdot 10^{-2}}{\pi}} = 0,144 \text{ m}$$

Se elige un diámetro de 154 mm con un espesor de 2 mm. Así que calculando la sección de la conducción real se obtiene la siguiente ecuación.

$$D_{iReal} = 0,154 - 2 \cdot 0,002 = 0,15 \text{ m}$$

A continuación se calcula la sección real con el resultado del diámetro interno real y con la ecuación (35).

$$S_{cReal} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,15^2 = 1,77 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Finalmente se calcula la velocidad real a la que circulará el agua por el tramo 2 con la ecuación (36).

$$v_{Real} = \frac{175}{\frac{3600}{1,77 \cdot 10^{-2}}} = 2,75 \text{ m/s}$$

3.3. Tramo 3

El tramo 3 va desde la salida de la ultrafiltración hasta la bomba B8. En este tramo el agua no va a tanta presión, por lo que se utilizará PVC-O como en el tramo 1. Como el caudal es de 175 m³/h los resultados serán los mismos que en el tramo 1. De manera que la tubería será de PVC-O y diámetro de 160 mm.

3.4. Tramo 4

El tramo 4 va desde la bomba B8 hasta la entrada de la ósmosis inversa. El caudal será de 175 m³/h y material acero inoxidable. Los resultados serán los mismos que para el tramo 2. Así que el material es acero inoxidable con un diámetro de 154 mm.

3.5. Tramo 5

Es la conducción de salida de la osmosis inversa con un caudal de 175 m³/h. El material será de PVC-O con un diámetro de 160 mm.

3.6. Tramo 6

El tramo va desde el punto (1) hasta el tanque T1 con un caudal de 105 m³/h y con una velocidad supuesta de 2,5 m/s. El material será de PVC-O.

Aplicando la ecuación (32) se obtiene la sección de la conducción supuesta.

$$S_c = \frac{105}{\frac{3600}{2,5}} = 1,17 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Sabiendo la sección y con la ecuación (33) se obtiene el diámetro interno de la conducción.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,17 \cdot 10^{-2}}{\pi}} = 0,122 \text{ m}$$

Para calcular el diámetro interno real, se elige un diámetro nominal (externo) de 140 mm según la norma UNE-EN17176 para tuberías de agua residual tratada que tendrá un espesor de 3,1 mm. Así pues, con la ecuación (34) se obtiene el diámetro interno real.

$$D_{iReal} = 0,14 - 2 \cdot 0,0031 = 0,134 \text{ m}$$

A continuación se calcula la sección real con el resultado del diámetro interno real y con la ecuación (35).

$$S_{cReal} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,134^2 = 1,41 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Finalmente se calcula la velocidad real a la que circulará el agua por el tramo 1 con la ecuación (36).

$$v_{Real} = \frac{105}{\frac{3600}{1,41 \cdot 10^{-2}}} = 2,07 \text{ m/s}$$

3.7. Tramo 7 y 8

El tramo 7 va desde el tanque T1 hasta el punto (4) y el tramo 8 va desde el tanque T1 hasta el punto (5). Los dos van a ser de material PVC-O con un caudal de 7 m³/h. Los cálculos van a ser los mismos para los dos tramos. Así pues, se calcula la sección supuesta de la tubería con una velocidad de 2 m/s.

$$S_c = \frac{7}{\frac{3600}{2}} = 9,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Con este dato se calcula el diámetro interno supuesto.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,72 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 0,035 \text{ m}$$

Para calcular el diámetro interno real, se elige el diámetro nominal (externo) de 40 mm con un espesor de 1,4 mm. Así pues, con la ecuación (34) se obtiene el diámetro interno real.

$$D_{iReal} = 0,04 - 2 \cdot 0,0014 = 0,0372m$$

Calculando ahora la sección real.

$$S_{cReal} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0372^2 = 1,09 \cdot 10^{-3} m^2$$

Finalmente se calcula la velocidad real de la tubería para los dos tramos.

$$v_{Real} = \frac{7}{\frac{3600}{1,09 \cdot 10^{-3}}} = 1,78 m/s$$

3.8. Tramo 9

Este tramo va desde el tanque T1 hasta el tanque T2. El material será de PVC-O y de las mismas medidas que el tramo 6.

3.9. Tramo 10 y 11

El tramo 10 va desde el tanque T4 hasta el punto (2) y el tramo 11 desde el tanque T4 hasta el punto (3). El caudal de las dos tuberías va ser de 105 m³/h con material de PVC-O. Los cálculos son los mismos que para el tramo 6, así que las tuberías serán de diámetro 140 mm.

3.10. Tramo 12 y 13

El tramo 12 va desde el tanque T2 hasta el tanque T4 y el tramo 13 desde el tanque T3 hasta el tanque T4. En ambas conducciones el material va a ser PVC-O con un caudal de $40 \text{ m}^3/\text{h}$ y velocidad 2 m/s , así pues los cálculos serán los siguientes.

$$S_c = \frac{40}{\frac{3600}{2}} = 5,56 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Con este dato se calcula el diámetro interno supuesto.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,56 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,084 \text{ m}$$

Para calcular el diámetro interno real, se elige el diámetro nominal (externo) de 90 mm con un espesor de $1,8 \text{ mm}$. Así pues, con la ecuación (34) se obtiene el diámetro interno real.

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

Calculando ahora la sección real.

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

Finalmente se calcula la velocidad real de la tubería para los dos tramos.

$$v_{Real} = \frac{40}{\frac{3600}{5,86 \cdot 10^{-3}}} = 1,19 \text{ m/s}$$

3.11. Resumen del diseño de conducciones

En la tabla A.26 se recogen las características de las conducciones del proceso.

Tabla A.26. Características de las conducciones.

| Tramo | Material | Q (m ³ /h) | D _e (mm) | D _{iReal} (mm) | V _{Real} (m/s) |
|-------|------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | PVC-O | 175 | 160 | 154 | 2,61 |
| 2 | Acero INOX | 175 | 154 | 150 | 2,75 |
| 3 | PVC-O | 175 | 160 | 154 | 2,61 |
| 4 | Acero INOX | 175 | 154 | 150 | 2,75 |
| 5 | PVC-O | 175 | 160 | 154 | 2,61 |
| 6 | PVC-O | 105 | 140 | 134 | 2,07 |
| 7 | PVC-O | 7 | 40 | 37,2 | 1,78 |
| 8 | PVC-O | 7 | 40 | 37,2 | 1,78 |
| 9 | PVC-O | 105 | 140 | 134 | 2,07 |
| 10 | PVC-O | 105 | 140 | 134 | 2,07 |
| 11 | PVC-O | 105 | 140 | 134 | 2,07 |
| 12 | PVC-O | 40 | 90 | 86,4 | 1,19 |
| 13 | PVC-O | 40 | 90 | 86,4 | 1,19 |

4. Bombas

En este apartado se van a dimensionar las bombas de impulsión del agua de todo el tratamiento terciario. Para ello, se han de tener en cuenta los accidentes de cada tramo, así como los accidentes y el material utilizado.

Para calcular la carga de las bombas se va a utilizar la ecuación (37).

$$h = (Z_2 - Z_1) + \frac{1}{g} \left(\left(\frac{v_2^2}{2\alpha_2} - \frac{v_1^2}{2\alpha_1} \right) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Delta F \right) \quad (37)$$

Donde:

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

Para el cálculo de la pérdida de carga total (ΔF) se va a utilizar la ecuación (38).

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_a \quad (38)$$

Donde:

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

Para el cálculo de la pérdida de carga en los tramos rectos (ΔF_r) se utiliza la ecuación (39).

$$\Delta F_r = 2 \cdot f \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D} \quad (39)$$

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)

Para conocer el número de Reynolds se utiliza la ecuación (40).

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (40)$$

Donde:

- Re es el número de Reynolds (adimensional). Régimen turbulento $Re \geq 10000$
- ρ es la densidad del agua (kg/m^3)
- v es la velocidad media a lo largo de la conducción (m/s)
- D es el diámetro de la conducción (m)
- μ es la viscosidad dinámica del agua ($\text{N}\cdot\text{s/m}^2$)

Para obtener la pérdida de carga en los accidentes (ΔF_a) se utiliza la ecuación (41).

$$\Delta F_a = \Sigma K \cdot \frac{v^2}{2} \quad (41)$$

Donde:

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

Para el cálculo de la potencia de la bomba se utiliza la ecuación (42).

$$P = \frac{h \cdot g \cdot m}{\eta} \quad (42)$$

Donde:

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

Finalmente, se va a utilizar el gráfico de Moody para el cálculo del factor de Fanning para poder realizar todos los cálculos.

Se van a realizar los cálculos para cada bomba pero solo se mostrarán los de la bomba 1, ya que el procedimiento es el mismo para todas.

4.1. Bomba B1 (tramo 1-2)

Para conocer la potencia de la bomba que se necesita en este tramo se van a realizar una serie de cálculos con las ecuaciones expuestas anteriormente.

Primero se ha de conocer el número de Reynolds para saber si está en régimen turbulento o no. Para ello se debe conocer la densidad, la velocidad, el diámetro de la conducción y la viscosidad. La densidad del agua es 1000 kg/m^3 , la velocidad media de la conducción es de $2,75 \text{ m/s}$, el diámetro es de 154 mm y la viscosidad del agua es de $0,001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Así que se calcula el número de Reynolds con la ecuación (40).

$$Re = \frac{1000 \cdot 2,75 \cdot 0,154}{0,001} = 4,23 \cdot 10^5$$

El régimen de flujo es turbulento, ya que $Re > 4000$. Una vez se conoce el número de Reynolds y sabiendo que la rugosidad del PVC es de $0,0015 \text{ mm}$, se puede conocer el factor de Fanning con el gráfico de Moody. Con un Re de $4,23 \cdot 10^5$ y ε/D con valor $9,74 \cdot 10^{-6}$, se obtiene que f es igual a $0,0227$.

Para el cálculo de la pérdida de carga en este tramo recto se deben conocer los siguientes parámetros:

- $L = 10 \text{ m}$
- $v = 2,75 \text{ m/s}$
- $D = 0,154$

Así que sustituyendo los valores en la ecuación (39) se obtiene el valor de ΔF_r .

$$\Delta F_r = 2 \cdot 0,0227 \cdot 2,75^2 \cdot \frac{10}{0,154} = 22,29 \text{ J/kg}$$

Ahora se calcula la pérdida de carga para los accidentes. En este tramo únicamente se encuentra una válvula de diafragma, por lo que el ΣK es igual a $2,3$. Así pues, con la ecuación (41) se obtiene el valor de ΔF_a .

$$\Delta F_a = 2,3 \cdot \frac{2,75^2}{2} = 8,7 \text{ J/kg}$$

Haciendo ahora el sumatorio de las dos pérdidas de carga con la ecuación (38) se obtiene el valor total de la pérdida de carga.

$$\Delta F = 22,29 + 8,7 = 30,99 \text{ J/kg}$$

Finalmente, se calcula la carga de la bomba con la ecuación (37).

$$h = (1 - 0,5) + \frac{1}{9,81} \cdot \left(\left(\frac{2,75^2}{2} \right) + \frac{3 \cdot 10^5 - 1,013 \cdot 10^5}{1000} + 30,99 \right) = 24,3 \text{ m}$$

Por último con la ecuación (42) se obtiene la potencia de la bomba.

$$m = 175 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 48,61 \text{ kg/s}$$

$$P = \frac{24,3 \cdot 9,81 \cdot 48,61}{0,8} = 14484,75 \text{ W} \approx 14,5 \text{ kW}$$

El tramo 1 y 2 son los que llevan el agua hasta el proceso de ultrafiltración, por lo que la presión de la bomba debe ser aquella que permita el correcto funcionamiento de las membranas elegidas. Sabiendo que el caudal en este tramo es de 175 m³/h y que la potencia es de 14,5 kW, se escoge una electrobomba (MN65-200B) centrífuga monobloc normalizada construida de acuerdo con las normas DIN 24255 de potencia 18,5 kW. Las características de la bomba se detallan en la tabla A.27.

Tabla A.27. Características de la electrobomba MN65-200B.

| | |
|----------------------------|--|
| Temperatura | máx. 90°C |
| Presión de trabajo | máx. 10 bar |
| Caudal máximo | 240 m ³ /h |
| Altura máxima | 92 m |
| Tubería recomendada | 5" |
| Motor | Inducción con rotor de jaula, de dos polos, cerrado y autoventilado. Motor trifásico 230/400 V – 50Hz ó 400/690 V – 50 Hz |

4.2. Bomba B2 y B3 (tramos 7 y 8)

Las bombas B2 y B3 van a tener las mismas características porque ambas deben impulsar un caudal de 7 m³/h y la potencia es de 1 kW. Así que se selecciona una bomba centrífuga multietapa horizontal modelo P5S-150/5T con una potencia de 1,31 kW con las características mostradas en la tabla A.28.

Tabla A.28. Características de la electrobomba P5S-150/5 T.

| | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| Temperatura | máx. 110°C |
| Presión de trabajo | máx. 8,5 bar |
| Caudal máximo | 10,8 m ³ /h |
| Altura máxima | 72 m |
| Tubería recomendada | 1” |
| Motor | 2 polos a inducción 230/400 V – 50Hz |

4.3. Bomba B4 y B5 (tramos 10 y 11)

En este caso las bombas B4 y B5 han de hacer frente a un caudal de 105 m³/h con una potencia de 4,5 kW. Para ello se utiliza el modelo CM65-125B con las características mostradas en la tabla A.29 ya que tiene una potencia de 5,5 kW.

Tabla A.1. Características de la electrobomba CM65-125B.

| | |
|----------------------------|-------------------------------|
| Temperatura | máx. 90°C |
| Presión de trabajo | máx. 8,80 bar |
| Caudal máximo | 120 m ³ /h |
| Altura máxima | 72 m |
| Tubería recomendada | 5" |
| Motor | Motor trifásico IP54, clase F |

4.4. Bombas B6 y B7 (tramos 12 y 13)

Los tramos 12 y 13 tienen un caudal de 40 m³/h y una potencia de 5,5 kW, así que se elige la bomba centrífuga monoblock horizontal modelo CM40-200A de 7,3 kW. Las características de esta bomba se indican en la tabla A.30.

Tabla A.30. Características de la electrobomba CM40-200A.

| | |
|----------------------------|-------------------------------|
| Temperatura | máx. 90°C |
| Presión de trabajo | máx. 8,80 bar |
| Caudal máximo | 42 m ³ /h |
| Altura máxima | 44 m |
| Tubería recomendada | 3" |
| Motor | Motor trifásico IP54, clase F |

4.5. Bomba B8 (tramo 3-4)

El tramo 3 y 4 son los que llevan el agua hasta el proceso de ósmosis inversa, por lo que la presión de la bomba debe ser aquella que permita el correcto funcionamiento de las membranas elegidas. Sabiendo que el caudal en este tramo es de 175 m³/h y que la presión normal a la que debe trabajar las membranas según el fabricante es de 3,4 bares, se escoge una electrobomba (MN65-200B) centrífuga monobloc normalizada construida de acuerdo con las normas DIN 24255. Las características de la bomba son la mismas que la bomba B1 (Tabla A.26).

4.6. Resumen de las bombas

En este apartado se van a resumir las bombas escogidas para todo el proceso en la tabla A.31.

Tabla A.31. Resumen de las bombas de la instalación.

| Bombas | Caudal (m ³ /h) | Tipo de bomba |
|---------------|----------------------------|---|
| B1, B8 | 175 | Electrobomba centrífuga monoblock normalizada MN65-200B |
| B2, B3 | 7 | Bomba centrífuga multietapa horizontal modelo P5S-150/5 T |
| B4, B5 | 105 | Electrobomba modelo CM65-125B |
| B6, B7 | 40 | Bomba centrífuga monoblock horizontal modelo CM40-200A |

5. Instrumentación

5.1. Válvulas

En la instalación se utilizan tres tipos de válvulas que son: válvula de diafragma, de retención y de globo.

