



**UNIVERSITAT
JAUME•I**

Universitat Jaume I

Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals

Grau en Enginyeria Química

***Diseño de una EDAR para el tratamiento y
reutilización de las aguas residuales de una
planta de pulido de gres porcelánico***

Trabajo Fin de Grado

Autora

Neus Monfort Dols

Tutor

Eliseo Monfort Gimeno

Castellón, noviembre de 2023

0. Resumen

Este proyecto tiene como objetivo diseñar un proceso para el tratamiento de las aguas residuales procedentes de una planta de pulido de gres porcelánico, para su reutilización en el mismo proceso de pulido.

El pulido de las piezas de gres porcelánico se realiza mediante la fricción de muelas abrasivas sobre la superficie del producto, requiriéndose el uso de grandes cantidades de agua con una doble función: como agente refrigerante y como agente de eliminación de los residuos del pulido (en forma de finas partículas), por arrastre hidráulico.

En este proyecto se pretende diseñar una planta de depuración para un caudal de agua residual de 156 m³/h con una concentración de sólidos en suspensión de aproximadamente 1860 mg/L.

El tratamiento propuesto es un proceso físico-químico que consta de varias etapas. Primero, se lleva a cabo un tratamiento de coagulación y floculación para producir la aglomeración de los sólidos presentes y facilitar su sedimentación posterior. En la selección de los productos químicos necesarios para este proceso, se compara entre el uso de coagulantes inorgánicos y coagulantes orgánicos de origen natural, y se determinan las dosis necesarias a partir de la realización de ensayos de Jar-Test.

A continuación, se utiliza un sedimentador para decantar la mayor parte de los sólidos y posteriormente se emplean filtros en profundidad para una eliminación adicional de estos, con el fin de evitar posibles daños (rayado) en las piezas durante el pulido cuando se utilice el agua previamente tratada. Finalmente, se realiza una etapa de aireación del agua tratada para oxidar la materia orgánica y eliminar olores.

Los fangos generados en el proceso se deshidratan usando un espesador y un filtro prensa. Debido a que contienen restos de muelas abrasivas, es difícil reutilizar los fangos deshidratados en el propio proceso de fabricación de gres porcelánico, por lo que se estudia una alternativa para su gestión basada en los principios de la economía circular.

Por último, se evalúa la viabilidad económica del tratamiento propuesto para el tratamiento y reutilización de las aguas residuales.

1. Índice general

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

2. Memoria

ÍNDICE:

1.	OBJETO	1
2.	ALCANCE	2
3.	ANTECEDENTES	3
3.1.	El agua en la industria cerámica	3
3.2.	Reutilización de aguas residuales	3
3.3.	El agua en el proceso de pulido de gres porcelánico	4
4.	NORMAS Y REFERENCIAS	5
4.1.	Normas	5
4.2.	Referencias	5
5.	DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	8
5.1.	Definiciones	8
5.2.	Abreviaturas y acrónimos	8
6.	REQUISITOS DE DISEÑO	9
6.1.	Consumo de agua	9
6.2.	Tipos de pulido y consumo de agua asociado	9
6.3.	Calidad de las aguas	11
6.4.	Ubicación de la planta de pulido	13
7.	ANÁLISIS DE SOLUCIONES	14
7.1.	Línea de aguas	14
7.1.1.	Homogeneización	14
7.1.2.	Coagulación-floculación	15
7.1.2.1.	Clasificación de los coagulantes	17
7.1.2.2.	Elección del coagulante	17
7.1.2.3.	Neutralización	24
7.1.3.	Sedimentación	24
7.1.4.	Filtración de profundidad	29

7.1.5. Balsa pulmón	30
7.1.6. Balsa de acumulación	30
7.1.7. Aumento de la concentración de sólidos solubles	31
7.2. Línea de fangos	32
7.2.1. Espesamiento	32
7.2.2. Deshidratación	33
7.2.3. Gestión de los fangos.....	33
8. RESULTADOS FINALES.....	35
8.1. Línea de aguas	35
8.1.1. Tanque de homogeneización	35
8.1.2. Coagulación	36
8.1.3. Neutralización.....	37
8.1.4. Floculación	38
8.1.5. Sedimentación	40
8.1.6. Balsa pulmón	40
8.1.7. Filtros de profundidad	40
8.1.8. Balsa de acumulación	41
8.2. Línea de fangos	42
8.2.1. Espesador.....	42
8.2.2. Filtro prensa.....	42
8.2.3. Gestión de las tortas.....	42
8.3. Conducciones y bombas	43
8.4. Caudal de purga y consumo de agua	46
9. VIABILIDAD ECONÓMICA	47
9.1. Resumen del presupuesto de inversión	47
9.2. Gastos.....	47
9.2.1. Gastos directos.....	47

9.2.2. Gastos indirectos	50
9.3. Amortización	51
9.4. Beneficios	52
9.4.1. Beneficio bruto	52
9.4.2. Beneficio neto.....	52
9.5. Flujo de caja (FC).....	53
9.6. Rentabilidad del proyecto	54
9.6.1. Valor Actual Neto (VAN)	54
9.6.2. Tasa Interna de Rentabilidad (TIR).....	55
9.6.3. Periodo de retorno (PR).....	55
9.6.4. Resumen de resultados	56
10. PLANIFICACIÓN	57
11. ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS	58

1. OBJETO

El objeto de este proyecto es diseñar un proceso para el tratamiento de las aguas residuales procedentes de una planta de pulido de gres porcelánico para su reutilización en el mismo proceso de pulido.

Para el diseño del proceso de tratamiento de las aguas residuales se tendrán que alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Conocer la composición de las aguas residuales para identificar los contaminantes presentes.
- Identificar cuáles de los contaminantes presentes son críticos y es necesario eliminar para conseguir una calidad de las aguas suficiente para su reutilización en el proceso de pulido.
- Comparar entre las diferentes tecnologías disponibles para eliminar estos contaminantes y elegir las que formarán parte del proceso teniendo en cuenta su eficacia y su coste.
- Dimensionar los equipos elegidos para depurar las aguas.
- Comparar entre varios productos químicos para elegir los más adecuados para llevar a cabo el tratamiento químico de las aguas.
- Estudiar una alternativa para la gestión de los fangos generados, basándose en los principios de la economía circular.
- Diseñar las conducciones para el transporte de los fluidos y elegir los equipos necesarios para su impulsión.
- Llevar a cabo un estudio de viabilidad económica del proyecto.

2. ALCANCE

En este trabajo se diseña el sistema de depuración de las aguas procedentes del pulido de láminas de gran formato de gres porcelánico. Para realizar este tratamiento se requiere de un gran volumen de agua, generando un caudal elevado de aguas residuales.

El alcance de este proyecto engloba el diseño de los equipos necesarios y la elección de los productos químicos más adecuados para una correcta depuración del agua resultante del proceso de pulido para su reutilización en el mismo proceso. Para elegir el coagulante se comparará uno orgánico de origen natural frente a uno inorgánico sintético para ver cuál es más adecuado en este caso.

3. ANTECEDENTES

3.1. El agua en la industria cerámica

El agua desarrolla un papel muy importante en la industria cerámica, ya que es un elemento indispensable para una serie de procesos. Puede tener funciones específicamente tecnológicas, en las que el agua actúa como materia prima, y funciones auxiliares, de líquido de enfriamiento o de lavado.

Las principales corrientes de aguas residuales se generan cuando el agua se utiliza como agente de lavado en las líneas de esmaltado y decoración. En estas operaciones suelen presentar turbidez y color debido a las finas partículas de esmalte y mineral arcilloso en suspensión. Desde el punto de vista químico se caracterizan por la presencia de sólidos en suspensión, aniones en solución (sulfatos, cloruros, fluoruros...), metales pesados en solución y/o en suspensión (principalmente Pb y Zn), boro y trazas de materia orgánica (restos de colas, vehículos, disolventes y aditivos orgánicos utilizados en las operaciones de esmaltado y decoración).

Las aguas utilizadas en la industria cerámica normalmente se intentan integrar en circuitos cerrados, para minimizar el consumo y vertido de agua, tras tratarlas para su reutilización.

3.2. Reutilización de aguas residuales

La demanda creciente de agua para uso industrial y la legislación, cada vez más estricta, en el control de la contaminación, han generado un incremento constante de los costes de abastecimiento de agua para las industrias y del tratamiento de los efluentes, por lo que reutilizar las aguas residuales puede ser una solución a estos problemas.

Las ventajas de recircular el agua son un ahorro en el consumo de agua, una menor cantidad de vertidos para eliminar y un menor coste del tratamiento de aguas, dado que suele ser más económico tratar el agua para recircular que para verter. A pesar de que estas ventajas hacen que compense recircular el agua, hay que tener en cuenta los problemas que pueden darse como la generación de corrosiones, de olores y de residuos concentrados que, a pesar de presentarse en pequeñas cantidades, pueden producir graves efectos si no se eliminan adecuadamente.

También se deberán tener en cuenta características como la concentración de sales solubles, que pueden dar lugar a problemas de eflorescencias en el producto cocido y de adherencia esmalte-soporte, el pH, la cantidad de materia orgánica y la concentración de cromóforos como Fe, Mn, Cr y Cu que puede causar coloraciones del agua no deseadas.

En los circuitos cerrados de agua, suele ser necesario introducir purgas, continuas o discontinuas, para evitar la acumulación de algunos contaminantes solubles en el agua que no pueden ser eliminados mediante algunos tratamientos de depuración.

3.3. El agua en el proceso de pulido de gres porcelánico

En las plantas de fabricación de gres porcelánico se suele realizar un tratamiento superficial de pulido sobre una parte del producto acabado. Esta operación se realiza mediante la fricción de muelas abrasivas (figura 2.1) sobre la superficie del producto a pulir, requiriéndose el uso de grandes cantidades de agua como agente refrigerante y como agente de eliminación de residuos del pulido (en forma de finas partículas), por arrastre hidráulico.

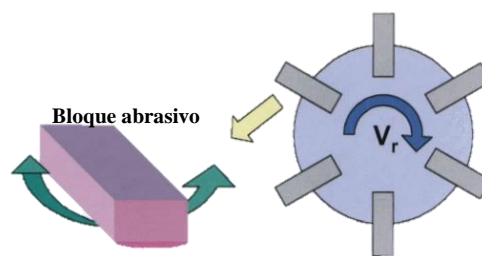


Figura 2.1. Esquema de una muela abrasiva típica de cabezal oscilatorio utilizada en el proceso de pulido industrial (I M Hutchings, et al., Qualicer 2004)

La operación de pulido consiste en una sucesión de fases con una reducción del tamaño de partícula abrasiva. Las partículas abrasivas, generalmente de carburo de silicio, están embutidas en una matriz de cemento para producir los útiles compuestos que se montan en el cabezal rotatorio de pulido que presiona contra la superficie de la pieza.

El agua residual generada presenta sólidos en suspensión, procedentes tanto del producto procesado como de los elementos abrasivos, por tanto, para reciclarla debe depurarse previamente, mediante un tratamiento físico-químico. Además, hay que tener en cuenta la dificultad de reciclar los residuos generados en el propio proceso cerámico, debido a que los restos del material de las muelas abrasivas tienen una composición diferente a las materias primas cerámicas.

4. NORMAS Y REFERENCIAS

4.1. Normas

- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Norma UNE 157001:2014 de “Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico”.

4.2. Referencias

- A. Blasco et al. (1992). *Tratamiento de emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos en la industria cerámica*. Castellón AICE. – ITC, 1992.
- Arnao, E. (2023). Tipos de coagulantes para el tratamiento de aguas residuales. Antonio Tarazona. <https://www.antoniotarazona.com/blog/industria/coagulantes-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/>
- Banchón, C. (2016). *Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales*.
- Barranco, J. L. et al. (2002). XX Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. Tomo II. CEDEX. Madrid, 2002.
- Buituyen. (2022). *Manual cloruro férrico* - Oxychilecl Español Productos y cloruro férrico en solución tricloruro.
- *Coagulación, floculación y separación*. SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management. <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologiasdeabastecimientodeagua/coagulaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n>
- *Coagulantes naturales / sintéticos / orgánicos* – Servyeco. <https://www.servyeco.com/coagulantes.html>

- *EQ1040 Tecnología hídrica y energética en la industria Química*. Castellón. Departamento de Ingeniería química Universitat Jaume I.
- Guzmán, L. *Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión*.
- Hutchingsl, M, Adachil K, Xu Y, Sánchez E, Ibáñez M J. (2004). *Simulación a escala de laboratorio del proceso de pulido industrial de baldosas cerámicas*. Qualicer.
- Metcalf & Eddy, Abu-Orf, M., Bowden, G., Burton, F. L., Pfrang, W., Stensel, H. D. & AECOM (Firm). (2014). *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*. McGraw Hill Education.
- Metcalf y Eddy. (1995) *Ingeniería de Aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª Edición. Editorial McGraw-Hill, Madrid.
- Mc Cabe, W. L., Smith J.C. y Harriott, P. (2002). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Ed. Mc Graw Hill.
- Monfort, E. *EQ1027 Tecnología del medio ambiente*. Editorial: Publicacions de la Universitat Jaume I. n° 213-2013.
- Montoya, S. A. M., Matilde, G., & Pacheco, S. (2020). *Manual técnico para la elaboración de coagulantes / floculantes a partir de productos naturales*. ResearchGate.
- Notz, W., Tanaka, F., Watanabe, S., Chowdari, N. S., Turner, J. M., Thayumanavan, R., & Barbas, C. F. (2003). *The direct organocatalytic asymmetric Mannich reaction: unmodified aldehydes as nucleophiles*. Journal of Organic Chemistry, 68(25), 9624-9634.
- *¿Qué son los coagulantes y qué tipos existen?* | Grupo Pochteca. Grupo Pochteca | Venta de materias primas para la Industria. <https://mexico.pochteca.net/que-son-los-coagulantes-y-que-tipos-existen/>

- *Reacción de Mannich*. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Reacci%C3%B3n_de_Mannich
- Rodrigo, M. D. *EQ1019 Operaciones básicas de flujo de fluidos*. Editorial: Publicacions de la Universitat Jaume I. n° 158-2003.
- Steiner, L. R., Bernardin, A. M., & Pelisser, F. (2015). Effectiveness of ceramic tile polishing residues as supplementary cementitious materials for cement mortars. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 30-35.
- Vicedo, V. C. (2003b, agosto 22). *ES2224878A1 - Procedimiento de reciclado de residuos procedentes de lodos ceramicos como adiciones para cementos de alta resistencia*. - *Google Patents*.

5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

5.1. Definiciones

Aguas residuales: cualquier tipo de agua cuya calidad está afectada negativamente por la influencia antropogénica.

Gres porcelánico: pasta cerámica formada por arcillas, materiales desgrasantes y fundentes que se caracteriza por presentar un mayor grado de vitrificación que los otros materiales cerámicos, lo que le confiere menor porosidad y mayor dureza y resistencia.

5.2. Abreviaturas y acrónimos

EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales.

ppm: partes por millón (unidad de medida de la concentración).

DQO: demanda química de oxígeno.

NTU: siglas en inglés *Nefelometric Turbidity Unit* (unidad nefelométrica de turbidez) utilizadas para medir la turbidez de un líquido.

VLE: valor límite de emisión.

Re: número de Reynolds.

rpm: revoluciones por minuto.

IBC: *Intermediate Bulk Container* (se los puede denominar también GRG o Gran Recipiente a Granel). Son depósitos para almacenar y transportar sustancias a granel.

TRH: tiempo de retención hidráulico ($THR=V/Q$).

BEM: balance de energía mecánica.

6. REQUISITOS DE DISEÑO

6.1. Consumo de agua

Para el pulido de las piezas de gres porcelánico se precisa de un gran volumen de agua (100-1500 L/m² pulido). En este proyecto se diseña una planta para el tratamiento de un caudal de aguas residuales de 156 m³/h.

Dado que el régimen de producción de la planta de pulido puede variar según la demanda, se ha decidido diseñar la depuradora para el caso más desfavorable, en el que la planta de pulido trabaje 24h al día y 7 días a la semana, con el fin de poder adaptarse a posibles aumentos en la producción. Tanto el dimensionamiento de los equipos como la dosificación de reactivos se van a realizar teniendo en cuenta este consumo de agua.

