



# **Universitat Jaume I**

**Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals**

**Grau en Enginyeria Química**

## ***Diseño de un reactor para la desinfección y eliminación de espumas en la EDAR de Vilafranca del Cid***

### **Trabajo Fin de Grado**

**Autor/a**

Cristina Castel Sancho

**Tutor/a**

María José Gimeno Pérez

Ana Gosalbo Nebot

Castellón, Noviembre de 2023



# 0. RESUMEN





El presente trabajo de final de grado a realizar por la alumna Cristina Castel se basa en la búsqueda de una solución para optimizar y mejorar la operación de depuración de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Vilafranca del Cid, ubicada en Castellón. Esto se lleva a cabo para abordar los desafíos actuales relacionados con la presencia de espumas, originadas por la industria textil local, y para mejorar el sistema de desinfección con hipoclorito de sodio con el fin de lograr una homogeneización eficiente del agua residual.

Para proceder con la optimización se pretende en primer lugar, reducir la formación de espumas y tensioactivos mediante mejoras en el proceso de depuración de aguas residuales. En segundo lugar, se pretende mejorar el sistema de cloración actual, que enfrenta problemas de mezcla desigual y dificultades de limpieza y mantenimiento debido a su diseño complicado. La meta es implementar un proceso de desinfección que cumpla con los estándares ambientales y garantice una mezcla uniforme, al tiempo que simplifica las tareas de mantenimiento.

En cuanto a la viabilidad de llevar a cabo esta investigación, cabe comentar que la aplicación de estos tratamientos no afectará al proceso presente en la estación de depuración. En cuanto a la viabilidad económica, su estudio será abordado teniendo presente los cálculos realizados y el estudio del sistema final.



# 1. ÍNDICE GENERAL



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



## 2. MEMORIA





<b>1. OBJETO .....</b>	<b>2</b>
1.1. Objetivo general .....	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
<b>2. ALCANCE .....</b>	<b>3</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>4. ANTECEDENTES .....</b>	<b>6</b>
4.1. Tratamiento de aguas residuales.....	6
4.2. EDAR Vilafranca del Cid.....	6
4.2.1. Proceso y características.....	7
<b>5. NORMAS Y REFERENCIAS.....</b>	<b>10</b>
5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas .....	10
5.2. Bibliografía .....	10
5.3. Webgrafía .....	11
5.4. Software empleado.....	13
<b>6. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....</b>	<b>14</b>
6.1. Abreviaturas generales .....	14
6.2. Abreviaturas para el dimensionamiento del tanque de cloración .....	14
6.3. Abreviatura para el cálculo del espesor del tanque de cloración.....	15
6.4. Abreviaturas para el sistema de agitación del tanque de cloración.....	16
6.5. Abreviaturas para el dimensionamiento de filtro de carbón activo.....	16
6.6. Abreviaturas para el diseño de conducciones .....	17
6.6.1. Ecuación de Ergun.....	18
<b>7. REQUISITOS DE DISEÑO .....</b>	<b>19</b>
7.1. Caudales de diseño .....	19
7.2. Calidad del agua a tratar .....	19
7.3. Dosificación hipoclorito de sodio.....	20
<b>8. ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....</b>	<b>22</b>

<b>8.1.</b>	<b>Eliminación de espumas</b> .....	<b>22</b>
<b>8.2.</b>	<b>Sistema de desinfección homogéneo</b> .....	<b>26</b>
<b>9.</b>	<b>RESULTADOS FINALES</b> .....	<b>34</b>
<b>10.</b>	<b>PLANIFICACIÓN</b> .....	<b>35</b>
<b>11.</b>	<b>ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS</b> .....	<b>36</b>
<b>12.</b>	<b>ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA</b> .....	<b>37</b>
<b>12.1.</b>	<b>Resumen del presupuesto</b> .....	<b>37</b>
<b>12.2.</b>	<b>Presupuesto de explotación</b> .....	<b>39</b>
12.2.1.	Inversión inicial .....	39
12.2.2.	Gastos directos.....	39
12.2.3.	Gastos indirectos.....	39
12.2.4.	Gastos totales .....	39
12.2.5.	Ingresos.....	40
12.2.6.	Beneficio bruto .....	40
12.2.7.	Beneficio neto .....	41
12.2.8.	Amortización .....	42
12.2.9.	Flujo de caja .....	42
12.2.10.	Valor Anual Neto .....	43
12.2.11.	Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	44
12.2.12.	Periodo de retorno (PR) .....	44
<b>13.</b>	<b>Índice de tablas</b> .....	<b>45</b>
<b>14.</b>	<b>Índice de figuras</b> .....	<b>46</b>



## **1. OBJETO**

### **1.1. Objetivo general**

El objetivo general de este proyecto es optimizar y mejorar la operación de depuración de la EDAR de Vilafranca del Cid (Castellón) para abordar los desafíos actuales relacionados con la presencia de espumas, provenientes de la industria textil situada en el municipio, y mejorar el sistema actual de desinfección con hipoclorito de sodio para conseguir una perfecta homogeneización del agua residual.

### **1.2. Objetivos específicos**

Para lograr este objetivo general, se establecen diversos objetivos específicos.

En primer lugar, conseguir una reducción de espumas y tensioactivos implementando mejoras en el proceso de depuración de aguas residuales.

En segundo lugar, se busca mejorar el sistema actual de cloración utilizado para desinfectar el agua residual. El problema radica en que este sistema no logra una mezcla uniforme y enfrenta dificultades significativas en términos de limpieza y mantenimiento debido a su estructura con múltiples ángulos afilados que propician la acumulación de residuos. En este sentido, el objetivo es implementar un proceso de desinfección que garantice el cumplimiento de los estándares ambientales al tiempo que logre una mezcla homogénea y simplifique el mantenimiento.

## 2. ALCANCE

El proyecto se centrará en estudiar como eliminar los tensioactivos (espumas) y como mejorar el sistema de desinfección con hipoclorito de sodio en una Estación Depuradora de Aguas Residuales, procedente del municipio de Vilafranca del Cid.

Vilafranca del Cid se sitúa en el interior del Norte de la provincia de Castellón, en la comarca dels Ports, como se muestra en la *Figura M.1*. Exactamente está a 1125 m sobre el nivel del mar. Dicho municipio cuenta con 2227 habitantes censados (dato del INE de 2018).



*Figura M.1. Ubicación Vilafranca del Cid (Castellón). Fuente: elaboración propia*

En la actualidad, el municipio cuenta con una red de saneamiento que abarca toda la población y recoge las aguas residuales generadas por la actividad diaria. Además, existe una empresa con actividad industrial ubicada en la zona, cuya agua residual presenta valores elevados de tensioactivos, los cuales no son eliminados completamente durante la

depuración. Como consecuencia, el agua tratada que se vierte al cauce fluvial contiene espumas, lo cual genera un importante impacto visual en la zona, aunque los valores de materia orgánica se hallen dentro de los valores aceptables para un vertido al cauce público. Por lo tanto, resulta fundamental abordar esta mejora con el fin de mejorar el aspecto medio ambiental en el efluente fluvial.

El alcance de este proyecto supone en primer lugar el diseño de unos filtros de carbón activo que permitan reducir las espumas de la línea industrial, y, en segundo lugar, el diseño de un reactor para la perfecta homogeneización del agua residual con el hipoclorito de sodio para una desinfección microbiológica del agua.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Este proyecto ha sido llevado a cabo durante la estancia en prácticas en la EDAR de Vilafranca del Cid en colaboración con la empresa FACSA, en el contexto de la asignatura EQ1034 Prácticas Externas y dando cumplimiento al objetivo de la asignatura EQ1044 Trabajo de Final de Grado. Este proyecto representa una relevante aplicación de conocimientos académicos y una contribución al avance de la gestión sostenible de los recursos hídricos y la preservación del medio ambiente.

La realización de prácticas en la EDAR de Vilafranca del Cid ha sido una parte integral de la formación, brindando la oportunidad de adentrarse en la gestión de aguas residuales y comprender los retos y soluciones en esta industria.

## **4. ANTECEDENTES**

### **4.1. Tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento de aguas residuales es un proceso fundamental para eliminar los contaminantes presentes en las aguas utilizadas en actividades humanas, como el consumo doméstico, industrial y agrícola. El objetivo principal del tratamiento de aguas residuales es proteger el medio ambiente y preservar la calidad del agua.

Existen diferentes etapas en el tratamiento de aguas residuales, que incluyen procesos físicos, químicos y biológicos. En estos procesos se lleva a cabo la eliminación de sólidos suspendidos, la reducción de carga orgánica, la eliminación de nutrientes y la desinfección para eliminar los patógenos presentes en el agua tratada.

El tratamiento de aguas residuales es esencial para prevenir la contaminación de agua como ríos, lagos y océanos, así como para proteger la salud pública al garantizar la calidad del agua que se utiliza para el consumo humano o actividades recreativas.

### **4.2. EDAR Vilafranca del Cid**

La estación depuradora de Vilafranca del Cid, situada al lado del barranco la Fos, recibe y trata las aguas residuales generadas por el municipio y las precedentes de la industria de este. En la *Figura M.2* se puede ver una vista actual de la EDAR.



*Figura M.2. Estación Depuradora de Aguas Residuales de Vilafranca del Cid. Fuente: elaboración propia*



#### **4.2.1. Proceso y características**

La EDAR de Vilafranca del Cid consta de la entrada de dos líneas de agua. Por una parte, la línea industrial procedente de la industria textil presente en el pueblo, y por otra, la línea urbana. Para el tratamiento de la línea industrial, se procederá del siguiente modo. El proceso comienza con la entrada de las aguas residuales en la planta, a través de un canal de llegada. A continuación, se realiza un pretratamiento mediante rejillas y desarenadores, para eliminar los sólidos gruesos y la arena presentes en el agua. Estos residuos son posteriormente evacuados y transportados al vertedero.

La siguiente etapa es la de tratamiento biológico, donde se lleva a cabo la eliminación de la materia orgánica disuelta en el agua mediante la acción de bacterias y otros microorganismos. Para ello, se utilizan reactores biológicos en los que se mantienen las condiciones óptimas para el crecimiento de estos microorganismos.

Posteriormente, el agua tratada pasa por una fase de decantación, donde se produce la separación de los fangos biológicos generados durante el proceso de tratamiento, que se recirculan al inicio del proceso para continuar con el tratamiento biológico. Seguidamente, la línea industrial, pasa por un filtro de arenas antes de juntarse con la línea urbana.

Del mismo modo, en la línea urbana tras la fase de desarenado y desbaste se procede a la decantación y posterior tratamiento biológico, en este caso mediante un biodisco. Seguidamente, se procederá a una decantación secundaria. Una vez realizada la decantación, esta agua se mezcla con la línea urbana para su proceso de desinfección mediante cloro en un canal de cloración, y su final, vertido al río.

A continuación, en la *Figura M.3* se presenta el diagrama de proceso actual:

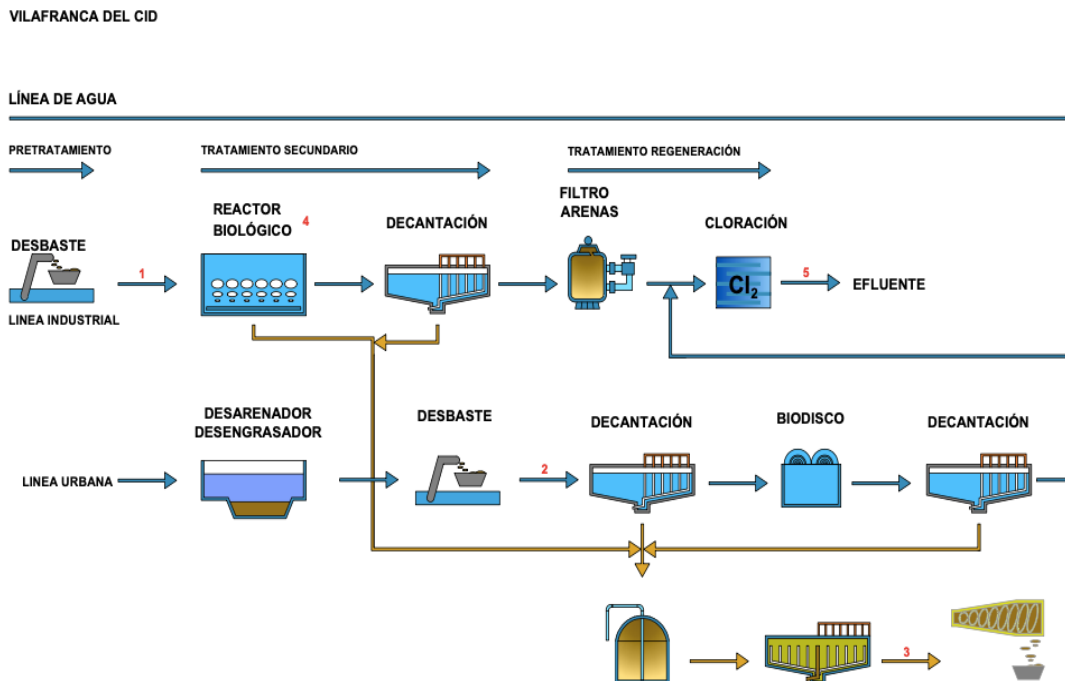


Figura M.3. Diagrama de proceso EDAR Vilafranca del Cid. Fuente: elaboración propia

Actualmente, en la EDAR de Vilafranca del Cid constan con diversos objetos sujetos de mejora. En primer lugar, tal y como se ha comentado con anterioridad, a la EDAR llega el agua residual de la empresa industrial textil presente en el municipio. En esta empresa se utilizan jabones para lavar sus productos por lo que el agua que llega a la estación depuradora contiene tensioactivos que generan espumas. Estos tensioactivos generan un inconveniente visual a la hora de verter el agua al cauce fluvial ya que el proceso de depuración actual no es capaz de eliminar las espumas en su totalidad.

En las Figuras M.4 y M.5, que se exponen a continuación, se puede ver la problemática presente y el motivo por el cual se pretende llevar a cabo el estudio mencionado:



*Figura M.4. Efluente línea industrial.*

*Fuente: elaboración propia*

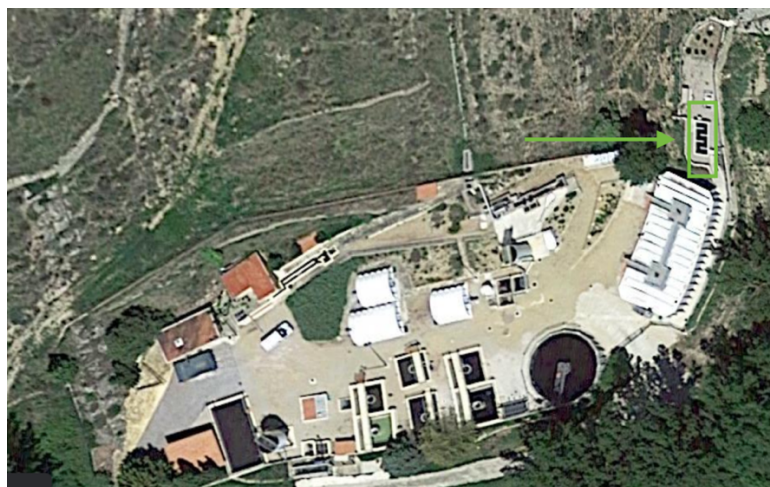


*Figura M.5. Vertido agua al corriente fluvial.*

*Fuente: elaboración propia*

En la *Figura M.4*, se pueden ver las espumas generados a la salida tras el tratamiento en la estación depuradora. Por otro lado, en la *Figura M.5* se puede observar el vertido al cauce del barranco la Fos, donde se observa la gran cantidad de espumas almacenadas.

En segundo lugar, la EDAR consta de un sistema de desinfección con hipoclorito de sodio para cumplir con los valores límite ambientales de carga microbiana, como es el caso de la E.coli. Este reactivo ( $\text{NaClO}$ ), se dosifica y se tiene en contacto con el agua a través de un canal de cloración de hormigón. Actualmente, en este canal de cloración no se consigue una correcta homogeneización y la limpieza del canal nunca es completa ya que presenta numerosos cantos donde los fangos se quedan incrustados. En la *Figura M.6* se puede ver el actual canal de cloración presente en la EDAR.



*Figura M.6. Localización canal de cloración EDAR Vilafranca del Cid. Fuente:*

*elaboración propia*

## 5. NORMAS Y REFERENCIAS

### 5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

- UNE 157001-2014, “Criterios generales para la elaboración de los documentos que constituyen un proyecto técnico”.
- UNE-EN ISO 5455 – Dibujos técnicos. Escalas. (ISO 5455:/979).
- REAL DECRETO 1627/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud laboral en los lugares de trabajo.
- Ley 31/1995, del 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- UNE-EN 17176/2019, para tuberías y accesorios de PVC-O.

### 5.2. Bibliografía

- [1]: Auer E., Freund A., Pietsch J, Tacke T. *Carbons as supports for industrial precious metal catalysts* Applied Catalysis A: General 173 (1998) 259-271.
- [2]: Sheintuch M., Matatov-Meytal Y. I. Comparison of catalytic processes with other regeneration methods of activated carbon Catalysis Today 53 (1999) 73-80.
- [3]: Metcalf, T.L., & Eddy, H. P. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales* (Vol. II). McGraw-Hill.
- [4]: Warren, L., Julian, C., Peter, H. (1991) *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Cuarta edición. Mc Graw Hill.
- [5]: Rodrigo, M. (2003) *Operaciones básicas de flujo de fluidos N° 158*. Universitat Jaume I
- [6]: Apuntes EQ 1041. *Biotechnological Processes. Lesson 6: G-L mass transfer and mixing*.
- [7]: Cortacans, J. A., 2011. *Digestión anaerobia de fangos: pasado, presente y futuro*. 7as jornadas Técnicas de Saneamiento y Depuración. ESAMUR
- [8]: Guo, Y., Zhang, L., J., & ji, Y. (2017). *Investigation of advanced integrated treatment process for the removal of foam and scum in wastewater treatment plants*. Water Science and Technology, 75 (11), 2709-2715.

- [9]: Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. McGraw-Hill.
- [10]: Levenspiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering*. John Wiley & Sons.
- [11]: Rushton, A., Ward, J., & Ottewill, R. (2009). *Solid-Liquid Mixing*. Elsevier.
- [12]: Blackburn, J. (2013). *Mixing in the Process Industries: Second Edition*. Butterworth-Heinemann.
- [13]: F. C., & Aktas, Ö. (Febrero de 2012). Activated Carbon Regeneration and Reactivation. En F. C. ec-en, & Ö. Aktas, *Activated Carbon for Water and Wastewater - Integration of Adsorption and Biological Treatment* (págs. 37-38). Estambul: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA .
- [14]: Rey A., Faraldos M., Casas J. A., Zazo J. A., Bahamonde A., Rodríguez J. J. *Catalytic wet peroxide oxidation of phenol over Fe/AC catalysts: Influence of iron precursor and activated carbon surface*. Applied Catalysis B: Environmental 86 (2009) 67-77
- [15]: Fierro V., Torné-Fernández., Celzard A., *Kraft lignin as a precursor for microporous activated carbons prepared by impregnation with orthophosphoric acid: Synthesis and textural characterization* Microp. Mesop. Mat. 92 (2006) 243-250.
- [16] Jiménez Compaired, I. (2023, 21 de febrero). *El régimen económico-financiero de la reutilización del agua en España: ¿Cómo llenar un vacío normativo?* Universidad de Zaragoza AGUDEMA. Murcia

### 5.3. Webgrafía

- [a] <https://sigpac.mapa.gob.es/fega/visor/>
- [b] <https://www.ingetecsa.com.co/tanques-de-almacenamiento/>
- [c] <http://www.generadordeprecios.info/>
- [d] <https://earth.google.com/web/@40.42228217,-0.24895152,1057.45601304a,74.83117412d,35v,359.92433405h,0t,0r>

- [e] [\[e\] https://www.iagua.es/noticias/laboratorios-tecnologicos-levante/estudio-carbon-activo-como-filtrante-tratamiento](https://www.iagua.es/noticias/laboratorios-tecnologicos-levante/estudio-carbon-activo-como-filtrante-tratamiento)
- [f] [\[f\] https://www.eurocarb.com/es/productos/carbon-granular/](https://www.eurocarb.com/es/productos/carbon-granular/)
- [g] [\[g\] https://www.fundacioncanal.com/canaleduca/wp-content/uploads/2015/08/Tratamiento-de-desinfeccion-del-agua-potable2.pdf](https://www.fundacioncanal.com/canaleduca/wp-content/uploads/2015/08/Tratamiento-de-desinfeccion-del-agua-potable2.pdf)
- [h] [\[h\] https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/sistemas\\_aireacion.pdf](https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/sistemas_aireacion.pdf)
- [i] [\[i\] https://iberospec.com/marcas/invent/iberospec-presenta-el-equipo-agitador-aireador-de-invent/](https://iberospec.com/marcas/invent/iberospec-presenta-el-equipo-agitador-aireador-de-invent/)
- [j] [\[j\] https://www.hidrometalica.com/desnatador/](https://www.hidrometalica.com/desnatador/)
- [k] [\[k\] https://www.mobilbatch.com.br/agitadores-industriais-tanques](https://www.mobilbatch.com.br/agitadores-industriais-tanques)
- [l] [\[l\] https://waterstation.mx/agua-y-salud/osmosis-inversa-ventajas-y-desventajas/](https://waterstation.mx/agua-y-salud/osmosis-inversa-ventajas-y-desventajas/)
- [m] [\[m\] https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1444/2015\\_Tesis\\_Morales\\_Gomez\\_Maria\\_Nathalia.pdf?sequence=1](https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1444/2015_Tesis_Morales_Gomez_Maria_Nathalia.pdf?sequence=1)
- [n] [\[n\] http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo\\_Uribe\\_Vladimir.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Uribe_Vladimir.pdf)
- [o] [\[o\] https://www.pamline.es/valvulas/seccionamiento/valvulas-mariposa](https://www.pamline.es/valvulas/seccionamiento/valvulas-mariposa)
- [p] [\[p\] https://www.agriexpo.online/es/prod/metri-measurements/product-188482-128537.html](https://www.agriexpo.online/es/prod/metri-measurements/product-188482-128537.html)
- [q] [\[q\] https://es.hach.com/sonda-de-inmersion-solitax-t-line-sc-para-medida-de-turbidez-0-001-4000-ntu-con-rasqueta-pvc/product?id=24930072327#](https://es.hach.com/sonda-de-inmersion-solitax-t-line-sc-para-medida-de-turbidez-0-001-4000-ntu-con-rasqueta-pvc/product?id=24930072327#)
- [r] [\[r\] https://grabcad.com/library/tanque-esferico-1](https://grabcad.com/library/tanque-esferico-1)
- [s] [\[s\] https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiugcrh8buCAxVIUaQEHfyKAXwQFnoECB0QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.u-](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiugcrh8buCAxVIUaQEHfyKAXwQFnoECB0QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.u-)

[cursos.cl/ingenieria/2007/2/2/FCI52G/2F1/2Fmaterial\\_docente/2Fbajar%3Fbajar%3D1%26id%3D137135&usg=AOvVaw2cxmjNMqt12P-mK3nusPDU&opi=89978449](https://cursos.cl/ingenieria/2007/2/2/FCI52G/2F1/2Fmaterial_docente/2Fbajar%3Fbajar%3D1%26id%3D137135&usg=AOvVaw2cxmjNMqt12P-mK3nusPDU&opi=89978449)

- [t] <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carbón%20activo.pdf>

#### **5.4. Software empleado**

- Microsoft Office Excel
- Microsoft Office Word
- Microsoft PowerPoint
- AutoCAD
- Microsoft Project Profesional
- Good Notes

## 6. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

### 6.1. Abreviaturas generales

En la *Tabla M.1.* se pueden ver las abreviaturas generales utilizadas en el proyecto.

*Tabla M. 1. Abreviaturas generales*

NOMBRE o SÍMBOLO	DEFINICIÓN
CA	Carbón Activo
DBO <sub>5</sub>	Cantidad de oxígeno que consumen las bacterias durante 5 días.
DQO	Medición de manera indirecta de la cantidad de materia orgánica en una determinada muestra.
EDAR	Estación de Depuración de Aguas Residuales
GRG	Tanque común de 1000 L
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Agua oxigenada
NO <sub>3</sub>	Nitratos
Nt	Nitrógeno total
O <sub>3</sub>	Ozono
Pt	Fósforo total
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
VLE	Valor Límite de Emisión
Escherichia coli	Bacteria proveniente de los intestinos de las personas y los animales.
pH	Coefficiente que indica el valor de acidez o basicidad de una solución líquida.
ss	Sólidos en suspensión
μS/cm	micro Siemens por centímetro

### 6.2. Abreviaturas para el dimensionamiento del tanque de cloración

En la *Tabla M.2.* se pueden ver las abreviaturas utilizadas para el dimensionamiento del tanque de cloración.



Tabla M. 2. Abreviaturas para el dimensionamiento del tanque de cloración

Código	Definición	Unidades
<b>Q</b>	Caudal reactor	m <sup>3</sup> /h
<b>V</b>	Volumen reactor	m <sup>3</sup>
<b>V<sub>cilindro</sub></b>	Volumen zona cilíndrica del reactor	m <sup>3</sup>
<b>V<sub>cono</sub></b>	Volumen zona cónica del reactor	m <sup>3</sup>
<b>V<sub>r</sub></b>	Volumen real	m <sup>3</sup>
<b>t<sub>R</sub></b>	Tiempo de retención	h
<b>h</b>	Altura del reactor	m
<b>r</b>	Radio del reactor	m
<b>π</b>	Número pi	-

### 6.3. Abreviatura para el cálculo del espesor del tanque de cloración

En la *Tabla M.3.* se pueden ver las abreviaturas referentes al cálculo del espesor del tanque de cloración.

Tabla M. 3. abreviaturas cálculo espesor tanque cloración

Código	Definición	Unidades
<b>A</b>	Área de la sección transversal	m <sup>2</sup>
<b>A<sub>s</sub></b>	Área de la sección transversal de refuerzo	m <sup>2</sup>
<b>e</b>	Espesor del tanque	m
<b>g</b>	Aceleración debida a la gravedad	m/s <sup>2</sup>
<b>h</b>	Altura del líquido	m
<b>k</b>	Coefficiente de seguridad	-
<b>r</b>	Radio del tanque de cloración	m
<b>σ</b>	Tensión admisible del hormigón armado	kg/cm <sup>2</sup>
<b>ρ</b>	Densidad del líquido	kg/m <sup>3</sup>

#### 6.4. Abreviaturas para el sistema de agitación del tanque de cloración

En la *Tabla M.4.* Se pueden ver las abreviaturas referentes al cálculo del sistema de agitación para el tanque de cloración.

*Tabla M. 4. Abreviaturas sistema de agitación del tanque clorador*

Código	Definición	Unidades
$D_A$	Diámetro de agitador	m
$D_a$	Diámetro de las palas	m
$D_t$	Diámetro del reactor	m
$E$	Distancia desde el agitador hasta el fondo de la base	m
$H$	Altura del fluido	m
$L$	Largo de las paletas	m
$N_i$	Velocidad del agitador	$s^{-1}$
$N_p$	Número de potencia	-
$P$	Potencia	kW
$Re_i$	Número de Reynolds	-
$W$	Alto de las paletas	m
$\mu$	Viscosidad del fluido	$kg/m \cdot s$
$\rho$	Densidad del fluido	$kg/m^3$

#### 6.5. Abreviaturas para el dimensionamiento de filtro de carbón activo

En la *Tabla M.5.* se pueden ver las abreviaturas utilizadas para el cálculo de las dimensiones del filtro de carbón activo.