La válvula de diafragma (ver figura A.8) efectúa el cierre por medio de un diafragma flexible sujeto a un compresor. Cuando el vástago hace descender el compresor, el diafragma produce el sello y corta la circulación. Esta válvula se encuentra en el tramo 2 (entre la bomba B1 y la entrada a la ultrafiltración). Se ha seleccionado la válvula del comerciante BELGICAST con un tamaño DN de 160 mm con presión admisible hasta 10 bares.



Figura A.8. Válvula de diafragma. Fuente: BELGICAST

La válvula de retención de mariposa (ver figura A.9) cuenta con un disco doble excéntrico de giro libre que oscila libremente facilitando el paso del fluido gracias a su doble apoyo. Se colocarán dos válvulas de este tipo en el tramo 3 del fabricante BELGICAST con una pérdida de presión mínima y con protección contra la corrosión.

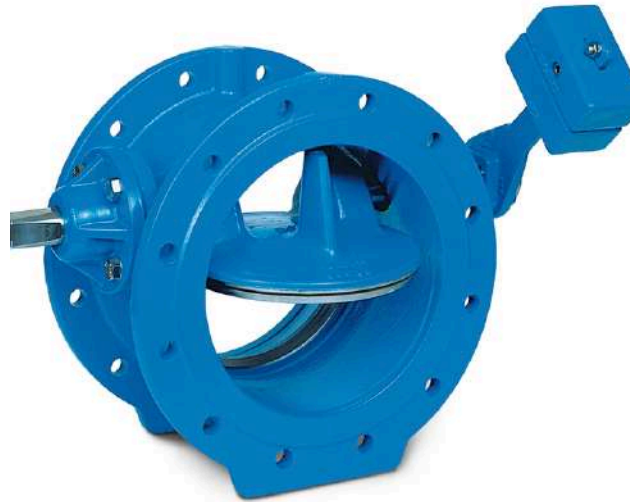


Figura A.9. Válvula de retención de mariposa. Fuente: BELGICAST.

La válvula de globo (ver figura A.10) es de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un tapón que corta el paso del fluido en un asiento que está paralelo a la circulación de la tubería. El fabricante es JLX Valve Factory y la válvula escogida será de DN de 140 mm con una presión nominal máxima de 16. Se colocarán dos válvulas de globo, una antes del tanque T1 y otra antes del tanque T4.



Figura A.10. Válvula de globo. Fuente: JLX Valve Factory.

5.2. Caudalímetros

Para poder controlar todo el proceso se van instalar dos caudalímetros en las tuberías antes de la ultrafiltración y antes de la ósmosis inversa. Se ha seleccionado el OPTIFLUX2300 (ver figura A.11) de la empresa KROHNE, un caudalímetro electromecánico que sirve para todo tipo de aplicaciones que tienen que ver con aguas residuales. Se elige el diámetro de 6 pulgadas que es el que se acopla mejor para las tuberías de acero inoxidable.

Los dos caudalímetros estarán conectados a un controlador PID, y este a su vez, estará conectado con las bombas B1 (entrada a la ultrafiltración) y B8 (entrada a la ósmosis inversa), de forma que, dependiendo del caudal medido, se envíe la información a la bomba para que impulse más o menos cantidad de fluido.



Figura A.11. Caudalímetro OPTIFLUX2300. Fuente: KROHNE.

5.3. Manómetros

En cada uno de los tanques de almacenamiento de reactivos (tanque T2, T3 y T4) se colocará un manómetro para medir la presión en el interior y evitar así que pueda darse una sobrepresión. También se colocarán manómetros conectados al controlador PID después de las bombas dosificadoras de manera que si la presión es superior a 3 bares, el PID mandará señal a la bomba para producir una variación en el caudal y disminuir así la presión.

Se elige el manómetro radial 3820 de la marca GENE BRE (ver figura A.12) con escala de 0 a 10 bares.



Figura A.12. Manómetro radial 3820.
Fuente: GENE BRE.

5.4. Controladores PID

El controlador PID estará conectado a los caudalímetros y manómetros. La función de este controlador será la de recibir los valores de caudal y presión, y según sean estos, se mandará una señal eléctrica a las bombas para que estas impulsen mayor o menor cantidad de fluido. Se ha seleccionado el modelo EP66 IP67 del fabricante EURA Drives (ver figura A.13), el cual tiene numerosas prestaciones especialmente indicadas para el control de bombas.



Figura A.13. Controlador PID EP66 IP67. Fuente: Euro Drives

5.5. Sensores

Los sensores que se van a utilizar van a ser de temperatura, de nivel y de pH, para asegurar que la calidad del agua está siendo la correcta en todo el proceso.

5.5.1. Sensor de temperatura

Se va a utilizar el sensor de temperatura con tubo de cuello TiTEC HTFB3/MUA/100 (ver figura A.14). Tiene un rango de medición de 0 a 150 °C con una señal de salida de 4 a 20 mA. Está diseñado con una resistencia a la presión máxima de 40 bar.



Figura A.14. Sensor de temperatura modelo HTFB3/MUA/100. Fuente: TiTEC.

5.5.2. Sensor de nivel

Debido a que el agua que se trata tiene una alta conductividad se puede hacer uso del sensor de nivel de un punto conductivo modelo FTW31-A1A3CA0A de la marca Endress+Hauser Liquipoint. Tiene una longitud de sonda de 1000 mm y la conductividad mínima que ha de presentar el líquido es de $10 \mu S/cm$ (en este caso la conductividad del agua es de unos $9000 \mu S/cm$, por lo que está altamente indicado para el uso con esta agua).

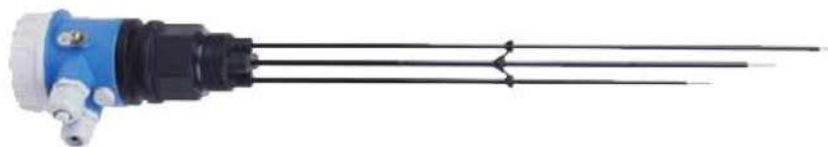


Figura 15. Sensor de nivel modelo FTW31-A1A3CA0A. Fuente: Endress+Hauser Liquipoint.

5.5.3. Sensor de pH

Se va a utilizar el medidor de pH modelo PCE-PH20 de la marca PCE (ver figura A.16). Tiene una alta precisión y es de fácil manejo.



Figura A.16. Sensor de pH modelo PCE-PH20.
Fuente: PCE.

5.6. Compresor

Para llevar a cabo el proceso de ultrafiltración es necesario introducir aire comprimido en las membranas. Para ello se utiliza un motocompresor de la marca Airmec modelo TEB22-620HO motor Honda GX (ver figura A.17). Puede aspirar hasta 37,2 Nm³/h de caudal de aire y puede soportar presiones de hasta 10 bares.



Figura A.17. Motocompresor Airmec TEB22-620HO motor Honda HX. Fuente: AGRIEURO.

6. Estudio económico

6.1. Instalación

6.1.1. Equipos principales

Los equipos principales de este tratamiento terciario se basa en el proceso de ultrafiltración y ósmosis inversa. En la tabla A.32 se muestra el precio de las membranas de ambos procesos de forma unitaria y total.

Tabla A.32. Precio unitario y total de las membranas de ultrafiltración y ósmosis inversa.

| Membranas | Unidades | Precio unitario (€/unidad) | Precio total (€/unidades totales) |
|----------------------------|-----------------|-----------------------------------|--|
| UF (HFU-2020series) | 33 | 325 | 10.725 |
| OI (TM820V-440) | 112 | 550 | 61.600 |

En la tabla A.33 se muestra el precio de la infraestructura de la ultrafiltración y ósmosis inversa (que están compuestas por módulos).

Tabla A.33. Precio de las estructuras de UF y OI teniendo en cuenta el IVA.

| Infraestructura | Precio sin IVA (€) | Precio con IVA (€) (21%) |
|------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Ultrafiltración | 20.000 | 24.200 |
| Ósmosis inversa | 115.000 | 139.150 |

El precio total incluyendo el IVA de los equipos principales se muestran en la tabla A.34.

Tabla A.34. Precio total de inversión de los sistema de ultrafiltración y ósmosis inversa.

| Sistema | Precio total (€) |
|-----------------|------------------|
| Ultrafiltración | 34.925 |
| Ósmosis inversa | 200.750 |

La inversión de los equipos principales es de 235.675 €.

6.1.2. Bombas

En este apartado se van a detallar los precios de las bombas utilizadas para el diseño del tratamiento terciario en la tabla A.35.

Tabla A.35. Precio unitario y total de las bombas del tratamiento.

| Bomba | Unidades | Precio unitario (€/unidad) | Precio total (€) |
|--|----------|----------------------------|------------------|
| Electrobomba centrífuga monoblock normalizada MN65-200B (B1, B8) | 2 | 1.968,99 | 3.937,98 |
| Bomba centrífuga multietapa horizontal modelo P5S-150/5 T | 2 | 297,23 | 594,46 |
| Electrobomba modelo CM65-125B | 2 | 813,64 | 1.627,28 |
| Bomba centrífuga monoblock horizontal modelo CM40-200A | 2 | 847,19 | 1.694,38 |

El precio total de todas las bombas es de 7.854,1 €.

6.1.3. Tanques

En este apartado se va a calcular el precio total de los cuatro tanques utilizados para la limpieza de las membranas de ultrafiltración y ósmosis inversa. En la tabla A.36. se muestran los tanques con sus dimensiones y el precio de cada uno.

Tabla A.36. Precio de los tanques.

| Tanque | Dimensiones (m³) | Precio (€) |
|--|------------------------------------|-------------------|
| Permeado (T1) | 245 | 27.718 |
| Hipoclorito de sodio, NaClO (T2) | 42,4 | 4.796,9 |
| Ácido nítrico, HNO₃ (T3) | 118 | 13.349,9 |
| Preparación disoluciones (Y4) | 118 | 13.349,9 |

El precio total de los tanques es de 59.214,7 €.

6.1.4. Conducciones

En este apartado se calcula el precio de las conducciones dependiendo del tipo de material y los metros que se necesitan. Se indica el precio de cada material en la tabla A.37.

Tabla A.37. Precio de las conducciones por metro y precio total.

| Conducción | m | Precio por metro (€/m) | Precio total (€) |
|-------------------------|----------|-------------------------------|-------------------------|
| PVC-O DN160 | 40 | 16,34 | 434,8 |
| Acero INOX DN154 | 12 | 17,43 | 209,16 |
| PVC-O DN140 | 52 | 12,75 | 663 |
| PVC-O DN40 | 16 | 9,38 | 144,61 |
| PVD-O DN90 | 20 | 11,25 | 225 |

El precio total de las conducciones asciende a 1.676,57 €.

6.1.5. Accesorios

En este apartado se expresa el precio unitario y total de todos los accesorios que se utilizan para el control del tratamiento terciario. En la tabla A.38 se muestran todos los precios.

Tabla A.38. Precio unitario y total de los accesorios.

| Accesorio | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|-----------------------|----------|---------------------|------------------|
| Válvula de diafragma | 1 | 190 | 190 |
| Válvula de mariposa | 1 | 75,70 | 75,70 |
| Válvula de globo | 1 | 92,59 | 92,59 |
| Caudalímetro | 2 | 945 | 1.890 |
| Manómetro | 5 | 140 | 700 |
| Controlador PID | 1 | 990 | 990 |
| Sensor de temperatura | 1 | 131,89 | 131,89 |
| Sensor de nivel | 1 | 143,99 | 143,99 |
| Sensor de pH | 1 | 93,07 | 93,07 |
| Compresor | 1 | 983,95 | 983,95 |

El precio total es de 5.291,19 €.

6.1.6. Coste total de la instalación

Para calcular el coste total de la instalación se han de sumar todos los costes calculados en anteriormente, de manera que se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Coste total instalación} &= 235.675 + 7.854,1 + 59.214,7 + 1.676,57 + 5.291,19 \\ &= 309.711,56 \text{ €} \end{aligned}$$

6.1.7. Coste anual de la instalación

Se considera un periodo de amortización de 20 años por las dimensiones del proyecto, así pues, para calcular el coste anual de la instalación se divide el coste total de la instalación entre el periodo de amortización.

$$\text{Coste anual instalación} = \frac{309.711,56}{20} = 15.485,58 \text{ €/año}$$

Se obtiene un coste anual de la instalación de 15.485,58 €.

6.2. Operación

En este apartado se van a calcular los costes procedentes de los reactivos necesarios para llevar a cabo la limpieza de las membranas de ultrafiltración y ósmosis inversa.

6.2.1. Reactivos

Por un lado, se necesitan 115.500 L de HNO_3 al año y el precio por botella de 25 L es de 33 euros, así que se calculan el número de botellas necesarias.

$$\text{N}^\circ \text{ botellas } \text{HNO}_3 = \frac{115.500}{25} = 4.620 \text{ botellas}$$

Sabiendo el número de botellas se calcula el precio total de HNO_3 al año.

$$\text{Precio total } \text{HNO}_3 = 4.620 \cdot 33 = 152.460 \text{ €/año}$$

Por otro lado, se necesitan 36.210 L de NaClO al año y el precio por botella de 25 L es de 16 euros, así que se calculan el número de botellas necesarias.

$$N^{\circ} \text{ botellas NaClO} = \frac{36.210}{25} = 1.448,8 \text{ botellas}$$

Sabiendo el número de botellas se calcula el precio total de NaClO al año.

$$\text{Precio total NaClO} = 1.448,8 \cdot 16 = 23.174,4 \text{ €/año}$$

6.2.2. Coste eléctrico

Para el cálculo del coste eléctrico se han de tener en cuenta todos los equipos que consumen energía y se hará estableciendo un valor medio de la electricidad en España de 0,16635 €/kWh.

Para el cálculo del coste eléctrico de las bombas se debe considerar las horas de funcionamiento diario (aproximadamente 20 horas), al igual que la cantidad de días al año que trabajarán (365 días). Con estos datos y la ecuación (43), se puede obtener el consumo de cada bomba en una hora.

$$C_h = P \cdot P_{elect} \tag{43}$$

Donde:

C_h : Es el coste eléctrico por hora (€/h)

P : Es la potencia de cada bomba (kW)

P_{elect} : Es el precio actual medio de la electricidad en España (€/kWh)

A continuación, se va a mostrar la tabla A.39 donde se muestra la potencia de cada bomba, el coste por hora y el coste por año.

Tabla A. 39. Coste eléctrico de las bombas por hora y por año.

| Bombas | P (kW) | C _h (€/h) | C _a (€/año) |
|-----------|--------|----------------------|------------------------|
| B1 | 18,5 | 3,08 | 22.465,57 |
| B2 | 1,3 | 0,22 | 1.578,66 |
| B3 | 1,3 | 0,22 | 1.578,66 |
| B4 | 5,5 | 0,91 | 6.678,95 |
| B5 | 5,5 | 0,91 | 6.678,95 |
| B6 | 7,3 | 1,21 | 8.864,79 |
| B7 | 7,3 | 1,21 | 8.864,79 |
| B8 | 18,5 | 3,08 | 22.465,57 |

El coste eléctrico total de las bombas es de 79.175,94 € al año.