6.2. Tipos de pulido y consumo de agua asociado

Existen tres tipos de pulido en función del tipo de material, la intensidad y el espesor del pulido. Para diseñar la EDAR se debe tener en cuenta que tipo de pulido se va a realizar en la planta estudiada ya que esto influirá en la concentración de sólidos del agua residual.

Para conocer el espesor de material eliminado de cada tipo de pulido se ha contrastado con diferentes profesionales de este sector. Los datos facilitados se recogen en la tabla 2.1:

Tabla. 2.1. Elemento pulido, intensidad y espesor según el tipo de pulido

	Tipo	Elemento pulido	Intensidad	Espesor (mm)
1	Lapatto	Esmalte	Baja	< 0,1
2	Pulido sobre esmalte-granilla	Esmalte-granilla	Media	0,2
3	Pulido sobre soporte	Soporte porcelánico no esmaltado	Alta	0,9

Actualmente, en la planta de pulido se realiza un pulido de tipo Lapatto, aunque para la elaboración del proyecto se tendrá en cuenta la posibilidad de que se realice un pulido de intensidad media. Por otro lado, el pulido de intensidad alta no es habitual que se realice actualmente por lo que no se contemplará esta posibilidad para el diseño del proceso.

La concentración de sólidos en el agua se calcula a partir del residuo eliminado y el consumo de agua por unidad de superficie pulida según la ecuación 2.1:

$$C = \frac{r}{a} \quad (2.1)$$

C: concentración de sólidos (kg/L)

r: residuo (kg/m²)

a: consumo de agua (L/m²)

Por otro lado, el residuo generado durante el pulido se calcula a partir de la densidad del gres porcelánico y el espesor del pulido utilizando la ecuación 2.2:

$$r = \rho \cdot e \quad (2.2)$$

r: residuo (kg/m²)

ρ : densidad del gres porcelánico (kg/m³) ($\rho = 2.400 \text{ kg/m}^3$)

e: espesor del pulido

En este proyecto el consumo de agua para llevar a cabo el pulido de intensidad media y baja es de alrededor de 150 L/m². A partir de este dato y de la densidad del gres porcelánico se estima el residuo generado y la concentración de sólidos en el agua residual, a partir de las ecuaciones 2.1 y 2.2. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 2.2:

Tabla 2.2. Residuo generado y consumo de agua según el tipo de pulido

	Residuo (kg/m ²)	Agua (L/m ²)	C (mg/L)
1	0,24	150	1.600
2	0,48		3.200
3	No se aplica en este proyecto		

Sabiendo que el caudal de agua es de 156 m³/h y conociendo el volumen de agua utilizado por unidad de superficie se ha estimado la producción de la planta de pulido suponiendo que se produce las 24h del día:

$$Producción = \frac{Q}{V_{\text{agua}}} = \frac{156 \text{ m}^3/\text{h}}{0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2} = 1.040 \text{ m}^2/\text{h} = 24.960 \text{ m}^2/\text{día}$$

6.3. Calidad de las aguas

La calidad de las aguas es el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apropiada para su uso.

Se ha analizado una muestra del agua residual generada en una planta de pulido, tal y como se observa en la tabla 2.3, para conocer la concentración de los principales contaminantes presentes y las características del agua:

Tabla 2.3. Análisis del agua residual de la planta de pulido

Parámetro	Resultado
pH	7,5
Turbidez (NTU)	> 800
Sólidos en suspensión (mg/L)	1858
Sólidos disueltos totales (TDS) (mg/L)	1337
Sólidos totales (mg/L)	3195
DQO (mg O₂/L)	166
Conductividad a 25°C (µS/cm)	1671
Calcio (mg/L CaCO₃)	180
Magnesio (mg/L CaCO₃)	25
Cloruros (mg/L)	305
Fosfatos (mg/L)	0,6
Nitratos (mg/L)	71
Sílice (SiO₂) (mg/L)	22,05
Sulfatos (mg/L)	280

A continuación, se explican los parámetros que se han analizado para la caracterización de las aguas residuales de pulido:

- **Turbidez:** proporciona información respecto a la medida en que la luz es absorbida o dispersada por la materia suspendida en el agua. Se relaciona con el tamaño de la materia suspendida, la superficie, naturaleza, etc.
- **Sólidos:** según su capacidad para ser filtrados se clasifican en:
 - Sólidos disueltos: sólidos filtrables a través de un filtro de 1,2 μm .
 - Sólidos suspendidos: sólidos no filtrables a través de un filtro de 1,2 μm .
 - Sólidos totales: son la suma de los sólidos disueltos y los suspendidos.
- **pH:** es una medida de acidez o alcalinidad del agua y mide la concentración de iones de hidrógeno presentes. Se define como:

$$pH = -\log[H^+]$$

El pH es de gran importancia ya que el equilibrio químico está muy influenciado por el pH y muchos procesos biológicos sólo se desarrollan para unos márgenes de pH relativamente pequeños.

- **Conductividad:** es una medida de la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica. Dado que la corriente eléctrica es transportada por los iones en solución, la conductividad es directamente proporcional a la concentración de iones. Por otro lado, los iones metálicos presentes en el agua se relacionan con los procesos de corrosión, por lo que no se deben alcanzar valores altos de conductividad con el fin de evitar el deterioro de las partes metálicas de las instalaciones. En sistema internacional se mide en unidades de microsiemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$).
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** es una medida del oxígeno equivalente necesario para la oxidación total de los compuestos orgánicos e inorgánicos.

6.4. Ubicación de la planta de pulido

La planta de pulido está ubicada en Vila-real y dispone de una nave al lado para la instalación de la depuradora que se diseña en este proyecto.

La ubicación de la planta se deberá tener en cuenta para cumplir con los límites de vertido, que corresponden a los fijados por la *Entitat Pública de Sanejament d'Aigües Residuals de la Comunitat Valenciana (EPSAR)* (tabla 31 de los *Anexos*).

Además, también se considerará para elegir el lugar de destinación de los residuos generados en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

A continuación, se estudian diferentes alternativas para el tratamiento de las aguas residuales y de los fangos generados.

7.1. Línea de aguas

De los contaminantes presentes en el agua, los sólidos en suspensión son los más críticos y por tanto los que resulta más importante eliminar. Para ello se deberá que realizar un tratamiento físico-químico.

Por otro lado, el agua también contiene sólidos solubles que pueden ser eliminados mediante tratamientos como la osmosis inversa, el cambio iónico o la electrodiálisis. Sin embargo, teniendo en cuenta el coste que representarían estos tratamientos se ha optado por no eliminarlos ya que, aunque no se eliminen se obtiene un agua apta para ser recirculada.

A pesar de no eliminar los sólidos solubles se buscará un tratamiento que no aumente su concentración y, si es necesario, para evitar una acumulación excesiva de estos, se realizará una purga de agua en el circuito.

7.1.1. Homogeneización

En primer lugar, se utilizará un tanque de homogeneización con el objetivo de evitar problemas causados por las variaciones en el caudal y la composición del agua residual.

Al uniformizar las características del agua a tratar se aumenta la efectividad de los tratamientos posteriores, facilitando la adición de productos químicos y consiguiendo unas condiciones de operación constantes.

Por otro lado, el tanque de homogeneización servirá para acumular agua en casos en los que se produzcan averías o se tenga que hacer mantenimiento a la depuradora y para suministrar agua a la depuradora cuando haya paradas en la planta de pulido.

Para la homogeneización del agua se han planteado dos opciones, la homogeneización mediante un mezclador mecánico y la aireación. Sus características principales son las siguientes:

- **Mezcladores mecánicos:** pueden ser turbinas o hélices. Estos generan gradientes de velocidad en el fluido que crean corrientes de remolino. Se utilizan para un mezclado rápido.
- **Aireación mediante difusores:** consiste en la introducción de burbujas de aire en el agua y transferencia del oxígeno durante el ascenso de las burbujas a la superficie. La inyección de aire genera turbulencias para homogeneizar el agua residual. Además, permite la eliminación de compuestos volátiles y otras sustancias que producen malos olores, la reducción de la materia orgánica y la oxidación de metales.

Se ha descartado homogeneizar el agua mediante aireación porque se ha observado que cuando se utiliza para la homogeneización de aguas con características similares parte de los sólidos no se mezclan bien y decantan ya en el propio tanque, además de que el consumo energético es mayor.

Por otro lado, al tratarse de aguas con poca carga orgánica, las ventajas que ofrece la aireación no son muy relevantes en este caso, pudiendo clorar el agua de forma manual en caso de que se generen olores. Por lo tanto, se ha decidido utilizar un **agitador mecánico** para la homogeneización de las aguas residuales.

7.1.2. Coagulación-floculación

Las aguas residuales contienen sólidos suspendidos que deben ser eliminados. Una gran parte de los sólidos que no sedimentan en reposo pueden ser coloides, cuyas partículas están estabilizadas por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, de modo que las partículas se repelen entre ellas. Esto hace que las partículas no puedan coalescer y formar masas mayores de modo que no sedimentan.

Concretamente el agua de pulido de gres porcelánico presenta gran estabilidad debido al pequeño tamaño de las partículas y a la existencia de cargas superficiales que impiden el acercamiento. Para evitar este problema se debe realizar un tratamiento de coagulación y floculación para desestabilizar las partículas y formar aglomerados que puedan sedimentar.

La coagulación es el fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas, mediante la adición de coagulantes en el agua, reduciendo las fuerzas que separan las partículas en suspensión. Las partículas se acercan ya que prevalecen las fuerzas atractivas de Van der Waals. En la figura 2.2 puede observarse este proceso.

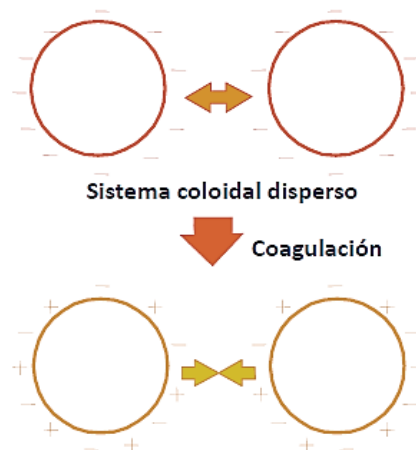


Figura 2.2. Neutralización de las cargas mediante coagulación (Monfort, E, 2013)

Por otra parte, la floculación es la agrupación de partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras para formar flóculos. Después de la coagulación se añade un polielectrolito orgánico (floculante), que a través de un proceso de absorción da lugar a la formación de agregados de mayores dimensiones. Estos floculantes son sustancias de alto peso molecular, solubles en agua y con un número elevado de centros activos donde se fijan las partículas por mecanismos de adsorción. En la figura 2.3 se muestra el fenómeno de aglomeración de partículas desestabilizadas mediante un floculante:

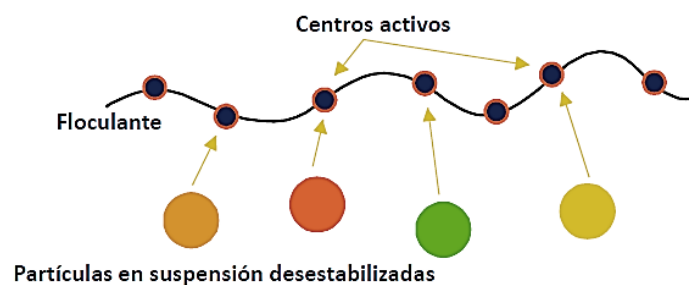


Figura 2.3. Floculación de partículas desestabilizadas (Monfort, E, 2013)

7.1.2.1. Clasificación de los coagulantes

Los coagulantes utilizados para el tratamiento de aguas residuales pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- **Inorgánicos:** son químicos de origen inorgánico, principalmente compuestos de sales metálicas como aluminio o hierro, que tienen la capacidad de anular la carga negativa de las partículas en suspensión.
- **Orgánicos:** los más utilizados son polímeros de la familia de las poliaminas y los coagulantes catiónicos como la dicianidamida. Su eficiencia como coagulantes se debe principalmente a su estructura polimérica y a la fuerza de las cargas catiónicas. Pueden funcionar también como floculantes. A su vez pueden clasificarse en:
 - **Sintéticos:** están fabricados a partir de polielectrolitos.
 - **Naturales:** se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas producidas en animales y en plantas, producto de su metabolismo o de las reacciones bioquímicas que ellos producen. La coagulación natural actúa como un proceso de neutralización de cargas mediante la adición de extractos de plantas que contienen polifenoles (taninos), gomas, mucílagos o proteínas para generar la desestabilización coloidal.

7.1.2.2. Elección del coagulante

Para la elección del coagulante se ha comparado un coagulante orgánico de origen natural frente a uno inorgánico, para ver cuál es la mejor opción para tratar las aguas residuales de la planta de pulido para su reutilización.

MECANISMO DE ACCIÓN

- **Coagulante orgánico de origen natural:** el coagulante natural elegido para el tratamiento de las aguas residuales de pulido es un polímero natural a base de taninos extraídos de la corteza de la Acacia Negra (“Acacia mearnsii de wild”).

El mecanismo de coagulación para el proceso de desestabilización coloidal en aguas residuales consiste en la cationización de taninos que es un proceso químico denominado reacción de Manich (figura 2.4), donde se confiere el carácter catiónico a la matriz orgánica del tanino. Esta habilidad conferida al tanino potencia la capacidad coagulante del tanino, dado que este catión promueve la desestabilización coloidal.

La reacción de Mannich tiene lugar debido a una aminometilación de la molécula de tanino con un aldehído y una amina; o también a través de NH_4Cl y otros tipos de compuestos nitrogenados hasta el punto de gelificar a las moléculas de taninos (Beltrán Heredia, Sánchez Martín y Gómez Muñoz, 2010).

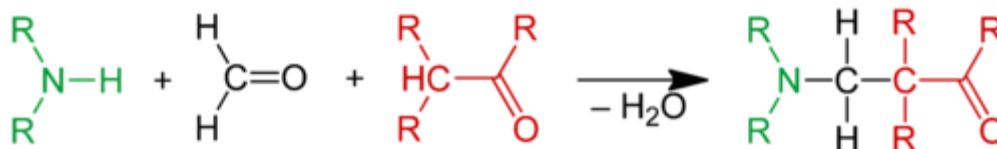
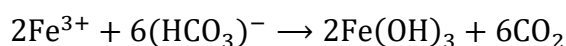
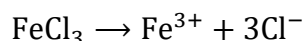
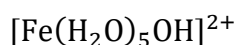


Figura 2.4. Reacción de Manich

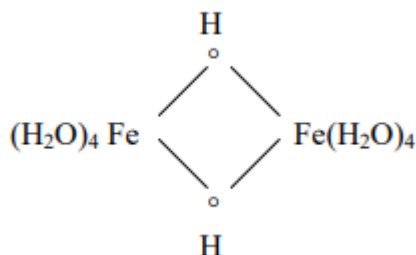
- **Coagulante inorgánico:** como coagulante inorgánico se ha utilizado el cloruro férrico. El FeCl_3 reacciona con los bicarbonatos presentes en el agua y produce $\text{Fe}(\text{OH})_3$, mediante la siguiente reacción (Buituyen., 2022):



El $\text{Fe}(\text{OH})_3$ es hidrolizado a:



La reacción de estos productos monoméricos entre sí crea productos poliméricos del tipo:



Estos polímeros con carga positiva desestabilizan las partículas coloidales con carga negativa presentes en el agua, ya que reducen las fuerzas repulsivas entre partículas.

El cloruro férrico es una sal que se hidroliza dando lugar a ácidos fuertes, disminuyendo el pH del medio, impidiendo que los cationes precipiten en forma de hidróxidos, por lo que se debe añadir una sustancia que neutralice el efecto acidificante de este (normalmente NaOH).

ENSAYOS CON EL JAR-TEST

Se han realizado varios ensayos con el Jar test para determinar la dosis óptima de cada uno de los coagulantes. La dosis óptima se ha elegido teniendo en cuenta la turbidez del clarificado y la velocidad de decantación.

Se ha buscado conseguir una turbidez inferior a 10 NTU con el objetivo de aumentar la eficiencia del tratamiento posterior con filtros de arena y disminuir el número de limpiezas de los filtros de arena, disminuyendo el consumo de agua de lavado.

En cuanto a la velocidad de decantación esta se ha medido de forma cualitativa, utilizando una escala del 1 (valor más bajo de velocidad) al 10 (valor más alto), y se ha buscado que sea lo más alta posible para que las dimensiones del sedimentador serán menores, reduciendo el espacio necesario y los costes del equipo y de operación.