*Tabla M. 5. Abreviaturas dimensionamiento filtro de carbón activo*

Código	Definición	Unidades
$A$	Área de sección transversal	$m^2$
$D$	Diámetro filtro carbón activo	m

Código	Definición	Unidades
<b>Q</b>	Caudal de diseño de la línea industrial	m <sup>3</sup> /h
<b>V<sub>T</sub></b>	Volumen total	m <sup>3</sup>
<b>h</b>	Altura filtro de carbón activo	m
<b>r</b>	Radio filtro carbón activo	m
<b>t</b>	Tiempo de contacto	min
<b>v<sub>p</sub></b>	Velocidad de paso	m/h
<b>α</b>	Fracción de seguridad (contra lavado)	-
<b>π</b>	Número pi	-

### 6.6. Abreviaturas para el diseño de conducciones

A continuación, en la *Tabla M.6.* quedan reflejadas las abreviaturas para el diseño de las conducciones.

*Tabla M. 6. Abreviaturas para el diseño de conducciones*

Código	Definición	Unidades
<b>D</b>	Diámetro de la conducción	m
<b>D<sub>n</sub></b>	Diámetro nominal obtenido de la norma	m
<b>D<sub>i</sub></b>	Diámetro interno de la circulación	m
<b>D<sub>real</sub></b>	Diámetro real	m
<b>L</b>	Longitud del tramo recto	m
<b>P<sub>1</sub></b>	Presión en el punto final de aspiración	Pa
<b>P<sub>2</sub></b>	Presión en el punto final de impulsión	Pa
<b>Q</b>	Caudal que circula en cada tramo	m <sup>3</sup> /s
<b>S<sub>real</sub></b>	Superficie real	m <sup>2</sup>
<b>S<sub>sup</sub></b>	Superficie supuesta	m <sup>2</sup>
<b>e</b>	Espesor obtenido de la norma	m
<b>f</b>	Factor de Fanning	-

Código	Definición	Unidades
<b>g</b>	Constante de gravedad	m/s <sup>2</sup>
<b>h<sub>s</sub></b>	Carga total del sistema	m
<b>k</b>	Constante característica del accidente	-
<b>v</b>	Velocidad media a lo largo de la conducción	m/s
<b>v<sub>1</sub></b>	Velocidad en el punto inicial de aspiración	m/s
<b>v<sub>2</sub></b>	Velocidad en el punto final de impulsión	m/s
<b>v<sub>real</sub></b>	Velocidad real	m/s
<b>v<sub>sup</sub></b>	Velocidad supuesta	m/s
<b>z<sub>1</sub></b>	Altura en el punto inicial de aspiración	m
<b>z<sub>2</sub></b>	Altura en el punto final de impulsión	m
<b>ΔF</b>	Pérdida de carga	J/kg
<b>ΔF<sub>a</sub></b>	Pérdida de carga en los accidentes del sistema	J/kg
<b>ΔF<sub>e</sub></b>	Pérdida de carga en los equipos	J/kg
<b>ΔF<sub>r</sub></b>	Pérdida de carga en los tramos rectos, debido al rozamiento	J/kg
<b>ΔP</b>	Pérdida de presión manométrica	N/m <sup>2</sup>
<b>μ</b>	Viscosidad dinámica del agua	Ns/m <sup>2</sup>
<b>ρ</b>	Densidad del líquido	kg/m <sup>3</sup>

### 6.6.1. Ecuación de Ergun

En la Tabla M.7. se pueden ver las abreviaturas utilizadas en la ecuación de Ergun.

Tabla M. 7. Abreviaturas ecuación de Ergun

Código	Definición	Unidades
<b>L</b>	Altura del lecho del filtro de carbón activo	m
<b>d<sub>p</sub></b>	Tamaño de partícula	m
<b>v</b>	Velocidad superficial del líquido	m/s
<b>ε</b>	Porosidad media del lecho	-
<b>μ</b>	Viscosidad del fluido	kg/m·s
<b>ρ</b>	Densidad del fluido	kg/m <sup>3</sup>
<b>φ</b>	Factor de esfericidad	-

## **7. REQUISITOS DE DISEÑO**

El enfoque de este proyecto se centra en implementar varias mejoras en el tratamiento terciario en la EDAR de Vilafranca del Cid. En primer lugar, se pretende reducir las espumas de la línea industrial provenientes de la empresa textil situada en Vilafranca de Cid y, en segundo lugar, conseguir una desinfección del agua residual de la estación depuradora mediante un mecanismo que consiga la homogeneización del agua para el cumplimiento de los valores límite ambientales.

En esta sección, se presentarán, explicarán y establecerán los requisitos mínimos necesarios en términos de instalaciones, equipos y tuberías, así como los parámetros derivados de los valores de agua residual exigidos por las autoridades sanitarias para el efluente de agua tratada que sale del sistema. Estos aspectos deben ser considerados para el diseño y la ejecución adecuada del proyecto.

### **7.1. Caudales de diseño**

La depuradora está diseñada para tratar un caudal de diseño de 1685 m<sup>3</sup>/día. Además, existen dos líneas de entrada a la EDAR de Vilafranca del Cid. En primer lugar, la línea urbana que tiene un caudal de diseño de 615 m<sup>3</sup>/día, y, en segundo lugar, la línea industrial procedente de la industria textil localizada en el municipio, que tiene un caudal de diseño de 1070 m<sup>3</sup>/día.

Habitualmente, el caudal que trata la depuradora tiene una media de 250 m<sup>3</sup> procedentes de la línea urbana y una media de 300 m<sup>3</sup> de la línea industrial. Sin embargo, en el presente proyecto los cálculos realizados son en todo momento para el caudal de diseño de la EDAR.

### **7.2. Calidad del agua a tratar**

De acuerdo con la información proporcionada por los miembros de FACSA, seguidamente se muestran los VLE (Valores Límites de Emisión) para la EDAR de Vilafranca del Cid. En dicha planta, los valores límite vienen preestablecidos por la Confederación Hidrográfica del Júcar y en ningún caso la corriente del efluente deberá sobrepasar estos límites para poder verter en el punto de salida. Actualmente, se cumple con estos valores. No obstante, con las mejoras que se proponen además de cumplir con los VLE se conseguirá reducir las espumas y mejorar el impacto visual. En la *Tabla M.8.* se muestran los valores límite establecidos por la normativa para la EDAR de Vilafranca del Cid.

Tabla M. 8. Valores Límite de Emisión para la EDAR de Vilafranca del Cid

DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	ss (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	E. Coli (UFC/100 mL)
135	25	35	50	1800

En la estación depuradora el agua entra con las concentraciones que se muestran en la *Tabla M.9.* por lo que con las mejoras que se proponen se conseguirá bajar estos valores y seguir cumpliendo con la normativa, además de reducir el impacto visual ocasionado por las espumas.

Tabla M. 9. Concentraciones de entrada a la EDAR. de Vilafranca del Cid

DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	ss (mg/L)	Nt (mg/L)	Pt (mg/L)	pH	Conductividad (μS/cm)
500-700	250-500	300-600	70-100	15-20	7.5-8.5	1000-1400

### 7.3. Dosificación hipoclorito de sodio

Para la dosificación de hipoclorito se hará uso de la dosis actual utilizada en la EDAR para garantizar cumplir con los parámetros de E. coli (< 1800 UFC/100 mL). A continuación, en la *Tabla M.10.* se observan las medidas utilizadas por FACSA para obtener la cantidad óptima de hipoclorito de sodio a dosificar.

Tabla M. 10. Cantidad óptima de hipoclorito a dosificar

Cantidad de hipoclorito de sodio dosificada (L/día)	Resultado E.coli tras analítica (UFC/100ml)
50	0
45	0
40	0
35	0
30	0
20	100
15	2000

Como se puede ver, para 20 L/día, el resultado ya no es 0, pero como es inferior al VLE de E.coli (1800 UFC/100mL) se intentó reducir todavía más la dosis. No obstante, el valor de 15 L/día sobrepasa el VLE, por lo que la dosis óptima de hipoclorito de sodio es de 20 L/día. El almacenaje y suministro de este hipoclorito de sodio a la planta se efectúa actualmente mediante un tanque GRG, es decir, un tanque de 1000 L.

## **8. ANÁLISIS DE SOLUCIONES**

En el presente trabajo se plantean dos posibles mejoras. En primer lugar, se pretende eliminar las espumas provenientes de la industria textil localizada en el municipio de Vilafranca del Cid, para ello se han considerado diferentes alternativas que se expondrán a continuación, y de entre ellas se elegirá la que mejor se adapte a la EDAR de Vilafranca del Cid.

En segundo lugar, para mejorar el actual sistema de desinfección, que consiste en añadir hipoclorito de sodio mediante un canal de cloración, se han buscado diferentes alternativas que sean capaces de realizar una completa desinfección.

### **8.1. Eliminación de espumas**

El agua que viene de la zona industrial presenta una peculiar característica, ya que tras los lavados de textil en la industria del municipio los tensioactivos resultantes llegan a la EDAR. Actualmente, tras todo el proceso de tratamiento del agua, la estación no es capaz de eliminar totalmente dichos tensioactivos y en ocasiones se ven espumas en el efluente. Aunque no sean un problema ambiental, ya que se cumplen perfectamente con los VLE, el objeto de este trabajo es intentar eliminar estos tensioactivos para conseguir una mejora en la EDAR de Vilafranca del Cid.

Para abordar este desafío, se han considerado diferentes alternativas, incluyendo el uso de agentes antiespumantes, la modificación de la aireación y agitación, la aplicación de un canal desnatador rotativo y la aplicación de un filtro de carbón activo, Guo, Zhang y Ji (2017), [8].

Los agentes antiespumantes son sustancias químicas diseñadas específicamente para prevenir o controlar la formación de espumas. Estos productos funcionan al reducir la tensión superficial del agua y romper las burbujas de espuma, lo que facilita su colapso. Si bien los agentes espumantes pueden ser efectivos en la reducción de espumas, su uso debe ser preciso y controlado para evitar dosificaciones excesivas que puedan provocar una disminución en la eficiencia del tratamiento de la EDAR.

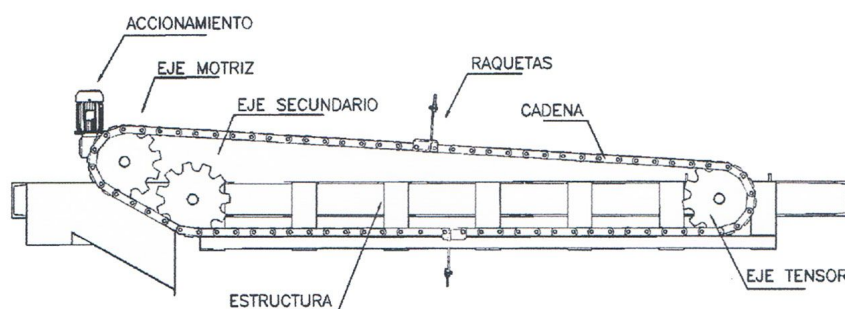
Los agentes antiespumantes presentan algunas limitaciones para su aplicación en la EDAR. En primer lugar, es necesario aplicar una dosis muy precisa y constante, lo que puede aumentar la complejidad del proceso y los costos asociados.



En segundo lugar, los agentes antiespumantes pueden ser tóxicos para los microorganismos en el proceso biológico del tratamiento, lo que podría afectar negativamente la eficiencia de la EDAR.

Otra de las opciones buscada para la reducción de las espumas es la modificación de la aireación y la agitación de la EDAR, Guo, Zhang y Ji (2017), [8]. Al aumentar la aireación y agitación en una EDAR se puede contribuir a la reducción de espumas. Al incrementar la cantidad de oxígeno en el agua y mantener el flujo constante, se pueden romper las burbujas de espuma y evitar su acumulación. Sin embargo, este enfoque puede aumentar significativamente el consumo energético y no siempre es efectivo en casos de espumas persistentes.

Como tercera opción, en este caso mecánica, se tiene el uso de un equipo típico de recogida de espumas (*Figura 7*) en el cual se incluyen unas rampas flotantes con rampa de rascado, el canal desnatador rotativo y tuberías ranuradas. En este sistema el agua con grasas y flotantes procedente de los desarenadores y decantadores llega a la cuba de acumulación donde es tranquilizada, quedándose la grasa en la parte superior del flujo. Esta grasa es barrida por un sistema de rasquetas que mediante juegos de piñones y cadenas genera un movimiento continuo que permite desplazar la grasa con las espumas a un compartimento de salida de arqueta de grasas. El agua limpia de grasas y flotantes sale por la parte posterior del separador retornando de nuevo al proceso.



*Figura M.7. Esquema de un desnatador [j]*

Esta opción, a pesar de ser efectiva en eliminación de la capa superficial de espumas, no elimina en su totalidad la proporción de tensioactivos, por lo que tal vez no sería una solución completa para las espumas de la EDAR de Vilafranca.

Otra opción contemplada es la aplicación de osmosis inversa. Según Metcalf y Eddy (1995), [3] la ósmosis inversa se define como un proceso en el que se separa el agua de las sales disueltas en disolución mediante la filtración a través de una membrana semipermeable a una presión superior a la presión osmótica provocada por las sales disueltas en el agua residual. La ósmosis inversa presenta la ventaja de eliminar la materia orgánica disuelta susceptible de ser eliminada con otras técnicas de desmineralización. Sin embargo, presenta algunas limitaciones como su elevado coste y la escasa experiencia en el tratamiento de aguas residuales. Además, hay que descartar un porcentaje importante de agua que sigue conteniendo los tensioactivos contaminantes, por lo que, habría que buscar otro tratamiento para eliminar los tensioactivos del agua rechazada. Por este motivo, este tratamiento queda descartado.

La última opción contemplada es la instalación de unos filtros de carbón activo para adsorber los tensioactivos.

La capacidad de adsorción del carbón activo es excelente y depende de su superficie específica, de la forma y distribución de la porosidad, y de los grupos funcionales presentes en su superficie. Se emplea comúnmente en el tratamiento de corrientes acuosas residuales con un contenido en materia orgánica, expresado como DQO, inferior a 2 g/L, según Sheintuch y Matatov-Meytal (1999), [2].

El carbón activado en forma de gránulos, tal y como se puede ver en la *Figura 8*, presenta propiedades altamente porosas y una extensa área superficial, lo que le confiere una capacidad excepcional para adsorber una amplia gama de contaminantes, incluyendo compuestos aromáticos, hidrocarburos, detergentes, pesticidas, solventes, y más.



*Figura M.8. Carbón activo granulado [f]*

La regeneración del carbón activo es un proceso fundamental en su ciclo de vida, ya que este material se utiliza para la adsorción de contaminantes. La necesidad de regenerar el carbón activo surge de su capacidad limitada para retener contaminantes; en el tiempo, su capacidad de adsorción disminuye a medida que se satura de impurezas. No obstante, se puede regenerar mediante la exposición del carbón activo a altas temperaturas, vapores de aire caliente o mediante una corriente de vapor de agua. Estos métodos desorben los contaminantes restaurando la capacidad de adsorción del material. Lo que hace que el coste del carbón activo disminuya ya que se regenera y se vuelve a utilizar.

Además, los contralavados también son esenciales en este proceso, ya que eliminan partículas y residuos que pueden obstruir los poros del carbón activo, garantizando su eficacia a largo plazo.

Por lo cual, la solución que se ha considerado más eficaz para la EDAR de Vilafranca es el uso de filtros de carbón activo para la eliminación de espumas presentes en la línea industrial.

Además, este carbón activo no genera residuos peligrosos y contribuye a reducir el impacto ambiental.

Para el tratamiento de aguas con carbón activo se suelen utilizar columnas como medio de contacto del agua residual con el carbón activo granular. En la *Figura 9* se puede ver de manera esquemática una columna de carbón activo.



*Figura M.9. Esquema filtro de carbón activo [t]*

En esta columna el agua entra por la parte superior y se extrae por parte inferior. El carbón lo soporta un medio de drenaje que se encuentra en la parte inferior. Además, normalmente se requiere disponer de un sistema para el lavado a contracorriente y para la limpieza de la superficie, a fin de disminuir las pérdidas de carga producidas por la retención del material particularizado en su interior. Las columnas se suelen utilizar de forma individual o conectadas en serie o paralelo. [t]

## **8.2. Sistema de desinfección homogéneo**

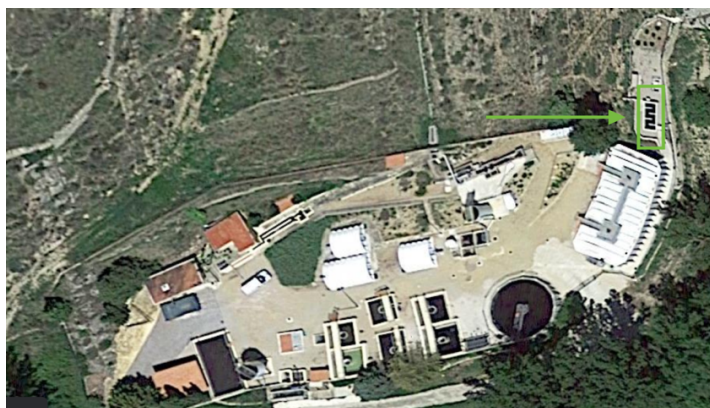
En una EDAR, según la webgrafía [g] se pueden llevar a cabo diversos procesos de desinfección para eliminar o reducir la presencia de microorganismos patógenos en el agua tratada antes de ser liberada al medio ambiente. Los principales tipos de desinfección utilizados son:

- a. **Desinfección Química:** implica la adición de productos químicos desinfectantes al agua residual para eliminar microorganismos patógenos. Los desinfectantes químicos comunes incluyen el cloro, el dióxido de cloro, el ozono y los compuestos de cloramina. Estos productos químicos reaccionan con los microorganismos y los inactivan.
  - **Desinfección por cloro:** es uno de los métodos más comunes y efectivos. Se añade cloro al agua residual en forma de gas cloro, hipoclorito de sodio, ácido hipocloroso o hipoclorito de calcio. El cloro reacciona con los microorganismos y los desactiva.
  - **Desinfección por Dióxido de Cloro:** el dióxido de cloro es un desinfectante más suave que el cloro, y a menudo se utiliza en combinación con otras técnicas para potenciar la desinfección. Sin embargo, el precio del dióxido de cloro es bastante elevado.
- b. **Desinfección por Ozono:** el ozono es un potente oxidante y desinfectante. Se genera in situ y se inyecta en el agua residual para eliminar microorganismos y compuestos orgánicos.
- c. **Desinfección por ultravioleta:** en este método, el agua residual se expone a la radiación ultravioleta, que daña el material genético de los microorganismos y evita su reproducción.
- d. **Desinfección por Rayos Gamma:** este método utiliza radiación gamma para eliminar microorganismos. Aunque es menos común debido a los riesgos asociados con la

- radiación, puede ser eficaz en ciertos casos. No obstante, para los caudales con los que se va a trabajar es inviable.
- e. Desinfección térmica: implica el calentamiento del agua residual a temperaturas elevadas durante un tiempo determinado para eliminar los microorganismos patógenos. Puede incluir la pasteurización y la esterilización. Al igual que la desinfección por Rayos Gamma, para la cantidad de agua que se va a tratar este tipo de desinfección es inviable económicamente.
  - f. Desinfección por membranas: algunos sistemas de desinfección utilizan membranas microfiltrantes, nanofiltrantes y ultrafiltrantes para retener microorganismos y partículas en el agua.

Es importante elegir el método de desinfección adecuado según las características del agua residual y del proceso, los requisitos de calidad del agua tratada y considerando los impactos ambientales y de salud pública. En este caso, se probó a cambiar el desinfectante (hipoclorito de sodio) pero los resultados no fueron concluyentes. Por lo que, como la instalación ya presenta el sistema adecuado para la dosificación de hipoclorito se seguirá usando este reactivo para la desinfección de la planta, pero se barajará la posibilidad de cambiar el sistema de mezclado de este reactivo con el agua.

Actualmente, en la EDAR de Vilafranca del Cid, tal y como se ha comentado, la desinfección para cumplir con los Valores Límite de Emisión (VLE), principalmente de *Escherichia coli*, se realiza mediante la adición de hipoclorito de sodio. Se dosifica la cantidad óptima ya descrita en el apartado 7.3. que es de 20 L/día y mediante un canal de cloración de hormigón (ver *Figura 10*) se intenta que el reactivo esté homogéneamente distribuido en el agua para su desinfección.



*Figura M.10. Canal de cloración EDAR Vilafranca del Cid. Fuente: elaboración propia*

No obstante, este canal de cloración presenta una oportunidad de mejora. Es un canal rectangular con tabiques alternados, que pueden generar unas vías de flujo preferente y unas zonas de flujo estanco en las esquinas formadas por los tabiques y las paredes del canal. Como consecuencia de esto se genera una insuficiente homogeneidad en la distribución del reactivo y una sedimentación preferente de los sólidos suspendidos que pudiesen quedar en el agua residual.

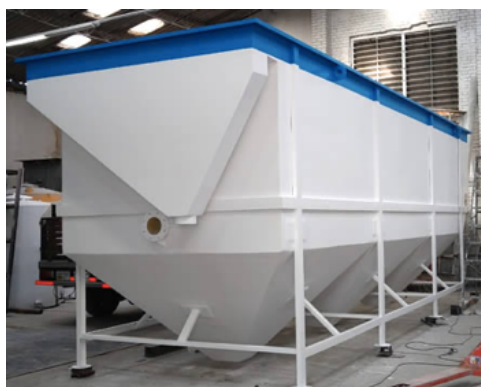
Así pues, la falta de homogeneización y la dosificación irregular pueden tener un impacto en la eficiencia general de la planta, lo que puede requerir un esfuerzo adicional para mantener la calidad del agua.

Por esto, se pretende cambiar el canal de cloración por un sistema que consiga una mezcla completamente homogénea del agua con el hipoclorito para conseguir así una desinfección perfecta del agua de la EDAR. Así pues, se buscará un sistema de mezclado completamente diferente al canal de cloración, sin presencia de esquinas y tabiques. Esto permitirá que no haya una sedimentación de fangos y la desinfección sea efectiva. La solución por la que se ha optado es un tanque agitador.

Para ello, se debe buscar qué tipo de tanque y agitación será la oportuna para el caudal de agua de la planta y las características del agua a tratar.

En el proceso de selección del tipo de tanque agitador más apropiado, se contemplan tres alternativas: un tanque rectangular, un tanque esférico y un tanque cilíndrico. Cada una de estas opciones presenta ventajas y desventajas particulares que deben ser consideradas en la toma de decisión.

#### **Alternativa 1: tanque rectangular (*Figura M.11*)**



*Figura M.11. Tanque rectangular [b]*

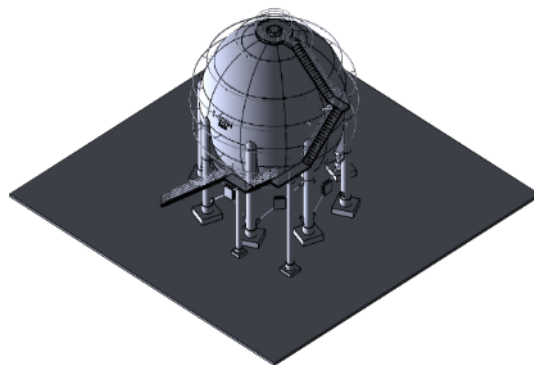
### Ventajas

- Eficiencia en la mezcla.
- Facilidad de instalación en espacios con limitaciones de altura.

### Desventajas

- Zonas muertas, las esquinas del tanque pueden crear zonas muertas que dificultan la agitación y la limpieza.
- Pueden generar turbulencia adicional, lo que puede afectar la eficiencia de la agitación.
- Pueden ser más caros de fabricar debido a las esquinas y la cantidad de refuerzos.

### **Alternativa 2: tanque esférico (Figura M.12)**



*Figura M.12. Tanque esférico [r]*

### Ventajas

- Tiene pocas zonas muertas, lo que facilita la agitación y la limpieza.
- Proporciona una distribución uniforme de la agitación y mezcla.
- Resistencia estructural, suelen ser fuertes y resistentes a la presión.

### Desventajas

- Pueden ser costosos de fabricar debido a la complejidad de su forma.
- Pueden ocupar más espacio que los tanque rectangulares o cilíndricos
- Son difíciles de acceder para tareas de mantenimiento y limpieza.

### **Alternativa 3: tanque cilíndrico (Figura 13)**





*Figura M.13. Tanque cilíndrico [b]*

### Ventajas

- Más baratos de fabricar que los tanques esféricos
- Fácil acceso para tareas de mantenimiento y limpieza
- Proporcionan una eficiente agitación y mezcla

### Desventajas

- Pueden existir zonas muertas, pero menos pronunciadas que en los tanques rectangulares.
- Pueden requerir más espacio horizontal que los tanques esféricos

El tanque agitador más adecuado para la EDAR de Vilafranca del Cid según el método de jerarquías analíticas realizado (Anexo I) es el tanque cilíndrico. Así pues, una vez elegida la forma del tanque se tiene que buscar el método de agitación más oportuno.

Cabe recordar que, la agitación consiste en forzar un a que un fluido adquiera un movimiento normalmente circulatorio mediante medios mecánicos. La agitación se puede llevar a cabo mediante diferentes sistemas:

- Agitadores mecánicos
- Eductores
- Pulsadores de aire

Los agitadores mecánicos consisten en un rodete montado en un eje y accionado por un motor eléctrico. Se clasifican en dos tipos: los que generan unas corrientes paralelas al eje del agitador (agitadores de flujo axial) y los que dan origen a corrientes tangenciales o



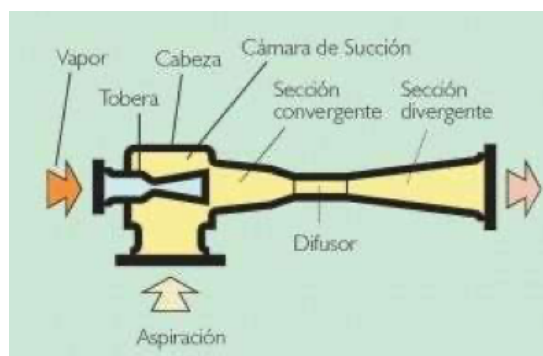
radiales al eje (agitadores de flujo radial). En la *Figura M.14* se puede ver de forma esquemática como son los agitadores mecánicos.