En cuanto a la ultrafiltración se va a suponer un consumo de 1 kWh/m³. Considerando que va a trabajar 20 horas al día y 365 días a año con un caudal de 175 m³/h se obtiene la ecuación (44).

$$1 \frac{kWh}{m^3} \cdot 0,16635 \frac{\text{€}}{kWh} \cdot 175 \frac{m^3}{h} \cdot 20 \frac{h}{\text{día}} \cdot 365 \frac{\text{día}}{\text{año}} = 212.512,13 \text{ €/año} \quad (44)$$

De igual forma para la ósmosis inversa se construye la ecuación (45) pero suponiendo un consumo de 3 kWh/m³.

$$3 \frac{kWh}{m^3} \cdot 0,16635 \frac{\text{€}}{kWh} \cdot 175 \frac{m^3}{h} \cdot 20 \frac{h}{\text{día}} \cdot 365 \frac{\text{día}}{\text{año}} = 637.536,38 \text{ €/año} \quad (45)$$

6.2.3. Coste total de operación

Para calcular el coste total de operación se va a tener en cuenta la suma de los anteriores apartados (6.2.1. Reactivos y 6.2.2. Coste eléctrico) en la ecuación (46).

$$C_T \text{ operación} = P_T \text{ HNO}_3 + P_T \text{ NaClO} + C_{EL} \text{ bombas} + C_{EL} \text{ UF} + C_{EL} \text{ OI} \quad (46)$$

Donde:

C_T es el coste total

P_T es el precio total

C_{EL} es el coste eléctrico

$$C_T \text{ operación} = 152.460 + 23.174,4 + 79.175,94 + 212.512,13 + 637.536,38 = 1.104.858,85 \text{ €/año}$$

6.3. Coste total anual

En este apartado se calcula el coste total anual sumando el coste anual de la instalación (6.1.7) y el coste total de operación (6.2.3).

$$\text{Coste total anual} = 15.485,58 + 1.104.858,85 = 1.120.344,43 \text{ €/año}$$

7. Estudio de Seguridad y Salud

En el apartado de Estudio de Seguridad y Salud se va a establecer una previsión de los procedimientos, equipos y medios auxiliares a emplear en la obra, exponiendo los riesgos laborales previstos y las medidas a adoptar para evitarlos y/o reducirlos, todo ello según lo establecido en el artículo 4 del Real Decreto 1627/1997 por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

Se va a utilizar el método del INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo). En este método se utiliza la siguiente valoración.

1. Consecuencias del daño:
 - LEVE: Daños superficiales, molestias e irritación, etc.
 - IMPORTANTE: Quemaduras, torceduras, asma, etc.
 - SERIO: Amputaciones, lesiones múltiples, cáncer, etc.
2. Probabilidad de que ocurra:
 - POCO POSIBLE: Se sabe que ha pasado en alguna parte.
 - POSIBLE: Secuencia rara, pero posible.
 - CASI SEGURO: Es el resultado más probable.
3. Tolerabilidad

Tabla A.40. Índice de tolerabilidad.

| | LEVE | IMPORTANTE | SERIO |
|--------------|------|------------|-------|
| POCO POSIBLE | 0 | 1 | 2 |
| POSIBLE | 1 | 2 | 3 |
| CASI SEGURO | 2 | 3 | 4 |

Estos niveles de riesgo sirven de base para la toma de decisiones respecto a cómo debe actuarse. El plan de acción es el siguiente:

TRIVIAL (0): No se requiere acción preventiva.

TOLERABLE (1): Reducir el riesgo con soluciones económicas.

MODERADO (2): Implantación de medida a corto plazo. Medidas de control periódico.

IMPORTANTE (3): Se debe reducir el riesgo, aun con grandes recursos. Deben implantarse plazos de aplicación muy cortos.

INTOLERABLE (4): Paralización del trabajo. Si no se reduce el riesgo: Trabajo prohibido.

Una vez explicado el método que se va a utilizar se van a numerar los riesgos que se consideran posibles en esta obra.

Caída de personas a distinto nivel (1)

Los equipos de ultrafiltración, ósmosis inversa y tanques están a cierta altura, por lo que si el operario tuviera que arreglar algo en altura podría producirse una caída a distinto nivel.

Caída de personas al mismo nivel (2)

Puede que haya elementos en el suelo, tales como herramientas o conducciones, que puedan provocar la caída del operario.

Choques y golpes contra objetos inmóviles (3)

Se podrían producir choques contra los equipos puesto que están al aire libre.

Golpes y cortes por objetos y herramientas (4)

En la utilización de herramientas para el mantenimiento de los equipos se pueden producir lesiones debido a golpes o cortes.

Sobreesfuerzos, posturas inadecuadas o movimiento repetitivo (5)

Se pueden producir un sobreesfuerzo a la hora de cargar los bidones de reactivos o manipulando los equipos como las bombas. También se pueden producir lesiones si se tiene una postura inadecuada.

Exposición a temperaturas ambientales extremas (6)

Se trabaja los 365 días del año por lo que en verano se llega a temperatura muy cálidas por lo que se ha de tener las medidas necesarias para evitar golpes de calor, etc.

Contactos térmicos (7)

Cuando las bombas están en funcionamiento muchas horas pueden recalentarse, por lo que puede darse un contacto térmico leve.

Contactos eléctricos (8)

Debido a que los equipos que forman la instalación cuentan con paneles eléctricos de control, motores, etc., se puede dar un contacto eléctrico.

Exposición a sustancias nocivas o tóxicas (9)

Se dispone de HNO_3 que puede generar óxidos de nitrógeno, muy tóxicos, cuando se calienta.

Contacto con sustancias cáusticas o corrosivas (10)

Se utiliza NaClO , que es un químico cáustico que puede provocar daños en el tejido si se produce contacto.

Explosión (11)

El HNO₃ por ser un fuerte oxidante, su contacto con material combustible, hace que se incremente el riesgo de fuego o incluso explosión. Es no combustible, pero es peligrosamente reactivo con muchos materiales.

Exposición al ruido (12)

Debido al número de bombas existe cierta exposición al ruido.

En la tabla A.41 se van a evaluar cada uno de los riesgos que se han considerado anteriormente por el método del INSHT.

Tabla A.41a. Evaluación de riesgos por el método INSHT.

| Riesgo | Probabilidad | Consecuencia | Tolerancia |
|--------|--------------|--------------|------------|
| 1 | POSIBLE | IMPORTANTE | MODERADO |
| 2 | POSIBLE | IMPORTANTE | MODERADO |
| 3 | POSIBLE | LEVE | TOLERABLE |
| 4 | POSIBLE | IMPORTANTE | MODERADO |
| 5 | CASI SEGURO | IMPORTANTE | IMPORTANTE |
| 6 | CASI SEGURO | IMPORTANTE | IMPORTANTE |
| 7 | POCO POSIBLE | LEVE | TRIVIAL |
| 8 | POSIBLE | IMPORTANTE | MODERADO |
| 9 | POCO POSIBLE | SERIO | MODERADO |

Tabla A.41b. Continuación de la tabla A.41a.

| | | | |
|-----------|--------------|------------|----------|
| 10 | POSIBLE | IMPORTANTE | MODERADO |
| 11 | POCO POSIBLE | SERIO | MODERADO |
| 12 | CASI SEGURO | LEVE | MODERADO |

Una vez se han evaluado los riesgos que pueden darse en esta instalación se van a mostrar las medidas preventivas.

Caída de personas a distinto nivel (1)

Las personas deberán usar cinturón de seguridad, arnés o sistemas similares para evitar las caídas desde cierta altura, además de formación para que tenga la información necesaria para saber como han de actuar.

Caída de personas al mismo nivel (2)

Aquellos objetos inmóviles que sean imposibles de eliminar del suelo irán marcados con pintura amarilla y negra para avisar al operario de que tenga cuidado al pasar por la zona. Además, se deberá mantener en todo momento la limpieza del lugar para evitar los tropezones procedentes de herramientas en el suelo.

Choques y golpes contra objetos inmóviles (3)

Se cubrirá si se requiere aquellas esquinas o objetos punzantes de los dispositivos que puedan resultar peligrosos si se choca contra ellos.

Golpes y cortes por objetos y herramientas (4)

Se deberá utilizar los EPIs necesarios cuando se estén manipulando herramientas peligrosas.

Sobreesfuerzos, posturas inadecuadas o movimiento repetitivo (5)

Se mantendrá informado al trabajador de la posición que debe mantener en el trabajo para evitar lesiones procedentes de una mala postura. Además, se dispondrá de carteles informativos con la posición adecuada para levantamiento de peso en las zonas de trabajo.

Exposición a temperaturas ambientales extremas (6)

En la época de verano que el operario esté expuesto a altas temperaturas se hará un cambio de horario a jornada reducida para evitar las horas en las que las temperaturas son más extremas.

Contactos térmicos (7)

El operario deberá llevar los EPIs adecuados (en este caso guantes) cuando esté manipulando las bombas.

Contactos eléctricos (8)

El operario responsable de manipular elementos eléctricos deberá estar formado para ello, con los cursos o formación que ello conlleve.

Exposición a sustancias nocivas o tóxicas (9)

Cuando el operario deba utilizar HNO_3 deberá llevar los EPIs necesarios (bata, gafas y guantes) y se les impartirá un curso de sustancias químicas para saber como actuar y como manipularlo.

Contacto con sustancias cáusticas o corrosivas (10)

Cuando el operario deba utilizar NaClO deberá llevar los EPIs necesarios (bata, gafas y guantes) y se les impartirá un curso de sustancias químicas para saber como actuar y como manipularlo.

Explosión (11)

Cursos de formación a todos los operarios para que extremen la precaución con este reactivo.

Exposición al ruido (12)

Los operarios dispondrán de tapones para los oídos cuando lo requiera.

8. Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura A.1. Tratamientos terciarios propuestos sin desalación..... | 5 |
| Figura A.2. Tratamientos terciarios propuestos con desalación..... | 6 |
| Figura A.3. Esquema del método de jerarquías analítico..... | 9 |
| Figura A.4. Membrana HFU-2020 series de PVDF con módulo de fibra hueca. | 28 |
| Figura A.5. Diagrama de proceso de la ultrafiltración..... | 29 |
| Figura A.6. Esquema de la membrana TM820V-440. | 40 |
| Figura A.7. Esquema del proceso de ultrafiltración y ósmosis inversa con definición de puntos. | 43 |
| Figura A.8. Válvula de diafragma..... | 63 |
| Figura A.9. Válvula de retención de mariposa..... | 64 |
| Figura A.10. Válvula de globo..... | 64 |
| Figura A.11. Caudalímetro OPTIFLUX2300..... | 65 |
| Figura A.12. Manómetro radial 3820..... | 66 |
| Figura A.13. Controlador PID EP66 IP07..... | 67 |
| Figura A.14. Sensor de temperatura modelo HTFB3/MUA/100..... | 68 |
| Figura A.15. Sensor de nivel modelo FTW31-A1A3CA0A..... | 68 |
| Figura A.16. Sensor de pH modelo PCE-PH20..... | 69 |
| Figura A.17. Motocompresor Airmec TEB22-620HO motor Honda HX..... | 69 |

9. Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla A.1. Límites de vertido según R.D. Ley 11/95 y R.D. 509/96..... | 1 |
| Tabla A.2. Valores normales de salida del agua del proceso sin tratamiento terciario..... | 2 |
| Tabla A.3. Valores límite para la reutilización exigidos por el R.D.1620/2007..... | 3 |
| Tabla A.4. Contenido de sales óptimo para garantizar la calidad del agua de riego..... | 3 |
| Tabla A.5. Valores de salida de planta sin tratamiento terciario..... | 4 |
| Tabla A.6. Escala comparativa de elementos..... | 8 |
| Tabla A.7. Datos técnicos de los dos procesos a comparar..... | 10 |
| Tabla A.8. Importancia de los atributos..... | 11 |
| Tabla A.9. Matriz de decisión..... | 13 |
| Tabla A.10. Valores del agua de partida..... | 14 |
| Tabla A.11. Parámetros de la experimentación de prueba..... | 15 |
| Tabla A.12. Dosis de reactivos en cada muestra..... | 16 |
| Tabla A.13. Resultados de la prueba Jar-Test para la elección de la dosis óptima de coagulante..... | 17 |
| Tabla A.14. Dosis de reactivos en cada muestra..... | 18 |
| Tabla A.15. Resultados de la prueba Jar-Test para la elección de la dosis óptima de floculante..... | 18 |
| Tabla A.16. Dosificación expresada en ppm..... | 19 |
| Tabla A.17. Datos introducidos en el software Toray para obtener la membrana óptima en el proceso de ultrafiltración..... | 20 |

| | |
|--|----|
| Tabla A.18. Características de las membranas HFU-2020series y HFU-1020series con y sin limpieza de mantenimiento TMC. | 22 |
| Tabla A.19. Características con la membrana HFU-2020series variando el factor de frecuencia CIP. | 26 |
| Tabla A.20. Características de la membrana HFU-2020series. | 27 |
| Tabla A.21. Parámetros de operación de la membrana HFU-2020series. | 28 |
| Tabla A.22. Resumen de las dimensiones de los tanques de ultrafiltración. | 37 |
| Tabla A.23. Comparación entre membranas de ósmosis inversa. | 39 |
| Tabla A.24. Características de la membrana seleccionada TM820V-440 del fabricante Toray. | 40 |
| Tabla A.25. Condiciones de operación para el uso del procedimiento de enjuague. | 42 |
| Tabla A.26. Características de las conducciones. | 52 |
| Tabla A.27. Características de la electrobomba MN65-200B. | 58 |
| Tabla A.28. Características de la electrobomba P5S-150/5T. | 59 |
| Tabla A.29. Características de la electrobomba CM65-125B. | 60 |
| Tabla A.30. Características de la electrobomba CM40-200A. | 61 |
| Tabla A.31. Resumen de las bombas de la instalación. | 62 |
| Tabla A.32. Precio unitario y total de las membranas de ultrafiltración y ósmosis inversa. | 70 |
| Tabla A.33. Precio de las estructuras de UF y OI teniendo en cuenta el IVA. | 70 |
| Tabla A.34. Precio total de la inversión de los sistemas de ultrafiltración y ósmosis invera. | 71 |

| | |
|---|----|
| Tabla A.35. Precio unitario y total de las bombas del tratamiento. | 71 |
| Tabla A.36. Precio de los tanques. | 72 |
| Tabla A.37. Precio de las conducciones por metro y precio total. | 73 |
| Tabla A.38. Precio unitario y total de los accesorios. | 74 |
| Tabla A.39. Coste eléctrico de las bombas por hora y por año. | 77 |
| Tabla A.40. Índice de tolerabilidad. | 79 |
| Tabla A.41a. Evaluación de riesgos por el método del INSHT. | 82 |
| Tabla A.41b. Continuación de la tabla A.41a. | 83 |

ANEXO II. RESULTADOS OBTENIDOS DEL SOFTWARE TORAY PARA LA MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN

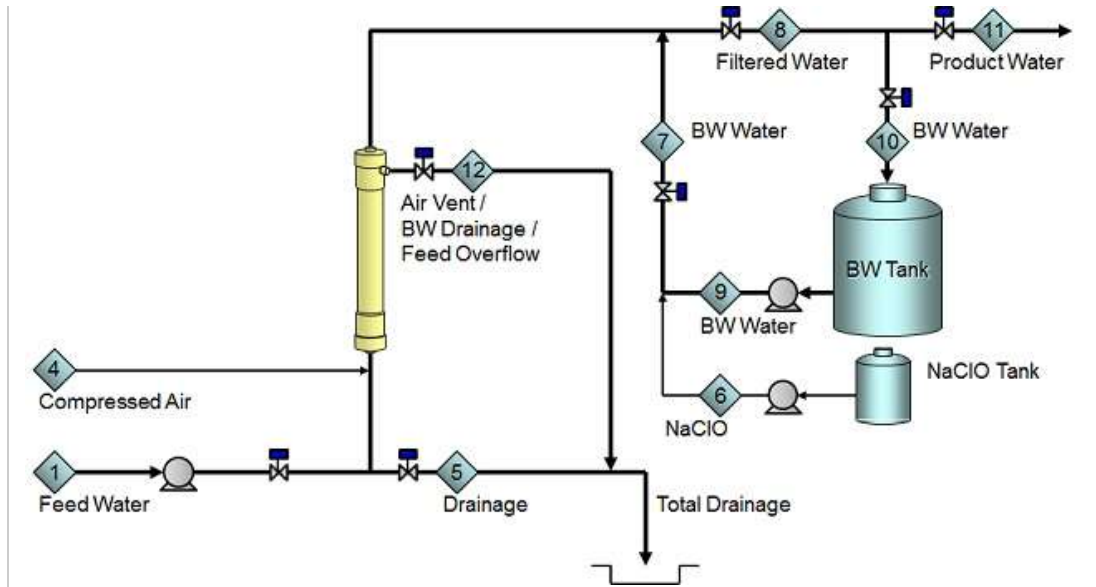
| Calculation Download Upload Change Unit | | | |
|---|---------------------|--|----------------------|
| Project | | | |
| Project Name | | | Membrane UHF-2020sc |
| Product Water | m ³ /day | | 4200.00 |
| Water Category | | | Waste Water |
| Coagulant | | | With Coagulant |
| Toray Maintenance Cleaning (TMC) | | | With TMC (1time/day) |
| UF Feed Info | | | |
| Feed nominal max. Turbidity (0-30) | NTU | | 5.000 |
| Feed peak max. Turbidity (0-100) | NTU | | 10.000 |
| Feed nominal max. TSS (0-30) | mg/L | | 6.500 |
| Feed peak max. TSS (0-100) | mg/L | | 0.000 |
| Feed max. Color | deg | | 0.000 |
| Feed max. Fe | mg/L | | 0.000 |
| Feed max. Mn (0-0.05) | mg/L | | 0.000 |
| Feed max. TOC | mg/L | | 0.000 |
| Feed max. COD | mg/L | | 35.000 |