Como floculante se ha utilizado un polielectrolito líquido de naturaleza catiónica y se ha elegido como dosis óptima la que genera un mayor tamaño de flóculo, para obtener la mayor velocidad de decantación posible, sin llegar a dosis altas que enturbian el agua.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos utilizando cada tipo de coagulante:

- **Coagulante orgánico de origen natural:**

Los resultados obtenidos al realizar los ensayos con el coagulante orgánico de origen natural se recogen en la tabla 2.4:

Tabla 2.4. Resultados de los ensayos de Jar-test utilizando un coagulante orgánico de origen natural

	1	2	3
Coagulante natural (ppm)	50	100	150
Floculante catiónico (ppm)	2	2	2
Velocidad de decantación cualitativa	9	10	10
Turbidez (NTU)	14,60	9,69	10,50

En la figura 2.5 se muestra una fotografía de los clarificados obtenidos:

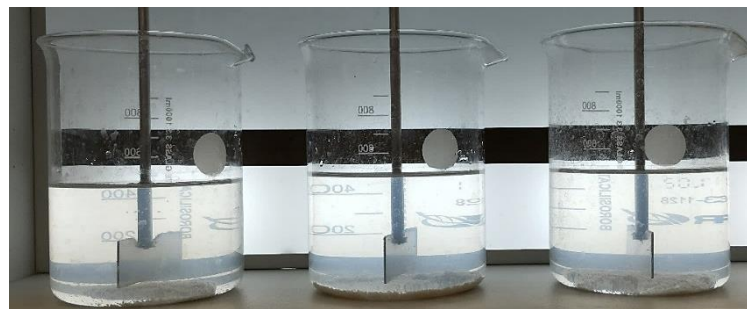


Figura 2.5. Resultados de los ensayos de Jar-test. Ensayos 1, 2 y 3 (De izquierda a derecha) utilizando un coagulante orgánico de origen natural

La dosis óptima en este caso es la correspondiente al Ensayo 2 (100 ppm de coagulante) ya que al disminuir la dosis la turbidez es mayor a 10 NTU y la velocidad de decantación es menor. Además, si se aumenta la dosis también se produce un aumento de la turbidez.

- **Cloruro férrico:**

Los resultados obtenidos al realizar los ensayos con cloruro férrico y ajustando el pH alrededor de 7,5 con hidróxido sódico se recogen en la tabla 2.5:

Tabla 2.5. Resultados de los ensayos de Jar-test utilizando cloruro férrico

	1	2	3
FeCl₃ (ppm)	50	100	150
NaOH (ppm)	5	7,5	17,5
Floculante catiónico (ppm)	2	2	2
Velocidad de decantación cualitativa	9	10	10
Turbidez (NTU)	14,30	7,50	6,93

En la figura 2.6 se muestra una fotografía de los clarificados obtenidos:

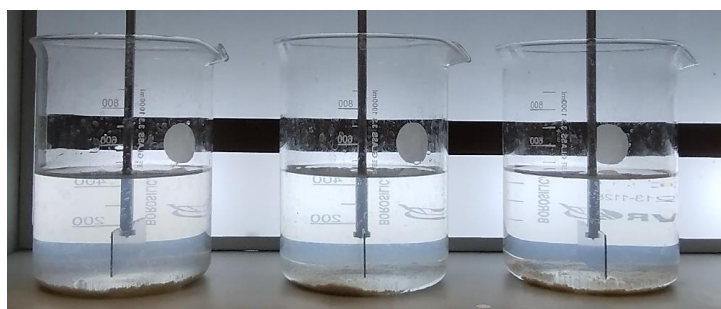


Figura 2.6. Resultados de los ensayos de Jar-test. Ensayos 1, 2 y 3 (De izquierda a derecha) utilizando FeCl₃

La dosis óptima en este caso es la correspondiente al Ensayo 2 (100 ppm de coagulante) ya que al disminuir la dosis la turbidez es mayor a 10 NTU y la velocidad de decantación es menor.

COMPARATIVA

En la tabla 2.6 se muestran los valores de los parámetros analizados en el agua residual y en los clarificados obtenidos en los ensayos de Jar-test con las dosis óptimas junto a los valores límite de emisión (VLE):

Tabla 2.6. Análisis del agua residual, de los clarificados obtenidos en los Ensayos de Jar-test y VLE

Parámetro	Agua residual	Coagulante natural	FeCl₃	VLE
pH	7,5	7,5	7,5	5,5-9,0
Turbidez (NTU)	> 800	9,69	7,50	-
DQO (mg O₂/L)	166	84	78	500
Conductividad a 25°C (µS/cm)	1671	1640	1693	3000
Calcio (mg/L)	180	172	196	-
Magnesio (mg/L)	25	25	15	-
Cloruros (mg/L)	305	309	333	800
Fosfatos (mg/L)	0,6	< 0,3	< 0,3	15,0
Nitratos (mg/L)	71	60	32	-
Sílice (SiO₂) (mg/L)	22,05	20,45	20,95	-
Sulfatos (mg/L)	280	250	240	1000

Por otro lado, en la tabla 2.7 se comparan las dosis utilizadas de cada reactivo según el tipo de coagulante utilizado:

Tabla 2.7. Dosis de reactivos con el uso de cada coagulante

	Coagulante natural	FeCl₃
Dosis óptima de coagulante (ppm)	100	100
Dosis de NaOH (ppm)	0	7,5
Dosis de floculante (ppm)	2	2

Para comparar los costes de cada tratamiento, en la tabla 2.8 se pueden observar los costes medios de los productos vendidos en IBC:

Tabla 2.8. Coste de los reactivos utilizados

Reactivos	Coste (€/kg)
Coagulante natural	0,65
FeCl₃	0,65
Floculante catiónico	3,80
NaOH	0,50

Los costes del tratamiento de coagulación-floculación utilizando cada uno de los coagulantes a las dosis determinadas a partir de los ensayos de Jar-test se recogen en la tabla 2.9, considerando que la depuradora está en marcha alrededor de 330 días al año:

Tabla 2.9. Costes del tratamiento químico según el coagulante utilizado

	Costes del tratamiento con el coagulante natural	Costes del tratamiento con FeCl₃
Coagulante (€/h)	10,14	10,14
NaOH (€/h)	0	0,585
Floculante (€/h)	1,1856	1,1856
Coste total del tratamiento químico (€/h)	11,3256	11,9106
Coste anual del tratamiento químico (€/año)	89.698,75	94.331,95

A la vista de los resultados, se ha decidido elegir el **coagulante orgánico de origen natural**, para realizar el tratamiento de las aguas residuales, por los siguientes motivos:

- Es la opción para la que los costes de los reactivos son menores.
- No se requiere de ajuste de pH porque no modifica el pH del medio y es efectivo a un pH entre 4,5 y 9,0. De este modo no se requiere hidróxido sódico y se evita el consumo eléctrico de los agitadores del reactor de neutralización y del tanque de preparación del neutralizante diluido.
- El incremento de la concentración de cloruros es menor que al utilizar cloruro férrico, reduciendo el caudal de agua que se debe purgar para no superar los límites de límite de emisión (VLE)..
- No aumenta la conductividad del agua por lo que la corrosión de las partes metálicas de la instalación será menor que al utilizar cloruro férrico e hidróxido sódico. Aunque el aumento de la conductividad cuando se utiliza cloruro férrico no es muy elevado, al recircular el agua la concentración de sales y la conductividad aumentan de forma progresiva pudiendo alcanzar valores altos.

7.1.2.3. Neutralización

El coagulante orgánico de origen natural no modifica el pH del agua y tiene un rendimiento alto a un rango de pH de 4,5 - 9. Sin embargo, es aconsejable diseñar los equipos necesarios para la etapa de neutralización de modo que la EDAR pueda adaptarse a futuros cambios en el tipo de coagulante utilizado.

En caso de utilizar un coagulante inorgánico, estos se hidrolizan dando lugar a ácidos fuertes y suelen tener un rango de eficacia mayor a un pH alrededor de 7,5, por lo que se debe añadir una sustancia que neutralice el efecto acidificante de los coagulantes.

La neutralización debe realizarse después de la etapa de coagulación para corregir el cambio de pH producido por el coagulante y antes de la floculación, ya que para la dispersión del neutralizante es conveniente utilizar velocidades de agitación elevadas que romperían los flóculos formados.

7.1.3. Sedimentación

El tratamiento de coagulación y floculación debe ir seguido de una etapa de sedimentación, una operación unitaria de separación sólido-líquido, en la cual las partículas, más pesadas que el fluido, presentes en la suspensión, se depositan en el fondo por acción de la gravedad. De este modo, se produce la clarificación del líquido sobrenadante, donde la concentración de sólidos llega a ser muy reducida, o prácticamente nula.

Gracias a la adición de los reactivos en la etapa anterior se forman agregados de mayor masa que aceleran la sedimentación. En la figura 2.7, se muestra un esquema del tratamiento:

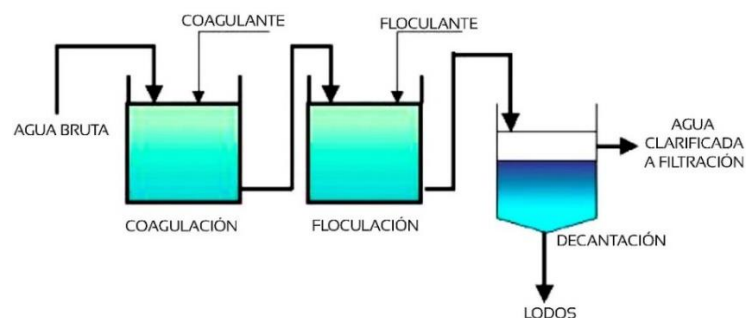


Figura 2.7. Tratamiento físico-químico de coagulación, floculación y sedimentación (Sánchez del castillo 2016, p.20)

Existen varios tipos de sedimentadores. Para la elección de este se ha comparado entre el uso de un sedimentador cilíndrico-cónico y un sedimentador lamelar.

- **Sedimentador cilíndrico-cónico:** la entrada del líquido puede estar situada en el centro o en la periferia y la salida tiene lugar por un vertedero ajustable. En la parte inferior puede disponer de un sistema giratorio de rastrillos que además de remover el fango depositado para disminuir su contenido en agua lo va arrastrando hacia el centro, ayudado por la forma troncocónica de la base del sedimentador para su extracción.
- **Sedimentador lamelar:** está formado por un gran número de platos inclinados paralelos sobre los que se deslizan los sólidos. El líquido se introduce en los canales inclinados y los sólidos se recogen en la parte inferior del equipo.

La principal ventaja del sedimentador lamelar es que tiene una mayor capacidad por unidad de área plana. Además, pueden añadirse lamelas para modificar su rendimiento, mientras que en el sedimentador cilíndrico-cónico no se pueden realizar modificaciones importantes.

Sin embargo, las desventajas que presenta el sedimentador lamelar son que la concentración de sólidos en los lodos es menor que en otros sedimentadores y la dificultad de limpieza cuando tienen lugar deposiciones de material en las láminas. Por otro lado, el sedimentador cilíndrico-cónico presenta una menor inversión inicial y menor mantenimiento que el sedimentador lamelar por lo que es la mejor opción desde el punto de vista económico.

Teniendo en cuenta que en la planta en la que va a instalarse el sedimentador no hay problemas de espacio se ha elegido el **sedimentador cilíndrico-cónico** como mejor opción.

Para el dimensionamiento del sedimentador se han recogido muestras de agua residual de dos plantas de pulido diferentes. Una de ellas corresponde a una planta en la que se realiza un pulido de intensidad baja de tipo *Lapatto* y la otra de una planta en la que el pulido es de intensidad media sobre esmalte y granilla. Se calculará la superficie necesaria para las dos muestras de agua y se escogerá la que sea mayor con el fin de que la EDAR se pueda adaptar al caso más desfavorable.

Para ambas muestras se ha realizado un ensayo de decantación, que ha consistido en introducir el agua residual en una probeta tras añadir las dosis óptimas de los reactivos en un ensayo de Jar-test, y se han anotado valores de la altura de la interfase frente al tiempo durante su decantación. En la figura 2.8 se observa una imagen de la probeta a con el agua residual antes y después de su decantación:



Figura 2.8. Ensayo de decantación. Agua residual (probeta izquierda) y agua decantada (probeta derecha)

Tras realizar los ensayos de decantación con ambas muestras se han obtenido las curvas de decantación de la figura 2.9:

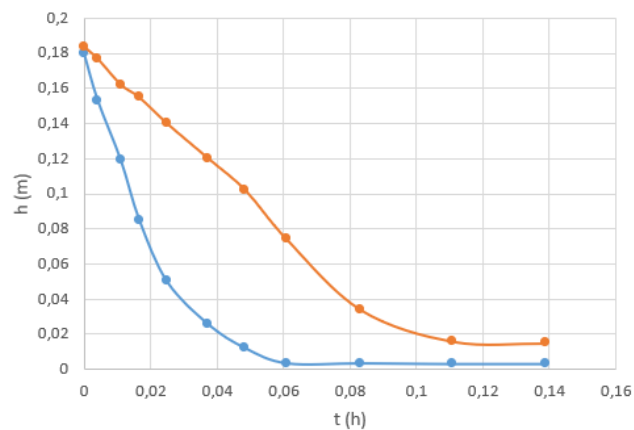


Figura 2.9. Curvas de decantación para las muestras de agua procedentes de un de tipo Lapatto (1) y de un pulido sobre esmalte y granilla (2)

El área del sedimentador se puede calcular siguiendo el principio de etapa limitante. Según este, el área del sedimentador viene dada por la mayor de las requeridas para que se lleve a cabo la etapa de decantación frenada (A_1) y la de compresión (A_2).

- **Área de decantación frenada (A_1):** la capacidad de clarificación del sistema puede estimarse a partir de la velocidad de decantación de la interfase. Al representar el valor de esta interfase frente al tiempo la velocidad de sedimentación es la pendiente en esta zona (pendiente de la línea 1 de la figura 2.10). Aplicando el principio de que la velocidad ascensional tiene que ser superior a la velocidad de sedimentación, el área mínima requerida para la clarificación puede calcularse a partir de la ecuación 2.3:

$$A_1 = \frac{Q}{V_s} \quad (2.3)$$

A_1 : área de sedimentación.

Q : caudal de agua tratada.

V_s : velocidad de sedimentación para la decantación frenada.

- **Área de compresión (A_2):** Talmadge y Fitch (1955) también han indicado que la capacidad de espesamiento puede determinarse considerando las características de sedimentación en un experimento discontinuo para las suspensiones concentradas. Ellos han indicado que se obtiene un espesamiento adecuado, cuando el área se calcula según la ecuación 2.4:

$$A_2 = \frac{Q}{V_c} = \frac{Q}{\frac{H_0}{t_u}} = \frac{Q \cdot t_u}{H_0} \quad (2.4)$$

t_u : tiempo requerido para alcanzar una concentración de fangos deseada (C_u).

H_0 : altura inicial de la interfase en los ensayos iniciales de decantación.

Donde la altura H_u gráficamente se sitúa en un punto sobre el tramo de pendiente casi horizontal en la zona de compresión.

El diseño del área requerida para la zona de compresión es una función de la concentración de fango deseado, C_u , que es el parámetro de diseño que debe fijarse. Por otra parte, existe una concentración crítica que nos dará un área requerida máxima. Esta concentración crítica debe ser la base para el diseño.

Eckenfelder y Milbinger (1957) indicaron que la concentración crítica y el valor de t_u pueden obtenerse a partir de la representación de $H = f(t)$. El procedimiento gráfico mostrado en la figura 2.10 el siguiente:

- En primer lugar, se traza la bisectriz (línea 3) del ángulo formado por las tangentes a las zonas de decantación frenada (línea 1), y la de compresión (línea 2). El punto de intersección de la bisectriz con la curva es representativo de la concentración crítica, C_c (punto 1).

El valor de t_u se estima trazando una línea paralela al eje horizontal (línea 4) y pasando por el punto de concentración de fangos deseada, C_u . El valor de t_u se obtiene por intersección de la línea horizontal (línea 4) con una línea tangente a la curva en el punto 1 (línea 5), trazando una línea paralela al eje de ordenadas en el punto de intersección (línea 6).