*Figura M.14. Agitador mecánico [k]*

Como ventajas de los agitadores mecánicos cabe citar un buen mezclado vertical y una mínima acumulación de espumas. Como inconvenientes hay que tener en cuenta que son sensibles al nivel del líquido y la corrosión y desgaste de las hélices. (Cortacans, 2011)

Un eductor o eyector es un dispositivo que induce el efecto Venturi a los fluidos. Éste se instala sumergido en el tanque y se alimenta del contenido del tanque mediante una bomba. Consta de una tobera que aumenta la velocidad del fluido motriz y ocasiona un diferencial negativo de presión (vacío) en la sección de aspiración. Esto provoca una succión del líquido alrededor de esta zona, hacia adentro de la cámara de mezcla. El flujo motriz y el flujo succionado se combinan en la cámara de mezcla. Luego el fluido mezclado pasa por un difusor y es descargado al tanque, donde ocurre un mezclado adicional. En la *Figura M.15* se puede ver el funcionamiento del eductor:



*Figura M.15. Partes de un eductor [m]*

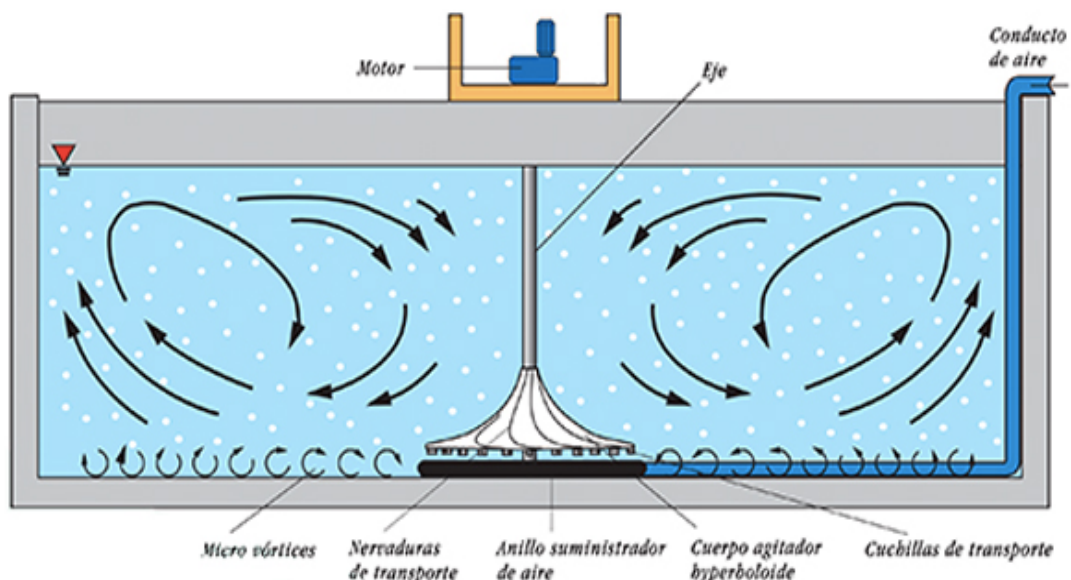
Como ventajas de los eductores según [h]:

- Bajo costo
- Instalación sencilla
- Sin problemas de ruidos y aerosoles

Sin embargo, presentan algunos inconvenientes:

- Riesgo de atascamiento funcionando con agua sucia
- Necesidad de dos tipos de equipos, bombas y compresores, y, por lo tanto, costo relativamente elevado de instalación y de mantenimiento.

Por otra parte, existe otro dispositivo de agitación como es el caso de los pulsadores de aire. Los pulsadores de aire consisten en liberar una burbuja de aire desde el fondo del tanque, inyectando aire comprimido por debajo de un disco plano llamado plato acumulador. La burbuja se va elevando a la superficie creando un vacío que arrastra los líquidos más pesados al fondo y empujando el líquido por encima de la burbuja hasta la superficie del tanque. De este modo, el líquido se desplaza por los lados del tanque y baja por la pared del tanque hasta el fondo. Este proceso por el cual se libran burbujas de forma secuencial crea una circulación vertical. En la *Figura M.16* se puede ver el funcionamiento de los pulsadores de aire:



*Figura M.16. Representación funcionamiento pulsador de aire [i]*

Este tipo de dispositivo presenta algunas ventajas y algunos inconvenientes según [h]. Como principales ventajas se tienen:

- Bajo costo e instalación sencilla.
- Prácticamente sin ruidos ni producción de aerosoles.

Sin embargo, también presenta algunos inconvenientes:

- Producción de burbujas finas
- Profundidad limitada a 3 m.

Así pues, tras la realización del método de jerarquías analíticas (Anexo I) se ha observado que el agitador que mejor se adapta a las necesidades de la EDAR es un agitador mecánico.

## **9. RESULTADOS FINALES**

Tras analizar diversas alternativas para alcanzar los objetivos planteados en este proyecto, específicamente la eliminación de espumas y la desinfección eficiente con hipoclorito de sodio en la EDAR de Vilafranca del Cid, se han delineado soluciones concretas.

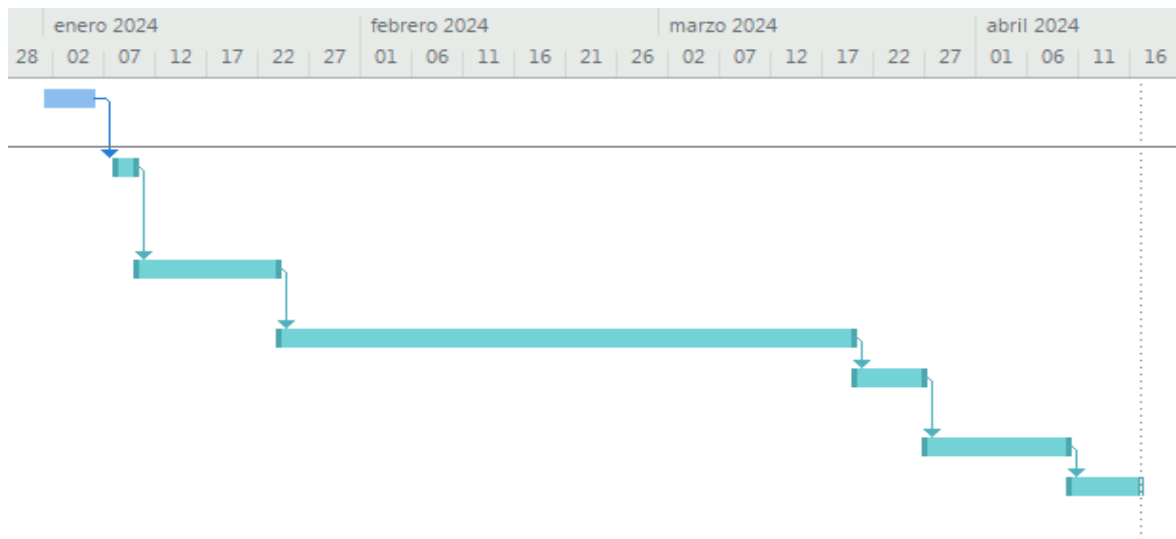
En primer lugar, para abordar la problemática de las espumas, se ha decidido implementar un filtro de carbón activo en la línea industrial, posicionado después del filtro de arenas preexistente. Este filtro, dimensionado de acuerdo con el caudal a tratar, exhibirá una altura de 3,5 metros y un diámetro de 2,38 metros. La elección de carbón activo de tipo granular responde a su idoneidad para adaptarse a las características específicas del agua a tratar. Este filtro, de acuerdo con las mediciones obtenidas, se fabricará en la empresa UNICARB SL.

En segundo lugar, con el propósito de lograr una desinfección óptima mediante hipoclorito de sodio, se optará por reemplazar el problemático canal de cloración por un tanque de cloración equipado con un agitador de 8 hélices. Este tanque, con una altura de 5,5 metros y un diámetro de 3,5 metros, permitirá el flujo continuo del agua, ingresando por la parte superior y saliendo por la inferior. El agitador, operando a 85 revoluciones por minuto, garantizará una mezcla homogénea y eficaz.

Estas soluciones estratégicas aseguran la eliminación efectiva de espumas, una desinfección perfecta, y el continuo cumplimiento de los valores límite ambientales establecidos. Este enfoque integral no solo resuelve los desafíos identificados, sino que también contribuye a fortalecer los estándares de calidad y sostenibilidad en la operación de la EDAR de Vilafranca del Cid.

## 10. PLANIFICACIÓN

Para organizar las actividades que se tienen que realizar en el tiempo establecido y la duración que tendrá el proyecto, se ha elaborado un diagrama de Gantt, tal y como se muestra en la *Figura M.17* que establece el proceso que se llevará a cabo para la realización del anteproyecto.



*Figura M.17. Diagrama de Gantt del proyecto. Fuente: elaboración propia*

Para un mayor entendimiento del diagrama de Gantt, en la *Tabla M.11.* que se muestra a continuación, se especifican cada una de las tareas que constituyen el proyecto.

*Tabla M. 11. Planificación del proyecto*

Tarea	Fecha	Duración
<b>Entrega y aceptación del proyecto</b>	01/01/2024 – 05/01/2024	5 días
<b>Limpieza y adecuación de la zona de aplicación de los equipos</b>	08/01/2024 – 09/01/2024	2 días
<b>Preparación zona para tanque de cloración</b>	10/01/2024 – 23/01/2024	10 días
<b>Instalación tanque cloración</b>	24/01/2024 – 19/03/2024	40 días
<b>Instalación filtro carbón activo</b>	20/03/2024 – 26/03/2024	5 días
<b>Instalación conducciones</b>	27/03/2024 – 09/04/2024	10 días
<b>Puesta en marcha y verificación del proyecto</b>	10/04/2024 – 16/04/2024	5 días

## **11. ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS**

Según la norma UNE 157001/2014. “Criterios generales para la elaboración de los documentos que constituyen un proyecto técnico”, se establece que el orden de prioridad entre los documentos que constituyen dicho proyecto sea el siguiente:

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 implica la recopilación organizada de datos relacionados con los aspectos financieros del proyecto. Este análisis es fundamental para tomar una decisión informada antes de emprender la iniciativa.

El objetivo del estudio de viabilidad económica es comprender los recursos requeridos para ejecutar el proyecto, calcular el gasto operativo completo del reactor y examinar los indicadores financieros utilizados para evaluar la viabilidad de la empresa.

Para realizar el estudio de viabilidad económica se definen los siguientes parámetros:

- **IPC (Índice de Precios al Consumo) = 1,76 %**
- **$i_n$ : interés nominal = 2,10 %**
- **$i_r$ : interés real =  $i_n - \text{IPC} = 0,34 \%$**

### 12.1. Resumen del presupuesto

En este apartado se aportará la información resumida del documento “Presupuesto”. En la *Tabla M.12.* expuesta a continuación se observan las partidas presupuestarias que sumadas forman el Presupuesto de Ejecución del Material (PEM) y su valor total.

*Tabla M. 12. Presupuesto de Ejecución del Material (PEM)*

PARTIDA PRESUPUESTARIA	CANTIDAD (€)
Equipos e instrumentación	1.913,24 €
Obra civil	8.216,55 €
Conducciones	11.415,63 €
Tanque clorador	3.334,84 €
Filtro de carbón activo	30.000 €
Seguridad y salud	146,05 €
Mano de obra	Incluida en los precios anteriores
<b>TOTAL PEM</b>	<b>55.026,31 €</b>

Mediante el PEM se puede obtener el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC), ya que se obtiene como la suma del PEM, los gastos generales y el beneficio industrial. Los gastos generales contribuyen el 13% del PEM y el beneficio industrial corresponde al 6% del PEM. A continuación, en la *Tabla M.13.* se puede observar el Presupuesto de Ejecución de Contrata.

*Tabla M. 13. Presupuesto de Ejecución de Contrata (PEC)*

	CANTIDAD (€)
PEM	55.026,31 €
Gastos Generales (13%)	7.153,42 €
Beneficio industrial (6%)	3.301,58 €
<b>TOTAL PEC</b>	<b>65.481,31 €</b>

Por último, para obtener el presupuesto total, que se puede ver en la *Tabla M.14.*, es necesario añadir el impuesto sobre el valor añadido (IVA), en estos momentos resulta ser del 21%.

*Tabla M. 14. Presupuesto Total del proyecto*

	CANTIDAD (€)
PEC	65.481,31 €
IVA (21%)	13.751,07 €
<b>PRESUPUESTO PROYECTO</b>	<b>79.232,38 €</b>

El presupuesto total del proyecto “Diseño de un reactor para la desinfección y eliminación de espumas en la EDAR de Vilafranca del Cid” es de **SETEINTAINUEVE MIL DOSCIENTOS TREINTA Y DOS EUROS CON TREINTA Y NUEVE CENTIMOS.**



## 12.2. Presupuesto de explotación

### 12.2.1. Inversión inicial

La inversión inicial ( $I_0$ ) se corresponde con el PEC, es decir, el PEM junto con los gastos generales y el beneficio industrial. En este caso la inversión inicial es de **65.481,31 €**.

### 12.2.2. Gastos directos

Los gastos directos son aquellos relacionados con actividad de la EDAR, es decir, el carbón activo y el coste eléctrico. En la *Tabla M.15.* quedan reflejados los gastos directos del proyecto.

*Tabla M. 15. Gastos Directos del proyecto*

Elemento	Consumo	Precio por unidad	Coste (€/año)
Agitador	6,28 kWh	0,12 €/kWh	6.601,54
Carbón activo	12.000 kg/año	2,10 €/kg	25.200
<b>Coste total (€/año)</b>			<b>31.801,54</b>

En este caso el valor de los gastos directos es de **31.801,54 €/año**.

### 12.2.3. Gastos indirectos

Los gastos directos se corresponden a aquello que no afectan directamente a la producción de la EDAR. Dentro de este ámbito entrarían los operarios de la planta, el alumbrado de la EDAR, etc. Puesto que estos gastos la propia planta ya cuenta con ellos, la modificación del tratamiento terciario no generaría ningún gasto indirecto de los ya presentes.

### 12.2.4. Gastos totales

Los gastos totales se corresponden a la suma de los directos y los indirectos. En este caso, como no se generan gastos indirectos, el gasto total se corresponderá a los gastos directos, es decir, **31.801,54 €/año**.

### 12.2.5. Ingresos

Los ingresos que se estima que tendrá la planta, serán la venta del agua residual para riego. Para ello, lo primero que necesitamos conocer es el coste de producción del agua, este coste será el cociente del gasto total por la producción de agua anual (caudal de diseño).

$$1685 \frac{m^3}{día} \cdot 365 \frac{días}{año} = 615025 \frac{m^3}{año}$$

$$\text{Coste de producción del agua} = \frac{31.801,54}{615025} = 0,052 \text{ €/m}^3$$

Mediante el coste de producción por metro cúbico será de 0,052 €/m<sup>3</sup> y el valor estimado del precio del agua para riego según el ayuntamiento de Alicante [16], ya que es el más aproximado a la Comunidad Valenciana que es donde se encuentra la EDAR de Vilafranca del Cid, es de 0,29 €/m<sup>3</sup> se obtiene que los ingresos del primer año serán:

$$615025 \frac{m^3}{año} \cdot 0,29 \frac{€}{m^3} = \mathbf{178357,25 \text{ €/año}}$$

### 12.2.6. Beneficio bruto

El beneficio bruto (Bb) del proyecto se obtiene por la diferencia entre los ingresos y los gastos, teniendo en cuenta el IPC del 1,76%, mediante la *Ecuación M.1.*

$$Bb = \text{Ingresos} - \text{Gastos} - \text{Amortización} \quad (\text{M.1})$$

En la *Tabla M.16.* se puede ver el beneficio bruto de los próximos 20 años desde la puesta en marcha del proyecto.

*Tabla M. 16. Beneficio Bruto en los próximos 20 años*

AÑO	GASTOS (€)	INGRESOS (€)	BENEFICIO BRUTO (€)
2024	31.801,54	178.357,25	146.555,71
2025	323.61,25	181.496,34	149.135,09
2026	329.30,81	184.690,67	151.759,87
2027	33.510,39	187.941,23	154.430,84
2028	34.100,17	191.248,99	157.148,82
2029	34.700,33	194.614,98	159.914,64
2030	35.311,06	198.040,20	162.729,14

AÑO	GASTOS (€)	INGRESOS (€)	BENEFICIO BRUTO (€)
2031	35.932,53	201.525,71	165.593,17
2032	36.564,95	205.072,56	168.507,61
2033	37.208,49	208.681,84	171.473,35
2034	37.863,36	212.354,64	174.491,28
2035	38.529,75	216.092,08	177.562,33
2036	39.207,88	219.895,30	180.687,42
2037	39.897,94	223.765,46	183.867,52
2038	40.600,13	227.703,73	187.103,59
2039	41.314,70	231.711,32	190.396,61
2040	42.041,84	235.789,43	193.747,59
2041	42.781,77	239.939,33	197.157,55
2042	43.534,74	244.162,26	200.627,52
2043	44.300,95	248.459,52	204.158,57

### 12.2.7. Beneficio neto

El beneficio neto (Bn) se obtiene restándole la parte de impuestos (el 25%) al beneficio bruto (Bb), mediante la *Ecuación M.2.*.

$$Bn = Bb - 0,25 \cdot Bb = 0,75 \cdot Bb \quad (M.2)$$

En la *Tabla M.17.* se puede ver el beneficio neto para los próximos 20 años.

*Tabla M. 17. Beneficio Neto en los próximos 20 años*

AÑO	BENEFICIO BRUTO (€)	BENEFICIO NETO (€)
2024	146.555,71	109.916,78
2025	149.135,09	111.851,32
2026	151.759,87	113.819,90
2027	154.430,84	115.823,13
2028	157.148,82	117.861,62
2029	159.914,64	119.935,98
2030	162.729,14	122.046,86
2031	165.593,17	124.194,88
2032	168.507,61	126.380,71
2033	171.473,35	128.605,01
2034	174.491,28	130.868,46
2035	177.562,33	133.171,74
2036	180.687,42	135.515,57
2037	183.867,52	137.900,64

<b>2038</b>	187.103,59	140.327,69
<b>2039</b>	190.396,61	142.797,46
<b>2040</b>	193.747,59	145.310,70
<b>2041</b>	197.157,55	147.868,16
<b>2042</b>	200.627,52	150.470,64
<b>2043</b>	204.158,57	153.118,93

### 12.2.8. Amortización

La amortización se corresponde con la pérdida del valor con el tiempo de un bien físico. La amortización se puede calcular como el cociente de la inversión inicial y el número de años que se requieren para amortizar el proyecto tal y como se puede ver en la *Ecuación M.3.*

$$Amortización = \frac{I_0}{Tiempo\ de\ amortización} = 3.271,07 \quad (M.3)$$

### 12.2.9. Flujo de caja

Cuando se habla de flujo de caja se entiende por las salidas y entradas netas de dineros que presenta una empresa o un determinado proyecto. Se calcula sumando el beneficio neto y a amortización, tal como se puede ver en la *Ecuación M.4.*

$$FC = Bn + A \quad (M.4)$$

En la *Tabla M.18.* se puede ver el flujo de caja para el proyecto d los próximos 20 años.

*Tabla M. 18. Flujo de caja del proyecto*

<b>AÑO</b>	<b>FC (€)</b>
<b>2024</b>	113.190,85
<b>2025</b>	115.125,38
<b>2026</b>	117.093,97
<b>2027</b>	119.097,20
<b>2028</b>	121.135,68
<b>2029</b>	123.210,05
<b>2030</b>	125.320,92
<b>2031</b>	127.468,95
<b>2032</b>	129.654,78

AÑO	FC (€)
2033	131.879,08
2034	134.142,53
2035	136.445,81
2036	138.789,63
2037	141.174,71
2038	143.601,76
2039	146.071,53
2040	148.584,76
2041	151.142,23
2042	153.744,71
2043	156.392,99

### 12.2.10. Valor Anual Neto

El Valor Anual Neto (VAN) sirve para conocer la viabilidad del proyecto, es el valor actualizado de todos los flujos de caja de cada año de vida del proyecto inicial. Si el VAN es superior a 0, implica que la inversión produce excedentes, por lo que el proyecto puede aceptarse. Si el VAN es igual a 0, la inversión no producirá ganancias ni pérdidas. En el caso de que sea inferior a 0, la inversión producirá pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida, por lo que el proyecto deberá rechazarse.

Para calcular el calor del Van se hará uso de la *Ecuación M.5.*

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{FC_n}{(1 + i_r)^n} \quad (M.5)$$

Donde:

- $I_0$ : valor de la inversión inicial
- $FC_n$ : flujos de caja en cada periodo n
- $i_r$ : tasa de crecimiento
- $n$ : número de periodos considerados

Así pues, en la *Tabla M.19.* se puede ver el valor anual neto del proyecto.

*Tabla M. 19. VAN del proyecto*

AÑO	FC	FC/(1+ir) <sup>n</sup>
2024	113.190,85	112.807,30
2025	115.125,38	114.346,51

AÑO	FC	FC/(1+ir) <sup>n</sup>
2026	117.093,97	115.907,68
2027	119.097,20	117.491,15
2028	121.135,68	119.097,22
2029	123.210,05	120.726,20
2030	125.320,92	122.378,44
2031	127.468,95	124.054,24
2032	129.654,78	125.753,95
2033	131.879,08	127.477,91
2034	134.142,53	129.226,45
2035	136.445,81	130.999,92
2036	138.789,63	132.798,68
2037	141.174,71	134.623,09
2038	143.601,76	136.473,49
2039	146.071,53	138.350,27
2040	148.584,76	140.253,80
2041	151.142,23	142.184,44
2042	153.744,71	144.142,60
2043	156.392,99	146.128,64
<b>VAN = 2.509.740,68</b>		

Como el VAN resultante es positivo, el proyecto será rentable.

### 12.2.11. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es la tasa de crecimiento que hace que el valor de los flujos de efectivo futuros sea igual a la inversión inicial. Cuanto mayor sea el TIR, mayor será la rentabilidad del proyecto. El TIR corresponde al interés real que hace que el VAN sea cero. Para calcularlo, se realiza un proceso iterativo hasta que el VAN sea cero.

El TIR en este proyecto es de 1,74, es decir, un 174,60%.

### 12.2.12. Periodo de retorno (PR)

Consiste en determinar el tiempo que se tardará en recuperar la inversión inicial. Se calcula mediante la *Ecuación M.6.*

$$PR = \frac{\sum_{i=1}^N FC}{I_0} \quad (M.6)$$

El periodo de retorno de este proyecto es de 0,49 años, es decir, 179 días.

### **13. Índice de tablas**

Tabla M. 1. Abreviaturas generales.....	14
Tabla M. 2. Abreviaturas para el dimensionamiento del tanque de cloración .....	15
Tabla M. 3. abreviaturas cálculo espesor tanque cloración.....	15
Tabla M. 4. Abreviaturas sistema de agitación del tanque clorador.....	16
Tabla M. 5. Abreviaturas dimensionamiento filtro de carbón activo.....	16
Tabla M. 6. Abreviaturas para el diseño de conducciones .....	17
Tabla M. 7. Abreviaturas ecuación de Ergun .....	18
Tabla M. 8. Valores Límite de Emisión para la EDAR de Vilafranca del Cid .....	20
Tabla M. 9. Concentraciones de entrada a la EDAR. de Vilafranca del Cid .....	20
Tabla M. 10. Cantidad óptima de hipoclorito a dosificar.....	20
Tabla M. 11. Planificación del proyecto.....	35
Tabla M. 12. Presupuesto de Ejecución del Material (PEM).....	37
Tabla M. 13. Presupuesto de Ejecución de Contrata (PEC).....	38
Tabla M. 14. Presupuesto Total del proyecto.....	38
Tabla M. 15. Gastos Directos del proyecto .....	39
Tabla M. 16. Beneficio Bruto en los próximos 20 años .....	40
Tabla M. 17. Beneficio Neto en los próximos 20 años .....	41
Tabla M. 18. Flujo de caja del proyecto .....	42
Tabla M. 19. VAN del proyecto .....	43

## **14. Índice de figuras**

Figura M.1. Ubicación Vilafranca del Cid (Castellón). Fuente: elaboración propia.....	3
Figura M.2. Estación Depuradora de Aguas Residuales de Vilafranca del Cid. Fuente: elaboración propia .....	6
Figura M.3. Diagrama de proceso EDAR Vilafranca del Cid. Fuente: elaboración propia ..	8
Figura M.4. Efluente línea industrial. Fuente: elaboración propia .....	9
Figura M.5. Vertido agua al corriente fluvial. Fuente: elaboración propia .....	9
Figura M.6. Localización canal de cloración EDAR Vilafranca del Cid. Fuente: elaboración propia .....	9
Figura M.7. Esquema de un desnatador [j].....	23
Figura M.8. Carbón activo granulado [f].....	24
Figura M.9. Esquema filtro de carbón activo [t] .....	25
Figura M.10. Canal de cloración EDAR Vilafranca del Cid. Fuente: elaboración propia ..	27
Figura M.11. Tanque rectangular [b].....	28
Figura M.12. Tanque esférico [r].....	29
Figura M.13. Tanque cilíndrico [b] .....	30
Figura M.14. Agitador mecánico [k] .....	31
Figura M.15. Partes de un eductor [m].....	31
Figura M.16. Representación funcionamiento pulsador de aire [i] .....	32
Figura M.17. Diagrama de Gantt del proyecto. Fuente: elaboración propia.....	35





## **3. ANEXOS**



## **ÍNDICE**

<b>ANEXO I- CÁLCULOS</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Método de jerarquías analíticas para la selección del tipo de reactor</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Método de jerarquías analíticas para la selección de la agitación del reactor</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Dimensionamiento del reactor para la desinfección</b>	<b>11</b>
1.3.1. Volumen del tanque de agitación	11
1.3.2. Espesor de las paredes del tanque	12
1.3.3. Sistema de agitación	14
<b>1.4. Dimensionamiento del filtro de carbón activo</b>	<b>18</b>
<b>1.5. Diseño de conducciones</b>	<b>20</b>
1.5.1. Ecuaciones necesarias para la obtención del diámetro de las conducciones	22
1.5.2. Aplicación balances de energía mecánica	25
<b>ANEXO II - INSTRUMENTACIÓN</b>	<b>36</b>
<b>2.1. Válvulas</b>	<b>36</b>
<b>2.2. Caudalímetro</b>	<b>36</b>
<b>2.3. Turbidímetro</b>	<b>37</b>
<b>ANEXO III – ESTUDIO ECONÓMICO</b>	<b>38</b>
<b>3.1. Instalación</b>	<b>38</b>
3.3.1. Equipos principales y conducciones	38
<b>3.2. Operación</b>	<b>38</b>
<b>ANEXO IV – ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD</b>	<b>39</b>

## **FIGURAS**

Figura A. 1. Estructura del tanque de cloración. Fuente: elaboración propia .....	12
Figura A. 2. Medidas de un agitador de turbina según Rushton. Fuente: Mc Grall Hill [4]15	
Figura A. 3. Representación del número de potencia frente al número de Reynolds para el diseño del agitador. Fuente: EQ 1041 (Biotechnological Processes) [6] .....	17
Figura A. 4. Diagrama de proceso modificación EDAR Vilafranca del Cid. Fuente: elaboración propia .....	21
Figura A. 5. Diagrama de proceso del Tramo 1. Fuente: elaboración propia .....	28
Figura A. 6. Gráfica de Moody Tramo 1. Fuente: elaboración propia .....	30
Figura A. 7. Diagrama de proceso Tramo 2. Fuente: elaboración propia .....	32
Figura A. 8. Gráfica de moody Tramo 2. Fuente: elaboración propia .....	34
Figura A. 9. Válvula de mariposa. Fuente: pamline [o] .....	36
Figura A. 10. Caudalímetro. Fuente: metri measurements [p] .....	36
Figura A. 11. Turbidímetro. Fuente: HACH [q].....	37

## **TABLAS**

Tabla A. 1. Alternativas para la elección del tipo de tanque .....	4
Tabla A. 2. Comparación entre criterios para la elección del tipo de tanque .....	5
Tabla A. 3. Matriz de decisión normalizada para la elección del tipo de tanque .....	6
Tabla A. 4. Alternativas para la elección del tipo de agitador.....	7
Tabla A. 5. comparación entre criterios para la elección del tipo de agitador .....	8
Tabla A. 6. Matriz de decisión normalizada para la elección del tipo de agitador.....	10
Tabla A. 7. Parámetros del filtro de carbón activo .....	20
Tabla A. 8. Características conducción (Tramo 1).....	24
Tabla A. 9. Características conducción (Tramo 2).....	25
Tabla A. 10. Rugosidades de los materiales .....	27
Tabla A. 11. Accidentes presentes en el Tramo 1 .....	30
Tabla A. 12. Accidentes presentes en el Tramo 2 .....	35
Tabla A. 13. Resumen coste equipos e instrumentación .....	38
Tabla A. 14. Resumen coste operación .....	38
Tabla A. 15. Valoración de riesgos según INSHT .....	39
Tabla A. 16. Evaluación riesgos del proyecto .....	41

## ANEXO I- CÁLCULOS


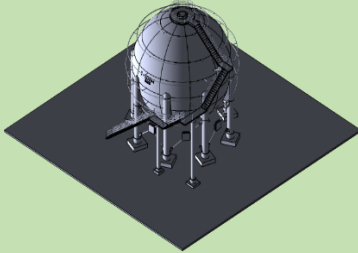

### 1.1. Método de jerarquías analíticas para la selección del tipo de reactor

El método de jerarquías analíticas es una técnica de toma de decisiones que se utiliza para evaluar y priorizar múltiples criterios y alternativas en un proceso de manera jerárquica. Consiste en descomponer un problema en diferentes niveles jerárquicos, desde el nivel más general hasta el más específico, y luego asignar pesos y valores relativos a cada elemento en función de su importancia. Luego, se realiza una serie de comparaciones y cálculos matemáticos para determinar la mejor alternativa o elección en función de los criterios y las ponderaciones establecidas.