| | | |
|---|----------------|---|
| Feed max. UV260 | abs/cm | <input type="text" value="0.000"/> |
| Feed max. NH ₄ ⁺ | mg/L | <input type="text" value="2.000"/> |
| Feed max. Oil & Grease (0-1) | mg/L | <input type="text" value="0.000"/> |
| Feed Water min. Temp. (0-40) | deg C | <input type="text" value="20.00"/> |
| Water Cleanness | | <input type="text" value="Dirty"/> |
| Configuration Info | | |
| Module Type | | <input type="text" value="HFU-2020series"/> |
| Membrane Area | m ² | <input type="text" value="72"/> |
| Total Number of Trains (Without Standby Trains for CIP) | | <input type="text" value="1"/> |
| Filtration (15-60) | min | <input type="text" value="30.00"/> |
| CIP Frequency Factor (0.5-2.0) | | <input type="text" value="1.000"/> |
| <input type="button" value="Calculation"/> <input type="button" value="Download"/> <input type="button" value="Upload"/> <input type="button" value="Change Unit"/> | | |

| | | |
|--|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Operation Conditions | | |
| Instantaneous Filtration Flux | m ³ /m ² /day | <input type="text" value="2.016"/> |
| Filtration Flowrate per one Module | m ³ /day | <input type="text" value="145.127"/> |
| Backwash Flux | m ³ /m ² /day | <input type="text" value="2.217"/> |
| Scrubbing Air Flow Rate per one Module | NL/min | <input type="text" value="100"/> |
| Backwash Chlorine | mg/L as Cl ₂ | <input type="text" value="0"/> |
| TMC Chlorine | mg/L as Cl ₂ | <input type="text" value="300"/> |
| Duration | | |
| Filtration | min | <input type="text" value="30.00"/> |
| Backwash with Air | min | <input type="text" value="0.00"/> |

Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas

| | | |
|--|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Backwash | min | <input type="text" value="1.00"/> |
| Air Scrubbing | min | <input type="text" value="1.00"/> |
| Drain | min | <input type="text" value="0.75"/> |
| Refill | min | <input type="text" value="0.66"/> |
| Control Loss | min | <input type="text" value="0.75"/> |
| Total | min | <input type="text" value="34.16"/> |
| TMC Time | min | <input type="text" value="30.00"/> |
| TMC Pre-backwash | min | <input type="text" value="0.23"/> |
| TMC Backwash | min | <input type="text" value="0.68"/> |
| Filtration Cycle | cycles/day | <input type="text" value="41.27"/> |
| CIP Frequency | times/year | <input type="text" value="12"/> |
| Capacity | | |
| Minimum Number of Modules per Train | | <input type="text" value="35"/> |
| Total Number of Modules (Include Standby Trains if Need be) | | <input type="text" value="35"/> |
| Filtrated Water | m ³ /day | <input type="text" value="4367.58"/> |
| Backwash Water | m ³ /day | <input type="text" value="160.14"/> |
| TMC Water | m ³ /day | <input type="text" value="7.44"/> |
| Total Drainage | m ³ /day | <input type="text" value="264.07"/> |
| Feed Water | m ³ /day | <input type="text" value="4464.07"/> |
| Product Water | m ³ /day | <input type="text" value="4200.00"/> |
| Recovery | % | <input type="text" value="94.08"/> |
| Net Flux | m ³ /m ² /day | <input type="text" value="1.667"/> |
| Flow Diagram | | |
| | | |



| | | |
|---------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 8: Filtrated Water | m ³ /day | <input type="text" value="4367.58"/> |
| 7a: Backwash Water | m ³ /day | <input type="text" value="160.14"/> |
| 7b: TMC Water | m ³ /day | <input type="text" value="7.44"/> |
| 5: Drainage | m ³ /day | <input type="text" value="77.48"/> |
| 12: BW Drainage + Feed Overflow | m ³ /day | <input type="text" value="186.60"/> |
| 5+12: Total Drainage | m ³ /day | <input type="text" value="264.07"/> |
| 1: Feed Water | m ³ /day | <input type="text" value="4464.07"/> |
| 11: Product Water | m ³ /day | <input type="text" value="4200.00"/> |
| Recovery | % | <input type="text" value="94.08"/> |

ANEXO III. CATÁLOGOS DE LOS EQUIPOS

Membrana de ultrafiltración

■ Product Datasheet



HFU-2020AN

Pressurized Outside to In / Dead-end Filtration Ultrafiltration (UF) Membrane Module

Toray's PVDF membrane construction is highly resistant to chlorine and strong acids, which allows for better cleaning and optimization of filtration flux rates after cleaning. The hollow fiber modules effectively remove suspended solids, viruses, and bacteria and are certified for drinking water applications.

| Membrane Characteristics | Unit | Value |
|---|-----------------------------------|--------------------------------|
| Membrane Material | | PVDF (Polyvinylidene fluoride) |
| Nominal Pore Size | μm | 0.01 |
| Outer Membrane Surface Area | m ² (ft ²) | 72 (775) |
| Operating Parameters | Unit | Value |
| Maximum Feed water / Filtrate Flow | m ³ /h (gpm) | 12 (53) |
| Maximum Backwash Flow | m ³ /h (gpm) | 13.5 (59) |
| Maximum Air Flow | Nm ³ /h (scfm) | 9.0 (5.3) |
| Maximum Inlet Pressure | kPa (psi) | 300 (43.5) |
| Maximum Backwash Pressure | kPa (psi) | 300 (43.5) |
| Normal Operating Transmembrane Pressure | kPa (psi) | 0–200 (0–29) |
| Operating Temperature Range | °C (°F) | 0–40 (32–104) |
| pH Range | During Filtration | 1–10 |
| | During Cleaning | 0–12 |

*Please contact Toray for operating manual and preliminary design, as capacity per module is highly dependent on feed water quality.



Product Certifications and Compliances

- NSF/ANSI 61 for drinking water applications
- NSF/ANSI 419 to comply with the U.S. EPA's Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule (LT2ESWTR), which allows membrane manufacturers to prove Cryptosporidium reduction.
- Association of Membrane Separation Technology of Japan



Applications

Drinking water, Industrial process water, Pretreatment for seawater RO desalination, Secondary and Tertiary wastewater

1 of 2
01-MB2-02-210331

■ Product Datasheet



HFU-2020AN

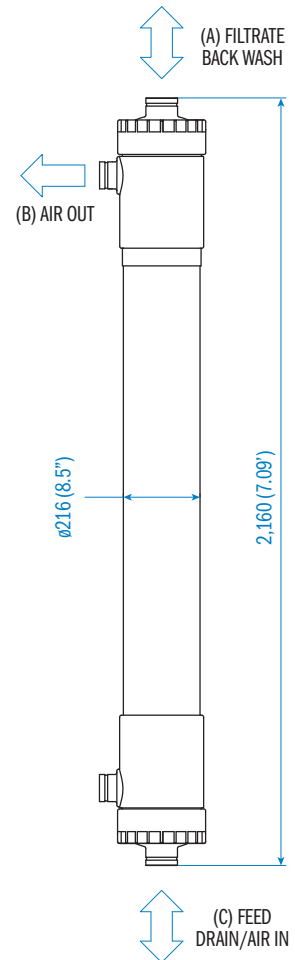
Pressurized Outside to In / Dead-end Filtration Ultrafiltration (UF) Membrane Module

| Dimensions and Weight | | Unit | Value |
|-----------------------|----------------|----------|---------------|
| Diameter | | mm (in) | 216 (8.5) |
| Length | | mm (ft) | 2,160 (7.087) |
| Weight | Full of Water | kg (lbs) | 92 (203) |
| | After Draining | kg (lbs) | 49 (108) |

| Connections | Value |
|----------------------------|-------|
| (A) Filtrate Outlet | 80A |
| (B) Air Outlet | 65A |
| (C) Feed Water / Air Inlet | 80A |

| Material Specifications | |
|-------------------------|-------------|
| Description | Material |
| Casing | uPVC |
| Cap | uPVC |
| Potting | Epoxy resin |
| O-ring | EPDM |

Please contact Toray for more detailed drawing and dimensions.



Membrana de ósmosis inversa

Product Datasheet



TM800V Series

Low-Energy Sea Water Reverse Osmosis (RO) Membrane Element

Toray's reverse osmosis membrane technology applies decades of R&D and precision automated manufacturing under ISO 9001 for consistency in product quality. State-of-the-art cross-linked fully aromatic polyamide composite membranes produce high-quality permeate and robust membrane chemistry for improved performance and longer membrane life.



| Product Specifications | Unit | TM810V | TM820V-400 | TM820V-440 |
|------------------------|-----------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Size | | 4040 | 8040 | 8040 |
| Membrane Area | ft ² (m ²) | 87 (8) | 400 (37) | 440 (41) |
| Nominal Salt Rejection | % | 99.8 | 99.8 | 99.8 |
| Minimum Salt Rejection | % | 99.50 | 99.50 | 99.50 |
| Product Flow Rate | gpd (m ³ /d) | 1,900 (7.2) | 9,000 (34.1) | 9,900 (37.5) |
| Min. Product Flow Rate | gpd (m ³ /d) | 1,550 (5.9) | 7,500 (28.4) | 8,250 (31.2) |
| Feed spacer thickness | mil | 28 | 34 | 28 |

Test Conditions: Feed water pressure 800 psi (5.52 MPa); Feed water temperature 77 °F (25°C); Feed water concentration 32,000 mg/L as NaCl; Recovery rate 8%; Feed water pH 7

Typical Boron Rejection: 92% at pH 8 (5 mg/L Boron added to feed water)

Applications

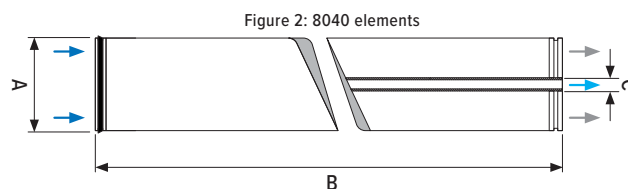
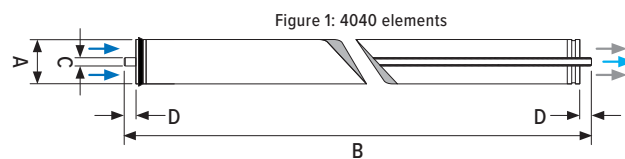
Seawater desalination, High salinity feed water, Industrial wastewater, High recovery RO systems



Products manufactured at our U.S. facility (TMUS) are certified to NSF/ANSI 61 for drinking water applications.

| Dimensions in. (mm) | | |
|---------------------|------------|------------|
| Size | 4040 | 8040 |
| A | 4.0 (101) | 7.9 (201) |
| B | 40 (1,016) | 40 (1,016) |
| C | 0.75 (19) | 1.125 (29) |
| D | 1.05 (26) | |

Feed Water Permeate Concentrated Brine
 Flow direction →



■ Product Datasheet

TM800V Series

Low-Energy Sea Water Reverse Osmosis (RO) Membrane Element

| Operating Limits | Unit | Value |
|---|----------------------|----------------|
| Maximum operating pressure ⁶ | psi (MPa) | 1,200 (8.3) |
| Maximum feed water temperature | °F (°C) | 113 (45) |
| Maximum feed water SDI ₁₅ | | 5 |
| Feed water chlorine concentration | ppm | Not detectable |
| Feed water pH range | Continuous operation | 2–11 |
| | Chemical cleaning | 1–12 |
| Maximum pressure drop per element | psi (MPa) | 15 (0.10) |
| Maximum pressure drop per vessel | psi (MPa) | 50 (0.34) |

Operating Information

1. Please consult the latest Toray technical bulletin, design guidelines, computer design program, or call an application specialist for the recommended design range. Not strictly following the operating limits stated in this bulletin will void and nullify the Limited Warranty.
2. All RO elements are wet tested treated with a 1 percent by weight sodium bisulfite storage solution. Afterward, the RO elements are vacuum packed in oxygen barrier bags or treated with a tested feed water solution, and then vacuum sealed in oxygen barrier bags with deoxidant inside. Toray recommends flushing Toray RO elements for 30 to 60 minutes once every two days with sufficient quality flushing water, such as pre-treated feed water, to prevent biological growth during system shutdown. Please refer to the Toray RO Handling Manual for suggested flushing water quality.
3. The presence of free chlorine and other oxidizing agents under certain conditions, such as heavy metals that act as oxidation catalysts in the feed water, will cause unexpected oxidation of the membrane. Toray strongly recommends removing these oxidizing agents contained in feed water before operating the RO system.
4. Permeate from the first hour of operation shall be discarded.
5. The customer is fully responsible for the effects of chemicals that are incompatible with the elements. Their use will void the element Limited Warranty.
6. Maximum operating pressure will vary depending on feed temperature. Please ask for detailed information from Toray if needed.

Toray accepts no responsibility for results obtained by the application of this information or the safety or suitability of Toray's products, either alone or in combination with other products. Users are advised to make their own tests to determine the safety and suitability of each product combination for their own purposes.

All data may change without prior notice, due to technical modifications or production changes. Please be sure to inquire about the latest product specifications.

Electrobomba MN65-200B (B1 y B8)

Electrobomba MN65-200B

SKU: MN65200B

DESCRIPÇÃO

Electrobomba FORAS centrífuga monobloc normalizada



[ZOOM](#)

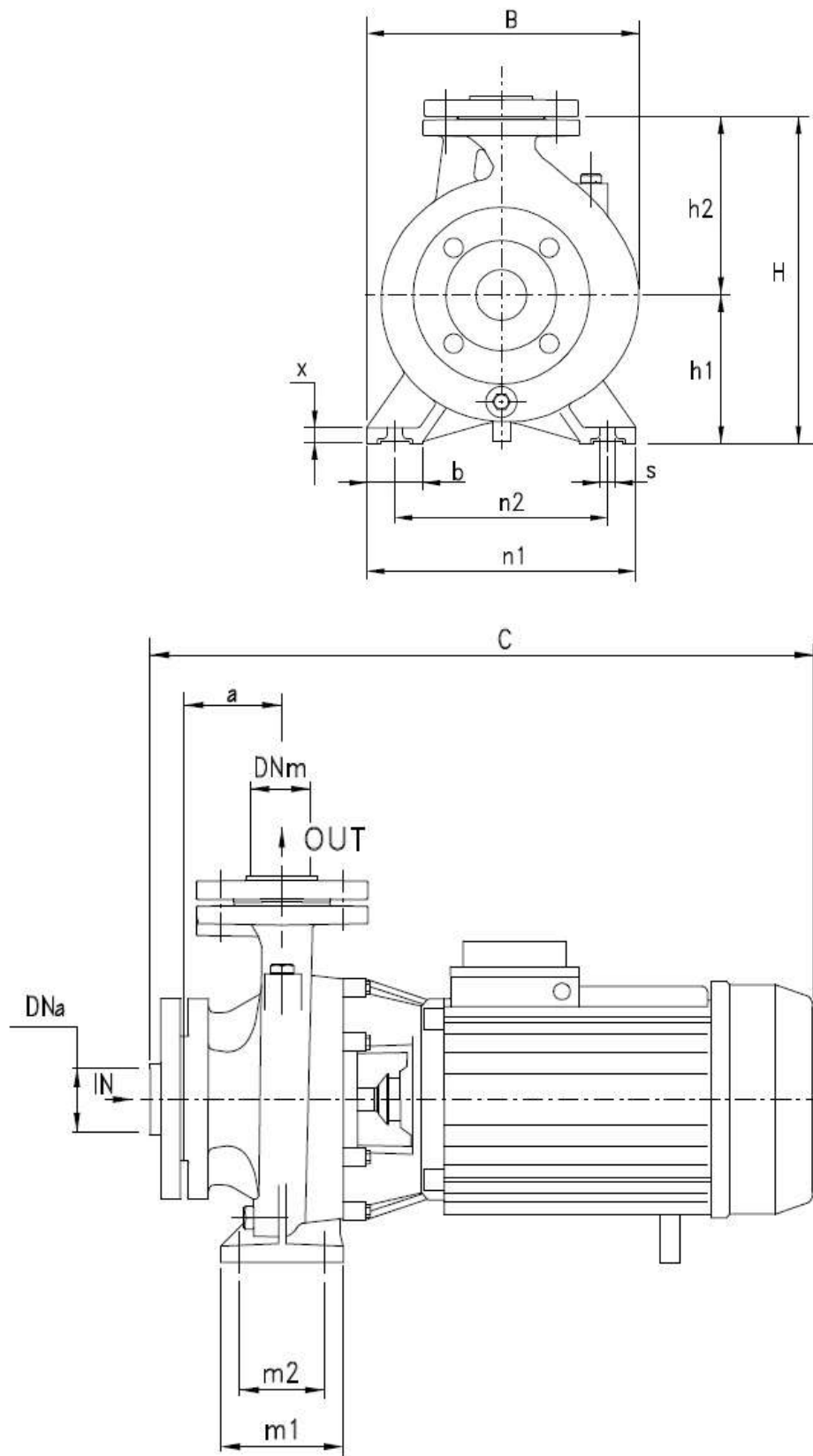
[Contacte os nossos peritos](#)

Descrição do Produto

Electrobomba centrífuga monobloc normalizada, construída de acordo con las normas DIN 24255. Muy adecuada para aplicaciones agrícolas, industriales y en servicios generales en los mercados de la construcción, abastecimiento de aguas, riegos complejos, circulación de agua fría y caliente, climatización, etc.