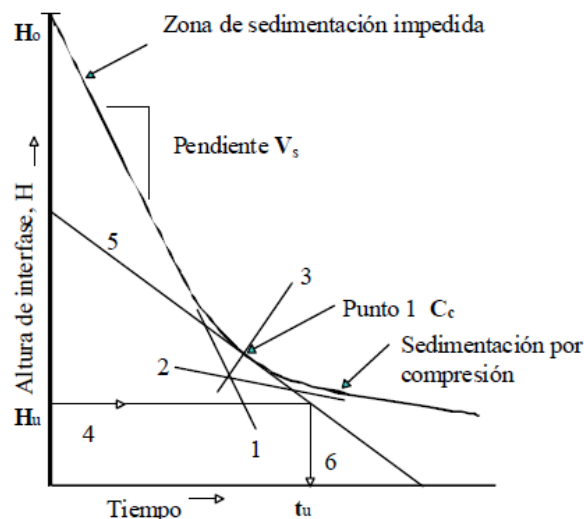


Figura 2.10. Método gráfico de Talmadge y Fitch (Monfort, E, 2013)

7.1.4. Filtración de profundidad

La filtración se utiliza para lograr una eliminación adicional de partículas suspendidas.

Se ha decidido instalar filtros de profundidad ya que, aunque el sedimentador elimina la mayor parte de los sólidos, los sólidos restantes pueden provocar el rayado de alguna pieza al reutilizar las aguas en el proceso de pulido, haciendo que se desechen baldosas y generando pérdidas económicas mayores a los costes asociados a estos filtros.

Se puede elegir entre dos tipos de lecho de filtración:

- **Único:** normalmente de arena.
- **Múltiple:** arena, grava y/o antracita.

En los filtros de capa múltiple los sólidos en suspensión pueden penetrar a mayor profundidad dentro del lecho filtrante, aprovechando más la capacidad de almacenamiento de sólidos dentro del filtro y permitiendo ciclos de filtración más largos, mientras que, en los lechos de capa única poco profundos, gran parte de la eliminación de los sólidos se produce en los primeros milímetros de la capa filtrante.

Se ha decidido utilizar un **filtro de arena y antracita** para aumentar la duración del ciclo de filtrado y para conseguir una disminución de la DQO gracias a la antracita, ya que en la analítica del agua residual se ha observado que este parámetro es relativamente elevado.

A medida que se van depositando los sólidos en el lecho las capas del medio filtrante se van saturando en el sentido de circulación del líquido y llega un momento a partir del cual la altura del lecho no saturado de sólidos es insuficiente para obtener la calidad del efluente deseada, y se debe parar el proceso para efectuar la limpieza del filtro.

El lavado de los filtros se suele realizar en contracorriente con un caudal suficiente como para expandir las partículas del medio filtrante formando una suspensión. El material depositado es arrastrado a través del lecho expandido y se descarga en un canal de recogida de agua de lavado. En la figura 2.11 se muestra un esquema del recorrido que sigue el agua a través de los filtros de profundidad cuando están en operación y mientras se están lavando a contracorriente:

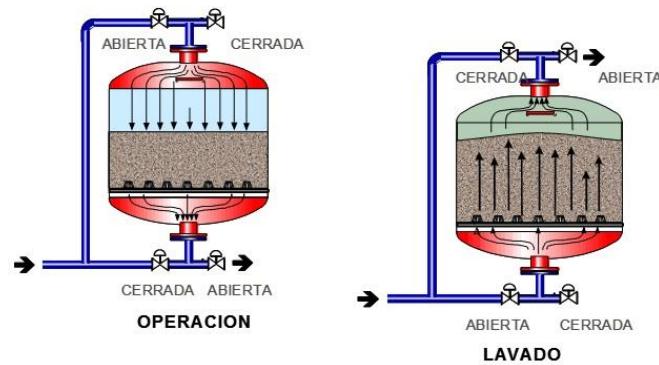


Figura 2.11. Esquema de un filtro de profundidad en operación y durante el lavado (Monge M. A, 2018)

Tal y como se observa en la figura 2.11, los filtros deberán constar de las válvulas necesarias que permitan el cambio de sentido del agua para su limpieza.

7.1.5. Balsa pulmón

Se ha considerado conveniente la instalación de una balsa pulmón donde se recoja el agua depurada procedente del sedimentador y de la línea de fangos con el objetivo de asegurar la constancia del caudal que entre a los filtros de profundidad y para evitar detener la depuradora por completo en caso de que alguno de los equipos falle, pudiendo almacenar y suministrar agua.

7.1.6. Balsa de acumulación

El agua depurada procedente de los filtros de profundidad será dirigida hasta una balsa de acumulación. Esta balsa tendrá la función de acumular agua, cuando no se necesite en el proceso de pulido, y de poder suministrar el agua acumulada, a la planta de producción, en caso de averías o paradas por mantenimiento en la EDAR.

En esta balsa se instalarán difusores para la aireación del agua para oxidar la posible materia orgánica y eliminar olores. Sin embargo, debido al consumo energético que conllevan, estarán en marcha solo cuando sea necesario, principalmente cuando las temperaturas sean elevadas, ya que es cuando se generan más problemas de olores.

La aireación mediante difusores consiste en la introducción de burbujas de aire en el agua para que se produzca la transferencia del oxígeno durante el ascenso de las burbujas a la superficie. Existen dos tipos de difusores:

- **Difusores de burbuja fina:** se producen burbujas finas en el difusor. Presentan una mayor eficacia en la transferencia de oxígeno, pero pueden generar problemas de atascos.
- **Difusores de burbuja gruesa:** generan menos problemas de atascamiento, menores pérdidas de carga y mayor mezcla, pero presentan la desventaja de que la eficacia en la transferencia de oxígeno es menor que en los difusores de burbuja fina ya que la superficie específica de las burbujas gruesas es menor.

Teniendo en cuenta que en la balsa de acumulación los sólidos en el agua se habrán eliminado casi en su totalidad, en los tratamientos anteriores, los atascos causados por los sólidos no serán un problema. Por lo tanto, se instalarán **difusores de burbuja fina** para obtener una mayor eficacia en la transferencia de oxígeno.

7.1.7. Aumento de la concentración de sólidos solubles

Aunque el agua se depura para ser reutilizada se deberán cumplir los límites de vertido ya que cuando se limpien los equipos se deberá verter el agua.

Debido a los elevados costes que supone realizar un tratamiento que elimine los sólidos solubles, como la osmosis inversa, el cambio iónico o la electrodiálisis, se ha decidido que la mejor opción para evitar superar los límites de vertido es realizar purgas.

Tras analizar el agua residual y revisar los límites de vertido fijados por la *Entitat Pública de Sanejament d'Aigües Residuals de la Comunitat Valenciana (EPSAR)* se ha decidido realizar purgas en función de la concentración de cloruros, ya que es el contaminante crítico, que alcanza antes la concentración límite de vertido.

El aumento de la concentración de cloruros se debe, por una parte, a los cloruros que contiene el agua de pozo que se concentran progresivamente debido a la evaporación de alrededor de

un 2% del agua y a los cloruros generados durante el proceso pulido (contenidos sobre todo en los restos de muelas abrasivas que arrastra el agua).

Además de cumplir los límites de vertido, al purgar el agua, se evitarán problemas de corrosión provocados por concentraciones elevadas de este contaminante.

7.2. Línea de fangos

Los fangos generados en las diferentes etapas del tratamiento de aguas tienen que ser tratados con el objetivo de deshidratarlos separando el agua del residuo sólido. De este modo se reduce el volumen de fangos facilitando su manejo y disminuyendo el espacio necesario para su almacenamiento en la planta antes de su gestión.

7.2.1. Espesamiento

En primer lugar, se realizará un espesamiento para aumentar el contenido en sólidos del fango eliminando parte del agua que contiene. El espesamiento del fango se suele llevar a cabo mediante operaciones físicas, utilizando equipos como espesadores por gravedad, flotación, centrifugación y filtros banda.

En este caso, el espesamiento se llevará a cabo mediante un **espesador por gravedad**, en el que los sólidos contenidos en el fango sedimentan separándose de un efluente prácticamente libre de sólidos en suspensión tal y como se observa en la figura 2.12. Con este tratamiento se optimiza el rendimiento de los tratamientos posteriores.

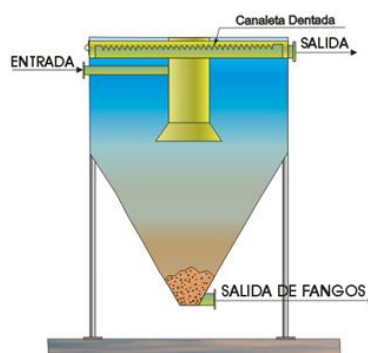


Figura 2.12. Esquema de un espesador de fangos por gravedad (Fuente: Bupolsa)

El agua obtenida a la salida del espesador será enviada a la balsa pulmón y posteriormente a los filtros de profundidad con el fin de eliminar los sólidos restantes para su reutilización en la planta de pulido.

7.2.2. Deshidratación

La deshidratación se llevará a cabo después del espesamiento para conseguir grados de humedad inferiores de los conseguidos en la etapa anterior. Esto hará que los costes de transporte del fango para su gestión sean menores y que se pueda reutilizar un mayor volumen de agua.

En las aguas de procedencia cerámica se suele utilizar un **filtro prensa** para la deshidratación del fango aplicando una presión elevada que fuerza la evacuación del agua presente en el fango. Las ventajas que presenta este equipo son las altas concentraciones elevadas de sólidos en el fango deshidratado y el bajo contenido en sólidos del agua separada.

El funcionamiento de este equipo consiste en la alimentación del fango entre las placas del filtro y la aplicación de presión para forzar al agua a pasar a través de la tela filtrante. Al finalizar el proceso las placas se separan y se descargan las tortas formadas. Cada cierto número de ciclos se tiene que lavar la tela filtrante.

7.2.3. Gestión de los fangos

Tal y como se explica en el apartado de *Antecedentes*, debido a que los fangos generados contienen restos de muelas abrasivas, es difícil reutilizarlos en el propio proceso de fabricación de gres porcelánico, por lo que se debe estudiar una alternativa para su gestión. Se ha buscado una alternativa basada en los principios de la economía circular para poder reutilizar este fango y evitar su vertido.

El fango generado tiene la misma composición que el gres porcelánico, encontrándose además en ella carborundo, que le confiere una mayor resistencia a la abrasión.

Las características del gres porcelánico (actividad puzolánica y dureza) hacen que se pueda utilizar como **sustituto del cemento** en hormigón de altas prestaciones y otros productos

derivados siendo una mejor opción desde el punto de vista económico y ambiental (Vicedo, V. C., Lopez, A. M. y Dominguez, L. E., 2003).

Los objetivos de esta alternativa son los siguientes:

- Evitar verter el fango, difícil de eliminar, y atribuirle un valor añadido.
- Obtener un cemento de menor coste energético y más económico que el convencional, como consecuencia de la sustitución de cemento por los fangos en la confección de morteros y hormigones especiales y productos derivados.
- Obtener un cemento con mejores prestaciones mecánicas y mayor durabilidad ya que las propiedades puzolánicas de los lodos cerámicos generan un aumento en las prestaciones mecánicas, tanto a cortos como a largos tiempos de fraguado, además de disminuir el tamaño de los poros generados en pastas, morteros u hormigones fabricados con dichas adiciones.

8. RESULTADOS FINALES

Tras analizar las diferentes alternativas el esquema del proceso de tratamiento de las aguas residuales es el de la figura 2.13:

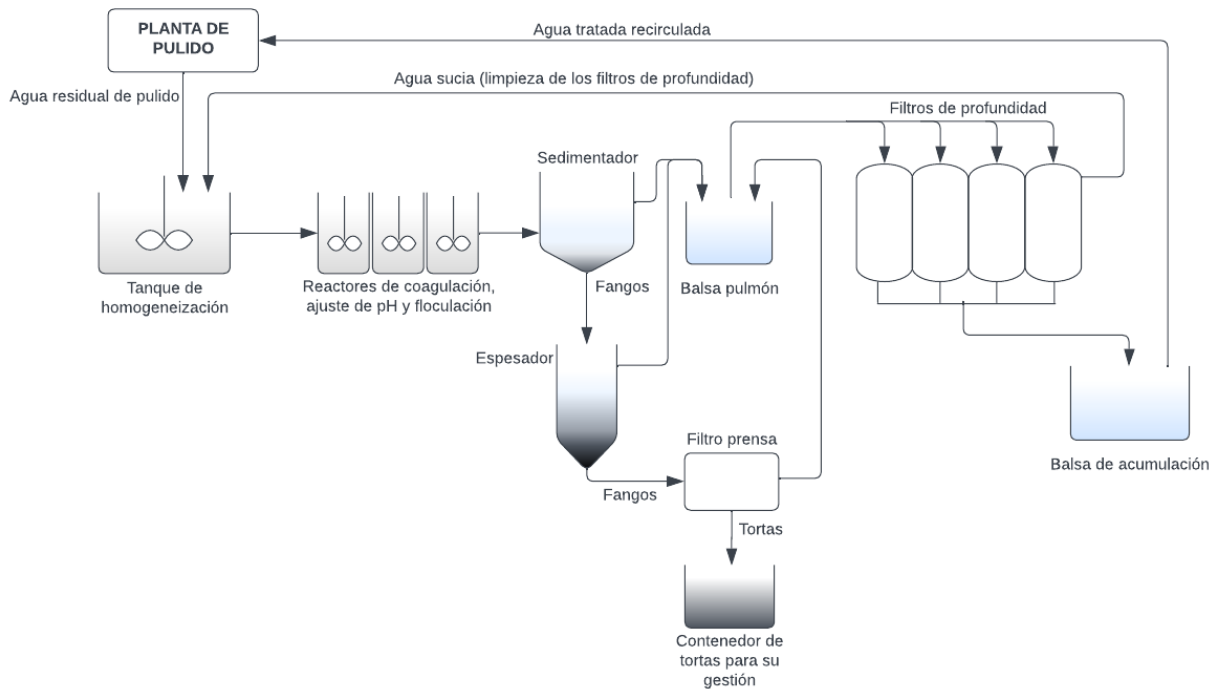


Figura 2.13. Diagrama de flujo del proceso

8.1. Línea de aguas

8.1.1. Tanque de homogeneización

En primer lugar, las aguas residuales producidas por la planta de pulido serán bombeadas al tanque de homogeneización.

El tanque ha sido diseñado para poder acumular agua durante 2h con el fin de prever paradas en la depuradora por mantenimiento y averías. Además, se ha sobredimensionado un 25%.

El volumen de este tanque será de 390 m³ (*Anexos*). Será de geometría cilíndrica y de hormigón prefabricado.

Para la homogeneización del agua se utilizará un agitador de tipo turbina de seis palas planas. Las dimensiones del tanque de homogeneización y del agitador según Rushton (*Anexos*) son las que se recogen en la tabla 2.10:

Tabla 2.10. Dimensiones del tanque de homogeneización y de su agitador

D_t (m)	H (m)	J (m)	Da (m)	E (m)	L (m)	W (m)
7,9	7,9	0,66	2,6	2,6	0,65	2,5

La potencia del agitador es de 140,28 W y su velocidad de giro de 1,34 rpm.

8.1.2. Coagulación

A continuación, el agua será bombeada hasta un reactor donde se añade el coagulante. Se ha elegido un coagulante orgánico de origen natural tal y como se ha indicado en el apartado de *Análisis de soluciones*. Este, se dosificará directamente desde el IBC en el que se vende el producto. En esta etapa se conseguirá la desestabilización de las partículas coloidales presentes en el agua residual.

- **Dosis de coagulante:**

La dosis de coagulante determinada mediante los ensayos con el Jar-Test es de 100 ppm por lo que se dosificará un caudal másico de 15,6 kg/h (*Anexos*).

- **Reactor de coagulación:**

Para la dosificación de los reactivos se utilizará un reactor continuo de tanque agitado. El reactor de coagulación se ha diseñado con un tiempo de residencia de 2 minutos y de geometría cilíndrica con un volumen de 7,8 m³ (*Anexos*).

El agitador elegido es de tipo turbina de seis palas planas. Las dimensiones del reactor de coagulación y del agitador según Rushton (*Anexos*) son las de la tabla 2.11:

Tabla 2.11. Dimensiones del reactor de coagulación y de su agitador

D_t (m)	H (m)	J (m)	Da (m)	E (m)	L (m)	W (m)
2,15	2,15	0,18	0,72	0,72	0,18	0,14

La potencia del agitador es de 8,45 kW y su velocidad de giro de 120 rpm para garantizar que el coagulante se disperse correctamente en el agua.