Así pues, para la elección de la forma del tanque agitador se hace uso de esta técnica teniendo en cuenta las diferentes alternativas y sus ventajas y desventajas.

Las diferentes alternativas se pueden ver en la *Tabla A.1.*

*Tabla A. 1. Alternativas para la elección del tipo de tanque*

Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tanque agitador	 <p data-bbox="400 1413 699 1451">Tanque rectangular [b]</p>	 <p data-bbox="786 1413 1034 1451">Tanque esférico [r]</p>	 <p data-bbox="1118 1413 1390 1451">Tanque cilíndrico [b]</p>

Los criterios que se han tomado para la selección de la forma del tanque de son:

- Facilidad de construcción
- Capacidad para mezclar
- Mantenimiento
- Diseño
- Estética

Se ordenan los criterios según el orden de importancia y se comparan entre sí, según el peso de cada uno:

- Igual importancia: 1
- Doble importancia: 3
- Triple importancia: 5
- Cuádruple importancia: 7
- Muy importante: 9

En la *Tabla A.2.* se puede ver el resultado de la comparación entre los criterios basados en la ventajas y desventajas comentadas en el apartado 8.2. *Sistema de desinfección homogéneo:*

*Tabla A. 2. Comparación entre criterios para la elección del tipo de tanque*

	Construcción	Mezcla	Mantenimiento	Diseño	Estética
Construcción	1	3	5	7	9
Mezcla	1/3	1	3	5	7
Mantenimiento	1/5	1/3	1	3	5
Diseño	1/7	1/5	1/3	1	3
Estética	1/9	1/7	1/5	1/3	1

Se calcula el peso de cada uno de la siguiente forma mediante la *Ecuación 1:*

$$peso = (valor\ 1 * valor\ 2 * valor\ 3 * valor\ 4 * valor\ n)^{1/n} \quad (1)$$

$$w1 = (1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 9)^{1/5} = 3,94$$

$$w2 = \left(\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7\right)^{1/5} = 2,04$$

$$w3 = \left(\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5\right)^{1/5} = 1$$

$$w4 = \left(\frac{1}{7} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3\right)^{1/5} = 0,49$$



$$w_5 = \left( \frac{1}{9} \cdot \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \right)^{1/5} = 0,25$$

Si se suman el valor de todos los pesos se obtiene el peso total:

$$w_{total} = 3,94 + 2,04 + 1 + 0,49 + 0,25 = 7,72$$

Si se busca la fracción de cada uno respecto al total:

$$w_1 = \frac{3,94}{7,72} = 0,51$$

$$w_2 = \frac{2,04}{7,72} = 0,26$$

$$w_3 = \frac{1}{7,72} = 0,13$$

$$w_4 = \frac{0,49}{7,72} = 0,06$$

$$w_5 = \frac{0,25}{7,72} = 0,03$$

De manera que al sumar las fracciones se obtiene la unidad.

Seguidamente, se define la matriz de decisión normalizada que queda reflejada en la *Tabla A.3.*, con valores entre 0 y 1:

*Tabla A. 3. Matriz de decisión normalizada para la elección del tipo de tanque*

	Construcción	Mezcla	Mantenimiento	Diseño	Estética
Tanque rectangular	0,5	0	0,7	1	0
Tanque esférico	0	0,6	0	0	1
Tanque cilíndrico	1	1	1	0,5	0,8
w	0,51	0,26	0,13	0,06	0,03

Así pues, calculando se obtienen el peso de cada alternativa:

- Tanque rectangular:

$$Rectangular = (0,5 \cdot 0,51) + (0 \cdot 0,26) + (0,7 \cdot 0,13) + (1 \cdot 0,06) + (0 \cdot 0,03) = 0,41$$

- Tanque esférico:

$$Esférico = (0 \cdot 0,51) + (0,6 \cdot 0,26) + (0 \cdot 0,13) + (0 \cdot 0,06) + (1 \cdot 0,03) = 0,19$$

- Tanque cilíndrico:

$$Cilíndrico = (1 \cdot 0,51) + (1 \cdot 0,26) + (1 \cdot 0,13) + (0,5 \cdot 0,06) + (0,8 \cdot 0,03) = 0,96$$

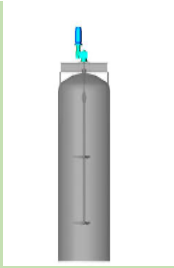
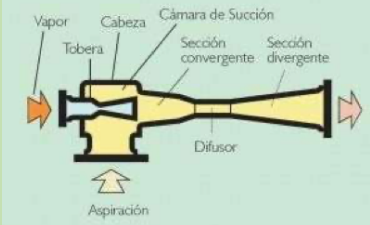
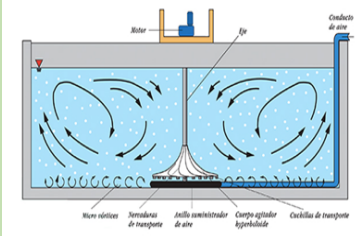
De este modo, se obtienen que el tanque cilíndrico es el mejor para nuestro almacenamiento, ya que:

$$0,96 > 0,41 > 0,19$$

### 1.2. Método de jerarquías analíticas para la selección de la agitación del reactor

Del mismo modo que para la elección del tipo de tanque se procederá para la elección del tipo de agitador para el reactor, entre las diferentes alternativas para el sistema de agitación encontramos las que se pueden ver en la *Tabla A.4.*

Tabla A. 4. Alternativas para la elección del tipo de agitador

Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Agitador	 <p data-bbox="402 1648 576 1738">Agitador mecánico [k]</p>	 <p data-bbox="647 1697 963 1738">Eductores o eyector [m]</p>	 <p data-bbox="1082 1697 1327 1738">Pulsador de aire [i]</p>

Los criterios que se han tomado para la selección de la forma del tanque según las ventajas y desventajas vistas en el apartado 8.2. *Sistema de desinfección homogéneo* son:

- Coste inicial
- Vida útil
- Coste de operación
- Mantenimiento
- Tiempo con la mezcla
- Eficiencia

Se ordenan los criterios según el orden de importancia y se comparan entre sí, según el peso de cada uno:

→ Igual importancia: 1

→ Doble importancia: 3

→ Triple importancia: 5

→ Cuádruple importancia: 7

→ Muy importante: 9

En la *Tabla A.5.* se puede ver el resultado de la comparación entre los criterios, el peso de cada uno:

*Tabla A. 5. comparación entre criterios para la elección del tipo de agitador*

	Coste inicial	Vida útil	Coste de operación	Mantenimiento	Tiempo de mezcla	Eficiencia
Coste inicial	1	3	3	5	5	7
Vida útil	1/3	1	3	5	5	7
Coste de operación	1/3	1/3	1	3	3	5
Mantenimiento	1/5	1/5	1/3	1	3	5
Tiempo de mezcla	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3
Eficiencia	1/7	1/7	1/5	1/5	1/3	1

Se calcula el peso al igual que antes mediante la *Ecuación 1*:

$$peso = (valor\ 1 * valor\ 2 * valor\ 3 * valor\ 4 * valor\ n)^{1/n} \quad (1)$$

$$w1 = (1 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 7)^{1/6} = 3,41$$

$$w2 = \left(\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 7\right)^{1/6} = 2,37$$

$$w3 = \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5\right)^{1/6} = 1,31$$

$$w4 = \left(\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5\right)^{1/6} = 0,76$$

$$w5 = \left(\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3\right)^{1/6} = 0,49$$

$$w6 = \left(\frac{1}{7} \cdot \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1\right)^{1/6} = 0,25$$

Si se suman el valor de todos los pesos se obtiene el peso total:

$$w_{total} = 3,41 + 2,37 + 1,31 + 0,76 + 0,49 + 0,25 = 8,59$$

Si se busca la fracción de cada uno respecto al total:

$$w_1 = \frac{3,41}{8,59} = 0,40$$

$$w_2 = \frac{2,37}{8,59} = 0,27$$

$$w_3 = \frac{1,31}{8,59} = 0,15$$

$$w_4 = \frac{0,76}{8,59} = 0,09$$

$$w_5 = \frac{0,49}{8,59} = 0,06$$

$$w_6 = \frac{0,25}{8,59} = 0,03$$

De manera que al sumar las fracciones se obtiene la unidad.

Seguidamente, se define la matriz de decisión normalizada reflejada en la *Tabla A.6.*, con valores entre 0 y 1.

*Tabla A. 6. Matriz de decisión normalizada para la elección del tipo de agitador*

	Coste inicial	Vida útil	Coste operación	Mantenimiento	Tiempo de mezcla	Eficiencia
<b>Agitador mecánico</b>	1	1	1	1	0,7	0,6
<b>Eductores</b>	0,5	0,7	0	0,5	0	0
<b>Pulsador aire</b>	0	0	0,7	0	1	1
<b>w</b>	0,40	0,27	0,15	0,09	0,06	0,03

Así pues, calculando se obtienen el peso de cada alternativa:

- Agitador mecánico:

$$Ag. \text{ mecánico} = (1 \cdot 0,40) + (1 \cdot 0,27) + (1 \cdot 0,15) + (1 \cdot 0,09) + (0,7 \cdot 0,06) + (0,6 \cdot 0,03) = 0,97$$

- Eductores:

$$Eductores = (0,5 \cdot 0,40) + (0,7 \cdot 0,27) + (0 \cdot 0,15) + (0,5 \cdot 0,09) + (0 \cdot 0,06) + (0 \cdot 0,03) = 0,44$$

- Pulsador de aire:

$$Pulsador \text{ de aire} = (0 \cdot 0,40) + (0 \cdot 0,27) + (0,7 \cdot 0,15) + (0 \cdot 0,09) + (1 \cdot 0,06) + (1 \cdot 0,03) = 0,29$$

De este modo, se obtienen que el agitador mecánico es el más adecuado para el reactor, ya que:

$$0,97 > 0,44 > 0,29$$

### 1.3. Dimensionamiento del reactor para la desinfección

#### 1.3.1. Volumen del tanque de agitación

La EDAR de Vilafranca del Cid está diseñada para un caudal del 1685 m<sup>3</sup>/día. Esto se traduce a un caudal de 70,21 m<sup>3</sup>/h exactamente.

Suponiendo un tiempo de retención de 15 minutos según Metcalf y Eddy (1995), [3], es decir, de 0,25h. Se obtiene que:

$$\text{Volumen reactor} = Q \cdot t_R \quad (2)$$

$$V = 70,21 \cdot 0,25 = 17,55 \text{ m}^3$$

Aplicando un factor de seguridad de 2 se obtendrá el volumen real del tanque:

$$\text{Volumen real} = \text{Volumen reactor} \cdot fs \quad (3)$$

$$V_R = 17,55 \cdot 2 = 43,88 \text{ m}^3$$

El diámetro del tanque a partir del cual se realizarán todos los cálculos es de 3,5 m. Así pues, para calcular el volumen de la parte cónica del reactor se cogerá una altura de 2 m. De forma que:

$$\text{Volumen cono} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (4)$$

$$V_{cono} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{3,5}{2}\right)^2 \cdot 2 = 10,83 \text{ m}^3$$

Del mismo modo se procederá para calcular el volumen de la zona cilíndrica, se cogerá una altura de 3,5 m:

$$\text{Volumen cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (5)$$

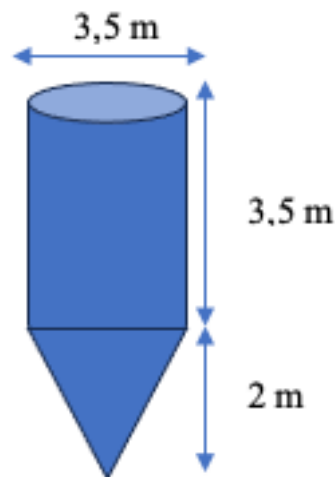
$$V_{cilindro} = \pi \cdot \left(\frac{3,5}{2}\right)^2 \cdot 3,5 = 33,99 \text{ m}^3$$

De manera que, si se suma el volumen de la parte cónica con la parte cilíndrica obtenemos el volumen total del tanque:

$$\text{Volumen Total} = 10,83 + 33,99 = 44,82 \text{ m}^3$$

Así pues, si comparamos el volumen de diseño ( $43,88 \text{ m}^3$ ) con el obtenido con los diámetros supuestos ( $44,82 \text{ m}^3$ ) se observa que se cumple con las características de diseño.

A continuación, en la siguiente *Figura A.1.* se puede ver cómo sería su forma:



*Figura A. 1. Estructura del tanque de cloración. Fuente: elaboración propia*

### 1.3.2. Espesor de las paredes del tanque

Para calcular el espesor de la pared del tanque mediante hormigón armado, necesitamos tener en cuenta la presión hidrostática que ejerce el líquido en las paredes del tanque. La presión hidrostática  $P$  se calcula como:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (6)$$

Donde:

- $\rho$ : densidad del líquido,  $1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
- $g$ : aceleración debida a la gravedad,  $9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$
- $h$ : altura del líquido, 80% de la altura del tanque,  $4,4 \text{ (m)}$

La presión hidrostática actúa sobre las paredes del tanque, y la fuerza ejercida en una sección transversal del tanque es:

$$F = P \cdot A \quad (7)$$

Donde:

- A: área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

La fuerza F debe ser equilibrada por la resistencia del hormigón armado, y la resistencia R se puede calcular como:

$$R = \sigma \cdot A_s \quad (8)$$

Donde:

- $\sigma$ : tensión admisible del hormigón armado, 300 (kg/cm<sup>2</sup>), del tipo H-35, [n]
- $A_s$ : área de la sección transversal de refuerzo (m<sup>2</sup>)

La relación entre la fuerza F y la resistencia R es:

$$F = R \quad (9)$$

Entonces, igualando las ecuaciones 7 y 8 y resolviendo para  $\sigma$ :

$$P \cdot A = \sigma \cdot A_s \quad (10)$$

Ahora, el espesor de pared e se relaciona con el área de la sección transversal de refuerzo  $A_s$  mediante la *Ecuación 11*:

$$A_s = \frac{e}{k} \quad (11)$$

Donde:

- e: Espesor del tanque (m)



- k: Coeficiente de seguridad, 2

Sustituimos esta relación en la *Ecuación 10* y resolvemos para sacar e:

$$P \cdot A = \sigma \cdot \frac{e}{k} \quad (12)$$

Despejando e:

$$e = \frac{P \cdot A \cdot k}{\sigma} = \frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot A \cdot k}{\sigma} \quad (13)$$

Dado que A es:

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (14)$$

Donde:

- r: radio del tanque de cloración, 1,75 m.

Sustituyendo la *Ecuación 14* en la *Ecuación 13* y sustituyendo todos los valores en la *Ecuación 13* se obtiene el valor del espesor:

$$e = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 4,4 \cdot \pi \cdot 1,75^2 \cdot 2}{3000000} = 0,277 \text{ m}$$

Se puede afirmar que con un espesor de **30 cm** sería suficiente para soportar la cantidad de fluido.

### 1.3.3. Sistema de agitación

Puesto que se trata de un tanque de almacenamiento donde se ha de producir la mezcla del agua residual con el hipoclorito de sodio, es necesario instalar un sistema de agitación para que se produzca la reducción correcta de espumas y no se generen sedimentos en la parte inferior del reactor.

Existen varios tipos de agitadores como son los de hélice, de turbinas o de palas. En este caso se va a diseñar un agitador de turbina como se puede ver en la *Figura A.2.*. Las proporciones para este tipo de agitadores son las siguientes:

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad (15)$$

$$\frac{E}{D_a} = 1 \quad (16)$$

$$\frac{H}{D_t} = 1 \quad (17)$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad (18)$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad (19)$$

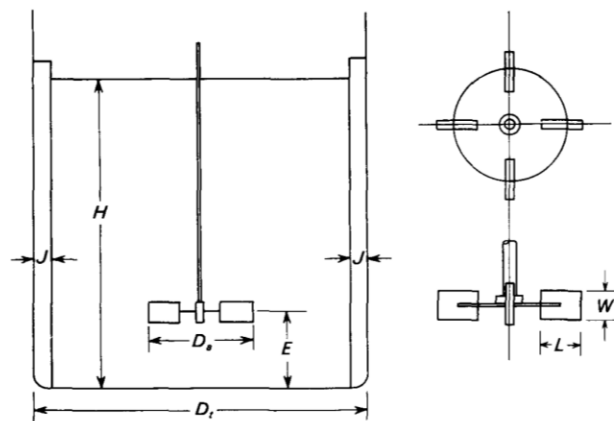


Figura A. 2. Medidas de un agitador de turbina según Rushton. Fuente: Mc Grall Hill [4]

Donde:

- $D_a$ : Diámetro de palas (m)
- $D_t$ : Diámetro del reactor (m)
- $H$ : Altura del fluido (m)
- $E$ : Distancia desde el agitador hasta el fondo de la base (m), en este caso hasta el final del cono.
- $L$ : largo de las paletas (m)

- W: alto de las paletas (m)

Puesto que, se trata de un fluido de baja viscosidad al ser agua residual y no presenta gran velocidad, estamos frente a un diseño fácil de construir y económico. Así pues, se ha elegido un agitador de turbina de hojas planas y disco de 8 palas.

Mediante las Ecuaciones 15, 16, 17, 18 y 19, sabiendo que el diámetro del tanque ( $D_t$ ) es de 3,5 m, se procederá a realizar los diferentes cálculos para el agitador completo.

Para calcular el diámetro de las palas se hará uso de la Ecuación 15 despejando  $D_a$ :

$$D_a = \frac{D_t}{3} = \frac{3,5}{3} = 1,17 \text{ m}$$

La distancia del agitador al final de la zona cónica se calcula mediante la Ecuación 16, de forma que si se despeja E se obtiene que:

$$E = D_a = 1,17 \text{ m}$$

Para calcular el valor de L se hace uso de la Ecuación 18 de forma que:

$$L = \frac{1}{4} \cdot D_a = \frac{1}{4} \cdot 1,17 = 0,29 \text{ m}$$

Del mismo modo para calcular H, se hace uso de la Ecuación 17:

$$H = D_t = 3,5 \text{ m}$$

Por último, para obtener el valor de W, se despeja la Ecuación 19:

$$W = \frac{1}{5} \cdot D_a = \frac{1}{5} \cdot 1,17 = 0,23 \text{ m}$$

Una vez obtenidos los parámetros del agitador, será necesario calcular la potencia que precisa el agitador. Para ello, debemos primeramente calcular el número de Reynolds del agitador, el número de potencia ( $N_p$ ) y, por último, la potencia del agitador.

Para calcular el número de Reynolds se hará uso de la Ecuación 20:

$$Re_i = \frac{\rho \cdot D_A^2 \cdot N_i}{\mu} \quad (20)$$

Donde:

- $\rho$ : densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )
- $N_i$ : Velocidad del agitador ( $\text{s}^{-1}$ )
- $D_A$ : Diámetro del agitador (m)
- $\mu$ : Viscosidad del fluido ( $\text{kg/m}\cdot\text{s}$ )

En este caso, para el agua residual se tomará una viscosidad de  $0,00105 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ , una densidad de  $1000 \text{ kg/m}^3$  y una velocidad del agitador de  $85 \text{ rpm}$ , un valor medio entre  $20$  y  $150 \text{ rpm}$  [n].

Así pues, si se sustituyen estos valores en la Ecuación 20 se obtiene que:

$$85 \text{ rpm} \approx 1,42 \text{ s}^{-1}$$

Por lo que:

$$Re_i = \frac{1000 \cdot 1,17^2 \cdot 1,42}{0,00105} = 1851274,28 = 1,85 \cdot 10^6$$

A continuación, para calcular el número de potencia,  $N_p$ , se hará uso de la Figura A.3. que relaciona el número de Reynolds con el número de potencia en función del tipo de agitador, en este caso se está frente a un disco de 8 palas:

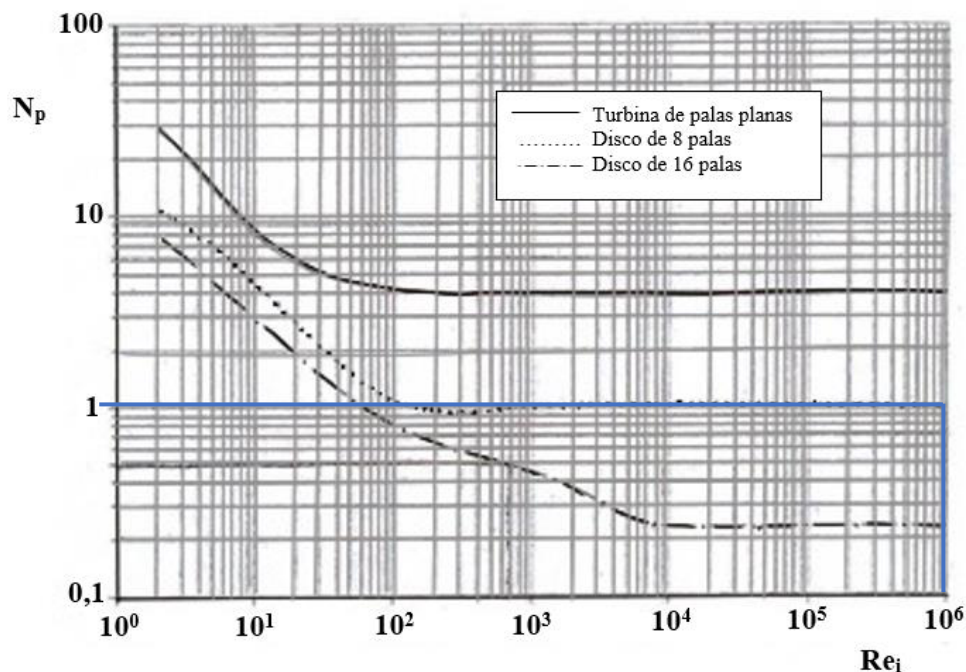


Figura A. 3. Representación del número de potencia frente al número de Reynolds para el diseño del agitador. Fuente: EQ 1041 (Biotechnological Processes) [6]

Así pues, mediante el trazado de la línea azul, para un valor de  $Re$  de  $1,85 \cdot 10^6$  y un disco de 8 palas, el valor de  $N_p$  es de 1.

Seguidamente, para calcular la potencia del agitador se hará uso de la *Ecuación 21*:

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N_i^3 \cdot D_A^5 \quad (21)$$

Sustituyendo, en este caso por sus valores se obtiene:

$$P = 1 \cdot 1000 \cdot 1,42^3 \cdot 1,17^5 = 6277,61 \text{ W} = 6,28 \text{ kW}$$

#### 1.4. Dimensionamiento del filtro de carbón activo

Para el diseño de los contactores de Carbón Activo Granular (CAG), se hará uso del caudal de diseño de la línea industrial ( $44,58 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Así pues, conociendo el caudal y sabiendo que el tiempo de contacto que debe estar el agua residual con el carbón activo es de 15 minutos y el volumen mínimo del filtro para dicho caudal ha de ser de  $12 \text{ m}^3$ , según UNICARB S.L.

Se calculará el área de sección transversal en función de la velocidad de paso y el caudal mediante la *Ecuación 22*:

$$A = \frac{Q}{v_p} \quad (22)$$

Siendo:

- $Q$ : caudal de diseño línea industrial,  $44,58 \text{ (m}^3/\text{h)}$
- $v_p$ : velocidad de paso,  $10 \text{ (m/h)}$  (Metcalf y Eddy, 1995)

De forma que el área de sección transversal es de:

$$A = \frac{Q}{v_p} = \frac{44,58}{10} = 4,458 \text{ m}^2$$

Una vez conocida el área transversal si el filtro es cilíndrico se puede obtener sus dimensiones, es decir, el diámetro y la altura. Hay que tener en cuenta que para obtener la altura hay que dejar un margen del 30% para poder contra lavar el filtro en caso de que fuese necesario.

Para ello, se necesita saber mediante la *Ecuación 22* que el área de la sección transversal es igual al área de un círculo con radio r:

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (23)$$

Sabiendo que A es 4,458 m<sup>2</sup> se puede despejar el radio r de la *Ecuación 23*:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4,458}{\pi}} = 1,191 \text{ m}$$

De forma que, mediante la *Ecuación 24* podemos obtener el diámetro:

$$D = 2 \cdot r \quad (24)$$

$$D = 2 \cdot 1,191 = 2,382 \text{ m}$$

Seguidamente, con el radio se puede determinar la altura del filtro de carbón activo para que el volumen total sea de 12 m<sup>3</sup>, gracias a la *Ecuación 25*:

$$V_T = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (25)$$

Siendo:

- $V_T$ : volumen total, 12 m<sup>3</sup> (UNICARB SL)
- r: radio del filtro de carbón activo, 1,191 m
- h: altura del filtro de carbón activo, m

Despejando h de la *Ecuación 25* y aplicando un porcentaje de seguridad para garantizar el contra lavado de un 30%:

$$h = \frac{V_T}{\pi \cdot r^2} \cdot 1,3 = \frac{12}{\pi \cdot 1,191^2} \cdot 1,3 = 3,5 \text{ m}$$

De modo que la altura del filtro deberá ser de 3,5 m y el diámetro de 2,382 m. Así pues, en la *Tabla A.7.* que se expone a continuación se pueden ver todos los parámetros característicos del filtro de carbón activo.