Características

| | |
|-------------------------|--|
| Cuerpo bomba | Fundición gris |
| Soporte bomba | Fundición gris |
| Rodete | Fundición gris. Mod. MN32-250 en latón (bronce opcional) |
| Sello mecánico | Cerámica/Grafito |
| Fluido | Aguas limpias o ligeramente turbias no agresivas |
| Temperatura del líquido | máx. 90 °C |
| Altura | |



Electrobomba P5S-150/5T (B2 y B3)

Electrobomba P5S-150/5 T

SKU: 250126

DESCRIÇÃO

Electrobomba de superfície FORAS WATER PUMPS muy adecuada para aplicaciones domésticas, industriales, grupos de presión, sistema de riego, tratamiento aguas, aires acondicionados, sistemas de lavado, etc.



[ZOOM](#)

[Contacte os nossos peritos](#)

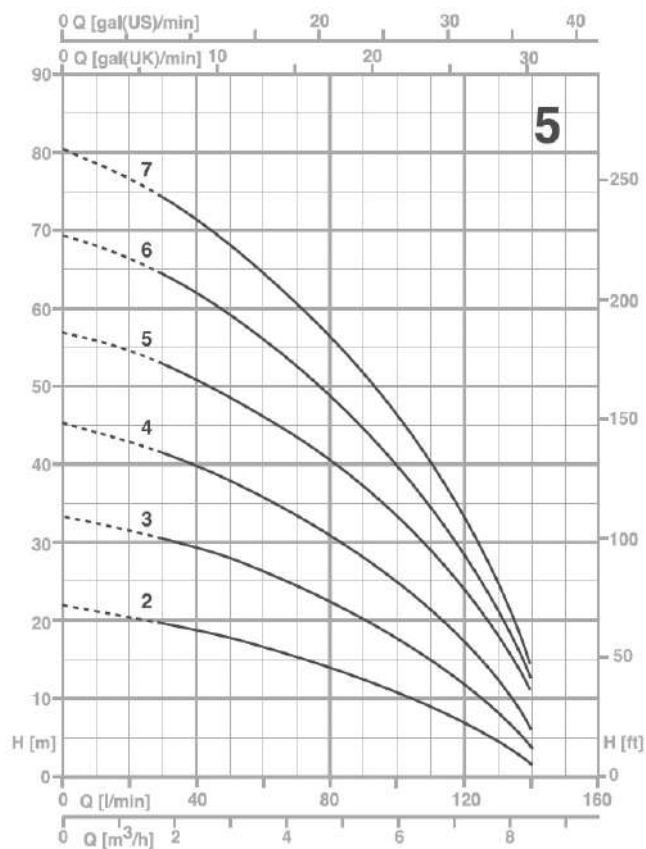
Descrição do Produto

Bomba centrífuga multietapa horizontal. Bombeo de líquidos químicamente y mecánicamente no agresivos; sistemas de presurización; riegos; agua potable o con glycol; tratamientos del agua; industria alimenticia; calefacción y refrigeración; sistemas de lavado.

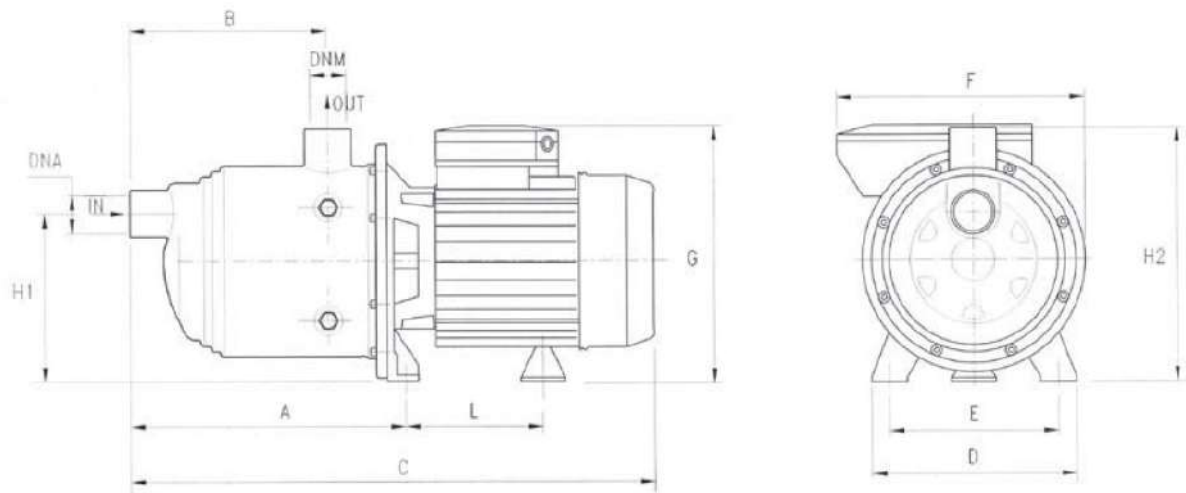
Características

| | |
|------------------------------|--|
| Cuerpo bomba | Acero inoxidable AISI 304 |
| Soporte motor | Aluminio |
| Rodete/Difusor | Acero inoxidable AISI 304 |
| Sello mecánico | Cerámica/Grafito (hasta 6 estadios) |
| Eje motor | Acero inoxidable AISI 303 |
| Cojinete guía intermedio eje | Cerámica/Carburo de tungsteno |
| Junta cuerpo bomba | HNBR |
| | Aguas limpias y líquidos no agresivos ni |

| | |
|--------------------------|---|
| Fluido | viscosos, exentos de sustancias sólidas |
| Temperatura del líquido | -15 - +110 °C |
| Altura máxima aspiración | 7 m |
| Presión de trabajo | max 8,5 bar |
| Temperatura ambiente | max 40 °C |
| Caudal máximo | 180 l/min |
| Altura máxima | 72 m |
| Ø aspiración | 1" |
| Ø impulsión | 1" |
| Motor | 2 polos a inducción 230/400 V - 50 Hz |
| Protección térmica | Incluida |
| Clase de aislamiento | F |
| Grado de protección | IP44 |



Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas



| TIPO | DIMENSIONES (mm) | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|------|------|
| | A | B | C | D | E | F | G | L | H1 | H2 | DNA | DNM |
| P5S-150/5 T | 214,8 | 151 | 436 | 164 | 140 | 201 | 211 | 128,2 | 134 | 198 | 1" G | 1" G |

Bombas CM65-125B (B4 y B5) y CM40-200A (B6 y B7)

Línea **CM**

BOMBAS



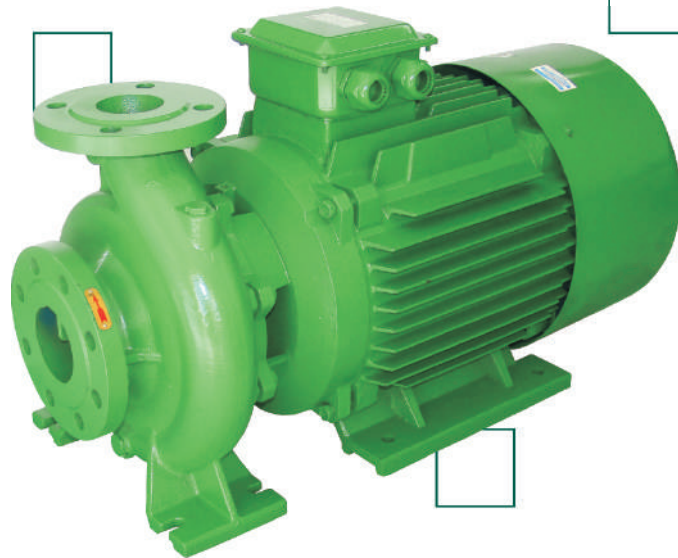
Características

BOMBAS CENTRIFUGAS MONOBLOCK HORIZONTALES

- Bombas centrífugas de una etapa para grandes caudales
- Para abastecimiento y movimiento de agua en usos industriales y en agricultura
- Aplicación en sistemas de enfriamiento, calentamiento y acondicionamiento
- Aptas para equipos contra incendios e irrigación
- Caudales hasta 2000 Lts/min y presiones hasta 90 m.c.a.



CM50-200B



- Construcción bajo norma DIN 24255
- Back Pull Out
- Bridas bajo normas ISO 2084 DIN 2566
- Impulsor cerrado de fundición gris o bronce
- Cuerpo de Fundición
- Motor trifásico IP54, clase F
- Sello mecánico de grafito y cerámica
- Temperatura del líquido entre -10°C Y 90°C

Motor Mob

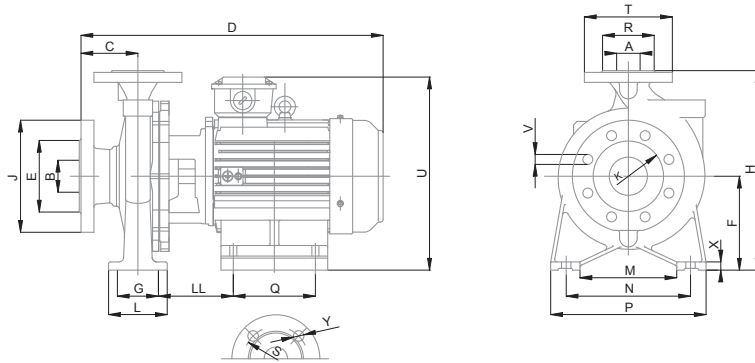
- Motores Eléctricos - Motorreductores
- Bombas Centrífugas y Autocebantes
- Bombas para Presurización y Sumergibles
- Válvulas y Accesorios
- Bobinados - Reparaciones
- Sellos Mecánicos - Repuestos
- Ventilación Industrial
- Montajes Industriales