8.1.3. Neutralización

Si se utiliza el coagulante orgánico de origen natural los equipos que se describen a continuación estarán parados ya que no será necesario el uso de un neutralizante.

Sin embargo, se han diseñado los equipos necesarios para la etapa de neutralización, para prever futuros cambios, tomando como referencia el consumo de hidróxido sódico determinado mediante los ensayos de Jar-test utilizando cloruro férrico como coagulante.

- **Dosis de neutralizante:**

La dosis de coagulante determinada mediante los ensayos con el Jar-Test es de 7,5 ppm por lo que se dosificará un caudal de 1,17 kg/m³ (*Anexos*).

- **Tanque de preparación de neutralizante:**

Como la dosis que se debe añadir de neutralizante es baja se va a preparar diluyéndolo en agua a una concentración del 5%. Para ello se ha diseñado un tanque que consta de un compartimento de preparación y otro de almacenamiento y dosificación.

Se va a realizar una preparación de neutralizante al día y el compartimento de almacenamiento tendrá la capacidad suficiente para almacenar neutralizante durante un día.

Según los cálculos reflejados en los *Anexos* ambos compartimentos tienen un volumen de 0,702 m³. Los compartimentos son de geometría cúbica para facilitar el paso del neutralizante del compartimento de preparación hacia el de almacenamiento. Se han diseñado con una altura igual a la longitud de los lados de 0,89 m.

El agitador elegido es de tipo turbina de seis palas planas. Las dimensiones de los compartimentos y del agitador para la preparación del neutralizante según Rushton (*Anexos*) son las de la tabla 2.12:

Tabla 2.12. Dimensiones del compartimento de preparación de neutralizante y de su agitador

D (m)	H (m)	J (m)	Da (m)	E (m)	L (m)	W (m)
0,89	0,89	0,07	0,30	0,30	0,08	0,06

La potencia del agitador es de 567 W y su velocidad de giro de 200 rpm.

- **Reactor de neutralización:**

Para la dosificación del neutralizante se utilizará un reactor continuo de tanque agitado. Se ha diseñado con un tiempo de residencia de 2 minutos y de geometría cilíndrica con un volumen de $7,8 \text{ m}^3$ (*Anexos*).

El agitador elegido es de tipo turbina de seis palas planas. Las dimensiones del reactor de neutralización y del agitador según Rushton (*Anexos*) son las recogidas en la tabla 11.

La potencia del agitador es de $8,45 \text{ kW}$ y su velocidad de giro de 120 rpm .

En este reactor se instalará un regulador digital de pH, conductividad y turbidez para controlar estos parámetros con el fin de poder comprobar que la dosificación de reactivos es la correcta para conseguir los resultados esperados.

8.1.4. Floculación

Para la etapa de floculación se utilizará un polielectrolito catiónico de naturaleza catiónica que producirá la aglomeración de las partículas desestabilizadas previamente.

- **Dosis de floculante:**

La dosis de floculante determinada mediante los ensayos con el Jar-Test es de 2 ppm por lo que se dosificará un caudal de $0,312 \text{ kg/m}^3$ (*Anexos*).

- **Tanque de preparación de floculante:**

Como la dosis que se debe añadir de neutralizante es baja se va a preparar diluyéndolo en agua a una concentración del $0,1\%$. Para ello se ha diseñado un tanque que consta de un compartimento de preparación y otro de almacenamiento y dosificación.

Se van a realizar dos preparaciones de floculante al día y el compartimento de almacenamiento tendrá la capacidad suficiente para almacenar floculante durante un día.

Según los cálculos reflejados en los *Anexos* el compartimento de preparación se ha diseñado con un volumen de $4,68 \text{ m}^3$. El compartimento es de geometría cúbica para facilitar el paso del floculante hacia el compartimento de almacenamiento. Se ha diseñado con una altura igual a la longitud de los lados de $1,67 \text{ m}$.

Por otro lado, el compartimento de almacenamiento tendrá un volumen de $9,36 \text{ m}^3$ y su altura será de 1,67 m, como la del compartimento de preparación. La longitud de los lados será de 2,37 m.

El agitador elegido es una hélice de paso cuadrado de 3 palas. Las dimensiones del compartimento de preparación de floculante y del agitador según Rushton (*Anexos*) son las de la tabla 2.13:

Tabla 2.13. Dimensiones del compartimento de preparación de floculante y de su agitador

D (m)	H (m)	J (m)	Da (m)	E (m)	L (m)	W (m)
2,37	2,37	0,05	0,56	0,56	2,37	0,11

La potencia del agitador es de 10,20 kW y su velocidad de giro de 500 rpm.

- **Reactor de floculación:**

Para la dosificación del floculante se utilizará un reactor continuo de tanque agitado. Se ha diseñado con un tiempo de residencia de 6 minutos y de geometría cilíndrica con un volumen de $23,4 \text{ m}^3$ (*Anexos*).

El agitador elegido es de tipo turbina de seis palas planas. Las dimensiones del reactor de floculación y del agitador según Rushton (*Anexos*) son las recogidas en la tabla 2.14:

Tabla 2.14. Dimensiones del reactor de floculación y de su agitador

D_t (m)	H (m)	J (m)	Da (m)	E (m)	L (m)	W (m)
3,1	3,1	0,26	1,00	1,00	0,25	0,20

La potencia del agitador es de 1,05 kW y su velocidad de giro de 60 rpm para evitar la rotura de los flóculos formados.

8.1.5. Sedimentación

El agua residual procedente del reactor de floculación será dirigida a un sedimentador cilíndrico-cónico donde sedimentarán los flóculos formados. En el interior del sedimentador se instalarán rasquetas que efectuarán el barrido del fango decantado hasta la parte central inferior para su extracción. La velocidad de las rasquetas es de 0,03 rpm.

La superficie necesaria para una correcta decantación de los sólidos se ha determinado a partir de ensayos de decantación con aguas de pulido de gres porcelánico y es de 183,13 m². Las dimensiones del sedimentador son de 15,27 m de diámetro, 3,6 m de altura y 80 mm/m de pendiente de la solera.

Los fangos generados serán dirigidos a la línea de fangos para su espesamiento y posterior deshidratación mientras que el agua depurada será dirigida a la balsa pulmón a través de un rebosadero periférico.

8.1.6. Balsa pulmón

El agua depurada procedente del sedimentador, del espesador y el filtro prensa se conducirá a una balsa pulmón antes de pasar a los filtros de profundidad.

Esta balsa se instala con el fin de asegurar que el caudal que entre a los filtros de profundidad sea siempre el mismo y para evitar detener la depuradora por completo en caso de que alguno de los equipos falle, utilizándose para el almacenaje y suministro de agua.

Se ha diseñado con un tiempo de residencia de dos horas y le llega un caudal de agua de 155,81 m³/h. Su capacidad es de 311,6 m³ y su geometría es cilíndrica, con una altura y un diámetro de 7,35 m. Se construirá 5 m bajo tierra para reducir el espacio ocupado.

8.1.7. Filtros de profundidad

Para la etapa de filtración se han elegido filtros de lecho múltiple, de funcionamiento automático.

Se han elegido filtros de sílex y antracita con una carga de 600 kg de antracita y 600 kg de sílex. Presentan las siguientes características:

- **Dimensiones:** 1,6 m de diámetro y 2,2 m de alto.
- **Velocidad de filtración:** 20 m/h cuando estén los cuatro filtros en funcionamiento y 27 m/h cuando se esté limpiando uno de ellos.
- **Presión máxima de trabajo:** 10 bar.
- **Velocidad de lavado:** 25 m/h.

El caudal de agua que llega a los filtros en profundidad es de 155,81 m³/h y la velocidad de filtración de 20 m/h siendo necesaria la instalación de cuatro filtros según los cálculos reflejados en los *Anexos*.

Por lo que respecta a la limpieza de los filtros, se realizará con agua de la balsa de acumulación ya depurada a contracorriente. Se limpiará una vez al día cada filtro, ya que la cantidad de sólidos que presenta el agua en esta etapa es baja, y la duración del ciclo de limpieza será de unos 20 minutos. Mientras se esté limpiando uno de los filtros el caudal total se repartirá entre los otros tres, siendo la velocidad de filtración de 27 m/h.

Se ha seleccionado una velocidad de lavado de 30 m/h dentro del rango recomendado, por lo que el caudal de agua de lavado necesario será de 60,3 m³/h. Teniendo en cuenta que el lavado dura 20 minutos el volumen necesario para cada lavado es de 19,90 m³.

8.1.8. Balsa de acumulación

Por último, el agua filtrada se dirigirá a una balsa de acumulación antes de ser reutilizada en la planta de pulido. Servirá para suministrar agua a la planta de pulido en caso de averías o paradas por mantenimiento en la depuradora y para acumular agua cuando la planta de pulido no esté en funcionamiento. Además, parte del agua almacenada será utilizada para la limpieza de los filtros de profundidad.

Esta balsa se ha diseñado para poder acumular agua durante un turno de trabajo (8h). Según los cálculos realizados en el apartado de *Anexos* su volumen será de 1.558 m³ y su geometría cilíndrica, con una altura y un diámetro de 12,56 m. Se construirá 5 m bajo tierra para reducir el espacio ocupado.

Se instalarán difusores de burbuja fina para oxidar la materia orgánica y eliminar olores. El caudal de aire necesario es de $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de balsa (Monfort, E, 2020), por lo que se instalarán 20 difusores con un caudal de aire de $8 \text{ m}^3/\text{h}$.

8.2. Línea de fangos

8.2.1. Espesador

Los fangos generados en el sedimentador serán llevados a un espesador por gravedad de geometría cilíndrica-cónica. Este equipo se ha diseñado para tratar un caudal de fangos de $13,57 \text{ m}^3/\text{h}$.

Tal y como se calcula en el apartado de *Anexos*, el área del espesador será de $12,65 \text{ m}^2$ y tendrá un diámetro de 4,01 m. El ángulo de la parte cónica será de 60° para facilitar la extracción de los fangos ya que este espesador no consta de rasquetas que faciliten la sedimentación de los sólidos. La altura total será de 5,47 m, siendo de 3,47m la altura de la parte cónica y de 2m la de la parte cilíndrica.

Su volumen será de $39,91 \text{ m}^3$, por lo que el tiempo de residencia será de 2,94h.

8.2.2. Filtro prensa

El caudal de fangos que llegará al filtro prensa será de $5,65 \text{ m}^3/\text{h}$ generando $362,66 \text{ kg/h}$ de tortas y $5,46 \text{ m}^3/\text{h}$ de agua depurada según los balances de materia realizados en *Anexos*.

En esta etapa se conseguirá obtener un fango muy deshidratado, con una humedad residual de alrededor del 20%.

8.2.3. Gestión de las tortas

Las tortas generadas en el filtro prensa caerán por gravedad a un contenedor. Cuando esté lleno serán recogidas por un camión de 26 toneladas de capacidad para llevarlas hasta una fábrica de cemento ubicada en Buñol, donde serán reutilizadas en el proceso de fabricación.

Se utilizará un contenedor estándar de acero corten con un volumen de $27,86 \text{ m}^3$ para poder almacenar las 26 toneladas que puede transportar el camión. Será de geometría rectangular,

de 6m de largo y 3m de ancho, para asegurar que los fangos del filtro prensa caigan dentro, y de 1,24m de altura (*Anexos*).

En caso de que la planta de producción trabaje las 24h del día el contenedor será vaciado por el camión cada 3 días.

8.3. Conducciones y bombas

Las conducciones que componen la EDAR se recogen en la tabla 2.15 junto a la descripción del tramo para la que se instala cada una:

Tabla 2.15. Descripción de las conducciones necesarias

Conducciones	Descripción
1	Tanque de homogeneización – Reactor de coagulación
2	Reactor de coagulación – Reactor de neutralización
3	Reactor de neutralización – Reactor de floculación
4	Tubería de adición del coagulante
5	Tubería de adición del neutralizante
6	Tubería de adición del floculante
7	Reactor de floculación - Sedimentador
8	Sedimentador – Balsa pulmón
9	Balsa pulmón – Bifurcación anterior a los filtros de profundidad
10, 11, 12 y 13	Bifurcación anterior a los filtros de profundidad – Entrada a los filtros de profundidad
14, 15, 16 y 17	Salida de los filtros de profundidad - Bifurcación posterior a los filtros de profundidad
18	Bifurcación posterior a los filtros de profundidad - Balsa de acumulación
19	Sedimentador – Espesador de fangos
20	Espesador de fangos – Balsa pulmón
21	Espesador de fangos – Filtro prensa
22	Filtro prensa – Balsa pulmón
23	Balsa de acumulación – Bifurcación posterior a los filtros de profundidad (lavado de filtros a contracorriente)
24, 25, 26 y 27	Bifurcación anterior a los filtros de profundidad (lavado de filtros a contracorriente) – Entrada del agua de lavado a los filtros de profundidad
28, 29, 30 y 31	Salida de del agua de lavado de los filtros de profundidad - Bifurcación posterior a los filtros de profundidad (lavado de filtros a contracorriente)
32	Bifurcación posterior a los filtros de profundidad (lavado de filtros a contracorriente) – Tanque de homogeneización

En la tabla 2.16 se observa un resumen de las características de cada una de las conducciones según los cálculos reflejados en el apartado de *Anexos*:

Tabla 2.16. Resumen de las características de las conducciones

Conducciones	Fluido	Q (m³/h)	v (m/s)	Diámetro nominal (mm)
1, 2, 3 y 7	Agua	156	1,2	DN 200
4	Coagulante	0,014	0,15	DN 6
5	Neutralizante	0,234	0,15	DN 8
6	Floculante	0,312	0,15	DN 25
8	Agua	142,43	1,2	DN 200
9 y 18	Agua	155,81	1,2	DN 200
10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17	Agua	38,95 (4 filtros)	1,2	DN 115
		51,94 (3 filtros)		
19	Agua	13,57	0,6	DN 90
20	Agua	7,92	1	DN 50
21	Agua	5,65	0,6	DN 50
22	Agua	5,46	0,6	DN 50
23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 32	Agua	60,30	1,2	DN 125

Por otro lado, en la tabla 2.17, se describen los tramos para los que se han aplicado los balances de energía mecánica para saber que bombas se necesitan instalar:

Tabla 2.17. Tramos para la aplicación de los balances de energía mecánica

Tramo	Descripción
1	Salida del tanque de homogeneización - Entrada al reactor de coagulación
2	Salida del reactor de coagulación – Entrada al reactor de neutralización
3	Salida del reactor de neutralización – Entrada al reactor de floculación
4	Inicio de la tubería de adición del coagulante – Final de la tubería de adición del coagulante
5	Inicio de la tubería de adición del neutralizante – Final de la tubería de adición del neutralizante
6	Inicio de la tubería de adición del floculante – Final de la tubería de adición del floculante
7	Salida del reactor de floculación – Entrada al sedimentador
8	Salida del sedimentador – Balsa pulmón
9	Salida de la balsa pulmón – Entrada a la balsa de acumulación
10, 11, 12 y 13	Entrada a los filtros de profundidad – Bifurcación posterior a los filtros de profundidad
14	Bifurcación posterior a los filtros de profundidad – Entrada a la balsa de acumulación
15	Salida del sedimentador – Entrada al espesador de fangos
16	Salida del espesador de fangos – Entrada a la balsa pulmón
17	Salida del espesador de fangos – Entrada al filtro prensa
18	Salida del filtro prensa – Entrada a la balsa pulmón
19	Salida de la balsa de acumulación – Bifurcación anterior a los filtros de profundidad (lavado de filtros a contracorriente)
20, 21, 22 y 23	Bifurcación anterior a los filtros de profundidad – Bifurcación posterior a los filtros de profundidad (lavado de filtros a contracorriente)
24	Bifurcación posterior a los filtros de profundidad – Tanque de homogeneización (lavado de filtros a contracorriente)

Por último, en la tabla 2.18 se muestra un resumen de las bombas instaladas en la EDAR, así como los tramos por los que impulsarán el agua y sus características teniendo en cuenta los cálculos realizados en *Anexos*:

Tabla 2.18. Resumen de las bombas seleccionadas

Bomba	Tramos	h_B (m)	Q_v (m ³ /h)	Bomba comercial
1	1	1,68	156	Bomba centrífuga serie ESP
2	2	0,61		
3	3	1,57		
4	4	2,23	0,014	Bomba dosificadora serie G A
5	5	2,18	0,234	Bomba dosificadora Seko Spring
6	6	3,42	0,312	Bomba dosificadora Seko Spring
7	7	1,38	156	Bomba centrífuga serie ESP
8	[9 – 14]	17,64	155,81	Bomba centrífuga serie ESP
9	15	2,40	13,57	Bomba centrífuga 3M 32-125
10	[19 – 24]	15,14	60,30	Bomba centrífuga 3M 50-125

En los tramos en los que no se instala ninguna bomba, esto se debe a que el fluido circula de un punto al otro por gravedad.