Tabla A. 7. Parámetros del filtro de carbón activo

Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Caudal	Q	m <sup>3</sup> /h	44,58
Tiempo de contacto	t	min	15
Volumen Total	V <sub>T</sub>	m <sup>3</sup>	12
Velocidad	v <sub>p</sub>	m/h	10
Área de sección transversal	A	m <sup>3</sup>	4,458
Fracción de seguridad	$\alpha$	-	0,3
Diámetro	D	m	2,382
Altura	h	m	3,5

### 1.5. Diseño de conducciones

En el proceso será necesario el diseño de conducciones y la distribución de alturas para llevar el agua de la línea industrial hasta los distintos equipos diseñados sin necesidad de bombeo. Es por ello, por lo que el agua bajará desde el filtro de arenas hasta el filtro de carbón activo. Seguidamente, el agua descenderá hasta la arqueta donde el agua industrial se mezcla con la urbana, de manera que el caudal a considerar a partir de este punto será la suma de las dos líneas. En la arqueta de mezcla se le añade el hipoclorito de sodio mediante una bomba dosificadora y se lleva al tanque agitador para su homogeneización. Una vez el agua está desinfectada, se vierte al cauce fluvial.

A continuación, en la *Figura A.4.* se puede ver un diagrama del proceso a seguir, que incluye las distancias entre equipos, las cotas de los equipos ya existentes (filtro de arena y arqueta de mezcla) y las alturas de los equipos diseñados en el apartado anterior (filtro de carbono y tanque de cloración).

En función de las pérdidas de carga que se estimen para el filtro de carbón activo y las conducciones se determinará la altura a la que se situaran los equipos diseñados.

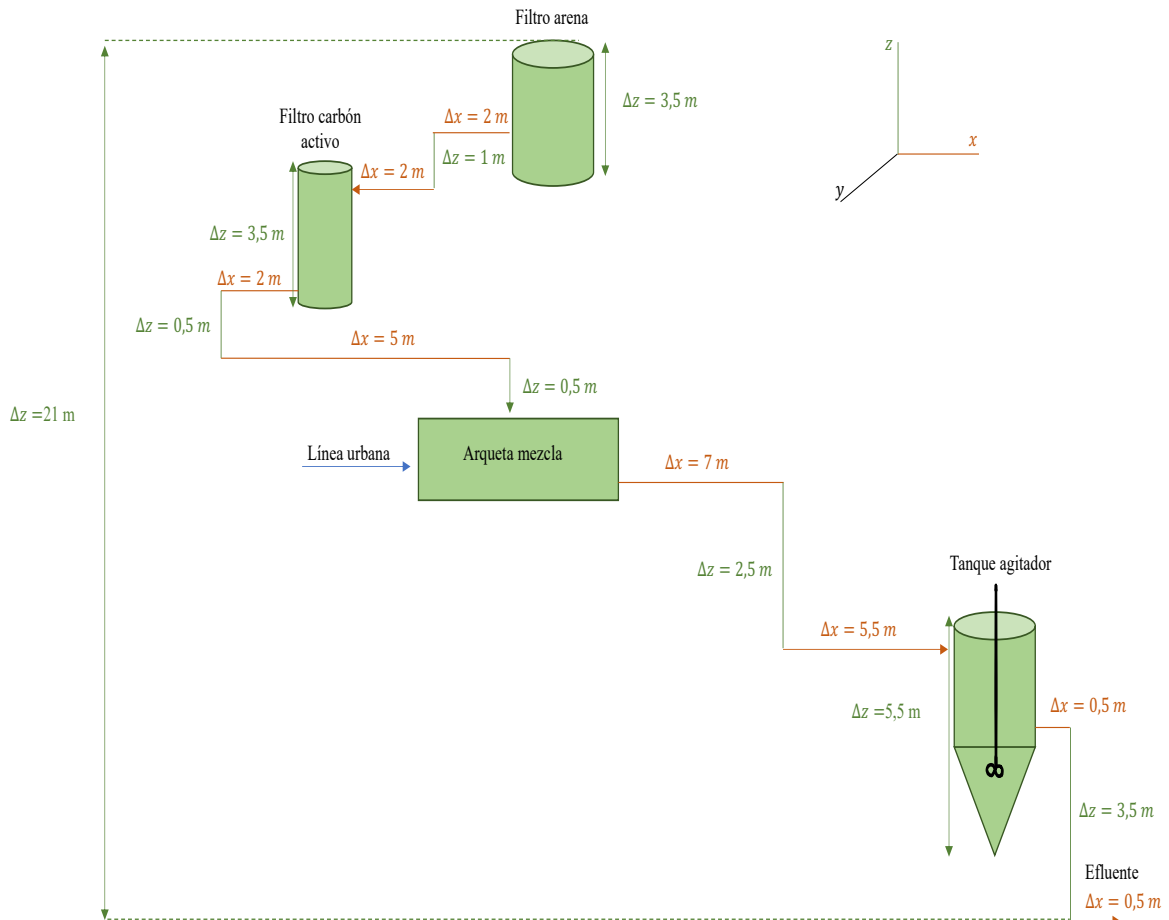


Figura A. 4. Diagrama de proceso modificación EDAR Vilafranca del Cid. Fuente: elaboración propia

Una vez visto como es el proceso se tienen que diseñar las distintas conducciones para llegar a los equipos de la forma adecuada. Para ello hay que tener diferentes cosas en cuenta:

- a. Los diferentes tramos presentes:
  - Tramo 1: Filtro de arenas a arqueta de mezclas.
  - Tramo 2: Arqueta de mezclas a efluente.
- b. La velocidad a la que debe circular el agua entre estos tramos, como estamos frente a un líquido, la velocidad debería situarse ente 0,5 y 3 m/s.
- c. Accidentes presentes en los tramos y sus longitudes.
- d. El procedimiento para el dimensionamiento de las conducciones consta de los siguientes pasos, según [5]:
  1. Suponer una velocidad máxima de circulación dentro del rango [0,5-3] m/s.



2. Calcular la sección supuesta con el caudal de diseño mediante la *Ecuación 26*.
3. Calcular el diámetro interno de circulación mediante la *Ecuación 27*.
4. Escoger el diámetro nominal y espesor de acuerdo con la norma UNE-EN 17176/2019 para el diseño de conducciones de PVC.
5. Calcular el diámetro real mediante la *Ecuación 29*.
6. Calcular la velocidad real mediante la *Ecuación 30*.
7. Iterar hasta que la velocidad supuesta coincida con la real.

### 1.5.1. Ecuaciones necesarias para la obtención del diámetro de las conducciones

Siendo en todo momento:

- $v_{sup}$ : velocidad supuesta entre 0,5 y 3 (m/s)
- $Q$ : caudal que circula por cada tramo ( $m^3/s$ )
- $S_{sup}$ : superficie supuesta ( $m^2$ )
- $D_i$ : diámetro interno de circulación (m)
- $e$ : espesor obtenido de la norma (m)
- $D_n$ : diámetro nominal obtenido de la norma (m)
- $D_{real}$ : diámetro real (m)
- $S_{real}$ : superficie real ( $m^2$ )
- $v_{real}$ : velocidad real (m/s)

$$S_{sup} = \frac{Q}{v_{sup}} \quad (26)$$

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{sup}}{\pi}} \quad (27)$$

$$D_{real} = D_n - 2 \cdot e \quad (28)$$

$$S_{real} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{real}^2 \quad (29)$$

$$v_{real} = \frac{Q}{S_{real}} \quad (30)$$

Cuando  $v_{sup} = v_{real}$  el diámetro obtenido será el correspondiente para la conducción determinada.

### 1.5.1.1. Obtención diámetros de conducciones

#### - Tramo 1: Filtro de arenas a arqueta de mezclas

Para obtener el cálculo de la conducción del tramo 1, como estamos en la línea industrial, el caudal con el que se va a trabajar es de 615 m<sup>3</sup>/día, es decir, 0,00712 m<sup>3</sup>/s. En este caso, la velocidad supuesta será de 0,8 m/s. A partir de esta velocidad se obtendrá el diámetro de PVC para la tubería gracias a la *Ecuación 26*:

$$S_{sup} = \frac{Q}{v_{sup}} = \frac{0,00712}{0,8} = 0,0089 \text{ m}^2$$

Sustituyendo en la *Ecuación 27*:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{sup}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0089}{\pi}} = 0,10645 \text{ m}^2 \approx 106,45 \text{ mm}$$

Buscando el valor más próximo al diámetro interno en la norma, se obtiene que el diámetro nominal es de 110 mm, por lo que el espesor en este caso será de 2 mm. De manera que, el diámetro real para el Tramo 1 será, según la *Ecuación 28*:

$$D_{real} = D_n - 2 \cdot e = 110 - 2 \cdot 2 = 106 \text{ mm} = 0,106 \text{ m}$$

Por lo que la superficie real quedará, según la *Ecuación 29*:

$$S_{real} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{real}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,106^2 = 0,0088 \text{ m}^2$$

De manera que la velocidad real vendrá dada por la *Ecuación 30*:

$$v_{real} = \frac{Q}{S_{real}} = \frac{0,00712}{0,0088} = 0,81 \text{ m/s}$$

Podemos afirmar que la velocidad supuesta es aproximadamente la real por lo que las características de la conducción para el tramo 1 van a ser las que quedan resumidas en la *Tabla A.8*.

Tabla A. 8. Características conducción (Tramo 1)

$Q$	$v_{sup}$	$S_{sup}$	$D_i$	$D_n$	$e$	$D_{real}$	$v_{real}$
(m <sup>3</sup> /s)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(mm)	(mm)	(m)	(m/s)
0,00712	0,80	0,0089	0,10645	110	2	0,106	0,81

- **Tramo 2: Arqueta de mezclas a efluente**

Tras las mezclas de las dos líneas el caudal será de 1685 m<sup>3</sup>/día, es decir, 0,0195 m<sup>3</sup>/s. En este caso la velocidad supuesta será de 1m/s y los cálculos para la conducción serán los siguientes:

$$S_{sup} = \frac{Q}{v_{sup}} = \frac{0,0195}{1} = 0,0195 \text{ m}^2$$

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{sup}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0195}{\pi}} = 0,1576 \text{ m}^2 \approx 157,6 \text{ mm}$$

Buscando el valor vas próximo al diámetro interno en la norma se obtiene que el diámetro nominal es de 160 mm, por lo que el espesor en este caso será de 2,8 mm. De manera que, el diámetro real (*Ecuación 28*) para el Tramo 3 será:

$$D_{real} = D_n - 2 \cdot e = 160 - 2 \cdot 2,8 = 154,4 \text{ mm} = 0,1544 \text{ m}$$

Por lo que la superficie real (*Ecuación 29*) quedará:

$$S_{real} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{real}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,1544^2 = 0,0187 \text{ m}^2$$

De manera que la velocidad real vendrá dada por la *Ecuación 30*:

$$v_{real} = \frac{Q}{S_{real}} = \frac{0,0195}{0,0187} = 1,04 \text{ m/s}$$

La velocidad supuesta es prácticamente coincidente con la real, por lo que los resultados para el Tramo 2 son los expuestos en la *Tabla A.9*.

Tabla A. 9. Características conducción (Tramo 2)

$Q$	$v_{sup}$	$S_{sup}$	$D_i$	$D_n$	$e$	$D_{real}$	$v_{real}$
(m <sup>3</sup> /s)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(mm)	(mm)	(m)	(m/s)
<b>0,0195</b>	1	0,0195	0,1576	160	2,8	0,1544	1,04

### 1.5.2. Aplicación balances de energía mecánica

El estudio del transporte de fluidos por conducciones es un punto necesario en este proyecto para comprobar si es necesario aplicar una bomba para la impulsión de los fluidos o no es necesario. Para la circulación de fluidos por conducciones en todo caso hay una pérdida de energía mecánica debida al rozamiento y a la turbulencia que se transforma en calor y en energía interna.

Así pues, para realizar el balance de energía mecánica (BEM) se hará uso de la *Ecuación 31*:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{1}{g} \left( \left( \frac{v_2^2}{2\alpha_2} - \frac{v_1^2}{2\alpha_1} \right) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Delta F \right) \quad (31)$$

Donde:

- $h_s$ : carga total del sistema (m)
- $z_2$ : altura en el punto final de impulsión (m)
- $z_1$ : altura en el punto inicial de aspiración (m)
- $g$ : constante de gravedad, 9,81 (m/s<sup>2</sup>)
- $v_2$ : velocidad en el punto final de impulsión (m/s)
- $v_1$ : velocidad en el punto inicial de aspiración (m/s)
- $P_2$ : presión en el punto final de impulsión (Pa)
- $P_1$ : presión en el punto final de aspiración (Pa)
- $\rho$ : densidad del líquido (kg/m<sup>3</sup>)
- $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ , si se está en régimen turbulento (adimensional)
- $\Delta F$ : pérdida de carga (J/kg)

La pérdida de carga,  $\Delta F$ , incluyendo la pérdida en los tramos rectos y la pérdida debida a los distintos accidentes, se calculará gracias a la *Ecuación 32*:

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_a + \Delta F_e \quad (32)$$

Donde:

- $\Delta F_r$ : pérdida de carga en los tramos rectos, debido al rozamiento y las turbulencias (J/kg)
- $\Delta F_a$ : pérdida de carga en los accidentes del sistema (J/kg)
- $\Delta F_e$ : pérdida de carga en los equipos (J/kg)

Para calcular la pérdida de carga de los tramos rectos ( $\Delta F_r$ ) se hará uso de la *Ecuación 33*:

$$\Delta F_r = 2 \cdot f \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D} \quad (33)$$

Donde:

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

Para obtener el factor de Fanning, se debe calcular en primer lugar el número de Reynolds ( $Re$ ), mediante la *Ecuación 34*. El Reynolds permite caracterizar el fenómeno de la circulación de fluidos y es adimensional.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (34)$$

Donde:

- $\rho$ : Densidad del agua ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $v$ : Velocidad media de la conducción (m/s).
- $\mu$ : Viscosidad dinámica del agua ( $\text{Ns/m}^2$ ).

Según el valor obtenido del número de Reynolds se podrá saber en qué régimen se encuentra:

- Laminar  $Re < 2.100$ .
- Zona crítica.  $2.100 \leq Re \leq 4.000$  (aparición de turbulencia).
- Transición.  $4.000 < Re < 10.000$  (la turbulencia no está completamente desarrollada).
- Turbulento  $Re > 10.000$ .

Conocido el  $Re$ , y la rugosidad relativa ( $\epsilon/D$ ), a partir del gráfico de Moody se obtiene el factor de Fanning ( $f$ ).

En la *Tabla A.10.* se muestran las diferentes rugosidades según los materiales de las conducciones.

*Tabla A. 10. Rugosidades de los materiales*

Material	Rugosidad, k (mm)
Acero (tubos soldados)	0,03 - 0,09
Acero (tubos estirados)	0,0024
Acero galvanizado	0,06 - 0,24
Cobre o latón	0,015
Plásticos (PVC, PP, PE)	0,0015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01
Fundición	0,12 - 0,6
Hormigón	0,3 - 3

Por otro lado, para calcular la pérdida de carga debida a los accidentes se hará uso de la *Ecuación 35*:

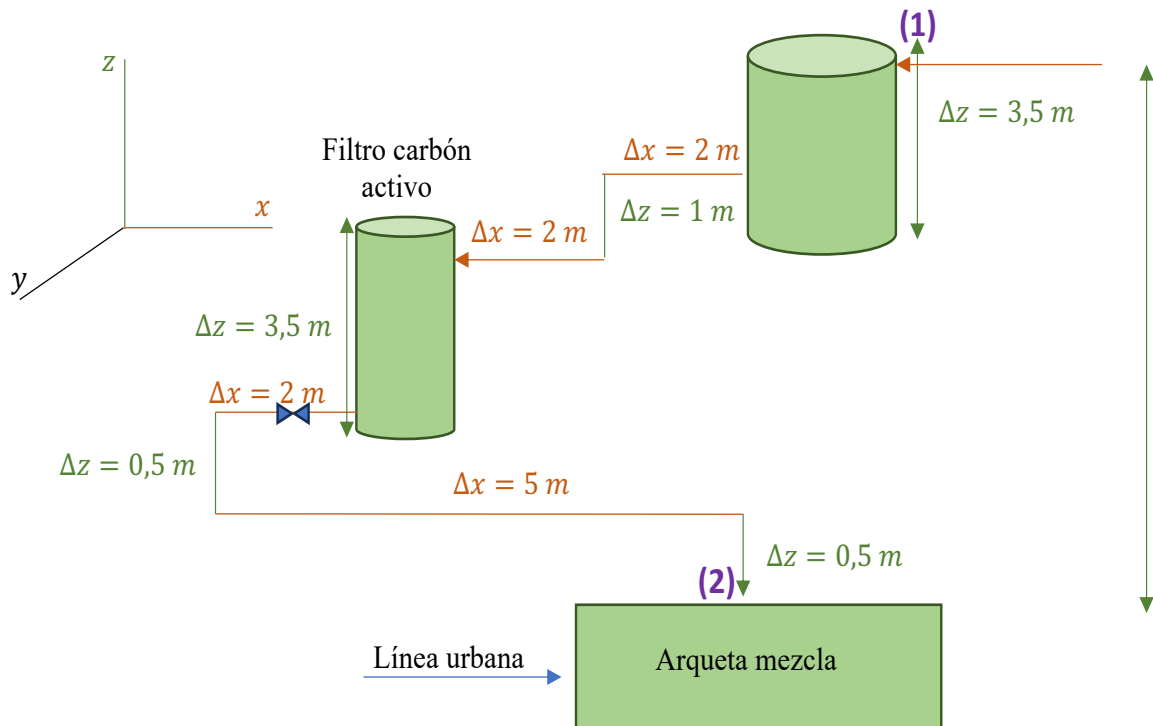
$$\Delta F_a = \sum k \cdot \frac{v^2}{2} \quad (35)$$

Siendo:

- k: constante característica del accidente
- v: velocidad de la conducción (m/s).

- **Tramo 1: Filtro de arenas a arqueta de mezclas**

En el tramo del filtro de arenas a la arqueta donde se mezclan la línea urbana con la industrial, el caudal que circula es de 44,58 m<sup>3</sup>/h. El punto (1) es la entrada del líquido al filtro de arenas, de aquí el agua baja al filtro de carbón activo y seguidamente pasa a la arqueta donde el agua industrial se mezcla con la urbana (punto 2). En la *Figura A.5.* que se expone a continuación se puede ver de forma detallada el trayecto del agua en el tramo 1.



*Figura A. 5. Diagrama de proceso del Tramo 1. Fuente: elaboración propia*

Una vez visto el procedimiento se procede a realizar el balance de energía mecánica para el Tramo 1. Esto servirá para saber si es necesario el uso de una bomba para hacer circular el líquido por las conducciones.

A partir de la *Ecuación 31*, en este caso:

- $z_2 = 0\text{ m}$
- $z_1 = 12\text{ m}$

- $v_1 = v_2$
- $P_1 = P_2 = P_{atm}$

Para calcular  $\Delta F$  hay que tener en cuenta las pérdidas debidas a los tramos rectos, las pérdidas debidas a los accidentes y las pérdidas debidas a los tanques.

Las pérdidas debidas a los tramos rectos mediante la *Ecuación 36*:

$$\Delta F_r = 2 \cdot f \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D} \quad (36)$$

La velocidad y el diámetro se ha obtenido en el apartado 4.2.1.:

- $v = 0,81 \text{ m/s}$
- $D = 0,106 \text{ m}$

La longitud corresponde a la suma de todos los tramos:

$$L = 2 + 1 + 2 + 2 + 0,5 + 5 + 0,5 = 13 \text{ m}$$

Para obtener el valor de  $f$ , lo primero será calcular el valor de  $Re$  gracias a la *Ecuación 34*, tomando los siguientes valores:

- $v = 0,81 \text{ m/s}$
- $D = 0,106 \text{ m}$
- $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- $\mu = 0,00105 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$

Se obtiene:

$$Re = \frac{1000 \cdot 0,81 \cdot 0,106}{0,00105} = 81771,43$$

El régimen, por tanto, es turbulento. Ahora, sabiendo que las tuberías serán de PVC, cuya rugosidad (*Tabla A.10.*) es 0,0015 mm. Para acceder al gráfico de Moody y obtener  $f$  es necesaria la rugosidad relativa que se obtiene dividiendo la rugosidad por el diámetro:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015}{106} = 0,000014$$

Con esta rugosidad relativa y el número de Reynolds, con el gráfico de Moody (*Figura A.6.*) se obtiene el valor de  $4f$ :



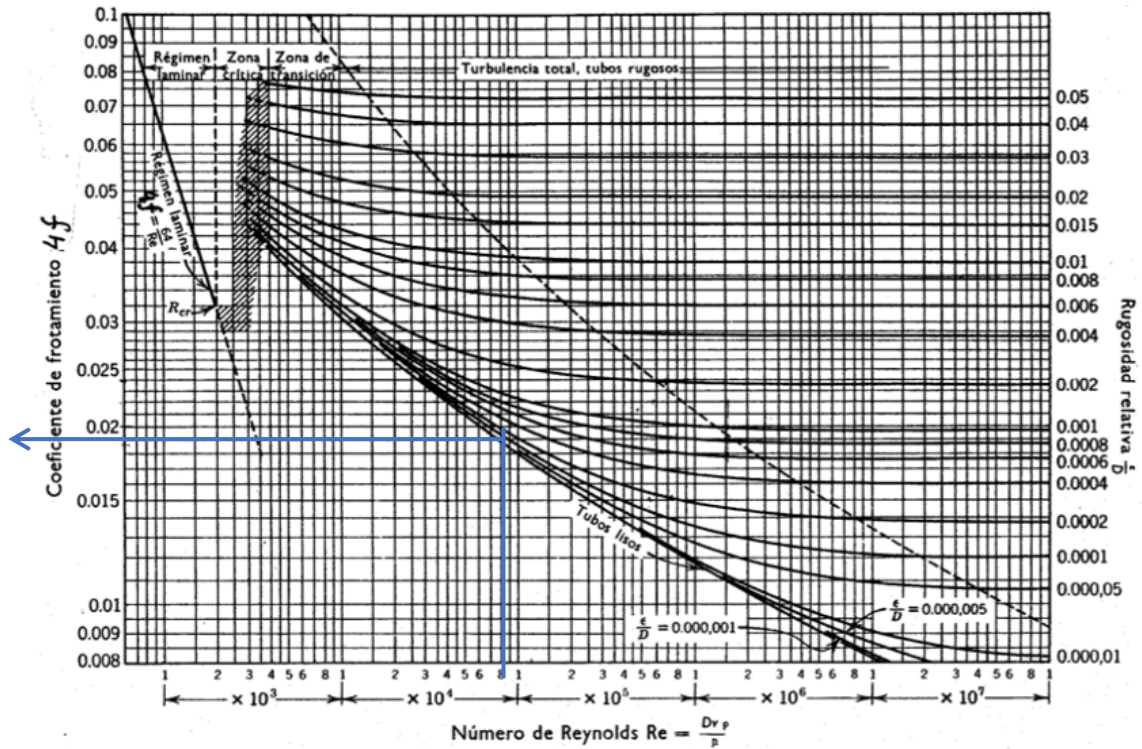


Figura A. 6. Gráfica de Moody Tramo 1. Fuente: elaboración propia

Se obtiene que  $4f$  es 0,02. Por lo que si se divide ese valor por 4 se obtiene el valor de la  $f$ :

$$f = \frac{0,02}{4} = 0,005$$

Ya se tienen todos los valores para obtener  $\Delta F_r$ :

$$\Delta F_r = 2 \cdot f \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D} = 2 \cdot 0,005 \cdot 0,81^2 \cdot \frac{13}{0,106} = 0,8045 \text{ (J/kg)}$$

El siguiente paso es obtener  $\Delta F_a$ . Para obtener el valor de las pérdidas debidas a los accidentes hay que tener en cuenta los accidentes presentes en el tramo que se muestran en la *Tabla A.11.*

Tabla A. 11. Accidentes presentes en el Tramo 1

Tipo de accidente	Unidades	k
<b>Codo 90 STD</b>	5	0,75
<b>Salida de cantos vivos</b>	1	1
<b>Válvula de mariposa</b>	1	1,54

Sustituyendo los valores  $k$  y la velocidad en la *Ecuación 35* se obtiene el valor de  $\Delta F_a$ :

$$\Delta F_a = \sum(0,75 \cdot 5 + 1 + 1,54) \cdot \frac{0,81^2}{2} = 2,06 \text{ (J/kg)}$$

Por último, se necesita conocer las pérdidas debidas a los equipos que se obtendrán mediante la *Ecuación 37*:

$$\Delta F_e = \frac{\Delta P}{\rho} \quad (37)$$

Para ello se necesita conocer la pérdida de carga de los equipos. El filtro de arena tiene una pérdida de carga de 1,5 metros de columna de agua (FACSA), lo que son 14709,6 Pa.

Sin embargo, se debe estimar el valor de la pérdida de carga en el filtro de carbón activo.

Para ello, se hará uso de la ecuación de Ergun, *Ecuación 38*:

$$\frac{-\Delta P}{L} = 150 \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\mu \cdot v}{(\phi \cdot d_p)^2} + 1,75 \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{\phi \cdot d_p} \quad (38)$$

Donde:

- $\Delta P$ : pérdida de presión manométrica (N/m<sup>2</sup>)
- $L$ : altura del lecho, 3,5 (m)
- $\varepsilon$ : porosidad media del lecho, 0,4 (Metclaf y Eddy, 1995)
- $\mu$ : viscosidad del fluido, 0,00105 (kg/m·s)
- $v$ : velocidad superficial del líquido, 0,0028 (m/s)
- $\phi$ : factor de esfericidad, 0,5 (UNICARB SL)
- $d_p$ : tamaño de partícula, 0,00236 (m)
- $\rho$ : densidad del fluido, 1000 (kg/m<sup>3</sup>)

Sustituyendo en la *Ecuación 38* y despejando  $\Delta P$ :

$$\frac{-\Delta P}{3,5} = 150 \cdot \frac{(1 - 0,4)^2}{0,4^3} \cdot \frac{0,00105 \cdot 0,0028}{(0,5 \cdot 0,00236)^2} + 1,75 \cdot \frac{1 - 0,4}{0,4^3} \cdot \frac{1000 \cdot 0,0028^2}{0,5 \cdot 0,00236}$$

$$-\Delta P = \left( 150 \cdot \frac{(1-0,4)^2}{0,4^3} \cdot \frac{0,00105 \cdot 0,0028}{(0,5 \cdot 0,00236)^2} + 1,75 \cdot \frac{1-0,4}{0,4^3} \cdot \frac{1000 \cdot 0,0028^2}{0,5 \cdot 0,00236} \right) \cdot 3,5 = 6506,433 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Se sustituye el valor de  $-\Delta P$  en la *Ecuación 37* y se obtiene el valor de  $\Delta F_e$ :

$$\Delta F_e = \frac{14709,6}{1000} + \frac{6506,433}{1000} = 21,216 \text{ J/kg}$$

Finalmente, se obtiene  $\Delta F$  sumando  $\Delta F_r$ ,  $\Delta F_a$  y  $\Delta F_e$ :

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_a + \Delta F_e = 1,8045 + 2,06 + 21,216 = 25,084 \text{ J/kg}$$

Una vez se tienen todos los valores del Balance se puede obtener  $\Delta z$  gracias a la Ecuación 31:

$$0 = (\Delta z) + \frac{1}{9,81} (0 + 0 + 25,084)$$

Despejando:

$$\Delta z = \frac{25,084}{9,81} = 2,56 \text{ m}$$

Por tanto, se requiere una altura de 2,56 m para garantizar que no se necesita bomba ateniéndose a las pérdidas del tramo. En este caso se tiene una altura de 7,5 m. Por lo que se confirma que no se necesita bomba.