ASESORANDO INDUSTRIAS

PAGINA WEB: www.electromecanicamm.com.ar
E-MAIL: electromecanicamm@hotmail.com

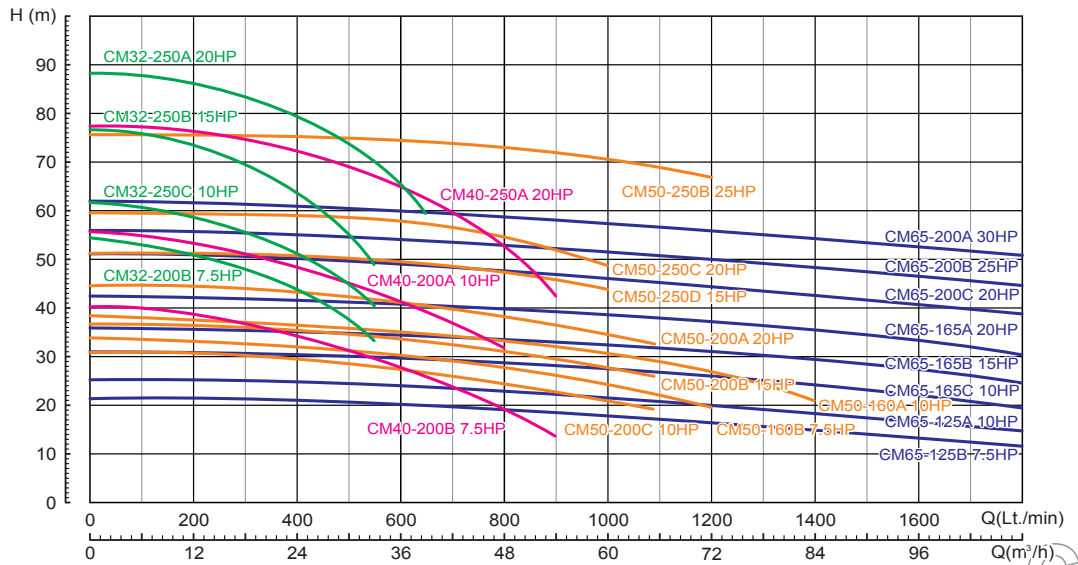
Línea **CM**

CARACTERÍSTICAS Y MEDIDAS PRINCIPALES



| MODELO | POTENCIA (HP) | BRIDAS | | MEDIDAS (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | Peso kg | | | | | | |
|------------|---------------|--------|--------|--------------|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|----|----|----|-----|
| | | ASP | IMP | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | LL | M | N | P | Q | R | | S | T | U | V | X | Y |
| CM 32-200B | 7.5 | 2" | 1 1/4" | 32 | 50 | 80 | 580 | 102 | 165 | 70 | 340 | 165 | 125 | 100 | 155 | 140 | 190 | 240 | 140 | 78 | 100 | 140 | 370 | 19 | 15 | 19 | 87 |
| CM 32-250A | 20 | 2" | 1 1/4" | 32 | 50 | 100 | 670 | 102 | 180 | 95 | 405 | 165 | 125 | 125 | 123 | 190 | 250 | 320 | 75 | 78 | 100 | 140 | 440 | 19 | 15 | 19 | 149 |
| CM 32-250B | 15 | 2" | 1 1/4" | 32 | 50 | 100 | 670 | 102 | 180 | 95 | 405 | 165 | 125 | 125 | 120 | 190 | 250 | 320 | 75 | 78 | 100 | 140 | 475 | 19 | 15 | 19 | 139 |
| CM 32-250C | 10 | 2" | 1 1/4" | 32 | 50 | 100 | 590 | 102 | 180 | 95 | 405 | 165 | 125 | 125 | 140 | 190 | 250 | 320 | 85 | 78 | 100 | 140 | 405 | 19 | 15 | 19 | 97 |
| CM 40-200A | 10 | 2 1/2" | 1 1/2" | 40 | 65 | 100 | 580 | 122 | 160 | 70 | 340 | 185 | 145 | 100 | 148 | 165 | 212 | 265 | 85 | 88 | 100 | 150 | 357 | 19 | 15 | 19 | 103 |
| CM 40-200B | 7.5 | 2 1/2" | 1 1/2" | 40 | 65 | 100 | 590 | 122 | 160 | 70 | 340 | 185 | 145 | 100 | 148 | 165 | 212 | 265 | 85 | 88 | 100 | 150 | 375 | 19 | 15 | 19 | 91 |
| CM 40-250A | 20 | 2 1/2" | 1 1/2" | 40 | 65 | 100 | 670 | 122 | 180 | 95 | 405 | 185 | 145 | 125 | 126 | 190 | 250 | 320 | 85 | 88 | 100 | 150 | 430 | 19 | 15 | 19 | 154 |
| CM 50-160A | 10 | 2 1/2" | 2" | 50 | 65 | 100 | 590 | 122 | 160 | 70 | 340 | 185 | 145 | 100 | 150 | 165 | 212 | 265 | 75 | 102 | 125 | 165 | 370 | 19 | 15 | 19 | 101 |
| CM 50-160B | 7.5 | 2 1/2" | 2" | 50 | 65 | 100 | 590 | 122 | 160 | 70 | 340 | 185 | 145 | 100 | 146 | 165 | 212 | 265 | 75 | 102 | 125 | 165 | 370 | 19 | 15 | 19 | 93 |
| CM 50-200A | 20 | 2 1/2" | 2" | 50 | 65 | 100 | 670 | 122 | 162 | 70 | 365 | 185 | 145 | 100 | 137 | 165 | 212 | 265 | 75 | 102 | 125 | 165 | 413 | 19 | 15 | 19 | 150 |
| CM 50-200B | 15 | 2 1/2" | 2" | 50 | 65 | 100 | 665 | 122 | 162 | 70 | 365 | 185 | 145 | 100 | 135 | 165 | 212 | 265 | 85 | 102 | 125 | 165 | 470 | 19 | 15 | 19 | 141 |
| CM 50-200C | 10 | 2 1/2" | 2" | 50 | 65 | 100 | 590 | 122 | 162 | 70 | 365 | 185 | 145 | 100 | 153 | 165 | 212 | 265 | 85 | 102 | 125 | 165 | 383 | 19 | 15 | 19 | 97 |
| CM 50-250B | 25 | 2 1/2" | 2" | 50 | 65 | 100 | 695 | 122 | 180 | 95 | 405 | 185 | 145 | 100 | 122 | 190 | 250 | 320 | 85 | 102 | 125 | 165 | 435 | 19 | 15 | 19 | 174 |
| CM 50-250C | 20 | 2 1/2" | 2" | 50 | 65 | 100 | 680 | 122 | 180 | 95 | 405 | 185 | 145 | 125 | 122 | 190 | 250 | 320 | 85 | 102 | 125 | 165 | 435 | 19 | 15 | 19 | 152 |
| CM 50-250D | 15 | 2 1/2" | 2" | 50 | 65 | 100 | 670 | 122 | 180 | 95 | 405 | 185 | 145 | 125 | 122 | 190 | 250 | 320 | 75 | 102 | 125 | 165 | 430 | 19 | 15 | 19 | 144 |
| CM 65-125A | 10 | 3" | 2 1/2" | 65 | 80 | 100 | 590 | 138 | 160 | 95 | 340 | 200 | 80 | 125 | 143 | 150 | 212 | 280 | 75 | 122 | 145 | 185 | 375 | 19 | 15 | 19 | 103 |
| CM 65-125B | 7.5 | 3" | 2 1/2" | 65 | 80 | 100 | 610 | 138 | 160 | 95 | 340 | 200 | 160 | 125 | 143 | 150 | 212 | 280 | 75 | 122 | 145 | 185 | 375 | 19 | 15 | 19 | 87 |
| CM 65-160A | 20 | 3" | 2 1/2" | 65 | 80 | 100 | 680 | 138 | 160 | 95 | 360 | 200 | 160 | 125 | 130 | 150 | 212 | 280 | 85 | 122 | 145 | 185 | 395 | 19 | 15 | 19 | 152 |
| CM 65-160B | 15 | 3" | 2 1/2" | 65 | 80 | 100 | 670 | 138 | 160 | 95 | 360 | 200 | 160 | 125 | 133 | 150 | 212 | 280 | 85 | 122 | 145 | 185 | 410 | 19 | 15 | 19 | 145 |
| CM 65-160C | 10 | 3" | 2 1/2" | 65 | 80 | 100 | 590 | 138 | 160 | 95 | 360 | 200 | 160 | 125 | 155 | 150 | 212 | 280 | 85 | 122 | 145 | 185 | 367 | 19 | 15 | 19 | 103 |
| CM 65-200A | 30 | 3" | 2 1/2" | 65 | 80 | 100 | 765 | 138 | 180 | 95 | 405 | 200 | 160 | 125 | 167 | 160 | 250 | 320 | 85 | 122 | 145 | 185 | 448 | 19 | 15 | 19 | 169 |
| CM 65-200B | 25 | 3" | 2 1/2" | 65 | 80 | 100 | 705 | 138 | 180 | 95 | 405 | 200 | 160 | 125 | 125 | 160 | 250 | 320 | 85 | 122 | 145 | 185 | 435 | 19 | 15 | 19 | 169 |
| CM 65-200C | 20 | 3" | 2 1/2" | 65 | 80 | 100 | 690 | 138 | 180 | 95 | 405 | 200 | 160 | 125 | 138 | 160 | 250 | 320 | 85 | 122 | 145 | 185 | 435 | 19 | 15 | 19 | 152 |

PERFORMANCE HIDRÁULICA A 50HZ



Válvula de diafragma



Válvulas de diafragma

DN 15 - 300
PN 4 - 10
Cuerpo: EN-JL1040

Taladrado de bridas conforme a EN1092-2 / PN10

Husillo interior con volante

Indicador de posición visual

Cierre en sentido horario

Dimensión brida a brida conforme a EN 558 / Serie 1

Paso recto o paso ondulado



Válvula de globo

1. Eje: Acero forjado, construido en una pieza, roscado ACME
2. Junta unión cuerpo-tapa: 150-600 LB junta espirometalica de grafito + inox. 900 LB tapa tipo "ring joint"
3. Cuerpo y tapa: fundición de alta calidad y mecanizado de precisión. Tapa construida en una



Tamaño: desde 2" hasta 16"

Presión: PN16 – PN160

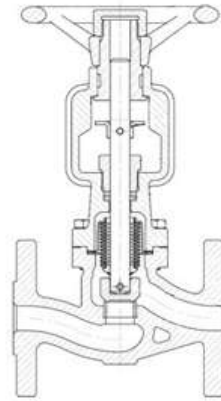
Material: 1.0619, LCB, WC6, WC9, C12, C5, CF8, CF3, CF3M, y CF8M.

Estándar de diseño y fabricación: DIN3356, BS1873 o API602

Distancia entre bridas: DIN2543-2545 o ANSI B16.5

Conexión de acuerdo con estándar: DIN2543-2545 o ANSI B16.5

Estándar de prueba: DIN3230, API 598 o MSS



Válvula de retención

BELGICAST
BY TALIS

(es.html)



Válvula de retención Tilting ERK

La válvula de retención de mariposa ERK es el resultado de más de 50 años de experiencia en la creación y el uso de estas válvulas.

CARACTERÍSTICAS

La **pérdida mínima de presión** esta garantizada por el disco doble excéntrico de giro libre, componente esencial de ERK. El disco oscila libremente y disfruta de un diseño que facilita el fluido gracias a su doble apoyo excéntrico.

Sección transversal máxima debido al eje de dos partes.

Válvula sin mantenimiento gracias a la estructura de los ejes, a los cojinetes de fricción autolubrificantes y a las juntas del eje, no necesita mantenimiento.

Sellado perfecto gracias al anillo del asiento del cuerpo, sólido y laminado, fabricado con acero inoxidable, y un anillo de asiento del disco que, además, esta equipado con una junta de precisión resistente.

Bajo par de maniobra gracias al diseño doble excéntrico, que también garantiza un bajo desgaste de la junta del disco.

Protección contra la corrosión proporcionada por la elección de acero inoxidable en los ejes, el asiento del cuerpo y el del disco.

Eje saliente a ambos lados para facilitar el montaje individual de la palanca cargada.

INTRODUCIR EL TÉRMINO

Categorías de producto

Soluciones smart
([nc/es/productos/productos/category/smart-solutions.html](#))

Válvulas de aislamiento
([nc/es/productos/productos/category/isolation-valves-1.html](#))

Válvulas de Control
([nc/es/productos/productos/category/control-valves.html](#))

Protección de redes
([nc/es/productos/productos/category/network-protection.html](#))

Hidrantes y Bocas de riego
([nc/es/productos/productos/category/hydrant](#))

Accesorios de tuberías
([nc/es/productos/productos/category/ana-couplings.html](#))

Acometidas domiciliarias
([nc/es/productos/productos/category/house-connection.html](#))

Soluciones para aguas residuales
([nc/es/productos/productos/category/sewage-solutions.html](#))

Caudalímetro

KROHNE España > Productos > Medida de caudal > Caudalímetros > Caudalímetros electromagnéticos

OPTIFLUX 2300

Caudalímetro electromagnético para aplicaciones avanzadas con agua, aguas residuales

- Alta precisión ($\pm 0,2\%$), con aprobaciones CT (OIML R49, MI-001)
- 0D/0D para la instalación según OIML R49, clase de precisión 1
- Brida: DN25...3000 / 1...120", máx. PN40 / ASME CI 300
- 3x 4...20 mA, HART®, Modbus, FF, Profibus-PA/DP, PROFINET



OPTIFLUX 2300 C – Versión compacta

[Visión general](#)

[Accesorios](#)

[Aplicaciones Reales](#)

[Enlaces](#)



El OPTIFLUX 2300 es un caudalímetro electromagnético (EMF) para todas las aplicaciones críticas con agua y aguas residuales. Este caudalímetro de gama alta es especialmente apto para aplicaciones que requieren alta precisión y funciones completas de diagnóstico. El EMF tiene el más amplio rango de diámetros disponible en el mercado (DN25...3000 / 1...120") y cumple los requisitos para la transferencia de custodia (MID MI-001, OIML R49). El caudalímetro permite la medición de transferencia de custodia (CT) sin secciones de entrada/salida (0D/0D) según OIML R49, clase de precisión 1. Cuenta también con un amplio rango de aprobaciones para agua potable. Todo esto hace del OPTIFLUX 2300 una alternativa eficaz a los medidores de agua mecánicos, incluso para la medida de transferencia de custodia de agua potable.

[⊕ Mostrar más](#)

Características destacadas del producto

- Medida de caudal bidireccional en un amplio rango dinámico (rangeabilidad: hasta 1000:1)
- Secciones de entrada/salida no necesarias para OIML R49, clase de precisión 1
- El más amplio rango de diámetros disponible en el mercado
- Disponible con electrodo de referencia

Aplicaciones típicas

General

- Todas las aplicaciones con agua y aguas residuales
- Medida para la transferencia de custodia

Industria del agua y aguas residuales

- Medida fiscal (transferencia de custodia) de agua potable

Manómetro

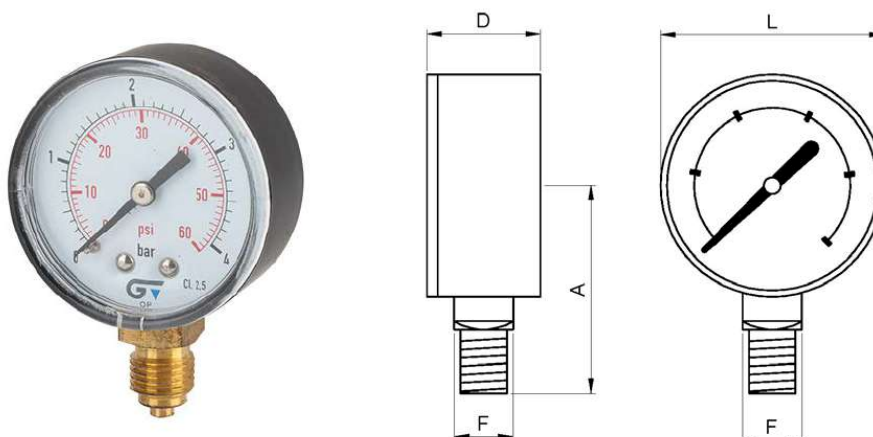
GENEBRE

GENEBRE S.A. · Avda. Joan Carles I, 46-48 · EDIFICIO GENE BRE
Tel. +34 93 298 80 00/01 · Fax +34 93 298 80 06
08908 L'HOSPITALET DE LLOBREGAT Barcelona (Spain)
e-mail: genebre@genebre.es
internet: <http://www.genebre.es>

Art.: 3820

Manómetro Ø53, salida inferior, rosca BSP /
Pressure gauge Ø53, bottom connection, BSP thread

| Características | Features |
|--|--|
| 1. Tamaño Ø53. | 1. Size Ø53. |
| 2. Manómetro con conexión radial inferior, rosca macho (BSP) G 1/4" según ISO 228/1. | 2. Pressure gauge with radial bottom connection, male thread (BSP) G 1/4" according ISO 228/1. |
| 3. Caja en ABS color negro. | 3. Case in black ABS. |
| 4. Tubo "Bourdon" y racor en latón según UNE-EN 12165. | 4. Tube "Bourdon" and brass fitting connection according UNE-EN 12165. |
| 5. Dial blanco: escala en negro (bar) y roja (psi). | 5. White dial: black scale (bar) and red (psi). |
| 6. Visor en Policarbonato. | 6. Polycarbonate viewer. |
| 7. Clase de precisión: cl. 2,5. | 7. Class precision: cl. 2,5. |
| 8. Graduaciones disponibles de 0 a 2,5 - 4 - 6 - 10 - 16 - 25 bar. | 8. Scale available from 0 to 2,5 - 4 - 6 - 10 - 16 - 25 bar. |
| 9. Temperatura de trabajo: de -20°C a 60°C. | 9. Working temperature: from -20°C to 60°C. |



| Ref. | Escala / Scale | | Dimensiones / Dimensions (mm) | | | | Peso / Weight (Kg) |
|----------|----------------|---------|-------------------------------|----|----|-------|--------------------|
| | bar | psi | A | L | D | F | |
| 3820 002 | 0 - 2,5 | 0 - 40 | 47 | 53 | 27 | 14x14 | 0,064 |
| 3820 004 | 0 - 4 | 0 - 60 | 47 | 53 | 27 | 14x14 | 0,064 |
| 3820 006 | 0 - 6 | 0 - 90 | 47 | 53 | 27 | 14x14 | 0,064 |
| 3820 010 | 0 - 10 | 0 - 150 | 47 | 53 | 27 | 14x14 | 0,064 |
| 3820 016 | 0 - 16 | 0 - 240 | 47 | 53 | 27 | 14x14 | 0,064 |
| 3820 025 | 0 - 25 | 0 - 400 | 47 | 53 | 27 | 14x14 | 0,064 |

GENEBRE S.A.