8.4. Caudal de purga y consumo de agua

Tras realizar los balances hídricos reflejados en el apartado de *Anexos* se ha determinado que el caudal de agua que se deberá purgar para que la concentración de los cloruros presentes en el agua no supere el valor límite de vertido es de **15,53 m³/h**.

Por otro lado, teniendo en cuenta el caudal de purga, el agua evaporada durante el pulido y la contenida en las tortas generadas en el filtro prensa, se ha determinado que el consumo de agua de pozo debe de ser de **18,72 m³/h**.

9. VIABILIDAD ECONÓMICA

9.1. Resumen del presupuesto de inversión

En la tabla 2.19 se puede ver un resumen del presupuesto, elaborado de forma detallada en el apartado de *Presupuesto*:

Tabla 2.19. Resumen del presupuesto de inversión

Elemento	Precio (€)
Obra civil	125.000
Equipos principales	251.500
Conducciones	9.258,97
Accesorios de las conducciones	15.545,83
Equipos auxiliares	29.250
Instalación eléctrica	9.225
PEM	439.279,80
Gastos generales y cargas fiscales (15%)	65.8891,80
Beneficio industrial (6%)	26.356,79
PEC	531.528
Proyecto y dirección de la obra	37.207
TOTAL	568.735,56
TOTAL + IVA (21%)	688.170,03 €

La inversión inicial del proyecto corresponde al presupuesto total de inversión, con un valor de 688.170,03 €.

9.2. Gastos

En este apartado se calculan los gastos que tiene la EDAR anualmente. Para su cálculo se distinguirá entre gastos directos e indirectos.

9.2.1. Gastos directos

En primer lugar, se calculan los gastos directos, que son aquellos que son proporcionales a la cantidad de agua depurada.

Para calcular los costes anuales se ha tenido en cuenta que la depuradora funciona las 24h del día y, de media, se ha considerado que está en funcionamiento unos 330 días al año.

A continuación, se calculan los costes de electricidad tal y como se puede observar en la tabla 2.20. En el caso del tanque de preparación, se ha tenido en cuenta que se realizan dos preparaciones al día. El tiempo de preparación del floculante es de 20 minutos (0,67 h/día). Cuando se utiliza el coagulante natural no es necesaria la adición de neutralizante, por lo que no se ha considerado el consumo eléctrico asociado al tanque y al reactor de neutralización.

Para calcular los costes de electricidad se ha tomado un valor medio de **0,16 €/kW·h** (coste medio de la luz en los meses de septiembre y octubre de 2023 según datos de *Red Eléctrica de España*). El coste anual se ha calculado mediante la ecuación 1.5:

$$\text{Coste anual (€/año)} = \text{potencia (kW)} \cdot t \text{ (h/año)} \cdot 0,16 \text{ (€/kW} \cdot \text{h)} \quad (1.5)$$

Tabla 2.20. Costes de electricidad

COSTES DE ELECTRICIDAD				
Concepto	Unidades	Potencia unitaria (kW)	Potencia total (kW)	Coste anual (€/año)
Agitador del tanque de homogeneización	1	0,14	0,14	177,41
Bomba de dosificación de la serie G A	1	0,12	0,12	152,06
Bomba de dosificación Seko de la serie Spring PS2	2	0,75	1,5	1.900,80
Bomba centrífuga de la serie Esp	5	6	30	38.016,00
Bomba centrífuga de la serie 3M 50-125	1	2,2	2,2	2.787,84
Bomba centrífuga de la serie 3M 32-125	1	1,1	1,1	1.393,92
Agitador del reactor de coagulación	1	8,45	8,45	10.707,84
Agitador del reactor de floculación	1	1,05	1,05	1.330,56
Agitador del tanque de preparación de floculante	1	10,20	10,20	360,84
Sedimentador	1	3	3	3.801,60
Filtro prensa	1	5	5	6.336,00
Coste total				66.964,87 €

Por otro lado, los costes anuales de los reactivos para el tratamiento químico elegido son los de la tabla 2.21:

Tabla 2.21. Costes de los reactivos para el tratamiento químico

COSTES DE LOS REACTIVOS				
Reactivo	Dosis (kg/h)	Coste (€/kg)	Coste (€/h)	Coste anual (€/año)
Coagulante (orgánico de origen natural)	15,6	0,65	10,14	80.308,80
Floculante (polielectrolito catiónico líquido)	0,312	3,80	1,1856	9.389,65
Coste total				89.698,45 €

El agua que se debe aportar para la preparación del floculante y para compensar el caudal de agua vertida y evaporada se extrae de un pozo que hay en la planta. Se ha considerado un precio de extracción y tratamiento de esta agua de alrededor de **0,60 €/m³**. En la tabla 2.22 se calcula el coste anual asociado al consumo de agua:

Tabla 2.22. Costes del consumo de agua

COSTES DEL CONSUMO DE AGUA				
Uso	Caudal (m³/h)	Coste (€/m³)	Coste (€/h)	Coste anual (€/año)
Preparación de floculante	0,312	0,60	0,19	1.504,80
Consumo de agua (balance hídrico)	18,72	0,60	11,23	88.957,44
Coste total				90.462,24 €

Las tortas generadas en el filtro prensa deben ser transportadas hasta una fábrica de cementos para utilizarlos en el proceso de fabricación. La fábrica a la que serán llevadas está ubicada en Buñol, a una distancia de **90 km de la EDAR**, siendo el coste aproximado del trayecto de **0,10 €/ton·km**, incluyendo el coste de carga y descarga.

En la tabla 2.23 se calcula el coste anual asociado a la gestión de las tortas:

Tabla 2.23. Costes de la gestión de las tortas

COSTES DE LA GESTIÓN DE LAS TORTAS					
Etapa	Caudal másico de fangos (kg/h)	Distancia de transporte (km)	Coste (€/ton·km)	Coste (€/h)	Coste anual (€/año)
Filtro prensa	362,66	90	0,10	3,26	25.819,20
Coste total					25.819,20 €

En la tabla 2.24 se muestra un resumen de los diferentes tipos de gastos directos y se calculan los gastos directos totales al año:

Tabla 2.24. Gastos directos totales anuales

GASTOS DIRECTOS TOTALES	
Tipo de gasto	Coste anual (€/año)
Costes de electricidad	66.964,87
Costes de los reactivos	89.698,45
Costes del consumo de agua	90.432,24
Costes de la gestión de las tortas	25.819,20
Coste total	272.944,76 €

9.2.2. Gastos indirectos

En este apartado, se calculan los gastos indirectos, que son aquellos que, a pesar de ser necesarios para depurar el agua, no son proporcionales a la cantidad de agua depurada.

En primer lugar, se calculan los costes de personal. El personal necesario es un operario que realice las operaciones de mantenimiento y limpieza de la EDAR y los controles de laboratorio correspondientes a la medida de la concentración de cloruros y otros parámetros. Trabaja **5 días a la semana** y dedicará **4 horas diarias** ya que este operario trabajará también en otra depuradora de las que dispone la empresa.

Los costes de personal anuales son los de la tabla 2.25:

Tabla 2.25. Costes de personal

COSTES DE PERSONAL			
Trabajador	Unidades	Equivalente a jornada completo (EJC)	Salario bruto anual (€/año)
Operario de mantenimiento y controles de laboratorio	1	0,5	24.000 · 0,5
Coste total			12.000€

A continuación, en la tabla 2.26, se han calculado los gastos indirectos totales al año, sumando al coste de personal el coste estimado asociado al material y al alumbrado:

Tabla 2.26. Gastos indirectos totales

GASTOS INDIRECTOS TOTALES	
Tipo de gasto	Coste anual (€/año)
Costes de personal	12.000
Mantenimiento, material de repuesto y otros	5.000
Alumbrado	500
Coste total	17.500 €

Sumando los gastos directos y los indirectos, los **gastos totales** de la planta son de **290.444,76€** anuales.

9.3. Amortización

La amortización hace referencia a la depreciación que sufre la maquinaria por su uso a lo largo del tiempo. El periodo de amortización se ha fijado en 10 años y se calcula teniendo en cuenta la inversión inicial en maquinaria y material, que coincide con el presupuesto de ejecución por contrata:

$$Amortización = \frac{PEM}{Periodo\ de\ amortización} = \frac{439.279,80}{10} = 43.927,98\ €$$

9.4. Beneficios

Para el cálculo de los beneficios generados por la EDAR diseñada en este proyecto, no se van a tener en cuenta los ingresos de la venta de las piezas de gres porcelánico, si no que se considerará que la EDAR está gestionada por una empresa externa que cobre por el volumen de agua tratada.

A partir de los gastos de la planta y el volumen de agua tratada anuales se calcula el coste de tratar un m³ de agua:

$$\text{Coste del agua} = \frac{\text{Gastos totales} + \text{amortización}}{\text{Volumen de agua tratada}} = \frac{290.444,76 + 43.927,98 \text{ €/año}}{1.235.520 \text{ m}^3/\text{año}}$$

$$\text{Coste del agua} = 0,27 \text{ €/ m}^3$$

A partir del coste que supone tratar el agua se ha considerado adecuado fijar un precio de 0,32 €/m³ de agua tratada, de modo que se generen beneficios.

Teniendo en cuenta el consumo de agua asociado a la producción de un m² de pieza de gres porcelánico se puede estimar el coste correspondiente al consumo de agua por m² pulido:

$$\text{Coste (€/m}^2) = 0,27 \text{ €/ m}^3 \cdot 0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 0,04 \text{ €/m}^2$$

9.4.1. Beneficio bruto

El beneficio bruto (Bb), se calcula teniendo en cuenta los ingresos, los gastos totales y la amortización según la ecuación 2.6:

$$Bb = \text{Ingresos} - \text{Gastos totales} - \text{Amortización} \quad (2.6)$$

9.4.2. Beneficio neto

Para el cálculo del beneficio neto, se resta el impuesto de sociedades al beneficio bruto utilizando la ecuación 2.7:

$$Bn = Bb - \text{Impuestos de sociedades} \quad (2.7)$$

El impuesto de sociedades se puede considerar alrededor de un 25% del beneficio bruto:

$$\text{Impuesto de sociedades} = 0,25 \cdot Bb$$

El estudio de viabilidad económica se realizará para los 10 primeros años, por lo que los beneficios se calculan en la tabla 2.27 para este periodo, teniendo en cuenta un valor del IPC del 3,5%, utilizando las ecuaciones 2.6 y 2.7:

Tabla 2.27. Cálculo del beneficio y el beneficio neto para los 10 primeros años

Año	Gastos (€)	Ingresos (€)	Amortizaciones (€)	Bb (€)	Bn (€)
1	290444,76	395366,40	43927,98	60993,66	45745,25
2	300610,33	409204,22	43927,98	64665,92	48499,44
3	311131,69	423526,37	43927,98	68466,70	51350,03
4	322021,30	438349,79	43927,98	72400,52	54300,39
5	333292,04	453692,04	43927,98	76472,02	57354,01
6	344957,26	469571,26	43927,98	80686,01	60514,51
7	357030,77	486006,25	43927,98	85047,50	63785,63
8	369526,85	503016,47	43927,98	89561,65	67171,24
9	382460,28	520622,05	43927,98	94233,78	70675,34
10	395846,39	538843,82	43927,98	99069,45	74302,08

9.5. Flujo de caja (FC)

El flujo de caja (FC) proporciona información de los flujos de entrada y salida que tiene la planta en un periodo de tiempo determinado. Se calcula mediante la ecuación 2.8:

$$FC = Bn + \text{Amortización} \quad (2.8)$$

A continuación, se calculan los flujos de caja de los 10 primeros años para un IPC del 3,5% (valor medio de septiembre y octubre del 2023 según datos del *Instituto Nacional de Estadística*), en la tabla 2.28, aplicando la ecuación 2.8:

Tabla 2.28. Flujos de caja de los 10 primeros años

Año	Amortizaciones (€)	Bn (€)	FC (€)
1	43927,98	45745,25	89673,23
2	43927,98	48499,44	92427,42
3	43927,98	51350,03	95278,01
4	43927,98	54300,39	98228,37
5	43927,98	57354,01	101281,99
6	43927,98	60514,51	104442,49
7	43927,98	63785,63	107713,61
8	43927,98	67171,24	111099,22
9	43927,98	70675,34	114603,32
10	43927,98	74302,08	118230,06

9.6. Rentabilidad del proyecto

9.6.1. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN hace referencia al valor absoluto de la diferencia entre los flujos de caja actualizados a un interés prefijado. Se calcula mediante la ecuación 2.9:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FC_n}{(1 + i_r)^n} \quad (2.9)$$

I_0 : inversión inicial.

FC: flujos de caja en el periodo n.

n: periodo.

i_r : interés real.

El interés real es la relación entre el interés nominal (i_n) y el índice de precios al consumo (IPC). Se ha tomado un IPC del 3,5% (valor medio de septiembre y octubre de 2023 según datos del *Instituto Nacional de Estadística*) y un interés nominal del 4,5% de modo que el interés real es el siguiente:

$$i_r = \frac{i_n}{IPC} = \frac{4,5}{3,5} = 1,29 \%$$

El VAN se ha calculado teniendo en cuenta los flujos de caja de los 10 primeros años calculados anteriormente y su valor es de **272.024,19 €**.

El VAN obtenido es positivo lo cual significa que la inversión realizada en el proyecto produce excedentes. Además, el valor es relativamente elevado, por lo que los excedentes también lo serán.

9.6.2. Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

El TIR hace referencia al interés (i_r) que hace que el VAN de un proyecto sea igual a cero tal y como se indica en la ecuación 2.10:

$$-I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FC_n}{(1 + i_r)^n} = 0 \quad (2.10)$$

$$TIR = i_r = 7,75 \%$$

El TIR debe ser superior al interés nominal para realizar una inversión, que será más segura cuanto mayor sea.

En este caso, se ha obtenido un TIR del **7,75 %**, mayor que el interés nominal (4,5%).

9.6.3. Periodo de retorno (PR)

El PR hace referencia al tiempo que se tarda en recuperar la inversión realizada con el beneficio anual obtenido. Se calcula con la ecuación 2.11:

$$PR = \frac{\text{Inversión inicial}}{FC \text{ promedio anual}} \quad (2.11)$$

$$PR = \frac{688.170,03}{327.866,00} = 6,66 \text{ años} = \mathbf{6 \text{ años y } 241 \text{ días}}$$

El periodo de retorno obtenido es relativamente corto, lo cual significa que se tardará poco tiempo en recuperar la inversión inicial realizada.

9.6.4. Resumen de resultados

Por último, en la tabla 2.29, se muestra un resumen de los resultados obtenidos tras realizar el estudio de viabilidad económica:

Tabla 2.29. Resumen de los resultados del estudio de viabilidad económica

VAN	272.024,19 €
TIR	7,75 %
PR	6 años y 241 días

A la vista de los resultados se puede concluir que el proyecto es viable económicamente, ya que todos los indicadores financieros calculados tienen un valor favorable.

10. PLANIFICACIÓN

En este apartado, se presenta una planificación del proyecto con el objetivo de tener una visión de su ejecución. Para su realización, se han tenido en cuenta los días laborales, excluyendo sábados, domingos y días festivos.

En la tabla 2.30, se recogen las actividades que se deberán llevar a cabo, así como su duración y las fechas previstas para su ejecución:

Tabla 2.30. Planificación del proyecto

Actividad	Descripción	Duración	Inicio	Fin
1	Limpieza de la nave	15 días	08/01/2024	26/01/2024
2	Obra civil de las balsas	25 días	29/01/2024	01/03/2024
3	Instalación de los equipos	45 días	04/05/2024	18/04/2024
4	Instalación de los sistemas de bombeo	40 días	13/05/2024	08/07/2024
5	Instalación de las conducciones	40 días	13/05/2024	08/07/2024
6	Instalación eléctrica	15 días	13/05/2024	31/05/2024
7	Puesta en marcha y pruebas de funcionamiento	15 días	09/07/2024	29/07/2024

La duración de la ejecución del proyecto es de 140 días laborales, iniciándose el 8 de enero de 2024 y con finalización el día 29 de julio de 2024.