#### - Tramo 2: Arqueta de mezclas a efluente

En este caso, el tramo por donde circula el líquido va desde la arqueta donde se mezclan la línea urbana con la industrial, hasta el tanque agitador, y desde el tanque agitador a la salida al exterior de la planta. Hay que tener en cuenta que el caudal que circula al mezclarse las dos líneas es de 70,21 m<sup>3</sup>/h. Así pues, el punto (1) corresponde a la salida de la arqueta de mezclas, a partir de la cual desciende el agua hasta el tanque mezclador y, seguidamente, sale de la EDAR al cauce fluvial (punto 2). En la *Figura A.7.* se puede ver detalladamente el diagrama que seguirá el agua:

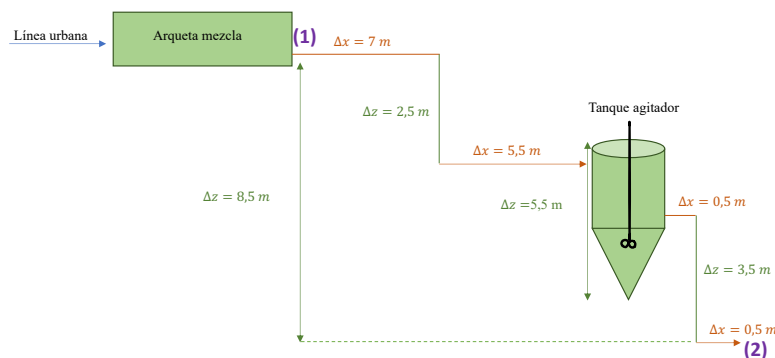


Figura A. 7. Diagrama de proceso Tramo 2. Fuente: elaboración propia

Para este caudal, al igual que en el tramo 1, se va a realizar el balance de energía mecánica para ver si es necesario el uso de una bomba para hacer circular el líquido por las distintas conducciones.

A partir de la *Ecuación 31*, en este caso:

- $z_2 = 0 \text{ m}$
- $z_1 = 9 \text{ m}$
- $v_1 = v_2$
- $P_1 = P_2 = P_{\text{atm}}$

Para calcular  $\Delta F$  hay que tener en cuenta las pérdidas debidas a los tramos rectos, las pérdidas debidas a los accidentes y las pérdidas debidas a los tanques.

Las pérdidas debidas a los tramos rectos:

$$\Delta F_r = 2 \cdot f \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D} \quad (36)$$

La velocidad y el diámetro se ha obtenido en el *apartado 4.2.1.*:

- $v = 1,04 \text{ m/s}$
- $D = 0,1544 \text{ m}$

La longitud corresponde a la suma de todos los tramos:

$$L = 7 + 2,5 + 5,5 + 0,5 + 3,5 + 0,5 = 19,5 \text{ m}$$

Para obtener el valor de  $f$ , lo primero será calcular el valor de  $Re$ , mediante la *Ecuación 34*, siendo:

- $v = 1,04 \text{ m/s}$
- $D = 0,1544 \text{ m}$
- $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- $\mu = 0,00105 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$

Se obtiene:

$$Re = \frac{1000 \cdot 1,04 \cdot 0,1544}{0,00105} = 152929,52$$

El régimen, por tanto, es turbulento. Ahora, sabiendo que las tuberías serán de PVC, cuya rugosidad (*Tabla A.10.*) es 0,0015 mm. Para acceder al gráfico de Moody y obtener  $f$  es necesaria la rugosidad relativa que se obtiene dividiendo la rugosidad por el diámetro:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015}{154,4} = 0,00000971$$

Con esta rugosidad relativa y el número de Reynolds, con el gráfico de Moody (*Figura A.8.*) se obtiene el valor de  $4f$ .

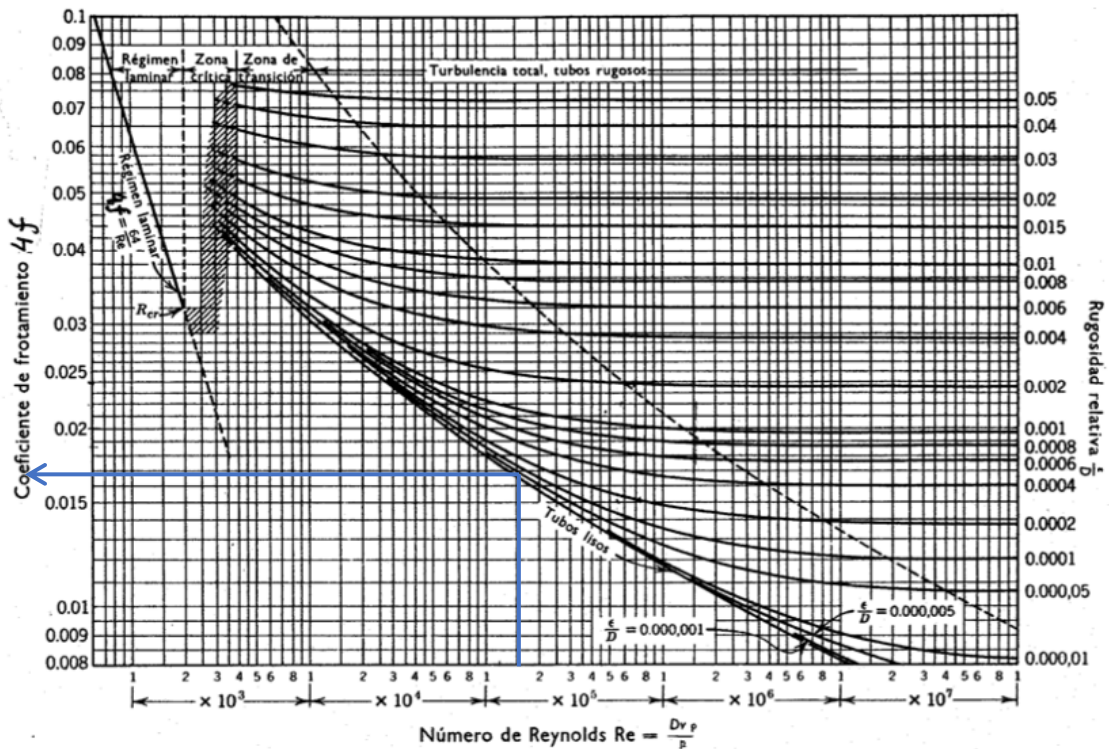


Figura A. 8. Gráfica de Moody Tramo 2. Fuente: elaboración propia

Se obtiene que  $4f$  es 0,0168. Por lo que si se divide ese valor por 4 se obtiene el valor de la  $f$ :

$$f = \frac{0,0168}{4} = 0,0042$$

Ya se tienen todos los valores para obtener  $\Delta F_r$  mediante la *Ecuación 36*:

$$\Delta F_r = 2 \cdot f \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D} = 2 \cdot 0,0042 \cdot 1,04^2 \cdot \frac{19,5}{0,1544} = 1,1474 \text{ (J/kg)}$$

El siguiente paso es obtener  $\Delta F_a$ . Para obtener el valor de las pérdidas debidas a los accidentes hay que tener en cuenta los accidentes presentes en el tramo que se muestran en la *Tabla A.12.*

*Tabla A. 12. Accidentes presentes en el Tramo 2*

Tipo de accidente	Unidades	k
<b>Codo 90 STD</b>	4	0,75
<b>Entrada de cantos vivos</b>	1	1

Sustituyendo los valores k y la velocidad en la *Ecuación 35* se obtiene el valor de  $\Delta F_a$ :

$$\Delta F_a = \sum(0,75 \cdot 4 + 1) \cdot \frac{1,04^2}{2} = 2,1632 \text{ (J/kg)}$$

Finalmente, se obtiene  $\Delta F$  sumando  $\Delta F_r$  y  $\Delta F_a$ :

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_a = 1,1474 + 2,1632 = 3,3406 \text{ (J/kg)}$$

Una vez se tienen todos los valores del Balance se puede obtener  $\Delta z$  gracias a la *Ecuación 31*:

$$0 = (\Delta z) + \frac{1}{9,81} (0 + 0 + 3,3406)$$

Despejando:

$$\Delta z = \frac{3,3406}{9,81} = 0,341 \text{ m}$$

Por tanto, se requiere una altura de 0,241 m para garantizar que no se necesita bomba atendiéndose a las pérdidas del tramo. En este caso se tiene una altura de 8,5 m. Por lo que se confirma que no se necesita bomba.

## **ANEXO II - INSTRUMENTACIÓN**

### **2.1. Válvulas**

En la instalación se hará uso de una válvula de mariposa para controlar el flujo y que el proceso no desborde. Se colocará inmediatamente después del filtro de carbón activo y su funcionamiento es muy sencillo, utiliza una placa circular o disco montado en un eje como elemento de obstrucción. Cuando la válvula está abierta el disco de mariposa está alineado con la dirección de paso del flujo permitiendo el paso completo del flujo a través de la válvula. Por el contrario, para cerrar la válvula, el disco se gira perpendicularmente a la dirección de flujo, bloqueando la tubería e impidiendo el paso del flujo de manera efectiva.

En la *Figura A.9.* se puede ver como es una válvula de mariposa.



*Figura A. 9. Válvula de mariposa. Fuente: pamline [o]*

### **2.2. Caudalímetro**

Para conocer el caudal a la salida y poder regular en todo momento la cantidad de agua que circula, se instalará a la salida del tanque de cloración un caudalímetro. Se ha elegido un caudalímetro de turbina, apto para aguas residuales. En la *Figura A.10.* se puede ver cómo sería el caudalímetro.



*Figura A. 10. Caudalímetro. Fuente: metri measurements [p]*

### **2.3.Turbidímetro**

Al igual que con el caudalímetro, se pondrá un turbidímetro al salir del tanque de cloración para comprobar que el agua cumple con la turbidez exigida. El turbidímetro consiste en un sensor que proporciona de manera automática la medición de la turbidez y de los sólidos en suspensión. A continuación, en la *Figura A.11.* se puede ver como es el turbidímetro seleccionado.



*Figura A. 11. Turbidímetro. Fuente: HACH [q]*



## ANEXO III – ESTUDIO ECONÓMICO

### 3.1. Instalación

Los principales equipos para la mejora del sistema de desinfección y la eliminación de espumas en la EDAR de Vilafranca del Cid se encuentran detallado en el documento 7. *Presupuesto*, en el cual quedan explicados y detallados los precios de los equipos de forma unitaria y total.

#### 3.3.1. Equipos principales y conducciones

En la *Tabla A.13.* que se muestra a continuación se resumen lo costes de los equipos y las conducciones.

*Tabla A. 13. Resumen coste equipos e instrumentación*

EUIPOS Y CONDUCCIONES	PRECIO (€)
Filtro carbón activo	30.000 €
Tanque de cloración	11.434,97 €
Turbidímetro	780 €
Caudalímetro	1057,54 €
Válvula de mariposa	75,70 €
Conducciones de 110 y 160 mm	15.532,05 €
<b>COSTE TOTAL EQUIPOS Y CONDUCCIONES</b>	<b>54.880,26 €</b>

### 3.2. Operación

Los costes de operación son los que correspondientes al consumo de los equipos, en este caso, el agitador del tanque de cloración y el carbón activo que se utiliza en el filtro de carbón activo. En la *Tabla A.14.* se pueden ver los costes de operación.

*Tabla A. 14. Resumen coste operación*

Elemento	Consumo	Precio por unidad	Coste (€/año)
Agitador	6,28 kWh	0,12 €/kWh	6.601,54
Carbón activo	12.000 kg/año	2,10 €/kg	25.200
<b>Coste total (€/año)</b>			<b>31.801,54</b>

## ANEXO IV – ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

Según el Real Decreto 1627/1997 por el que se establecen las normas de seguridad y salud en construcción, en el apartado de Estudio de Seguridad y Salud se va a realizar un estudio de los equipos y medios necesarios para evitar o reducir los riesgos laborales. Para se va a utilizar el método del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). En este método se valorará:

- Consecuencias del daño:
  - o LEVE
  - o IMPORTANTE
  - o SERIO
- Probabilidad de que ocurra
  - o POCO POSIBLE (B)
  - o POSIBLE (M)
  - o CASI SEGURO (A)
- Tolerabilidad

En la *Tabla A.15.* se valoran los diferentes riesgos posibles según su probabilidad y consecuencia.

*Tabla A. 15. Valoración de riesgos según INSHT*

		Consecuencias		
		Leve	Importante	Serio
Probabilidad	Baja (B)	Riesgo trivial (T)	Riesgo tolerable (TO)	Riesgo moderado (MO)
	Media (M)	Riesgo tolerable (TO)	Riesgo moderado (MO)	Riesgo importante (I)
	Alta (A)	Riesgo moderado (MO)	Riesgo importante (I)	Riesgo intolerable (IN)

Con estos niveles se conocerá como debe actuarse en cada caso. De manera que el plan de acción es el siguiente:

- Riesgo Trivial (T): No se requiere de acción preventiva
- Riesgo Tolerable (TO): Reducir el riesgo mediante soluciones económicas
- Riesgo Moderado (MO): Se debe hacer un esfuerzo para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas y en un periodo de tiempo determinado.
- Riesgo Importante (I): No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
- Riesgo Intolerable (IN): No se puede comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo, y si no es posible reducirlo, se debe prohibir el trabajo.

Una vez explicado el método que se va a utilizar se enumeraran los diferentes riesgos que se deben considerar:

**a. Caída de personas a distinto nivel**

El tanque agitador tiene 5,5m de profundidad, por lo que en operaciones de mantenimiento puede darse una caída desde una elevada altura.

**b. Caída de personas al mismo nivel**

Puede que haya elementos en el suelo, tales como herramientas o conducciones, que puedan provocar la caída del operario. En zonas donde puede haber acumulaciones de agua o fangos puede haber riesgo de caídas.

**c. Choques y golpes contra objetos inmóviles**

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

**d. Golpes y cortes por objetos y herramientas**

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

**e. Sobreesfuerzos, posturas inadecuadas o movimiento repetitivo**

Se pueden producir un sobreesfuerzo a la hora de cargar algún bidón con reactivos o herramientas de elevado peso para el mantenimiento de la planta. También se pueden producir lesiones si se tiene una postura inadecuada.

**f. Exposición a temperaturas ambientales extremas**

Se trabaja los 365 días del año en el exterior por lo que en invierno se llega a temperatura muy frías y en verano se puede trabajar a elevadas temperaturas, ya que en todo momento se trabaja al aire libre.

**g. Contactos eléctricos**

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

**h. Contacto con sustancias cáusticas o corrosivas**

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

En la *Tabla A.16.* se van a evaluar cada uno de los riesgos que se han considerado anteriormente por el método del INSHT.

*Tabla A. 16. Evaluación riesgos del proyecto*

Riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Tolerancia
a	POSSIBLE	IMPORTANTE	MODERADO
b	POSIBLE	IMPORTANTE	MODERADO
c	POSIBLE	LEVE	TOLERABLE
d	POSIBLE	IMPORTANTE	MODERADO
e	CASI SEGURO	IMPORTANTE	IMPORTANTE
f	CASI SEGURO	IMPORTANTE	IMPORTANTE
g	POSIBLE	IMPORTANTE	MODERADO
h	POSIBLE	IMPORTANE	MODERADO

Una vez evaluados los diferentes riesgos se buscan las medidas preventivas para cada uno de ellos:

**a. Caída de personas a distinto nivel**

Las personas deberán tener la formación adecuada para realizar el mantenimiento del tanque de cloración y trabajar en altura para saber cómo actuar. Además, deberán utilizar cinturón de seguridad, arnés o sistemas similares para evitar las caídas desde cierta altura.

**b. Caída de personas al mismo nivel**

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 y deberá estar señalizada la zona de posibles caídas.

**c. Choques y golpes contra objetos inmóviles**

Se cubrirá si se requiere aquellas esquinas u objetos punzantes de los dispositivos que puedan resultar peligrosos si se choca con ellos. Además, deberán estar perfectamente señalizados

**d. Golpes y cortes por objetos y herramientas**

El material que se vaya a utilizar debe estar en perfectas condiciones de trabajo. Además, el personal que vaya a utilizarlo debe tener la formación necesario para hacerlo. No obstante, se deberá utilizar los EPIs necesarios cuando se estén manipulando herramientas peligrosas.

**e. Sobreesfuerzos, posturas inadecuadas o movimiento repetitivo**

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. Se limitarán las cargas a 20 kg.

**f. Exposición a temperaturas ambientales extremas**

En la época de invierno que el operario esté expuesto a bajas temperaturas el operario debe llevar un buen vestuario. Al igual que en verano que debe llevar ropa que retraiga los rayos ultravioletas del sol.

**g. Contactos eléctricos**

El operario responsable de manipular elementos eléctricos deberá estar formado para ello, con los cursos o formación que ello conlleve. Además, debe haber una perfecta señalización

de los paneles de riesgo eléctrico. Por último, el operario debe llevar los EPIs correspondiente.

**h. Contacto con sustancias cáusticas o corrosivas**

Se trabajará en disoluciones diluidas. No obstante, el operario debe tener la formación necesaria para el trabajo con estas sustancias, además de llevar los EPIs necesarios (bata, gafas y guantes) cuando vaya a tocar el NaClO.



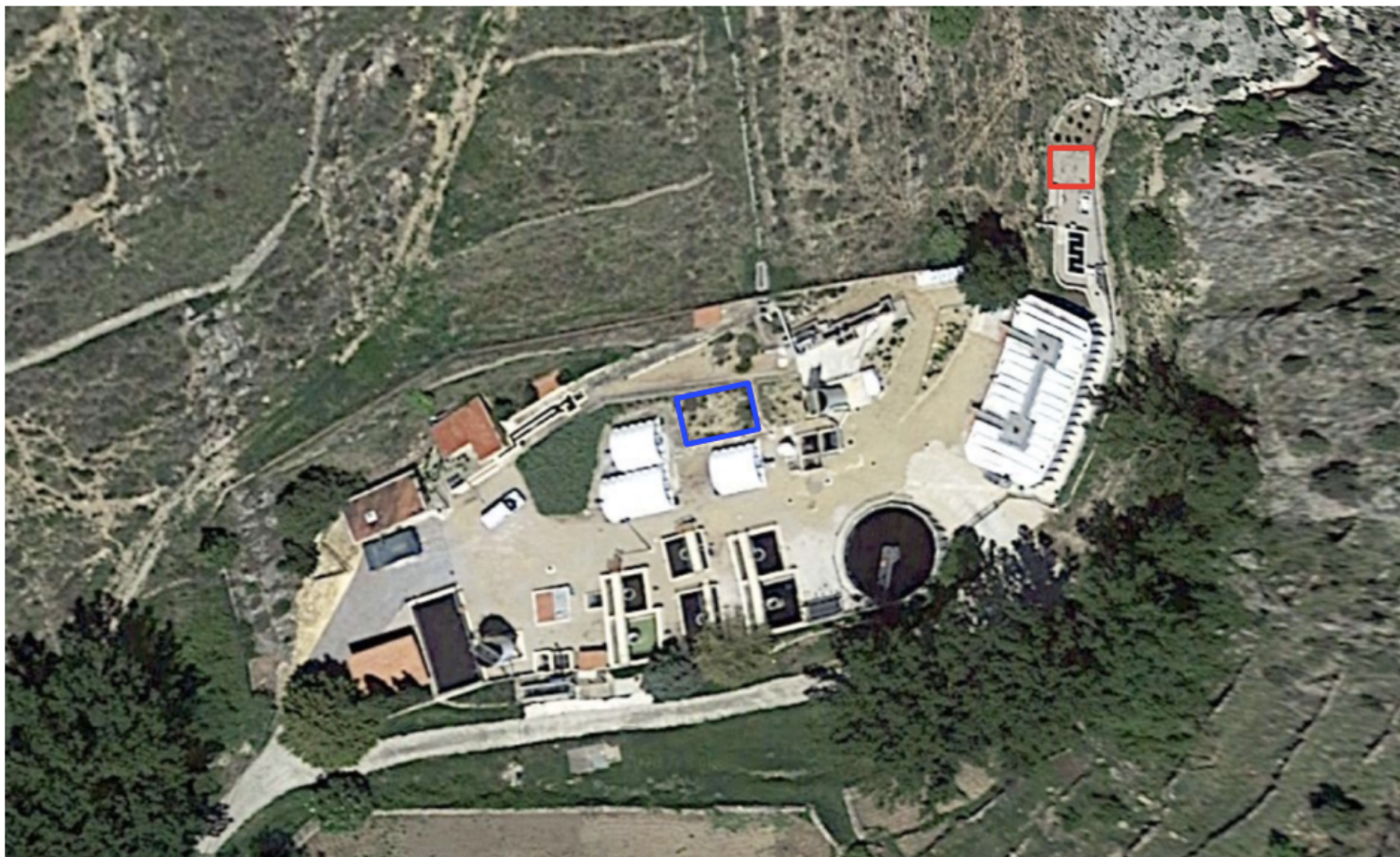
## **4. PLANOS**






## ÍNDICE

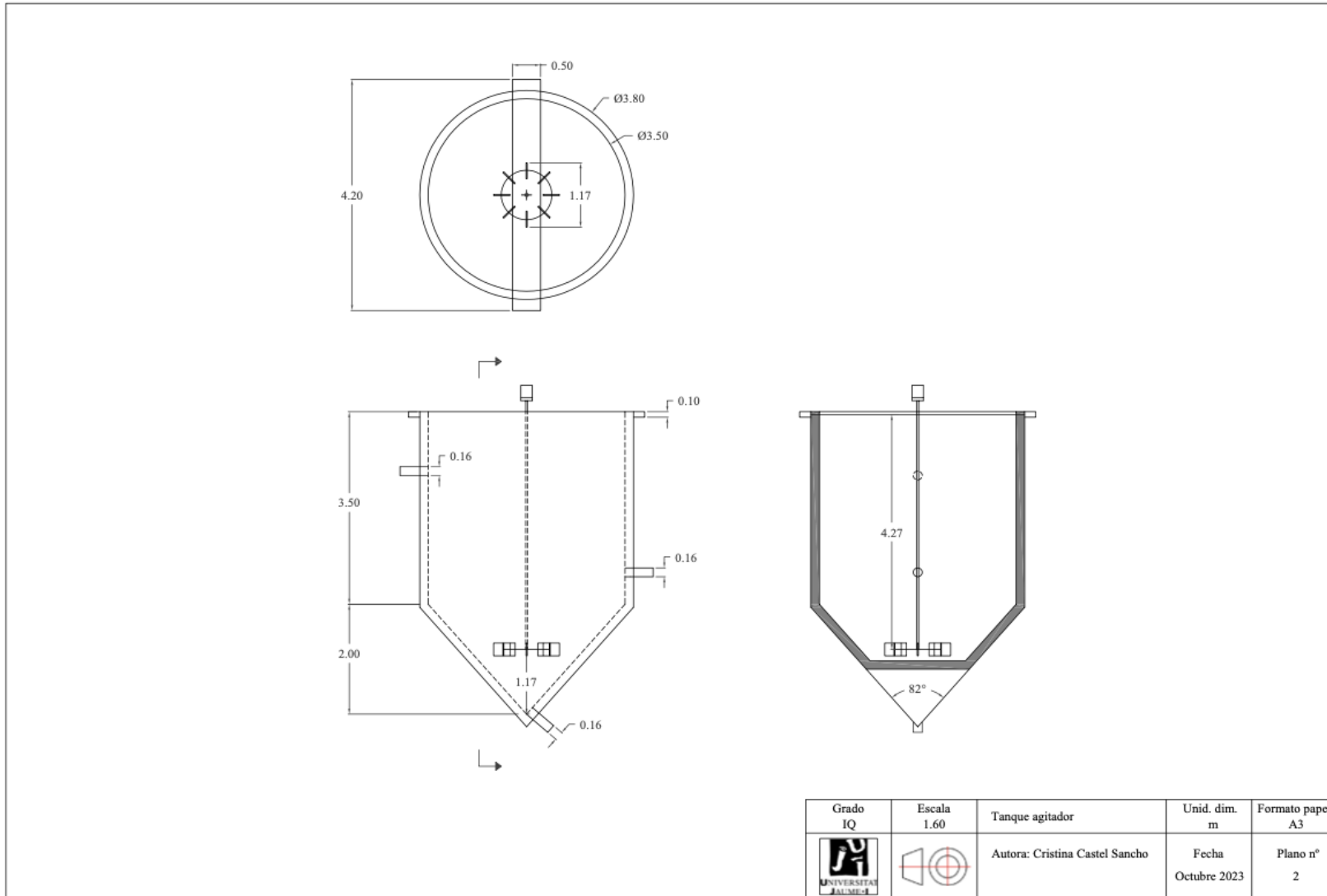
1. Plano 1: Localización EDAR y quipos
2. Plano 2: Tanque de cloración
3. Plano 3: Agitador tanque

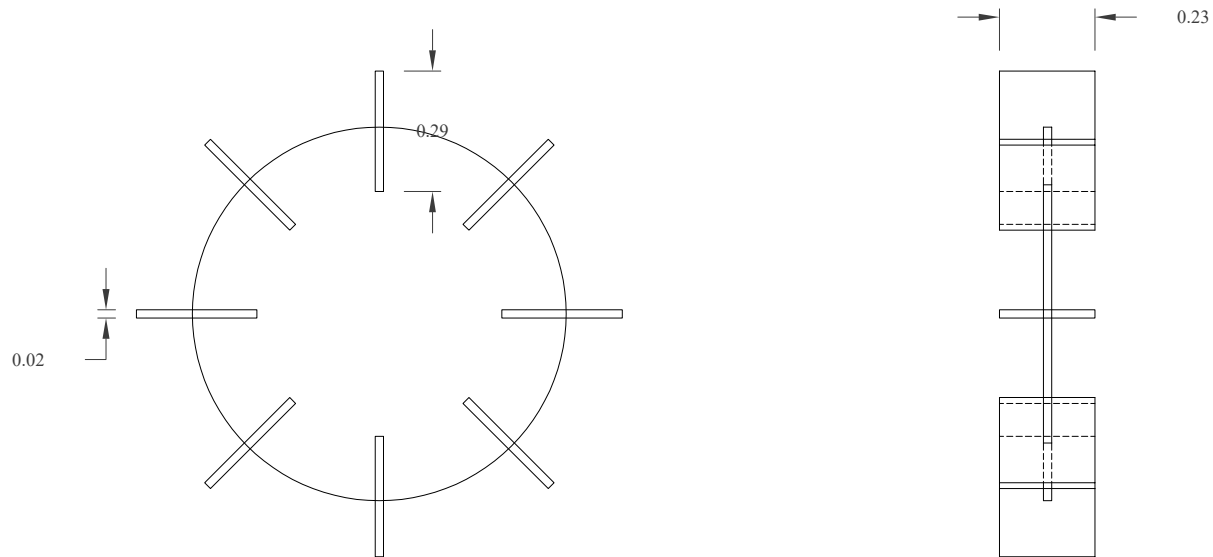


— Filtros carbón activo

— Tanque agitador

Grado IQ	Escala -	Localización EDAR y equipos	Unid. dim. -	Formato papel A3
	-	Autora: Cristina Castel Sancho	Fecha Octubre 2023	Plano nº 1





Grado IQ	Escala 1.10	Agitador tanque	Unid. dim. m	Formato papel A3
		Autora: Cristina Castel Sancho	Fecha Octubre 2023	Plano n° 3



## **5. PLIEGO DE CONDICIONES**





## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I. DISPOSICIONES GENERALES .....</b>	<b>3</b>
I.1. Objetivo del pliego de condiciones .....	3
I.2. Contrato de obra .....	3
I.3. Documentación del contrato de obra.....	3
<b>CAPÍTULO II. DISPOSICIONES FACULTATIVAS.....</b>	<b>4</b>
II.1. Delimitación de las funciones de los agentes intervinientes.....	4
II.1.1. Promotor .....	4
II.1.2. Proyectista .....	4
II.1.3. Contratista.....	5
<b>CAPÍTULO III. DISPOSICIONES ECONÓMICAS.....</b>	<b>6</b>
III.1. Contrato de obra .....	6
III.2. Criterio General .....	7
III.3. Fianzas .....	7
III.4. Precios.....	8
III.5. Valoración y abono de los trabajos .....	9
III.6. Indemnizaciones.....	11
III.7. Retenciones en concepto de garantía .....	11
III.8. Plazos de ejecución.....	12
III.9. Liquidación económica de las obras .....	12
III.10. Liquidación final de la obra .....	12
<b>CAPÍTULO IV. DISPOSICIONES LEGALES.....</b>	<b>12</b>
IV.1. Reconocimiento de marcas registradas .....	12
IV.2. Derechos de autor .....	13
<b>CAPÍTULO V. DISPOSICIONES TÉCNICAS.....</b>	<b>13</b>
V.1. Disposiciones generales.....	13

<b>V.2. Disposiciones particulares .....</b>	<b>13</b>
V.2.1. UNIDAD DE OBRA ADE002: EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO, CON MEDIOS MECÁNICOS. ....	14
V.2.2. UNIDAD DE OBRA ADR010: RELLENO DE ZANJAS PARA INSTALACIONES.....	16
V.2.3. UNIDAD DE OBRA ADR010: RELLENO DE ZANJAS PARA INSTALACIONES.....	17
V.2.4. UNIDAD DE OBRA UXC020: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN TRATADO SUPERFICIALMENTE CON ENDURECEDOR O COLORANTE, PARA EXTERIORES.....	18
V.2.5. UNIDAD DE OBRA IHV010: TUBERÍA DE POLICLORURO DE VINILO CLORADO (PVC-C).....	20
V.2.6. UNIDAD DE OBRA ENH030: HORMIGÓN PARA ARMAR. ....	21
V.2.7. UNIDAD DE OBRA YCC030: REJILLA ELECTROSOLDADA METÁLICA PARA PROTECCIÓN DE HUECO DE EXCAVACIÓN DE MUROS PANTALLA.....	22
V.2.8. UNIDAD DE OBRA YIJ010: PROTECTOR OCULAR. ....	23
V.2.9. UNIDAD DE OBRA YIM010: PAR DE GUANTES. ....	23
V.2.10. UNIDAD DE OBRA YID010: SISTEMA ANTICAÍDAS. ....	24

## **CAPÍTULO I. DISPOSICIONES GENERALES**

El presente proyecto de mejora de la instalación está realizado en base a datos reales de la planta. Por lo que, se deben realizar una serie de obras para la instalación adecuada de los equipos con sus correspondientes conducciones. Para ello, se deben adecuar los espacios de la EDAR de Vilafranca del Cid de la manera más oportuna.