FECHA DE REVISIÓN: 02/03/2020

NÚMERO DE REVISION: R5

Sensor de nivel



Sensor de nivel de un punto conductivo Endress+Hauser Liquipoint T FTW31-A1A3CAC



Código producto: 106158

EAN: 4250738120235

- > Sensor de nivel de un punto conductivo
- > Sonda de varilla
- > Higiénico
- > Medios: líquidos conductivos
- > Longitud de la sonda: 1.000 mm
- > Puntos de medida: 3 x varilla (acero inoxidable).
- Salida: FTW325 instrumentación separada
- > 3 hilos
- > Resistencia a la presión: -1...10 bar
- > Temperatura del medio: -40...100 °C
- > Protección: IP66
- > Conexión al proceso: G 1 1/2
- > Conexión: Prensaestopas M20

143,99 €

IVA incl. [más gastos de envío](#)

- ✓ **Existencias reducidas**
- 🚚 **Se enviará el siguiente día laboral**

1

Añadir a su cesta

Inicie sesión y escriba un comentario

Comparar productos Proyecto

Pregunta sobre el producto Crear presupuesto producto



Datos técnicos

[Buscar productos parecidos](#)

Datos generales

| | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Tipo | Sensor electrónico de nivel de un punto |
| <input type="checkbox"/> Principio de medición | Conductividad |
| <input type="checkbox"/> Rango de medida | 1000 mm |
| <input type="checkbox"/> Área de aplicación | Medios líquidos conductivos (conductividad = 10 µS/cm) |

Datos mecánicos

| | |
|--|----------------------|
| <input type="checkbox"/> Resistencia a la presión | -1...10 bar |
| <input type="checkbox"/> Conexión al proceso | G 1-1/2 rosca ISO228 |
| <input type="checkbox"/> Material en contacto con el medio | 316L, PP, PPS, EPDM |
| <input type="checkbox"/> Material de la carcasa | Plástico |

Condiciones ambientales

| | |
|---|--------|
| <input type="checkbox"/> Temperatura ambiente mín. | -40 °C |
| <input type="checkbox"/> Temperatura ambiente máx. | 70 °C |
| <input type="checkbox"/> Temperatura del medio mín. | -40 °C |
| Temperatura del medio máx. (Duradera) | 100 °C |

Descargas

Documentación técnica

- [Ficha técnica \(PDF 387 KB\)](#)
- [Instrucciones de manejo \(PDF 336 KB\)](#)

Certificados/Autorizaciones

- [EC declaración de conformidad \(PDF 316 KB\)](#)

Datos CAD

- [STEP-File \(ZIP 62 KB\)](#)
- [Dibujo técnico \(PDF 34 KB\)](#)

Descripción del producto

Sensor de nivel de un punto conductivo Endress+Hauser Liquipoint T FTW31-A1A3CA0A

El sensor de nivel conductivo de un punto Liquipoint T FTW31-A1A3CA0A de Endress+Hauser con una longitud de sonda de 1.000 mm es ideal para la detección de líquidos conductores sin acumulación y con una conductividad mínima de 10 µS/cm. El Liquipoint FTW31 se utiliza en particular en la protección contra desbordes, así como en protección de bombas en sistemas de limpieza y filtración, y permite una detección simple. El detector de nivel conductivo de un punto Liquipoint T FTW31-A1A3CA0A con conexión de proceso G 1 1/2 se conecta a través de un prensaestopas M20.

Más Endress+Hauser | Más Interruptores de nivel por conductividad | Más Instrumentación de procesos

Valoraciones de clientes



0 Valoración

Sensor de temperatura



Sensor de temperatura con tubo de cuello TIT HTFB3/MUA/100



Código producto: 105438

EAN: 4250738117327

- > Sensor de temperatura Pt100 con tubo de cuello
- > Clase B
- > 2 hilos
- > Rango de medida: 0...150 °C
- > Señal de salida: 4-20 mA
- > Precisión: 0,3 % del valor final del rango de medición
- > Resistencia a la presión: máx. 40 bar
- > Longitud de montaje: 100 mm
- > Diámetro de la armadura protectora: 9 mm
- > Cabezal de conexión: tipo B
- > Unidad de medición intercambiable
- > Carcasa: aluminio
- > Tubo de protección: acero inoxidable
- > Protección: IP54
- > Conexión: G 1/2
- > Ancho de llave: 22 SW

131,89 €

IVA incl. [más gastos de envío](#)

EXISTENCIAS DISPONIBLES

Se enviará el siguiente día laboral

1

Añadir a su cesta

Inicie sesión y escriba un comentario

Comparar productos Proyecto

Pregunte sobre el producto Crear presupuesto



Datos técnicos

| Datos generales | |
|---|-----------------------|
| <input type="checkbox"/> Tipo | Sensor de temperatura |
| <input type="checkbox"/> Rango de medición mín. | 0 °C |
| <input type="checkbox"/> Rango de medición máx. | 150 °C |
| <input type="checkbox"/> Elemento de medición | Pt100, clase B |
| Datos eléctricos | |
| <input type="checkbox"/> Tensión | 10...30 V DC |
| <input type="checkbox"/> Salida | 4-20 mA |
| Datos mecánicos | |
| <input type="checkbox"/> Resistencia a la presión | 40 bar |
| <input type="checkbox"/> Conexión al proceso | G 1/2 |
| <input type="checkbox"/> Long. montaje | 100 mm |
| <input type="checkbox"/> Diámetro de la barra | 9 mm |
| <input type="checkbox"/> Material conexión | Acero inoxidable |

[Buscar productos parecidos](#)

Descargas

- Documentación técnica
- Ficha técnica (PDF 556 KB)

Descripción del producto

Sensor de temperatura con tubo de cuello TITEC HTFB3/MUA/100

El sensor de temperatura Pt100 con tubo de cuello HTFB3/MUA/100 de TITEC se utiliza para medir la temperatura de medios líquidos y gaseosos en un rango de medición de 0 a 150 con una señal de salida de 4 a 20 mA. El sensor enroscable tiene una unidad de medición intercambiable. La carcasa de aluminio con clase de protección IP54 tiene una longitud de instalación de 100 mm. La varilla del sensor, con un diámetro de 9 mm, está hecha de acero inoxidable. El sensor de temperatura Pt100 HTFB3/MUA/100 con conexión de proceso G 1/2 está diseñado con una resistencia a la presión máx. de 40 bar y es ideal para medición de temperatura en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Más TITEC | Más Sensores de temperatura | Más Sistemas de sensores

Valoraciones de clientes

- ★★★★★ 0 Valoraci
- ★★★★☆ 0 Valoraci
- ★★★☆☆ 0 Valoraci

Controlador PID EP66 IP67



EP66

0.4 kW - 90 kW

SISTEMATISMOS®

CONVERTIDORES DE FRECUENCIA

ASPECTOS A DESTACAR

Control de motor de última generación, basado en la tecnología avanzada DSP - para un control del motor: V/F - vector sensorless - PMM motor síncrono - control velocidad/par con función AUTO TUNING de fácil ajuste

Construcción dura, metálica, IP66/NEMA4

Display configurable - capacidad de comunicación

Acceso para cableado incluyendo respiradero anti humedad

Espacio interno para uso del cliente, para pulsador de emergencia, interruptor general, potenciómetro, resistencia de freno

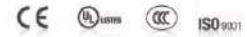
Interruptor BYPASS incluido (opción)

Filtro EMC incorporado (opcional) para área doméstica

Todas las funciones estándar de los convertidores instaladas, para poder realizar cualquier tipo de aplicación

Software para PC se utiliza para la parametrización, el análisis y diagnóstico del funcionamiento y las alarmas herramientas de copia de parámetros

Aprobado para las normativas mundiales por diferentes estamentos



TAMAÑO

| Modelo | Potencia motor (KW) | Tamaño | Dimensiones (WxHxD -mm) | Resistencia de freno (valor mínimo) |
|--------------|---------------------|--------|-------------------------|-------------------------------------|
| EP66-0006 S2 | 0.4 kW - 2.5 A | 11 | 205x12x198 | 60 Ohm |
| EP66-0007 S2 | 0.75 kW - 4.5 A | | | |
| EP66-0015 S2 | 1.5 kW - 7 A | | | |
| EP66-0022 S2 | 2.2 kW - 10 A | | | |
| EP66-0004 T2 | 0.4 kW - 2.5 A | | | |
| EP66-0007 T2 | 0.75 kW - 4.5 A | | | |
| EP66-0015 T2 | 1.5 kW - 7 A | | | 60 Ohm |
| EP66-0022 T2 | 2.2 kW - 10 A | | | |
| EP66-0004 T3 | 0.4 kW - 1.2 A | | | |
| EP66-0007 T3 | 0.75 kW - 2 A | | | |
| EP66-0015 T3 | 1.5 kW - 4 A | | | |
| EP66-0022 T3 | 2.2 kW - 6.5 A | | | |
| EP66-0030 T3 | 3.0 kW - 7 A | | | |
| EP66-0040 T3 | 4.0 kW - 9 A | | | |
| EP66-0025 T3 | 5.5 kW - 12 A | 12 | | |
| EP66-0075 T3 | 7.5 kW - 17 A | | | |
| EP66-0110 T3 | 11 kW - 21 A | | | |
| EP66-0150 T3 | 15 kW - 32 A | | | |
| EP66-0155 T3 | 18.5 kW - 30 A | | | |
| EP66-0220 T3 | 22 kW - 66 A | | 14 | |
| EP66-0300 T3 | 30 kW - 62 A | | | |
| EP66-0370 T3 | 37 kW - 75 A | | | |
| EP66-0470 T3 | 47 kW - 95 A | | | |
| EP66-0550 T3 | 55 kW - 110 A | | | |
| EP66-0750 T3 | 75 kW - 150 A | 16 | | |
| EP66-0900 T3 | 90 kW - 180 A | | 370x770x404 | 15 Ohm |

INTERRUPTOR PRINCIPAL HASTA 90 kW



FILTRO C1 EMC HASTA 15 kW



TECLDO LCD REMOTO



MÓDULO DE COPIA DE PARÁMETROS



CABLE PARA TECLADO REMOTO IP66



INTERRUPTOR DE CONTROL DEL CONVERTIDOR PRINCIPAL/EMERGENCIA OPCIONAL



ESPACIO PARA INTEGRAR OPCIONES

DATOS TÉCNICOS

SISTEMATISMOS®

| | | |
|---|--|---|
| Potencia de entrada | Voltaje de entrada | Trifásico 380V-460V (+/-15%) Monofásico 220V ~ 240V (±15%) |
| | Frecuencia de entrada | 44...67 Hz |
| | Filtro EMC | Integrado para 2 ambientes- área industrial (opcional para áreas residencial- añadido en la caja) |
| Salida motor | Voltaje de salida | 0.....V entrada |
| | Frecuencia de salida | 0.....650 Hz (1500HZ OPCION) |
| | Resolución de frecuencia | 0.01 Hz |
| | Capacidad de sobrecarga | 150% - 60 seg. / 10 min |
| Modo control | Algoritmo de control del motor | V/F-vectorial , SLV-sensorless , control par/velocidad lazo cerrado CLV, control de motor de imanes permanentes PMSM sensorless Control del motor PMSM SENSORLESS |
| | Frecuencia de conmutación | 0.8...16 kHz (fijado / aleatorio) |
| | Curva V/F | lineal- exponencial- programable |
| | Par de arranque | 150% de par a 0,5 Hz (en modo SLV) |
| | Refuerzo de par | Automático / Manual |
| | Entrada de datos del motor | Manual/ AUTOTUNING |
| | Rango de control | 1-100 en modo SLV,1-1000 en modo CLV,1-20 en modo PMSM |
| | Precisión de velocidad | +/- 0,5% (SLV),+/- 0,02% (CLV) |
| | Precisión de par | +/- 5% (SLV) |
| | Freno DC | Funciones programables por el usuario |
| Unidad de frenado | Transistor de freno incorporado (hasta 90 kW) | |
| Monitor | Visualización de 4 líneas de caracteres | configuración de parámetros y valores, programable por display varios parámetros de trabajo |
| Funciones de E/S | Control del variador | Via terminales / teclado / serie (o combinación de todos) |
| | Entradas digitales | 6 (8) entradas digitales (NPN-PNP seleccionables) entrada de pulsos |
| | Entrada de referencia de velocidad | Potenciometro (en el teclado externo), señal analógica (en los terminales), teclado, valores programables internos, tren de pulsos, via serie |
| | Entradas analógicas | 2 canales analógicos - 12 BIT: 0...10V, 0...5V, -10V...0...10V, 0...4...20 mA, Todas escalables en ganancia y offset, y matemáticamente concatenables |
| | Salidas analógicas | 2 salidas analógicas, programmable in gain and function (0...10V, 0...4...20 mA) |
| | Salidas digitales | 2 salidas digitales (mapeo libre para diferentes opciones) |
| | Salidas rele | 1 contacto interruptor 3A 250VAC/30VDC (asignación programable) |
| | Comunicaciones | Link señal RS 485 (MODBUS) |
| Funciones especiales | Fuente de alimentación auxiliar de 24V / 50 mA en los terminales, fuente de alimentación del potenciometro de 10V, fuente de alimentación de 5V/100 mA en conector MODBUS Protección del motor PTC / KLIXON simple | |
| Protecciones electrónicas con memoria de fallos | Eléctricas | Sobrevoltaje, bajovoltaje cortocircuito pérdida de fase de entrada, desequilibrio de la fase del motor |
| | Térmicas | Sobrecalentamiento del convertidor Ixt |
| Opciones | Monitor | Removable display / keypad units |
| | Freno | Braking resistors for different load characteristics |
| | Opciones de control de potencia | Main switch, emergency switch, BYPASS switch |
| | Opciones de control del variador | Potentiometer, inverter control selector switches |
| | PC-software | Herramienta de configuración, control, y diagnosis, guardar y duplicar parámetros. |
| Módulo de copia de parámetros | | |
| | | |
| Condiciones ambientales y de trabajo | Grado de protección | IP66 / NEMA4 |
| | Temperatura de trabajo | -10.....+40 °C ~ -40°C con control automático de anticongelación (opción) |
| | Humedad | 0 a 95% RH, no condensación, no corrosivo |
| | Altura | 1000 m, incremento de reducción de 1% / 100m |
| Vibración | Max. 1.0 g | |
| Rango de potencia | 0,4.....90 kW | |
| Estándares | Compatibilidad electromagnética | EN61800-3(2004) |
| | Seguridad | EN61800-5-1-2003 |

Compresor

clientes

(b)

product

Motocompresor Airmec TEB22-510LO (510 l/min) motor Loncin 6.5 HP, compresor



Alimentación
de gasolina

presión máx. de ej...
10 bar

Depósito compresor
22 L

Marca motor
Loncin

Modelo motor
Airmec 6,5

Productos

Marcas

¿Qué



Cilindrada
160 cm³

Potencia nominal
6.5 HP

Marca cabezal
Nuair

Aire aspirado
510 l/min

Tipo bomba
una etapa

RPM cabezal
1480 RPM

Acelerador autom...
sí

País de producción
Italia

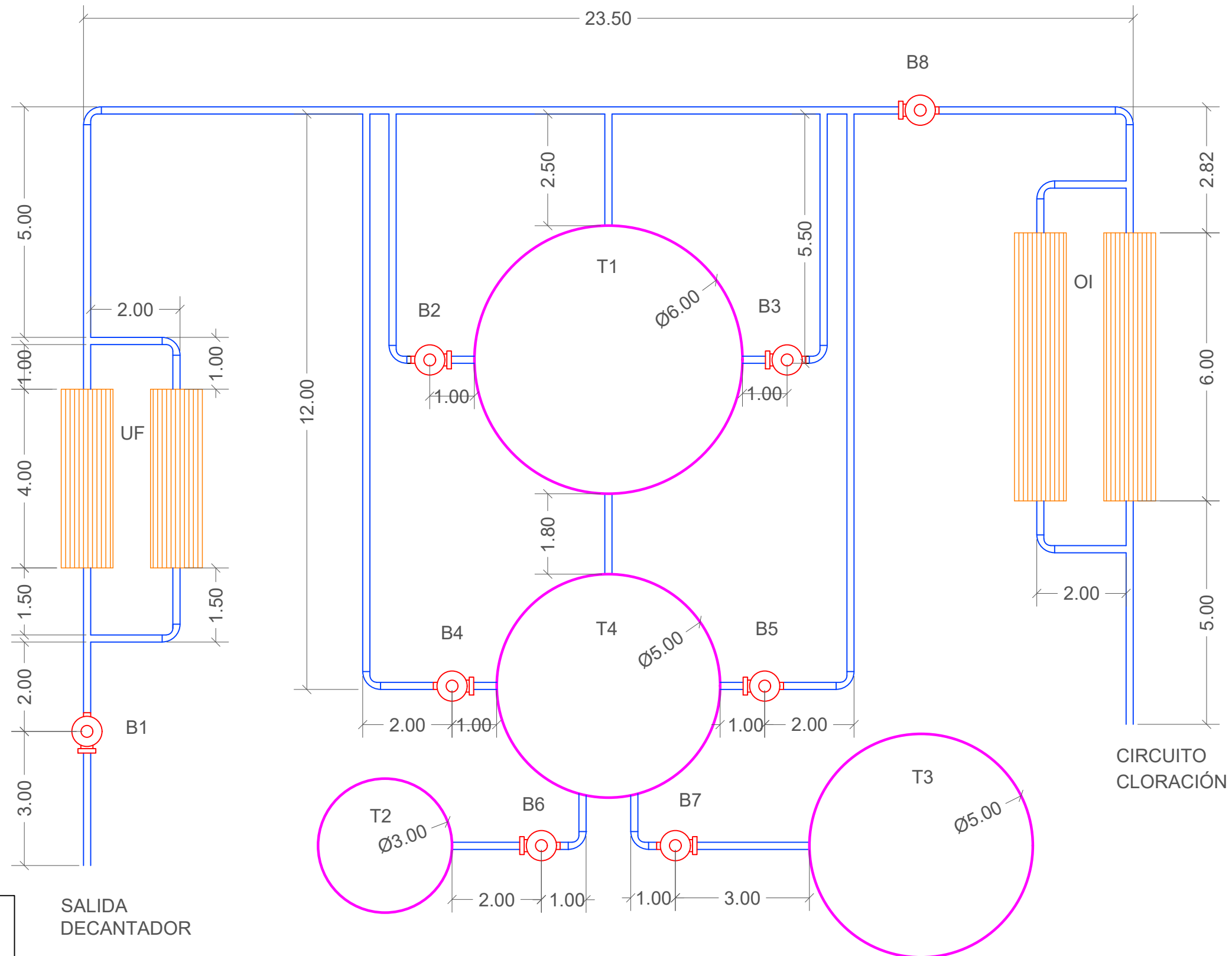
Características producto

Modelo: TEB 22/510 LO
Alimentación: de gasolina
Arranque: de gasolina
Tracción: de empuje
presión máx. de ejercicio: 10 bar
Número depósitos: 2
Capacidad tanque: 22 l
Depósito compresor: 22 L
Arranque eléctrico: no
Vareadores accionables: hasta 2
Tijeras accionables: hasta 5
Sierras de cadena neumáticas: 1 no intensivo
País de producción: Italia