A partir de la tabla anterior, se ha elaborado un diagrama de Grantt (figura 2.14) con el fin de ver de forma visual las fechas de realización de cada actividad y las precedencias entre estas:

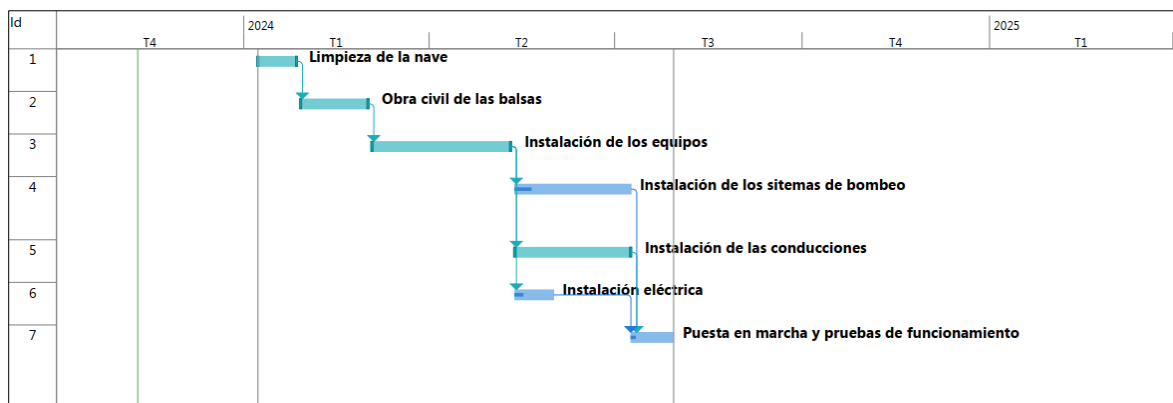


Figura 2.14. Diagrama de Grantt del proyecto

11. ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS

El orden de prioridad entre los documentos básicos que componen el presente proyecto, según la norma UNE 157001:2014 (Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico) es el siguiente:

1. Planos
2. Pliego de condiciones
3. Presupuesto
4. Memoria

3. Anexos

ÍNDICE:

1.	DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA	1
1.1.	Límites de vertido	1
2.	DISTRIBUCIONES DE TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	2
3.	DISEÑO DE AGITADORES.....	4
4.	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....	6
4.1.	Tanque de homogeneización	6
4.2.	Coagulación	8
4.2.1.	Dosis de coagulante	8
4.2.2.	Reactor de coagulación.....	9
4.3.	Neutralización.....	10
4.3.1.	Dosis de neutralizante.....	10
4.3.2.	Tanque de preparación del neutralizante	11
4.3.3.	Reactor de neutralización	13
4.4.	Floculación.....	14
4.4.1.	Dosis de floculante	14
4.4.2.	Tanque de preparación del floculante.....	14
4.4.3.	Reactor de floculación	16
4.5.	Sedimentador	17
4.6.	Espesador de fangos.....	22
4.7.	Filtro prensa	27
4.8.	Balsa pulmón	29
4.9.	Contenedor de tortas	30
4.10.	Filtración de profundidad.....	31
4.11.	Balsa de acumulación	33
4.12.	Diseño de conducciones y bombas	34

4.12.1.	Cálculo del diámetro de las conducciones	34
4.12.2.	Cálculo de las cargas de las bombas	41
4.13.	Balances de materia al sistema	82
5.	CATÁLOGOS Y FICHAS TÉCNICAS	85

1. DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA

1.1. Límites de vertido

EPSAR - Entitat de Sanejament d'Aigües

Avinguda Corts Valencianes, 58 Planta 3a
(Edifici Sorolla Center) 46015 València
epsar@gva.es - www.epsar.gva.es
CIF Q-9650012-I



**LÍMITES DEL MODELO DE ORDENANZA
DE VERTIDOS A RED MUNICIPAL DE
SANEAMIENTO**

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN MEDIA DIARIA MÁXIMA	CONCENTRACIÓN INSTANTÁNEA MÁXIMA p
pH (U. de pH)	5,5-9,00	5,5-9,00
Solidos en suspensión (mg/l)	500,00	1.000,00
Materiales sedimentables (ml/l)	15,00	20,00
Solidos gruesos	Ausentes	Ausentes
DBO(mg/l)	500,00	1.000,00
DQO (mg/l)	1.000,00	1.500,00
Temperatura (°C)	40,00	50,00
Conductividad eléctrica a 25°C(µS/cm)	3.000,00	5.000,00
Color	inapreciable a dilución 1/40	inapreciable a dilución 1/40
Aluminio (mg/l)	10,00	20,00
Arsénico (mg/l)	1,0	1,0
Bario (mg/l)	20,00	20,00
Boro (mg/l)	3,00	3,00
Cadmio (mg/l)	0,50	0,50
Cromo III (mg/l)	2,00	2,00
Cromo VI (mg/l)	0,50	0,50
Hierro (mg/l)	5,00	10,00
Manganeso (mg/l)	5,00	10,00
Níquel (mg/l)	5,00	10,00
Mercurio (mg/l)	0,10	0,10
Plomo (mg/l)	1,00	1,00
Selenio (mg/l)	0,50	1,00
Estaño (mg/l)	5,00	10,00
Cobre (mg/l)	1,00	3,00
Zinc (mg/l)	5,00	10,00
Cianuros (mg/l)	0,50	0,50
Cloruros (mg/l)	800,00	800,00
Sulfuros(mg/l)	2,00	5,00
Sulfitos(mg/l)	2,00	2,00
Sulfatos (mg/l)	1.000,00	1.000,00
Fluoruros (mg/l)	12,00	15,00
Fósforo total (mg/l)	15,00	50,00
NKT (mg/l)	50,00	100,00
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	25,00	85,00
Nitrógeno nítrico (mg/l)	20,00	65,00
Aceites y grasas (mg/l)	100,00	150,00
Fenoles totales (mg/l)	2,00	2,00
Aldehidos (mg/l)	2,00	2,00
Detergentes (mg/l)	6,00	6,00
Pesticidas (mg/l)	0,10	0,50
Toxicidad (U.T.)	15,00	30,00

2. DISTRIBUCIONES DE TAMAÑO DE PARTÍCULA

Se ha tomado una muestra del agua residual de la planta para determinar la distribución de los tamaños de partícula de los sólidos contenidos a partir de una granulometría. En la figura 3.1 se muestra la distribución de tamaños del agua residual:

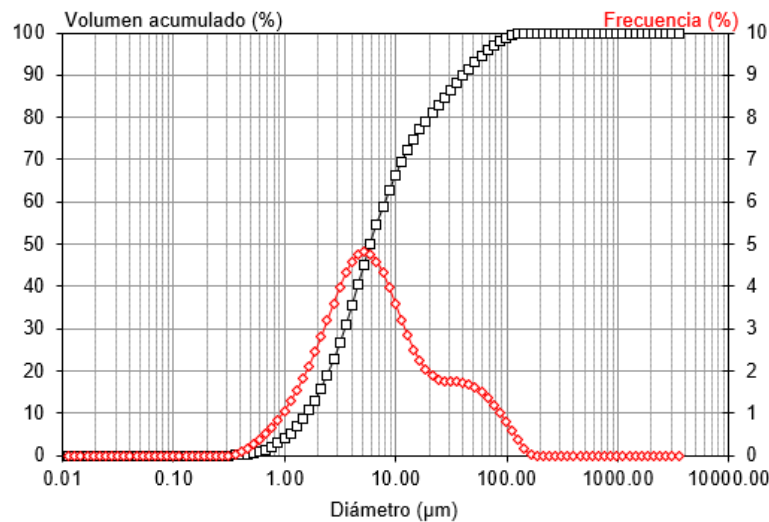


Figura 3.1. Distribución de los tamaños de partícula del agua residual

Además, se han analizado varias muestras de fangos tomados de una planta de pulido de gres porcelánico similar a la de este proyecto tras el sedimentador (figura 3.2) y tras el espesador (figura 3.3):

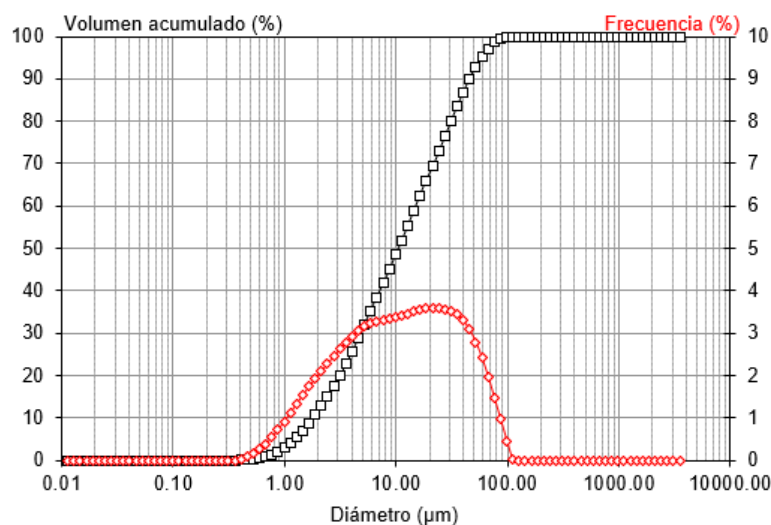


Figura 3.2. Distribución de los tamaños de partícula del fango tras el sedimentador

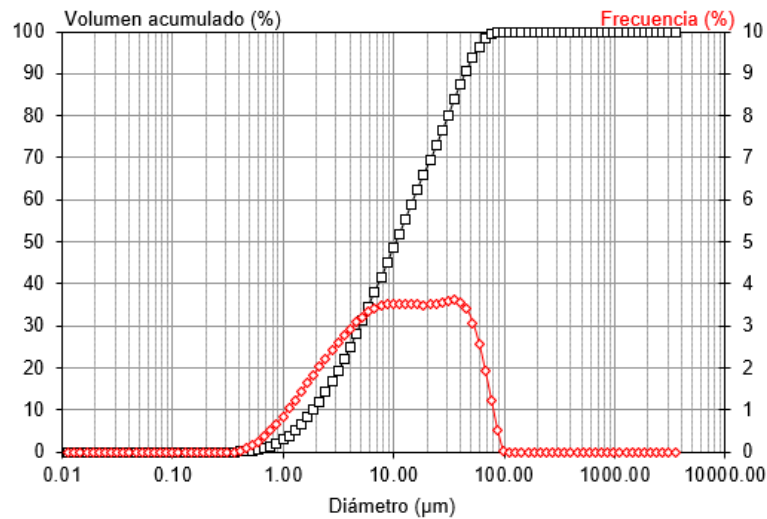


Figura 3.3. Distribución de los tamaños de partícula del fango tras el espesador

En la tabla 3.1 se muestra una comparación de la distribución de tamaños de partícula de los sólidos contenidos en cada una de las muestras:

Tabla 3.1. Comparación de los diámetros de las partículas de cada muestra

Diámetro (µm)	Agua residual	Fango a la salida del sedimentador	Fango a la salida del espesador
d₉₀	40,7	45,6	44,7
d₅₀	5,9	10,45	10,5
d₁₀	1,6	1,8	1,9

Los tamaños de las partículas contenidas en el agua residual son pequeños por lo que, para su sedimentación, es necesario un tratamiento químico que permita la formación de partículas de mayor tamaño.

Por otro lado, se observa un mayor porcentaje de partículas de mayor tamaño tras el sedimentador, lo cual puede deberse a un aumento de tamaño de las partículas debido al tratamiento de coagulación y floculación, o a la disminución de partículas de tamaños pequeños, que no sedimentan y son arrastradas parcialmente por el agua clarificada, lo cual justifica el tratamiento adicional de filtración del clarificado para eliminar estas partículas que pueden rayar las piezas de gres porcelánico.

3. DISEÑO DE AGITADORES

Los agitadores que se utilizan a lo largo del proyecto son de tipo turbina. A partir de las relaciones geométricas de la figura 3.4 se dimensionan los tanques y reactores y sus respectivos agitadores.

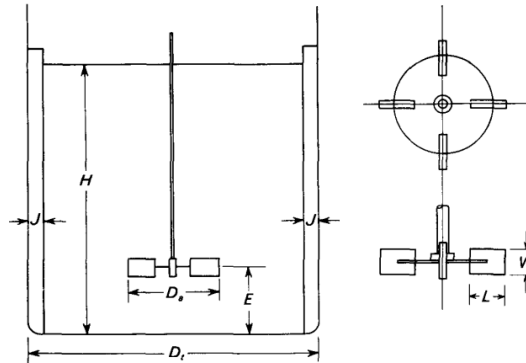


Figura 3.4. Medidas de un agitador de turbina (Según Rushton et. al.)

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{H}{D_t} = 1$$

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{E}{D_a} = 1$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

En la tabla 3.2 se recogen los valores de k para el cálculo de la potencia necesaria según el tipo de agitador:

Tabla 3.2. Valores de k para calcular la potencia de agitadores mecánicos

Impulsor	k Rég. laminar	k Rég. turbulento
Hélice, paso cuadrado, 3 palas	41,0	0,32
Turbina, 6 palas planas	71,0	6,30
Paleta plana, 6 palas	36,5	1,70
Turbina cerrada, 2 palas curvas	97,5	1,08
Turbina cerrada con estator	172,5	1,12

Para el cálculo de la potencia necesaria, en primer lugar, debe determinarse el tipo de régimen. Para ello se calcula el número de Reynolds a partir de la ecuación 3.1:

$$Re = \frac{D^2 n \rho}{\mu} \quad (3.1)$$

D: diámetro de la paleta del agitador (m).

n: velocidad de agitación (revoluciones por segundo).

ρ : densidad (kg/m³).

μ : viscosidad dinámica del fluido (N/s·m²).

Cuando $Re > 10^5$ el régimen es turbulento mientras que cuando $Re < 10$ el régimen es laminar. La potencia del agitador se calcula a partir de la ecuación 3.2 cuando el régimen es laminar y mediante la ecuación 3.3 cuando es turbulento:

Régimen laminar $P = k \mu n^2 D^3$ (3.2)

Régimen turbulento $P = k \rho n^3 D^5$ (3.3)

P: potencia del agitador (W).

K: constante (tabla x del libro Metcalf & Eddy).

μ : viscosidad dinámica del fluido (N/s·m²).

ρ : densidad (kg/m³).

D: diámetro de la paleta del agitador (m).

n: velocidad de agitación (revoluciones por segundo).

4. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

4.1. Tanque de homogeneización

El volumen del tanque de homogeneización se ha calculado mediante la ecuación 3.4:

$$V_{dis} = F \cdot V_d \quad (3.4)$$

V_{dis} : volumen de diseño.

F: factor de seguridad.

V_d : volumen acumulado de agua residual.

Para calcular el volumen de diseño normalmente se fija el tiempo de retención hidráulico o el volumen. En este caso se ha fijado un tiempo de retención hidráulico de 2h para poder acumular agua en casos en los que se tenga que hacer mantenimiento a la depuradora. El tiempo de retención hidráulico se define según la ecuación 3.5.:

$$TRH = \frac{V_d}{Q} \quad (3.5)$$

V_d : volumen acumulado de agua residual.

Q: caudal de agua residual (m^3/h).

TRH: tiempo de retención hidráulico (h).

Para un tiempo de retención de 2h, a partir de la ecuación 3.5., el volumen acumulado es el siguiente:

$$V_d = Q \cdot TRH = 156 \cdot 2 = 312 \text{ m}^3$$

Considerando un factor de seguridad de 1,25 y sustituyendo V_d en la ecuación 3.4. se calcula el volumen de diseño:

$$V_{dis} = 1,25 \cdot 312 = 390 \text{ m}^3$$

En cuanto al agitador necesario para homogeneizar la mezcla, se va a utilizar una turbina. A partir de las relaciones geométricas de Rushton (*Anexos*), se dimensionan el tanque de homogeneización y el agitador.