### **I.1. Objetivo del pliego de condiciones**

El propósito del presente Pliego de Condiciones es establecer un marco normativo que defina los derechos, responsabilidades, obligaciones y garantías tanto del promotor como del contratista encargado de la ejecución de la mejora de la EDAR de Vilafranca del Cid. Este documento se considera un componente esencial del contrato firmado por ambas partes y proporciona una guía clara para la gestión efectiva de todas las actividades relacionadas con el proyecto. Además, su objetivo es fomentar un entorno de trabajo en el que se minimicen las controversias costosas y se agilice la toma de decisiones, contribuyendo así a la eficiencia y eficacia en la ejecución del proyecto.

### **I.2. Contrato de obra**

En el contrato de obra se establece la voluntad por parte del contratista de llevar a cabo y cumplir con la ejecución de las obras del presente proyecto. El contrato de obra debe cumplir con las características prometidas y no debe presentar defectos o problemas que afecten a su valor o utilidad requeridos. Las obras incluidas en el contrato estarán destinadas a la ejecución del proyecto de mejora de la EDAR de Vilafranca del Cid.

### **I.3. Documentación del contrato de obra**

Los documentos que describen las características de las obras pueden tener una naturaleza contractual o simplemente informativa. Por esta razón, con el propósito de evitar cualquier confusión, omisión o discrepancia, se presentan a continuación en orden de prioridad los documentos que forman parte del acuerdo de ejecución de la obra:

- a. Las condiciones estipuladas en el propio contrato de empresa o de arrendamiento de obra.
- b. El pliego de condiciones
- c. La totalidad de la documentación relacionada con el proyecto, incluyendo la memoria descriptiva, los planos, los anexos, las mediciones y el presupuesto.

En situaciones en las que surjan interpretaciones divergentes, las especificaciones contenidas en el presente documento tendrán presencia sobre las demás.

## **CAPÍTULO II. DISPOSICIONES FACULTATIVAS**

### **II.1. Delimitación de las funciones de los agentes intervinientes**

#### **II.1.1. Promotor**

Cualquier persona, ya sea física o jurídica, de carácter público o privado, que de forma individual o conjunta tome la decisión de impulsar, programar o financiar un proyecto de ingeniería con sus propios recursos ajenos, con la intención de utilizarlo posteriormente o transferirlo a terceros bajo cualquier modalidad, se considerará el promotor.

Las responsabilidades del promotor son las siguientes:

- a. Facilitar toda la documentación e información previa necesaria para la elaboración del proyecto, así como otorgar autorización al director de obra para llevar a cabo las modificaciones posteriores, si fuera necesario.
- b. Gestionar y obtener las correspondientes licencias y autorizaciones administrativas requeridas, además de participar en la firma del acta de recepción de la obra.
- c. Designar al coordinador de seguridad y salud para el proyecto y durante la ejecución de la obra.
- d. Contratar los seguros que están complementados en la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE).
- e. En caso de ser pertinente, entregar al comprador toda la documentación relacionada con la obra ya ejecutada, así como cualquier otro documento que pueda ser exigido por las autoridades competentes.

#### **II.1.2. Proyectista**

El profesional encargado de la planificación y desarrollo de un proyecto en el ámbito de la construcción, la ingeniería o la obra civil es conocido como el proyectista. Este proyectista trabaja por encargo de un promotor y tiene la responsabilidad de elaborar el plan integral de la obra, también denominado proyecto de obra, de acuerdo con las regulaciones vigentes.

El proyectista puede tener la tarea de desarrollar la totalidad del proyecto o, en algunas ocasiones, puede haber varios proyectistas que se encarguen de aspectos específicos del plan

de obra. Cada proyecto que se redacta lleva la autoría y la responsabilidad legal del proyectista que lo creó.

Las responsabilidades del proyectista son las siguientes:

- a. Debe contar con la titulación académica y profesional adecuada, que puede ser la de arquitecto, arquitecto o ingeniero técnicos, según corresponda, y cumplir con los requisitos necesarios para ejercer la profesión. En el caso de entidades jurídicas, deben designar a un técnico con la titulación profesional habilitante como responsable del proyecto.
- b. La elaboración del proyecto debe cumplir con las regulaciones vigentes y con las condiciones estipuladas en el contrato correspondiente. Además, el proyecto debe ser entregado con los visados requeridos, si así se exige por la normativa.
- c. En caso necesario y según acuerdos con el promotor, el proyectista puede considerar la contratación de colaboradores para la realización de tareas específicas relacionadas con el proyecto.

### **II.1.3. Contratista**

Se refiere al individuo o entidad, ya sea una persona física o jurídica, que, mediante un contrato con el promotor, se compromete a llevar a cabo, con recursos propios o adquiridos, total o parcialmente, la ejecución de obras, siguiendo las pautas establecidas en el proyecto y en el contrato.

Las responsabilidades del constructor comprenden:

- a. La ejecución de la obra de acuerdo con el proyecto, la legislación vigente y las instrucciones proporcionadas por el director de obra y el director de ejecución de la obra, con el objetivo de cumplir con los estándares de calidad especificados en el proyecto.
- b. La posesión de la titulación o calificación profesional necesaria para cumplir con los requisitos exigidos para actuar como constructor.
- c. La formalización de subcontratos para ciertas partes o instalaciones de la obra, dentro de los límites estipulados en el contrato.
- d. La firma de actas de replanteo o inicio, así como el acta de recepción de la obra.
- e. La supervisión y dirección de la ejecución material de acuerdo con el proyecto, las normativas técnicas y los estándares de construcción adecuados. Esto incluye la

- supervisión de todo el personal involucrado en la obra y la coordinación de las actividades de los subcontratistas.
- f. La garantía de la calidad de todos los materiales y elementos constructivos utilizados, verificando su adecuación en el sitio de obra y rechazando aquellos que no cumplan con las garantías o documentación de idoneidad requerida por las normativas aplicables.
  - g. La custodia de los registros de órdenes y seguimiento de la obra, así como los relacionados con la seguridad y salud, y el control de calidad, si corresponde, ya la comunicación de las anotaciones realizadas en estos registros.
  - h. La firma de actas de recepción provisional y definitiva con el promotor.
  - i. La contratación de seguros de accidentes laborales y de daños a terceros durante el desarrollo de la obra.
  - j. La provisión al director de obra de los datos necesarios para la preparación de la documentación correspondiente a la obra ejecutada.
  - k. La suscripción de garantías por daños materiales derivados de defectos de construcción, de acuerdo con lo estipulado en el artículo 19 de la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE).

### **CAPÍTULO III. DISPOSICIONES ECONÓMICAS**

Las disposiciones económicas establecen las pautas que rigen las interacciones financieras entre el Promotor y el Contratista, y la función de control que ejerce la Dirección de Obra.

#### **III.1. Contrato de obra**

Se recomienda encarecidamente que el contrato de obra entre el Promotor y el Contratista se formalice antes de que comiencen los trabajos, evitando en la medida de los posible, la ejecución de la obra bajo el régimen de administración. A la Dirección Facultativa, compuesta por el Director de Obra y el Director de Ejecución de la Obra, se le proporcionará una copia del contrato de obra para que puedan certificar el cumplimiento de los términos acordados.

La contratación bajo el sistema de administración se aconseja únicamente para aquellas partes de la obra que sean difíciles de cuantificar o que sean de menor relevancia, o cuando se busque un nivel de acabado excepcionalmente alto.

El contrato de obra debe contemplar las posibles interpretaciones y discrepancias que puedan surgir entre las partes, además de garantizar que la Dirección Facultativa pueda efectivamente coordinar, dirigir y supervisar la obra. Por lo tanto, es esencial que se establezcan de manera clara los siguientes puntos como mínimo:

- d. Los documentos que el Contratista debe presentar.
- e. Las condiciones para la ocupación del terreno y el inicio de la obra.
- f. La determinación de los gastos relacionados con los servicios públicos y consumos.
- g. Las responsabilidades y obligaciones del Contratista, incluyendo el cumplimiento de la legislación laboral.
- h. Las responsabilidades y obligaciones del Promotor.
- i. El presupuesto del Contratista.
- j. La posibilidad de revisar los precios (si es aplicable).
- k. Los términos de pago, incluyendo las certificaciones de avance.
- l. Las retenciones para garantía (nunca inferiores al 5%).
- m. Los plazos de ejecución, con un cronograma claro.
- n. Las penalizaciones por retrasos en la obra.
- o. Los procedimientos de aceptación provisional y definitiva de la obra.
- p. Los mecanismos para resolver posibles disputas entre las partes.

Dado que el Pliego de Condiciones Económicas complementa el contrato de obra, en caso de que no exista un contrato de obra previamente acordado, se informará la Dirección Facultativa, la cual pondrá a disposición de las partes este Pliego de Condiciones Económicas para servir como base en la elaboración del contrato de obra correspondiente.

### **III.2. Criterio General**

Cada uno de los participantes en el proceso de construcción, tal como se definen en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (LOE), tiene el derecho de recibir de manera oportuna los pagos correspondientes a su actuación de acuerdo con las condiciones acordadas en el contrato. Además, pueden requerirse mutuamente garantías adecuadas para asegurar el cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

### **III.3. Fianzas**

El Contratista deberá presentar una garantía en concordancia con el procedimiento que se establezca en el contrato de obra:

**→ Ejecución de trabajos con cargo a la fianza**

En el caso de que el Contratista se niegue a realizar los trabajos necesarios para completar la obra de acuerdo con las condiciones contratadas, el Director de Obra, actuando en representación del Promotor, podrá ordenar que dichos trabajos sean llevados a cabo por un tercero o, en su caso, puede realizarlos directamente bajo el sistema de administración. Los costos de estos trabajos serán cubiertos utilizando la garantía depositada por el Contratista, sin perjuicio de las acciones legales a las que el Promotor tenga derecho, en caso de que la fianza no sea suficiente para cubrir los gastos en las unidades de trabajo que no cumplan con los requisitos establecidos.

**→ Reembolso de las fianzas**

La fianza recibida será reembolsada al Contratista dentro del periodo estipulado en el contrato de obra, una vez que se haya firmado el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El Promotor podrá requerir que el Contratista demuestre que ha liquidado y cerrado todas sus obligaciones financieras relacionadas con la ejecución de la obra, incluyendo salarios, suministros y subcontratos.

**→ Devolución de la fianza en caso de recepciones parciales**

Si el Promotor, con la aprobación del Director de Obra, decide realizar recepciones parciales, el Contratista tendrá derecho a que se le devuelva la porción proporcional de la garantía correspondiente a esas partes de la obra que han sido aceptadas de manera parcial.

### **III.4. Precios**

El propósito principal de la elaboración del presupuesto es anticipar los costos asociados al proceso de construcción de la obra. Para lograr esto, se desglosará el presupuesto de construcción de la obra, que son elementos más pequeños que se encontraran y certifican de manera individual. A partir de estos precios unitarios, se calculará el presupuesto total.

**→ Precio básico:** costo por unidad (metro, kilogramo...) de un material entregado en el lugar de obra, lo que incluye su transporte a la obra, descarga en el sitio, así como cualquier embalaje necesario. También se aplica a la tarifa por hora de la maquinaria y mano de obra.

**→ Presupuesto de Ejecución Material (PEM):** el PEM resulta la suma de los precios unitarios de las diferentes unidades de obra que componen el proyecto. Básicamente, representa el costo total de la obra sin incluir gastos generales, beneficio industrial e impuesto sobre el valor añadido.



→ **Precios Contradictorios:** estos surgen cuando el Promotor, a través del Director de Obra, decide introducir unidades o cambios en la calidad de los elementos previamente especificados, o cuando surgen circunstancias imprevistas que requieren ajustes. En tales casos, el Contratista está obligado a llevar a cabo los cambios indicados. Si no se llega a un acuerdo, se determina el precio contradictorio entre el Director de Obra y el Contratista antes de comenzar los trabajos o en el plazo estipulado en el contrato de obra.

→ **Reclamación de Aumento de Precios:** si el Contratista no presenta una reclamación oportuna antes de la firma del contrato de obra, no tendrá derecho a solicitar un aumento en los precios establecidos en el presupuesto base para la ejecución de las obras debido a errores u omisiones.

→ Formas tradicionales de medición o aplicación de precios: el Contratista no podrá invocar prácticas locales o costumbres en relación con la aplicación de los precios o la forma de medir las unidades de trabajo realizadas. Las pautas para la medición y aplicación de precios se basarán en los estipulado en el Presupuesto y en los criterios de medición definidos en el Pliego.

→ **Revisión de los precios contratados:** nuevamente, se subraya que el Contratista no puede alegar prácticas locales o costumbres en cuanto a los precios o a la medición de unidades de obra ejecutadas. Se seguirá los establecido en el Presupuesto y en los criterios de medición en obra definidos en el Pliego

→ **Acopio de materiales:** el Contratista tiene la obligación de llevar a cabo el almacenamiento de materiales o equipos de construcción que el Promotor ordene por escrito. Estos materiales almacenados, una vez que el propietario los haya pagado, serán propiedad exclusiva de este último, y el Contratista será responsable de su custodia y conservación.

### **III.5. Valoración y abono de los trabajos**

#### **→ Modalidad y términos de pago de las obras**

Los pagos relacionados con la ejecución de las obras se llevarán a cabo mediante certificaciones de obra, y los términos precisos se establecerán en el contrato de obra entre las partes involucradas, es decir, el Promotor y el Contratista, siendo este contrato la referencia válida.

Los pagos serán realizados por el Propietario dentro de los plazos previamente definidos en el contrato de obra, y el importe correspondiente será determinado de acuerdo con las

certificaciones de obra emitidas por el Director de Ejecución de la Obra, quien verifica la cantidad de trabajo ejecutado. El Contratista tiene la opción de estar presente durante las mediciones.

Para aquellas obras o partes de la obra que, debido a su tamaño y características, deban quedar ocultas de manera permanente, el Contratista está obligado a notificar al Director de Ejecución de Obra con suficiente antelación. Esto permitirá que el director realice las mediciones correspondientes, tome datos y prepare planos que definan estas partes ocultas. El Contratista debe aceptar las decisiones del Promotor en ausencia de notificación anticipada, siendo responsabilidad del Contratista demostrar la existencia de dicha notificación.

### **→ Relaciones valoradas y certificadas**

En los plazos establecidos en el contrato de obra entre el Promotor y el Contratista, éste último elaborará una relación valorada que describirá las obras realizadas hasta la fecha, basada en las mediciones efectuadas por el Director de Ejecución de la Obra.

Las certificaciones de obra resultarán de la aplicación de los precios unitarios acordados a la cantidad real de trabajo ejecutado. Sin embargo, los excesos de trabajo realizado en unidades que sean atribuibles al Contratista, como en el caso de excavaciones y hormigonado, no serán sujetos de certificación.

Los pagos se realizarán por parte del Promotor según los plazos previamente convenidos, y el importe corresponderá al de las certificaciones de obra, las cuales serán emitidas por la Dirección Facultativa. Estas certificaciones se considerarán como documentos y entregas a cuenta, estando sujetas a ajustes y modificaciones que puedan surgir durante la Liquidación Final. Además, es importante destacar que estas certificaciones parciales no implican la aceptación, aprobación ni recepción de las obras incluidas en ellas.

Las relaciones valoradas solo incluirán la obra ejecutada dentro del periodo al que se refiere la valoración. En caso de que la Dirección Facultativa lo requiera, las certificaciones se extenderán de la fuente original.

### **→ Mejoras en obras ejecutadas de manera voluntaria**

En caso de que el Contratista, incluso con la autorización del Director de Obra, decida utilizar materiales de mayor calidad o dimensiones diferentes a las especificadas en el proyecto, o sustituir un tipo de construcción por otro con un costo superior, o llevar a cabo

partes de la obra con dimensiones mayores, o, en general, introducir cualquier modificación que, a criterio de la Dirección Facultativa, sea beneficiosa, el Contratista no tendrá derecho a una compensación adicional más allá de lo que hubiera recibido si hubiera seguido las especificaciones del proyecto original y el contrato acordado.

### **III.6. Indemnizaciones**

La compensación por demora en la finalización de la obra, cuando esta demora sea atribuible al Contratista, se determinará como un porcentaje del valor total del trabajo acordado como una suma fija. Este detalle se especificará en el contrato celebrado entre el Contratista y el Promotor. Esta compensación se aplicará por cada día natural de retraso a partir de la fecha de finalización estipulada en el cronograma de la obra. Las cantidades resultantes se descontarán y retendrán utilizando los fondos de la fianza o la retención correspondiente.

### **III.7. Retenciones en concepto de garantía**

De la totalidad de los importes consignados en las certificaciones de obra, se aplicará un porcentaje de retención destinado a servir como garantía. Este valor no deberá ser inferior al 5% y tendrá como finalidad resguardar cualquier posible defecto en la ejecución de los trabajos, así como los daños que pudieran ocasionar al Promotor.

Esta retención con carácter garantizador permanecerá bajo custodia del Promotor durante el periodo designado como período de garantía. Dicha retención podrá ser mantenida en forma de efectivo o respaldada mediante un aval bancario que garantice el importe total retenido.

En el caso de que el Contratista se negara a llevar a cabo, por cuenta propia, las labores necesarias para concluir la obra según lo establecido en el contrato, el Director de Obra, en representación del Promotor, procederá a ejecutarlas a través de un tercero o las realizará directamente por administración, costeadando dichos trabajos con los fondos de la fianza retenida. Esto se llevará a cabo sin menoscabo de las acciones legales que el Promotor pueda emprender si el monto de la fianza resultara insuficiente para cubrir los gastos en las unidades de obra que no se acepten.

Una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, la fianza retenida con fines garantizadores será devuelta al Contratista según lo acordado en el contrato. EL Promotor podrá requerir al Contratista la documentación que avale la liquidación y finiquito de todas sus obligaciones financieras relacionadas con la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros o subcontrataciones.

### **III.8. Plazos de ejecución**

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.

### **III.9. Liquidación económica de las obras**

Simultáneamente al libramiento de la última certificación, se procederá al otorgamiento del Acta de Liquidación Económica de las obras, que deberán firmar el Promotor y el Contratista. En este acto se dará por terminada la obra y se entregarán, en su caso, las llaves, los correspondientes boletines debidamente cumplimentados de acuerdo con la Normativa Vigente, así como los proyectos Técnicos y permisos de las instalaciones contratadas.

Dicha Acta de Liquidación Económica servirá de Acta de Recepción Provisional de las obras, para lo cual será conformada por el Promotor, el Contratista, el Director de Obra y el Director de Ejecución de la Obra, quedando desde dicho momento la conservación y custodia de las mismas a cargo del Promotor.

La citada recepción de las obras, provisional y definitiva, queda regulada según se describe en las Disposiciones Generales del presente Pliego.

### **III.10. 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, esta solo mediará, en caso de desavenencia o desacuerdo, en el recurso ante los Tribunales.

## **CAPÍTULO IV. DISPOSICIONES LEGALES**

### **IV.1. Reconocimiento de marcas registradas**

El autor de este proyecto, junto con el Promotor, expresan su reconocimiento hacia las marcas registradas que hayan sido mencionadas durante el proceso de desarrollo y ejecución, así como a los derechos de autor que amparan la bibliografía consultada y debidamente citada en el proyecto.

## **IV.2. Derechos de autor**

Los derechos de autor se rigen de acuerdo con lo establecido en la legislación y regulaciones vigentes en el momento de iniciar el proyecto, a menos que existan modificaciones legales derivadas de recursos legales interpuestos contra dichas leyes y regulaciones.

## **CAPÍTULO V. DISPOSICIONES TÉCNICAS**

### **V.1. Disposiciones generales**

Los productos, equipos y sistemas suministrados deberán cumplir con las especificaciones detalladas en los diversos documentos que forman parte del proyecto. Además, sus características de calidad deberán estar en concordancia con las normativas aplicables, que complementan este apartado del pliego. Se dará preferencia a aquellos materiales que cuenten con un documento de idoneidad técnica, emitido por organismos técnicos reconocidos, que respalde sus cualidades.

El Contratista asume la responsabilidad de garantizar que los materiales utilizados cumplan con los requisitos establecidos, independientemente del nivel de control de calidad que se establezca para su aceptación. El Contratista deberá notificar al director de ejecución de la obra con suficiente antelación la procedencia de los materiales que planea emplear, proporcionando, cuando lo solicite el director de ejecución de obra, muestras y datos necesarios para evaluar la idoneidad.

Estos materiales serán evaluados y aprobados por Director de Ejecución de la obra antes de su uso en la construcción. Sin su aprobación, no se permitirá su almacenamiento en el lugar de la obra ni se procederá a su instalación. Además, cualquier material que presente defectos no detectados durante la primera revisión y que perjudique la calidad final de la obra deberá ser retirado del sitio de la construcción. Todos los costos asociados a esta acción serán responsabilidad del Contratista.

En el caso de materiales y equipos con garantía del fabricante, se mantendrá la garantía proporcionada por el fabricante.

### **V.2. Disposiciones particulares**

El objeto del presente documento es reflejar los conocimientos técnicos para realizar la instalación y puesta en marcha de un sistema que permite reducir las espumas en el efluente de la EDAR de Vilafranca del Cid y conseguir una perfecta desinfección del agua.

## **V.2.1. UNIDAD DE OBRA ADE002: EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO, CON MEDIOS MECÁNICOS.**

### **- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Excavación a cielo abierto, en suelo de arcilla semidura, con medios mecánicos, y carga a camión.

### **- NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ejecución:

- CTE. DB-SE-C Seguridad estructural: Cimientos.
- NTE-ADV. Acondicionamiento del terreno. Desmontes: Vaciados.

### **- CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto.

### **- CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

#### **1. DEL SOPORTE**

Se comprobará la posible existencia de servidumbres, elementos enterrados, redes de servicio o cualquier tipo de instalaciones que puedan resultar afectadas por las obras a iniciar. Se dispondrá de la información topográfica y geotécnica necesaria, recogida en el correspondiente estudio geotécnico del terreno realizado por un laboratorio acreditado en el área técnica correspondiente, y que incluirá, entre otros datos: plano altimétrico de la zona, cota del nivel freático y tipo de terreno que se va a excavar a efecto de su trabajabilidad. Se dispondrán puntos fijos de referencia en lugares que puedan verse afectados por el vaciado, a los cuales se referirán todas las lecturas de cotas de nivel y desplazamientos horizontales y verticales de los puntos del terreno. Se comprobará el estado de conservación de los edificios medianeros y de las construcciones próximas que puedan verse afectadas por el vaciado.

#### **2. DEL CONTRATISTA.**

Si existieran instalaciones en servicio que pudieran verse afectadas por los trabajos a realizar, solicitará de las correspondientes compañías suministradoras su situación y, en su caso, la solución a adoptar, así como las distancias de seguridad a tendidos aéreos de conducción de

energía eléctrica. Notificará al director de la ejecución de la obra, con la antelación suficiente, el comienzo de las excavaciones.

- **PROCESO DE EJECUCIÓN**

1. FASES DE EJECUCIÓN.

Replanteo general y fijación de los puntos y niveles de referencia. Colocación de las camillas en las esquinas y extremos de las alineaciones. Excavación en sucesivas franjas horizontales y extracción de tierras. Refinado de fondos y laterales a mano, con extracción de las tierras. Carga a camión de los materiales excavados.

2. CONDICIONES DE TERMINACIÓN

La excavación quedará limpia y a los niveles previstos, cumpliéndose las exigencias de estabilidad de los cortes de tierras, taludes y edificaciones próximas.

3. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Las excavaciones quedarán protegidas frente a filtraciones y acciones de erosión o desmoronamiento por parte de las aguas de escorrentía. Se tomarán las medidas oportunas para asegurar que las características geométricas permanecen inamovibles.

- **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el volumen teórico ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados, ni el relleno necesario para reconstruir la sección teórica por defectos imputables al Contratista. Se medirá la excavación una vez realizada y antes de que sobre ella se efectúe ningún tipo de relleno. Si el Contratista cerrase la excavación antes de conformada la medición, se entenderá que se aviene a lo que unilateralmente determine el director de la ejecución de la obra.