Datos motor

Marca motor: Loncin
Modelo motor: Airmec 6,5
Tipo motor: 4 tiempos
Cilindrada: 160 cm³
Número cilindros: 1
Número de cilindros: monocilíndrico
Potencia nominal: 6.5 HP
Carburante: gasolina
Alimentación: válvulas en cabeza



4. Planos



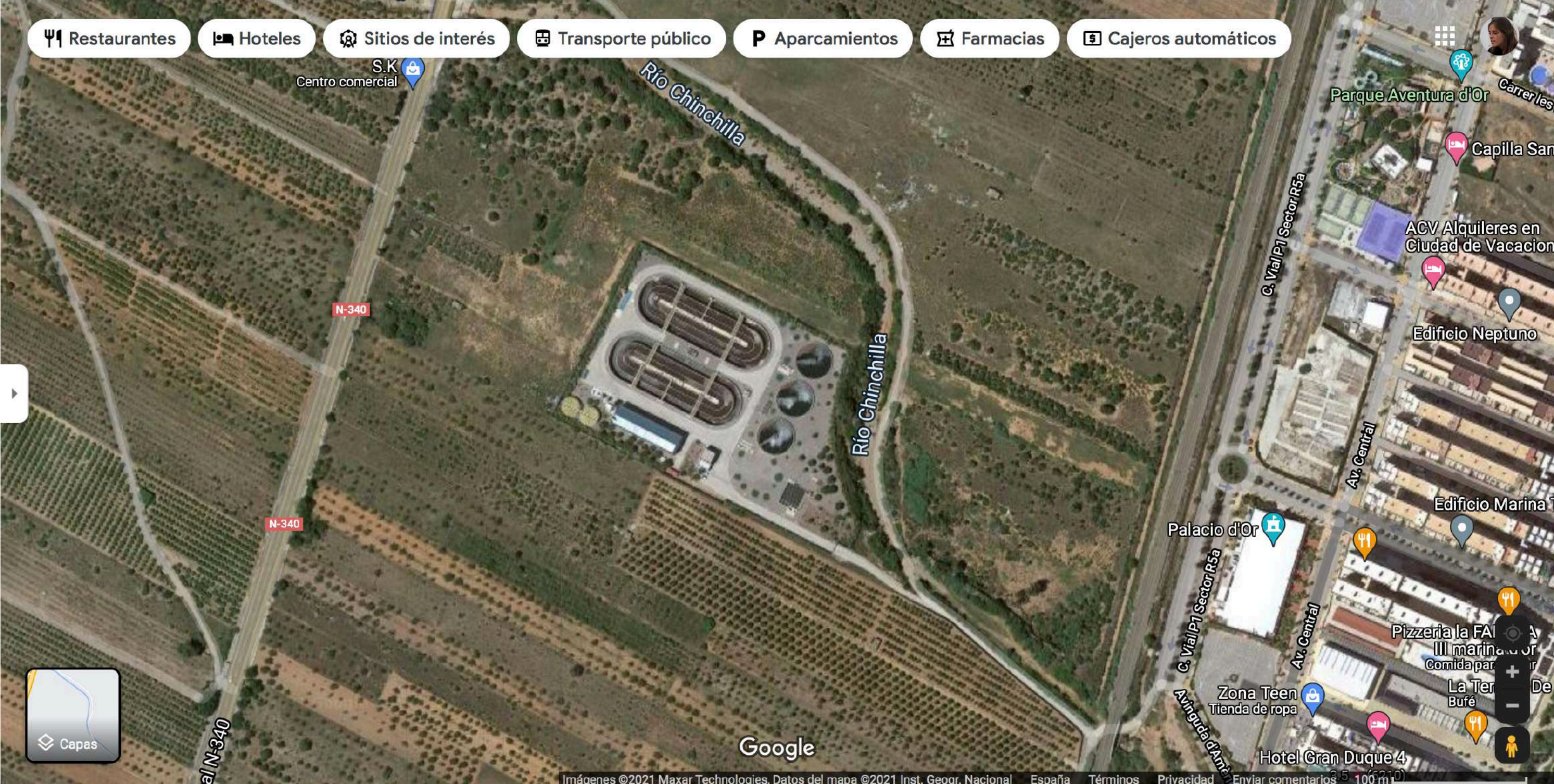
Leyenda

-  Bomba
- T1: Tanque permedado
- T2: Tanque NaClO
- T3: Tanque HNO_3
- T4: Preparación disoluciones
- UF: Ultrafiltración
- IO: Ósmosis inversa

SALIDA
DECANTADOR

| | | | | |
|---|--|---|------------------|---------------------|
| Razón TFG | Escala 1:100 | Título Distribución en planta | | Formato papel A3 |
|  | Unidades m | Apellidos, Nombre María Lizandra Elcid | Fecha 4/09/21 | Plano nº 1/2 |
| | Sistema  | Profesor/a responsable María José Gimeno Pérez | | |

- Restaurantes
- Hoteles
- Sitios de interés
- Transporte público
- Aparcamientos
- Farmacias
- Cajeros automáticos



Google



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..... | 11 |
| 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..... | 12 |
| 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..... | 17 |
| 5.2.3. Bombas..... | 17 |
| 5.2.4. Ultrafiltración y ósmosis inversa..... | 17 |

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 del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa . 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 registrarán 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 de 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 projectista 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 incapacitación 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:

- DN160
- DN140
- DN90
- DN40

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:

- DN154

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.

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.

5.2.4. Ultrafiltración y ósmosis inversa

Para el correcto funcionamiento de las membranas la presión máxima de trabajo es de 43,5bar 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.

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: Tanques..... | 3 |
| 1.4. Partida 4: Conducciones..... | 4 |
| 1.5. Partida 5: Accesorios..... | 5 |

1. Estado de mediciones

En este documento se exponen las partidas que se han de tener en cuenta para la elaboración del presupuesto final del proyecto, expresando las unidades y las cantidades necesarias de cada uno de los elementos.

1.1. Partida 1: Equipos principales

En la tabla E.1. se muestra la partida de los equipos principales, que consta de la ultrafiltración, ósmosis inversa y sus respectivas membranas.

Tabla E. 1. Partida 1: Equipos principales.

| Elemento | Unidad | Cantidad |
|-------------------------------------|---------------|-----------------|
| Membrana UF (HFU-2020series) | Ud. | 33 |
| Membrana OI (TM820V-440) | Ud. | 112 |
| Ultrafiltración | Ud. | 1 |
| Ósmosis inversa | Ud. | 1 |

1.2. Partida 2: Bombas

En la tabla E.2 se muestra cada uno de los modelos de bomba que se utilizan para este proyecto, así como la cantidad de cada una de ellas.

Tabla E. 2. Partida 2: Bombas.

| Bomba | Unidad | Cantidad |
|--|---------------|-----------------|
| Electrobomba centrífuga monoblock normalizada MN65-200B | Ud. | 2 |
| Bomba centrífuga multietapa horizontal modelo P5S-150/5 T | Ud. | 2 |
| Electrobomba modelo CM65-125B | Ud. | 2 |
| Bomba centrífuga monoblock horizontal modelo CM40-200A | Ud. | 2 |

1.3. Partida 3: Tanques

En la tabla E.3 se encuentra el estado de mediciones de los tanques utilizados para la limpieza de membranas de la ultrafiltración y la ósmosis inversa.

Tabla E. 3. Partida 3: Tanques.

| Tanque | Unidad | Cantidad |
|--|---------------|-----------------|
| Permeado, 245 m³ | Ud. | 1 |
| Hipoclorito de sodio, 42,4 m³ | Ud. | 1 |
| Ácido nítrico, 118 m³ | Ud. | 1 |
| Preparación disoluciones, 118 m³ | Ud. | 1 |

1.4. Partida 4: Conducciones

En la tabla E.4. se muestra el estado de mediciones de las conducciones de todo el tratamiento terciario.

Tabla E. 4. Partida 4: Conducciones.

| Conducciones | Unidad | Cantidad |
|-------------------------|---------------|-----------------|
| PVC-O DN160 | m | 40 |
| Acero INOX DN154 | m | 12 |
| PVC-O DN140 | m | 52 |
| PVC-O DN40 | m | 16 |
| PVC-O DN90 | m | 20 |

1.5. Partida 5: Accesorios

En la tabla E.5 se muestra el estado de mediciones de los accesorios.

Tabla E. 5. Partida 5: Accesorios.

| Accesorios | Unidad | Cantidad |
|------------------------------|---------------|-----------------|
| Válvula de diafragma | Ud. | 2 |
| Válvula de mariposa | Ud. | 2 |
| Válvula de globo | Ud. | 2 |
| Caudalímetro | Ud. | 2 |
| Manómetro | Ud. | 5 |
| Controlador PID | Ud. | 1 |
| Sensor de temperatura | Ud. | 1 |
| Sensor de nivel | Ud. | 1 |
| Sensor de pH | Ud. | 1 |
| Compresor | Ud. | 1 |

7. PRESUPUESTO

Índice

| | |
|--|---|
| 1. Presupuesto de Ejecución Material | 1 |
| 1.1. Partida 1: Equipos principales..... | 1 |
| 1.2. Partida 2: Bombas | 2 |
| 1.3. Partida 3: Tanques..... | 3 |
| 1.4. Partida 4: Conducciones..... | 4 |
| 1.5. Partida 5: Accesorios..... | 5 |
| 1.6. Presupuesto de Ejecución Material total | 6 |
| 2. Presupuesto de Ejecución por Contrata..... | 7 |

1. Presupuesto de Ejecución Material

Se van a desarrollar todas las partidas presupuestarias de los materiales requeridos para el proyecto. Estas serán:

- Equipos principales
- Bombas
- Tanques
- Conducciones
- Accesorios

1.1. Partida 1: Equipos principales

En la tabla P.1 se muestra el presupuesto de los equipos principales.

Tabla P. 1. Presupuesto de la Partida 1: equipos principales.

| Elemento | Unidad | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|------------------------------|--------|----------|---------------------|------------------|
| Membrana UF (HFU-2020series) | Ud. | 33 | 325 | 10.725 |
| Membrana OI (TM820V-440) | Ud. | 112 | 550 | 61.600 |
| Ultrafiltración | Ud. | 1 | 24.200 | 24.200 |
| Ósmosis inversa | Ud. | 1 | 139.150 | 139.150 |
| TOTAL | | | | 235.675 |

1.2. Partida 2: Bombas

En la tabla P.2 se muestra el presupuesto de las bombas.

Tabla P. 2. Presupuesto de la Partida 2: Bombas.

| Bomba | Unidad | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|--|---------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Electrobomba centrífuga monoblock normalizada MN65-200B | Ud. | 2 | 1.968,99 | 3.937,98 |
| Bomba centrífuga multietapa horizontal modelo P5S-150/5 T | Ud. | 2 | 297,23 | 594,46 |
| Electrobomba modelo CM65-125B | Ud. | 2 | 813,64 | 1.627,28 |
| Bomba centrífuga monoblock horizontal modelo CM40-200A | Ud. | 2 | 847,19 | 1.694,38 |
| TOTAL | | | | 7.854,1 |

1.3. Partida 3: Tanques

En la tabla P.3 se muestra el presupuesto de los tanques.

Tabla P. 3. Presupuesto de la Partida 3: Tanques.

| Tanque | Unidad | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|---|--------|----------|------------------------|---------------------|
| Permeado, 245 m ³ | Ud. | 1 | 27.718 | 27.718 |
| Hipoclorito de sodio, 42,4 m ³ | Ud. | 1 | 4.796,9 | 4.796,9 |
| Ácido nítrico, 118 m ³ | Ud. | 1 | 13.349,9 | 13.349,9 |
| Preparación disoluciones, 118 m ³ | Ud. | 1 | 13.349,9 | 13.349,9 |
| TOTAL | | | | 59.214,7 |

1.4. Partida 4: Conducciones

En la tabla P.4 se muestra el presupuesto de las conducciones.

Tabla P. 4. Presupuesto de la Partida 4: Conducciones.

| Conducciones | Unidad | Cantidad | Precio unitario (€/m) | Precio total (€) |
|------------------|--------|----------|-----------------------|------------------|
| PVC-O DN160 | m | 40 | 16,34 | 434,8 |
| Acero INOX DN154 | m | 12 | 17,43 | 209,16 |
| PVC-O DN140 | m | 52 | 12,75 | 663 |
| PVC-O DN40 | m | 16 | 9,38 | 144,61 |
| PVC-O DN90 | m | 20 | 11,25 | 225 |
| TOTAL | | | | 1.676,57 |

1.5. Partida 5: Accesorios

En la tabla P.5 se muestra el presupuesto de los accesorios.

Tabla P. 5. Presupuesto de la Partida 5: Accesorios.

| Accesorios | Unidad | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|-----------------------|--------|----------|---------------------|------------------|
| Válvula de diafragma | Ud. | 2 | 80 | 190 |
| Válvula de mariposa | Ud. | 1 | 75,70 | 75,70 |
| Válvula de globo | Ud. | 1 | 92,59 | 92,59 |
| Caudalímetro | Ud. | 2 | 945 | 1.890 |
| Manómetro | Ud. | 5 | 140 | 700 |
| Controlador PID | Ud. | 1 | 990 | 990 |
| Sensor de temperatura | Ud. | 1 | 131,89 | 131,89 |
| Sensor de nivel | Ud. | 1 | 143,99 | 143,99 |
| Sensor de pH | Ud. | 1 | 93,07 | 93,07 |
| Compresor | Ud. | 1 | 983,95 | 983,95 |
| TOTAL | | | | 5.291,19 |

1.6. Presupuesto de Ejecución de Material total

El Presupuesto de Ejecución de Material total (PEM) es la suma de todas las partidas anteriores. El resumen de todas las partidas se encuentra en la tabla P.6.

Tabla P. 6. PEM.

| Partida | Precio total (€) |
|----------------------------|-------------------------|
| Equipos principales | 235.675 |
| Bombas | 7.854,1 |
| Tanques | 59.214,7 |
| Conducciones | 1.676,57 |
| Accesorios | 5.291,19 |
| PEM | 309.711,56 |

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. En la tabla P.7 se muestra el PEC.

Tabla P. 7. PEC.

| | |
|-----------------------------|---------------------|
| PEM | 309.711,56 € |
| Gastos generales | 46.456,73 € |
| Beneficio industrial | 18.582,69 € |
| PEC | 374.750,98 € |

El presupuesto total del proyecto *Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas* asciende a TRES CIENTOS SETENTA Y CUATRO MIL SETECIENTOS CINCUENTA EUROS CON NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS.