- **CRITERIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA**

El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.

## **V.2.2. UNIDAD DE OBRA ADR010: RELLENO DE ZANJAS PARA INSTALACIONES**

### **- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Relleno envolvente y principal de zanjas para instalaciones, con arena de 0 a 5 mm de diámetro y compactación en tongadas sucesivas de 20 cm de espesor máximo con bandeja vibrante de guiado manual, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. Incluso cinta o distintivo indicador de la instalación.

### **- NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ejecución:

- CTE. DB-SE-C Seguridad estructural: Cimientos.
- CTE. DB-HS Salubridad.
- NTE-ADZ. Acondicionamiento del terreno. Desmontes: Zanjas y pozos.

### **- CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto.

### **- CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

- AMBIENTALES.

Se comprobará que la temperatura ambiente no sea inferior a 2°C a la sombra.

### **- PROCESO DE EJECUCIÓN**

#### **a. FASES DE EJECUCIÓN.**

Extendido del material de relleno en tongadas de espesor uniforme. Humectación o desecación de cada tongada. Colocación de cinta o distintivo indicador de la instalación. Compactación.

#### **b. CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

Las tierras o áridos de relleno habrán alcanzado el grado de compactación adecuado.

#### **c. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.**



Las tierras o áridos utilizados como material de relleno quedarán protegidos de la posible contaminación por materiales extraños o por agua de lluvia, así como del paso de vehículos.

**- CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá, en perfil compactado, el volumen realmente ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.

**- CRITERIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA**

El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado.

**V.2.3. UNIDAD DE OBRA ADR010: RELLENO DE ZANJAS PARA INSTALACIONES.**

**- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Relleno envolvente y principal de zanjas para instalaciones, con zahorra natural caliza y compactación en tongadas sucesivas de 20 cm de espesor máximo con bandeja vibrante de guiado manual, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. Incluso cinta o distintivo indicador de la instalación.

**- NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ejecución:

- CTE. DB-SE-C Seguridad estructural: Cimientos.
- CTE. DB-HS Salubridad.
- NTE-ADZ. Acondicionamiento del terreno. Desmontes: Zanjas y pozos.

**- CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto.

**- CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

**1. AMBIENTALES.**

Se comprobará que la temperatura ambiente no sea inferior a 2°C a la sombra.

- **PROCESO DE EJECUCIÓN**

a. **FASES DE EJECUCIÓN.**

Extendido del material de relleno en tongadas de espesor uniforme. Humectación o desecación de cada tongada. Colocación de cinta o distintivo indicador de la instalación. Compactación.

b. **CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

Las tierras o áridos de relleno habrán alcanzado el grado de compactación adecuado.

c. **CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

Las tierras o áridos utilizados como material de relleno quedarán protegidos de la posible contaminación por materiales extraños o por agua de lluvia, así como del paso de vehículos.

d. **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá, en perfil compactado, el volumen realmente ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.

e. **CRITERIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA**

El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado.

**V.2.4. UNIDAD DE OBRA UXC020: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN TRATADO SUPERFICIALMENTE CON ENDURECEDOR O COLORANTE, PARA EXTERIORES**

- **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Pavimento continuo exterior de hormigón con adición de fibras, con juntas, de 10 cm de espesor, realizado con hormigón HM-20/B/20/X0 fabricado en central y vertido desde camión con un contenido de fibras sin función estructural, fibras de vidrio resistentes a los álcalis (AR) de 2 kg/m<sup>3</sup>, extendido y vibrado manual mediante regla vibrante; tratado superficialmente con capa de rodadura de mortero decorativo de rodadura para pavimento de hormigón, color blanco, compuesto de cemento, áridos de sílice, aditivos orgánicos y pigmentos, con un rendimiento aproximado de 3 kg/m<sup>2</sup>, espolvoreado manualmente sobre el hormigón aún fresco y posterior fratasado mecánico de toda la superficie hasta conseguir que el mortero quede totalmente integrado en el hormigón.

- **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Elaboración, transporte y puesta en obra del hormigón: Código Estructural.

Ejecución: NTE-RSC. Revestimientos de suelos: Continuos.

- **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Superficie medida en proyección horizontal, según documentación gráfica de Proyecto.

- **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

**a. DEL SOPORTE.**

Se comprobará que la superficie soporte reúne las condiciones de calidad y forma previstas.

**b. AMBIENTALES.**

Se suspenderán los trabajos de hormigonado cuando llueva con intensidad, nieve, exista viento excesivo, una temperatura ambiente superior a 40°C o se prevea que dentro de las 48 horas siguientes pueda descender la temperatura ambiente por debajo de los 0°C.

**c. DEL CONTRATISTA.**

Dispondrá en obra de una serie de medios, en previsión de que se produzcan cambios bruscos de las condiciones ambientales durante el hormigonado o posterior periodo de fraguado, no pudiendo comenzarse el hormigonado de los diferentes elementos sin la autorización por escrito del director de la ejecución de la obra. Garantizará que este tipo de trabajos sea realizado por personal cualificado y bajo el control de empresas especializadas.

- **PROCESO DE EJECUCIÓN**

**a. FASES DE EJECUCIÓN.**

Preparación y limpieza de la superficie soporte. Replanteo de las juntas de construcción, de dilatación y de retracción. Colocación de encofrados. Tendido de niveles mediante toques, maestras de hormigón o reglas. Riego de la superficie base. Conexionado, anclaje y emboquillado de las redes de instalaciones proyectadas. Mezclado en camión hormigonera. Vertido, extendido y vibrado del hormigón. Curado del hormigón. Aplicación manual del mortero, asegurándose de la total cubrición del hormigón fresco. Retirada de encofrados. Fratasado mecánico de la superficie.

**b. CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

La superficie del pavimento presentará una textura uniforme y no tendrá segregaciones.

**c. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

Quedará prohibido todo tipo de circulación sobre el pavimento durante las 72 horas siguientes al hormigonado, excepto la necesaria para realizar los trabajos de ejecución de juntas y control de obra.

**d. CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá, en proyección horizontal, la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.

**e. CRITERIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA**

El precio no incluye la base de la solera ni la ejecución y el sellado de las juntas.

**V.2.5. UNIDAD DE OBRA IHV010: TUBERÍA DE POLICLORURO DE VINILO CLORADO (PVC-C).**

**- MEDIDAS PARA ASEGURAR LA COMPATIBILIDAD ENTRE LOS DIFERENTES PRODUCTOS, ELEMENTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE COMPONEN LA UNIDAD DE OBRA.**

Se evitará utilizar materiales diferentes en una misma instalación.

**- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Tubería formada por tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC-C), de 110 mm de diámetro exterior, PN=16 bar y 8,1 mm de espesor. Instalación en superficie. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales.

**- CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.

**- CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

**a. DEL SOPORTE.**

Se comprobará que su situación y recorrido se corresponden con los de Proyecto, y que hay espacio suficiente para su instalación.

**b. EL CONTRATISTA.**

Las instalaciones se ejecutarán por empresas instaladoras autorizadas para el ejercicio de la actividad.

**- PROCESO DE EJECUCIÓN**

**a. FASES DE EJECUCIÓN.**

Replanteo. Colocación y fijación de tubos, accesorios y piezas especiales. Realización de pruebas de servicio.

**b. CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

La instalación tendrá resistencia mecánica. El conjunto será estanco.

**c. PRUEBAS DE SERVICIO.**

Prueba de resistencia mecánica y estanqueidad.

Normativa de aplicación:

CTE. DB-HS Salubridad.

UNE-ENV 12108. Sistemas de canalización en materiales plásticos. Práctica recomendada para la instalación en el interior de la estructura de los edificios de sistemas de canalización a presión de agua caliente y fría destinada al consumo humano.

**d. CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.

**V.2.6. UNIDAD DE OBRA ENH030: HORMIGÓN PARA ARMAR.**

**- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Hormigón HA-30/F/20/XC2 fabricado en central, y vertido con cubilote, para formación de forjado unidireccional con nervios "in situ".

**- NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Elaboración, transporte y puesta en obra del hormigón: Código Estructural.

Ejecución: NTE-EHU. Estructuras de hormigón armado: Forjados unidireccionales.

**- CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Volumen teórico, según documentación gráfica de Proyecto.

- **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

**a. AMBIENTALES.**

Se suspenderán los trabajos de hormigonado cuando llueva con intensidad, nieve, exista viento excesivo, una temperatura ambiente superior a 40°C o se prevea que dentro de las 48 horas siguientes pueda descender la temperatura ambiente por debajo de los 0°C.

**b. DEL CONTRATISTA.**

Dispondrá en obra de una serie de medios, en previsión de que se produzcan cambios bruscos de las condiciones ambientales durante el hormigonado o posterior periodo de fraguado, no pudiendo comenzarse el hormigonado de los diferentes elementos sin la autorización por escrito del director de la ejecución de la obra.

- **PROCESO DE EJECUCIÓN**

**a. FASES DE EJECUCIÓN.**

Vertido y compactación del hormigón. Curado del hormigón.

**b. CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

El conjunto será monolítico y transmitirá correctamente las cargas. La superficie quedará uniforme y sin irregularidades.

**c. CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el volumen teórico ejecutado según especificaciones de Proyecto.

**V.2.7. UNIDAD DE OBRA YCC030: REJILLA ELECTROSOLDADA METÁLICA PARA PROTECCIÓN DE HUECO DE EXCAVACIÓN DE MUROS PANTALLA.**

- **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Protección de hueco de excavación de muro pantalla, mediante placas de rejilla electrosoldada con pletina de acero galvanizado de 30x2 mm en cuadrícula de 30x30 mm, con bastidor electrosoldado, colocadas una junto a otra hasta cubrir la totalidad del hueco, amortizables en 150 usos.

- **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Superficie medida según Estudio o Estudio Básico de Seguridad y Salud.

- **FASES DE EJECUCIÓN.**

Colocación del entramado sobre el hueco. Retirada del elemento. Transporte hasta el lugar de almacenaje o retirada a contenedor.

- **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá la superficie realmente montada según especificaciones de Estudio o Estudio Básico de Seguridad y Salud.

**V.2.8. UNIDAD DE OBRA YIJ010: PROTECTOR OCULAR.**

- **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Gafas de protección con montura universal, de uso básico, con dos oculares integrados en una montura de gafa convencional con protección lateral, amortizable en 5 usos.

- **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Utilización: Real Decreto 773/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

- **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Número de unidades previstas, según Estudio o Estudio Básico de Seguridad y Salud.

- **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el número de unidades realmente suministradas según especificaciones de Estudio o Estudio Básico de Seguridad y Salud.

**V.2.9. UNIDAD DE OBRA YIM010: PAR DE GUANTES.**

- **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Par de guantes contra productos químicos, de algodón y PVC superplastificado, resistente ante ácidos y bases, amortizable en 4 usos.

- **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Utilización: Real Decreto 773/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

- **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Número de unidades previstas, según Estudio o Estudio Básico de Seguridad y Salud.

- **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el número de unidades realmente suministradas según especificaciones de Estudio o Estudio Básico de Seguridad y Salud.

#### **V.2.10. UNIDAD DE OBRA YID010: SISTEMA ANTICAÍDAS.**

##### **- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Sistema anticaídas compuesto por un conector básico (clase B) que permite ensamblar el sistema con un dispositivo de anclaje, amortizable en 4 usos; un dispositivo anticaídas deslizante sobre línea de anclaje flexible con función de bloqueo automático y un sistema de guía, amortizable en 4 usos; una cuerda de fibra de longitud fija como elemento de amarre, amortizable en 4 usos; un absorbedor de energía encargado de disipar la energía cinética desarrollada durante una caída desde una altura determinada, amortizable en 4 usos y un arnés anticaídas con un punto de amarre constituido por bandas, elementos de ajuste y hebillas, dispuestos y ajustados de forma adecuada sobre el cuerpo de una persona para sujetarla durante una caída y después de la parada de ésta, amortizable en 4 usos.

##### **- NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Utilización: Real Decreto 773/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

##### **- CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Número de unidades previstas, según Estudio o Estudio Básico de Seguridad y Salud.

##### **- CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el número de unidades realmente suministradas según especificaciones de Estudio o Estudio Básico de Seguridad y Salud.

##### **- CRITERIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA**

El precio no incluye el dispositivo de anclaje para ensamblar el sistema anticaída.





## **6. ESTADO DE MEDICIONES**



## **ÍNDICE**

<b>1. ESTADO DE MEDICIONES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Partida 1: Equipos e instrumentación .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Partida 2: Obra civil.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3. Partida 3: Conducciones.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4. Partida 4: Tanque de cloración .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5. Partida 5: Filtro de carbón activo.....</b>	<b>3</b>
<b>1.6. Partida 6: Seguridad y salud .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Índice de tablas .....</b>	<b>5</b>

## 1. ESTADO DE MEDICIONES

El Estado de Mediciones es uno de los elementos esenciales en la planificación de un proyecto. Su propósito principal radica en la definición y descripción exhaustiva de las unidades que componen cada partida o componente del presupuesto del proyecto.

Este documento engloba la cantidad de unidades necesarias y establece las características, modelos y dimensiones específicas para cada elemento del proyecto. Por lo tanto, el Estado de Mediciones se convierte en la base a partir de la cual se elaborará el presupuesto del proyecto. En esencia, se considera que una unidad de obra representa una de las partes diferenciadas en las que se puede desglosar y medir un proyecto.

El presente proyecto está compuesto las siguientes partidas:

- 1) Equipos e instrumentación
- 2) Obra civil
- 3) Conducciones
- 4) Tanque de cloración
- 5) Filtro de carbón activo
- 6) Seguridad y Salud
- 7) Mano de obra

### 1.1.Partida 1: Equipos e instrumentación

En la *Tabla E.1.* que se expone a continuación se muestra el estado de mediciones de los equipos e instrumentos necesarios para el diseño de desinfección y eliminación de espumas de la EDAR.

*Tabla E. 1. Partida 1: equipos e instrumentación*

ELEMENTO	UNIDAD	CANTIDAD
Turbidímetro	Ud.	1
Caudalímetro	Ud.	1
Válvula de mariposa	Ud.	1

### 1.2.Partida 2: Obra civil

En cuanto a los elementos de obra civil quedan reflejados en las *Tablas E.2, E.3. y E.4.*

TANQUE CLORADOR:

Tabla E. 2. Partida 2: obra civil tanque de cloración

PROCESO	UNIDAD	CANTIDAD
Excavación tierra	m <sup>3</sup>	379,91
Base de 15 cm con arena	m <sup>3</sup>	10,84
Relleno con zahorra	m <sup>3</sup>	181,55
Cubrición con hormigón, 10 cm	m <sup>3</sup>	3,36

TUBERÍA PVC-O DN110:

Tabla E. 3. Partida 2: obra civil tubería 110 mm

PROCESO	UNIDAD	CANTIDAD
Excavación tierra	m <sup>3</sup>	1,03
Base de 15 cm con arena	m <sup>3</sup>	0,43
Relleno con zahorra	m <sup>3</sup>	0,31
Cubrición con hormigón, 10 cm	m <sup>3</sup>	0,29

TUBERÍA PVC-O DN160:

Tabla E. 4. Partida 2: obra civil tubería 160 mm

PROCESO	UNIDAD	CANTIDAD
Excavación tierra	m <sup>3</sup>	2,56
Base de 15 cm con arena	m <sup>3</sup>	0,94
Relleno con zahorra	m <sup>3</sup>	0,99
Cubrición con hormigón, 10 cm	m <sup>3</sup>	0,62

### 1.3. Partida 3: Conducciones

A continuación, en la siguiente *Tabla E.5.* se muestran las especificaciones de las diferentes conducciones:

Tabla E. 5. Partida 3: conducciones

Elemento	Características
<b>Tramo 1</b>	Diámetro: 110 mm Longitud de 13 m Material: PVC
<b>Tramo 2</b>	Diámetro 160 mm Longitud de 19,5 m Material: PVC

Las conducciones presentan un total de 9 codos de 90° STD, una entrada de cantos vivos y una salida de cantos vivos.

#### 1.4. Partida 4: Tanque de cloración

En cuanto a los elementos que van junto al tanque de cloración, en la *Tabla E.6.* se pueden observar.

Tabla E. 6. Partida 4: tanque de cloración

Elemento	Características	Unidad	Cantidad
<b>Hormigón tanque encofrado</b>	Espesor de 30 cm	m <sup>3</sup>	10,21
<b>Agitador de turbina</b>	Potencia = 6,28 kW	Ud	1
<b>Pasarela seguridad</b>	De acero con barandilla	m <sup>2</sup>	8,6

#### 1.5. Partida 5: Filtro de carbón activo

En la *Tabla E.7.* se puede ver la partida 5 correspondiente al filtro de carbón activo. Se comprará un filtro de carbón activo de acuerdo con las necesidades que el proyecto presenta, para eliminar las espumas. En funcionamiento del filtro de carbono activo queda detallado en el documento 2. *Memoria* en el apartado 8.1. *Eliminación de espumas.*

*Tabla E. 7. Partida 5: filtro de carbón activo*

<b>Elemento</b>	<b>Características</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Filtro de carbón activo</b>	Carbón activo granular	Ud	1

### **1.6. Partida 6: Seguridad y salud**

En la *Tabla E.8.* se puede ver la partida 6, correspondiente al apartado de seguridad y salud.

*Tabla E. 8. Partida 6: seguridad y salud*

<b>Elemento</b>	<b>Características</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Guantes</b>	Contra productos químicos, resistente entre ácidos y bases.	Ud	10
<b>Gafas</b>	Dos oculares integrados en una montura con protección lateral.	Ud	10
<b>Sistemas anticaídas</b>	Arnés con dispositivo de anclaje	Ud	1



## **2. Índice de tablas**

Tabla E. 1. Partida 1: equipos e instrumentación .....	1
Tabla E. 2. Partida 2: obra civil tanque de cloración.....	2
Tabla E. 3. Partida 2: obra civil tubería 110 mm.....	2
Tabla E. 4. Partida 2: obra civil tubería 160 mm.....	2
Tabla E. 5. Partida 3: conducciones .....	3
Tabla E. 6. Partida 4: tanque de cloración.....	3
Tabla E. 7. Partida 5: filtro de carbón activo.....	4
Tabla E. 8. Partida 6: seguridad y salud .....	4



## **7. PRESUPUESTO**



## ÍNDICE

<b>1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM).....</b>	<b>2</b>
1.1. Equipos e instrumentación.....	2
1.2. Obra civil.....	2
1.3. Conducciones.....	4
1.4. Tanque cloración.....	4
1.5. Filtro carbón activo .....	5
1.6. Seguridad y salud .....	5
1.7. Mano de obra .....	6
1.8. PEM total .....	6
<b>2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) .....</b>	<b>7</b>
<b>3. PRESUPUESTO TOTAL .....</b>	<b>8</b>
<b>4. ÍNDICE TABLAS .....</b>	<b>9</b>

## 1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)

A continuación, se desarrollarán las diferentes partidas presupuestarias para el proyecto.

Estas son:

- 1) Equipos e instrumentación
- 2) Obra civil
- 3) Conducciones
- 4) Tanque de cloración
- 5) Filtro de carbón activo
- 6) Seguridad y Salud
- 7) Mano de obra

### 1.1. Equipos e instrumentación

En la *Tabla P.1* se muestra el presupuesto para los equipos y la instrumentación utilizada en el proyecto.

*Tabla P. 1. Coste total partida 1: equipos e instrumentación*

ELEMENTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO POR UNIDAD	PRECIO TOTAL (€)
Turbidímetro	Ud.	1	780 €	780 €
Caudalímetro	Ud.	1	1.057,54 €	1.057,54 €
Válvula de mariposa	Ud.	1	75,70 €	75,70 €
<b>TOTAL</b>				<b>1.913,24 €</b>

### 1.2. Obra civil

El presupuesto correspondiente a la obra civil viene dado en las *Tablas P.2., P.3., P.4. y P.5.*

TANQUE CLORADOR:

Tabla P. 2. Coste partida 2: obra civil tanque clorador

PROCESO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Excavación tierra	379,91 m <sup>3</sup>	6,04 €/m <sup>3</sup>	2.294,66 €
Base de 15 cm con arena	10,84 m <sup>3</sup>	24,07 €/m <sup>3</sup>	260,92 €
Relleno con zahorra	181,55 m <sup>3</sup>	30,08 €/m <sup>3</sup>	5.461,02 €
Cubrición con hormigón, 10 cm	3,36 m <sup>3</sup>	24,86 €/m <sup>3</sup>	83,53 €
<b>TOTAL</b>			<b>8.100,13 €</b>

TUBERÍA PVC-O DN110:

Tabla P. 3. Coste partida 2: obra civil tubería de 110 mm

PROCESO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Excavación tierra	1,03 m <sup>3</sup>	6,04 €/m <sup>3</sup>	6,22 €
Base de 15 cm con arena	0,43 m <sup>3</sup>	24,07 €/m <sup>3</sup>	10,35 €
Relleno con zahorra	0,31 m <sup>3</sup>	30,08€/m <sup>3</sup>	9,46 €
Cubrición con hormigón, 10 cm	0,29 m <sup>3</sup>	24,86€/m <sup>3</sup>	7,11 €
<b>TOTAL</b>			<b>33,14 €</b>

TUBERÍA PVC-O DN160:

Tabla P. 4. Coste partida 2: obra civil tubería de 160 mm

PROCESO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Excavación tierra	2,56 m <sup>3</sup>	6,04 €/m <sup>3</sup>	15,46 €
Base de 15 cm con arena	0,94 m <sup>3</sup>	24,07 €/m <sup>3</sup>	22,63 €

PROCESO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Relleno con zahorra	0,99 m <sup>3</sup>	30,08€/m <sup>3</sup>	29,78 €
Cubrición con hormigón, 10 cm	0,62 m <sup>3</sup>	24,86€/m <sup>3</sup>	15,41 €
<b>TOTAL</b>			<b>83,28 €</b>

Por tanto, si sumamos las distintas partes, se obtiene el presupuesto de la partida de obra civil que queda reflejada en la *Tabla P.5.*:

*Tabla P. 5. Coste total partida 5: obra civil*

SECCIÓN	COSTE
TANQUE AGITADOR	8.100,13 €
TUBERÍA PVC-O DN110	33,14 €
TUBERÍA PVC-O DN160	83,28 €
<b>TOTAL</b>	<b>8.216,55 €</b>

### 1.3. Conducciones

En la *Tabla P.6* se muestra el presupuesto para las conducciones.

*Tabla P. 6. Coste total partida 3: conducciones*

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio por unidad	Precio total
Tuberías PVC-O DN160	m	19,5	470,85 €/m	9.181,58 €
Tuberías PVC-O DN110	m	13	171,85 €/m	2.234,05 €
<b>TOTAL</b>				<b>11.415,63€</b>

### 1.4. Tanque cloración

El presupuesto del tanque clorador, pero no considerado en la obra civil se muestra en la *Tabla P.7.*



Tabla P. 7. Coste total partida 4: tanque clorador

Elemento	Características	Unidad	Cantidad	Precio por unidad	Precio total
Hormigón tanque encofrado	Espesor de 30 cm	m <sup>3</sup>	10,21	128,70 €	1.314,03 €
Agitador de turbina	Potencia = 6,28 kW	Ud	1	2.000 €	2.000 €
Pasarela seguridad	De acero con barandilla	m <sup>2</sup>	8,6	2,42 €	20,81
<b>TOTAL</b>					<b>3.334,84 €</b>

### 1.5. Filtro carbón activo

El filtro de carbón activo (Partida 5) tiene un coste total de **30.000 €**, incluido el carbón hasta su primer uso.

### 1.6. Seguridad y salud

La partida 6 se compone de los diferentes equipos de protección necesarios. La *Tabla P.8.* muestra los costes de la partida 6.

Tabla P. 8. Coste total partida 6: seguridad y salud

Elemento	Características	Unidad	Cantidad	Precio por unidad	Precio total
Guantes	Contra productos químicos, resistente entre ácidos y bases.	Ud	10	0,40 €	4,00 €
Gafas	Dos oculares integrados en una montura	Ud	10	3,79 €	37,90 €

Elemento	Características	Unidad	Cantidad	Precio por unidad	Precio total
	con protección lateral.				
Sistemas anticaídas	Arnés con dispositivo de anclaje	Ud	1	104,15 €	104,15 €
<b>TOTAL</b>					<b>146,05 €</b>

### 1.7. Mano de obra

La mano de obra va incluida en los precios de cada partida, por lo que ya se ha tenido considerada.

### 1.8. PEM total

Si sumamos todas las partidas se obtiene el PEM Total que se puede ver en la *Tabla P.9.*

*Tabla P. 9. PEM Total*

PARTIDA	CANTIDAD
Equipos e instrumentación	1.913,24 €
Obra civil	8.216,55 €
Conducciones	11.415,63 €
Tanque clorador	3.334,84 €
Filtro carbón activo	30.000 €
Seguridad y salud	146,05 €
Mano de obra	Incluida ya en los precios anteriores
<b>PEM TOTAL</b>	<b>55.026,31 €</b>

## **2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)**

Mediante el PEM se puede obtener el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC), ya que se obtiene como la suma del PEM, los gastos generales y el beneficio industrial. Los gastos generales contribuyen el 13% del PEM y el beneficio industrial corresponde al 6% del PEM.

A continuación, en la *Tabla P.10.* se puede observar el Presupuesto de Ejecución de Contrata.

*Tabla P. 10. PEC*

	<b>CANTIDAD (€)</b>
<b>PEM</b>	55.026,31 €
<b>Gastos Generales (13%)</b>	7.153,42 €
<b>Beneficio industrial (6%)</b>	3.301,58 €
<b>TOTAL</b>	<b>65.481,31 €</b>

### **3. PRESUPUESTO TOTAL**

Para obtener el presupuesto total, es necesario añadir el impuesto sobre el valor añadido (IVA), en estos momentos resulta ser del 21%. En la *Tabla P.11.* se puede ver el presupuesto total del proyecto.

*Tabla P. 11. Presupuesto Total del proyecto*

<b>CANTIDAD (€)</b>	
<b>PEC</b>	65.481,31 €
<b>IVA (21%)</b>	13.751,08 €
<b>PRESUPUESTO PROYECTO</b>	<b>79.232,39 €</b>

El presupuesto total del proyecto “Diseño de un reactor para la desinfección y eliminación de espumas en la EDAR de Vilafranca del Cid” es de SETEINTAINUEVE MIL DOSCIENTOS TREINTA Y DOS EUROS CON TREINTA Y NUEVE CENTIMOS.

#### **4. ÍNDICE TABLAS**

Tabla P. 1. Coste total partida 1: equipos e instrumentación .....	2
Tabla P. 2. Coste partida 2: obra civil tanque clorador .....	3
Tabla P. 3. Coste partida 2: obra civil tubería de 110 mm .....	3
Tabla P. 4. Coste partida 2: obra civil tubería de 160 mm .....	3
Tabla P. 5. Coste total partida 5: obra civil .....	4
Tabla P. 6. Coste total partida 3: conducciones.....	4
Tabla P. 7. Coste total partida 4: tanque clorador .....	5
Tabla P. 8. Coste total partida 6: seguridad y salud .....	5
Tabla P. 9. PEM Total .....	6
Tabla P. 10. PEC.....	7
Tabla P. 11. Presupuesto Total del proyecto .....	8