El tanque se diseña con una geometría cilíndrica y de altura (H) igual al diámetro (D) por lo que el volumen del tanque es el siguiente:

$$V_{dis} = 390 = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot H$$

Igualando la altura y el diámetro:

$$D = H = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 390}{\pi}} = 7,9 \text{ m}$$

A partir de las dimensiones del tanque se calculan el resto de las dimensiones:

$$D_a = \frac{1}{3} \cdot 7,9 = 2,6 \text{ m}$$

$$W = \frac{1}{5} \cdot 2,6 = 2,5 \text{ m}$$

$$J = \frac{1}{12} \cdot 7,9 = 0,66 \text{ m}$$

$$E = D_a = 2,6 \text{ m}$$

$$L = \frac{1}{4} \cdot 2,6 = 0,65 \text{ m}$$

A continuación, se calcula la velocidad de agitación necesaria para una correcta homogeneización del agua y la potencia requerida para alcanzar esta velocidad. Para homogeneizar el agua residual es necesario que se genere un régimen turbulento por lo que el número de Reynolds debe ser superior a 10^5 . A continuación, se calcula la velocidad de agitación mínima para conseguir un régimen turbulento mediante la ecuación (3.1):

$$Re = 10^5 = \frac{2,6^2 \cdot n_{min} \cdot 997}{0,001} \rightarrow n_{min} = 0,0148 \text{ rps} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 0,89 \text{ rpm}$$

La velocidad mínima para alcanzar un régimen turbulento es de 0,89 rpm, sin embargo, se aplicará un **factor de corrección de 1,5** para asegurar que el agua se homogeneice correctamente:

$$n = n_{min} \cdot F = 0,89 \cdot 1,5 = 1,34 \text{ rpm}$$

El agitador elegido es una turbina de 6 palas planas. A continuación, se calcula la potencia del agitador mediante la ecuación 3.3. para régimen turbulento:

$$P = 6,30 \cdot 997 \cdot \left(1,34 \text{ rpm} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}\right)^3 2,6^5 = 140,28 \text{ W}$$

4.2. Coagulación

4.2.1. Dosis de coagulante

El caudal másico que se debe añadir de los diferentes reactivos se calcula mediante las dosis óptimas determinadas en los ensayos de Jar-test mediante la ecuación 3.6:

$$m_{\text{reactivo}} = \text{dosis} \cdot Q \quad (3.6)$$

m_{reactivo} : caudal másico de coagulante (kg/h).

dosis: dosis óptima de coagulante (kg/m³).

Q: caudal de agua residual (m³/h).

La dosis óptima de coagulante determinada mediante el Jar-Test es de 100 ppm.

$$\text{dosis} = 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mg/L} = 0,1 \text{ kg/m}^3$$

Sustituyendo en la ecuación (3.6.):

$$m_{\text{coagulante}} = 0,1 \cdot 156 = 15,6 \text{ kg/h}$$

La densidad del coagulante es de 1,10 kg/m³ por lo que el caudal volumétrico que se debe añadir de coagulante es el siguiente:

$$Q_{\text{coagulante}} = \frac{m_{\text{coagulante}}}{\rho_{\text{coagulante}}} = \frac{15,6 \text{ kg/h}}{1.100 \text{ kg/m}^3} = 0,0142 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.2.2. Reactor de coagulación

Para la dosificación de los reactivos se utilizarán reactores continuos de tanque agitado (RCTA). El volumen del reactor se puede relacionar con el caudal a partir del tiempo de residencia necesario para que reaccione cada uno de los reactivos (ecuación 3.7):

$$\tau = \frac{V}{Q} \quad (3.7)$$

El volumen se calcula despejándolo de la ecuación 3.7. y multiplicándolo por un factor de seguridad según la ecuación 3.8.:

$$V = \tau \cdot Q \cdot F \quad (3.8)$$

V: volumen del RCTA (m³).

τ : tiempo de residencia (h).

Q: caudal de agua a tratar (m³/h).

F: factor de seguridad.

El tiempo de residencia necesario para que el coagulante reaccione es de 2 minutos. Sabiendo que el caudal es de 156 m³/h y aplicando un factor de seguridad de 1,5 se calcula el volumen mediante la ecuación 3.8.:

$$V = \tau \cdot Q \cdot F = 2 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot 156 \cdot 1,5 = 7,8 \text{ m}^3$$

El agitador elegido es una turbina de seis palas planas. A partir de las relaciones geométricas de Rushton (*Anexos*) se dimensionan el reactor y el agitador.

La geometría del reactor es cilíndrica y su diámetro (D) es igual a la altura (H) por lo que las dimensiones del reactor son las siguientes:

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H \rightarrow H = D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 7,8}{\pi}} = 2,15 \text{ m}$$

A partir del diámetro del reactor se calculan el resto de las dimensiones aplicando las relaciones geométricas:

$$D_a = \frac{1}{3} \cdot 2,15 = 0,72 \text{ m} \qquad W = \frac{1}{5} \cdot 0,7 = 0,14 \text{ m} \qquad J = \frac{1}{12} \cdot 2,15 = 0,18 \text{ m}$$
$$E = D_a = 0,72 \text{ m} \qquad L = \frac{1}{4} \cdot 0,7 = 0,18 \text{ m}$$

A continuación, se va a calcular la potencia del agitador. Previamente será necesario determinar el tipo de régimen que presenta el agua residual. Para ello se calcula el número de Reynolds a partir de la ecuación 3.1. En este caso, la velocidad de agitación debe ser elevada para garantizar una buena dispersión del coagulante en el agua. La velocidad elegida es de 120 rpm.

$$Re = \frac{0,7^2 \cdot \frac{120}{60} \cdot 997}{0,001} = 977.060$$

Como $Re > 10^5$ el régimen es turbulento por lo que la potencia del agitador se calcula a partir de la ecuación 3.3. Se toma un valor de $k = 6,30$ (turbina, 6 palas planas) y se sustituye en la ecuación 3.3:

$$P = 6,30 \cdot 997 \cdot \left(\frac{120}{60}\right)^3 \cdot 0,7^5 = 8,45 \text{ kW}$$

4.3. Neutralización

4.3.1. Dosis de neutralizante

En caso de utilizar como coagulante cloruro férrico la dosis necesaria de hidróxido sódico, determinada con los ensayos de Jar-test, es de 7,5 ppm.

$$dosis = 7,5 \text{ ppm} = 7,5 \text{ mg/L} = 0,0075 \text{ kg/m}^3$$

Sustituyendo en la ecuación (3.6.):

$$m_{neutralizante} = 0,0075 \cdot 156 = 1,17 \text{ kg/h}$$

La dosis de neutralizante a añadir es baja por lo que se diseñará un tanque de preparación para diluirlo en agua, facilitando su dosificación. Las dimensiones de este tanque y las características de su agitador se calculan en el siguiente apartado.

4.3.2. Tanque de preparación del neutralizante

El neutralizante se preparará diluyéndolo en agua a una concentración del 5%, por lo que la dosis del neutralizante diluido ($m_{dis. \text{ neutralizante}}$) será la siguiente:

$$m_{dis. \text{ neutralizante}} = \frac{1,17}{5} \cdot 100 = 23,4 \text{ kg/h}$$

En este caso, la densidad de la sosa preparada al 5% es de unos 1.000 kg/m^3 de modo que el caudal que se va a dosificar es el siguiente:

$$Q_{dis. \text{ flocculante}} = \frac{M_{dis. \text{ flocculante}}}{\rho} = \frac{23,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,0234 \text{ m}^3/\text{h}$$

El tanque de preparación de neutralizante constará de dos compartimentos, uno de preparación, y otro, para almacenar y dosificar el neutralizante preparado.

El compartimento de preparación del neutralizante se diseñará para realizar una preparación al día y se sobredimensionará un 25 % más del volumen por si es necesario preparar más cantidad en algún momento:

$$V = Q \cdot TRH \cdot F = 0,0234 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24 \text{ h} \cdot 1,25 = 0,702 \text{ m}^3$$

La geometría de este compartimento será cúbica para facilitar el paso del neutralizante preparado hasta el compartimento de almacenamiento, de modo que el volumen viene dado por la ecuación 3.9:

$$V = H \cdot L^2 \tag{3.9}$$

H: altura del tanque (m).

L: longitud de los lados del compartimento de almacenamiento (m).

Sustituyendo el volumen en la ecuación 3.9 se obtienen las dimensiones del tanque:

$$L = H = \sqrt[3]{0,702} = 0,89 \text{ m}$$

La capacidad del compartimento de almacenamiento se calculará para que se pueda almacenar neutralizante durante un día y se sobredimensionará con un 25% más del volumen necesario por lo que será de 0,702 m³ como el compartimento de preparación. Las medidas también serán las mismas:

$$L = H = 0,89 \text{ m}$$

Como el tanque de preparación es cúbico se han utilizado las relaciones geométricas de Rusthon considerando la longitud (L) de los lados del tanque como el diámetro. Las dimensiones del agitador utilizado son las siguientes:

$$D_a = \frac{1}{3} \cdot 0,89 = 0,30 \text{ m}$$

$$W = \frac{1}{5} \cdot 0,30 = 0,06 \text{ m}$$

$$J = \frac{1}{12} \cdot 0,89 = 0,07 \text{ m}$$

$$E = D_a = 0,30 \text{ m}$$

$$L = \frac{1}{4} \cdot 0,30 = 0,08 \text{ m}$$

Para conseguir un mezclado eficaz del agua y el hidróxido sódico la velocidad del agitador será de 200 rpm. Para saber que ecuación aplicar para el cálculo de la potencia necesaria se calcula el número de Reynolds a partir de la ecuación 3.1. Para ello, se tiene que calcular la viscosidad de la disolución de hidróxido sódico y agua. Para ello se aplica una **regla para mezclas líquidas (ecuación 3.10)**:

$$\ln \mu_m = \sum_{i=1}^n x_i \ln \mu_i \quad (3.10)$$

μ_m : viscosidad de la mezcla (Pa·s).

x_i : fracción volumétrica del componente i.

μ : viscosidad del componente i (Pa·s).

Sabiendo que la viscosidad del hidróxido sódico (sosa al 50%) es de 0,078 Pa·s y la del agua de 0,001 Pa·s se calcula la viscosidad de la mezcla sustituyendo en la ecuación 3.10.:

$$\ln \mu_m = 0,05 \cdot \ln(0,078) + 0,95 \cdot \ln(0,001) = 1,24 \cdot 10^{-3}$$

Una vez conocida la viscosidad de la disolución se puede calcular el número de Reynolds a utilizando la ecuación 3.1.:

$$Re = \frac{0,30^2 \cdot 200 \text{ rpm} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot 1000}{1,24 \cdot 10^{-3}} = 241935,5 \rightarrow \text{Régimen turbulento}$$

El agitador elegido es de tipo turbina de 6 palas planas. Como $Re > 10^5$ se utilizará la ecuación 3.3. para el cálculo de la potencia del agitador para régimen turbulento:

$$P = 6,30 \cdot 1000 \cdot \left(\frac{200}{60}\right)^3 \cdot 0,30^5 = 567 \text{ W}$$

El tiempo de agitación necesario para el mezclado del hidróxido sódico con el agua es de alrededor de 10 minutos.

4.3.3. Reactor de neutralización

El tiempo de residencia necesario para que la sosa reaccione es de 2 minutos. Sabiendo que el caudal de agua residual es de 156 m³/h y aplicando un factor de seguridad de 1,5 se calcula el volumen a partir de la ecuación (3.8.):

$$V = \tau \cdot Q \cdot F = 2 \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot 156 \cdot 1,5 = 7,8 \text{ m}^3$$

La geometría de este reactor también es cilíndrica. Como el tiempo de residencia es el mismo que para el coagulante tanto el volumen como las dimensiones del reactor coinciden en ambos casos:

$$H = D = 2,15 \text{ m}$$

Las dimensiones del tanque de neutralización son las mismas que las del reactor de coagulación por lo que ambos agitadores tendrán las mismas características.

4.4. Floculación

4.4.1. Dosis de floculante

La dosis óptima de floculante determinada mediante el Jar-test es de 2 ppm.

$$dosis = 2 \text{ ppm} = 2 \text{ mg/L} = 0,002 \text{ kg/m}^3$$

Sustituyendo en la ecuación 3.6. se calcula el caudal másico necesario de floculante:

$$M_{floculante} = 0,002 \cdot 156 = 0,312 \text{ kg/h}$$

Como la dosis de floculante que hay que añadir es muy baja se diseñará un tanque de preparación para diluirlo en agua facilitando su dosificación. Las dimensiones de este tanque y las características de su agitador se calculan en el siguiente apartado.

4.4.2. Tanque de preparación del floculante

El floculante se preparará diluyéndolo en agua a una concentración del 0,1%, por lo que el caudal másico del floculante preparado será la siguiente:

$$m_{dis. floculante} = \frac{0,312}{0,1} \cdot 100 = 312 \text{ kg/h}$$

En este caso, la densidad del floculante preparado es de 1.000 kg/m^3 de modo que el caudal que se va a dosificar es el siguiente:

$$Q_{dis. floculante} = \frac{M_{dis. floculante}}{\rho} = \frac{312 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,312 \text{ m}^3/\text{h}$$

El tanque de preparación de floculante constará de dos compartimentos, uno de preparación, y otro, para almacenar y dosificar el neutralizante preparado.

El compartimento de preparación del floculante se diseñará para realizar dos preparaciones al día y se sobredimensionará un 25 % más del volumen por si es necesario preparar más cantidad en algún momento:

$$V = Q \cdot TRH \cdot F = 0,312 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 12 \text{ h} \cdot 1,25 = 4,68 \text{ m}^3$$

La geometría de este compartimento será cúbica como en el caso del tanque de preparación de neutralizante por lo que las dimensiones se calculan mediante la ecuación 3.9.:

$$L = H = \sqrt[3]{4,68} = 1,67 \text{ m}$$

Las dimensiones del compartimento de almacenamiento serán las mismas que las del de preparación, de modo que se pueda almacenar floculante durante 12h:

$$H = L = 1,67 \text{ m}$$

Como el tanque de preparación es cúbico se han utilizado las relaciones geométricas de Rusthon considerando la longitud (L) de los lados del tanque como el diámetro. Las dimensiones del agitador utilizado son las siguientes:

$$D_a = \frac{1}{3} \cdot 1,67 = 0,56 \text{ m}$$

$$W = \frac{1}{5} \cdot 0,56 = 0,11 \text{ m}$$

$$J = \frac{1}{12} \cdot 0,56 = 0,05 \text{ m}$$

$$E = D_a = 0,56 \text{ m}$$

$$L = \frac{1}{4} \cdot 1,67 = 0,41$$

Para conseguir un mezclado eficaz del agua y el floculante la velocidad del agitador será de 500 rpm. Para saber que ecuación aplicar para el cálculo de la potencia necesaria se calcula el número de Reynolds a partir de la ecuación (3.1.). La viscosidad del floculante preparado al 0,1% es de alrededor de 0,02 Pa·s. Sustituyendo:

$$Re = \frac{0,56^2 \cdot 500 \text{ rpm} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot 1000}{0,02} = 130667 \rightarrow \text{Régimen turbulento}$$

Como $Re > 10^5$ se utilizará la ecuación 3.3. para régimen turbulento. El agitador elegido es una hélice de paso cuadrado de tres palas. Sustituyendo:

$$P = 0,32 \cdot 1000 \cdot \left(\frac{500}{60}\right)^3 0,56^5 = 10,20 \text{ kW}$$

El tiempo de agitación necesario para asegurar la correcta preparación del floculante con el agua es de 20 minutos.

4.4.3. Reactor de floculación

El tiempo de residencia necesario para que el floculante reaccione es de 6 minutos. Sabiendo que el caudal es de $156 \text{ m}^3/\text{h}$ y aplicando un factor de seguridad de 1,5 el volumen se puede calcular mediante la ecuación 3.8.:

$$V = \tau \cdot Q \cdot F = 6 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot 156 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,5 = 23,4 \text{ m}^3$$

El agitador elegido es una turbina. A partir de las relaciones geométricas de Rushton, se dimensionan el reactor y el agitador.

La geometría del reactor es cilíndrica y el diámetro es igual a la altura por lo que sus dimensiones son las siguientes:

$$V = \pi \cdot \frac{D^3}{4} \cdot H \rightarrow H = D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 23,4}{\pi}} = 3,1 \text{ m}$$

A partir del diámetro del reactor se calculan el resto de las dimensiones:

$$D_a = \frac{1}{3} \cdot 3,1 = 1 \text{ m}$$

$$W = \frac{1}{5} \cdot 1 = 0,2 \text{ m}$$

$$J = \frac{1}{12} \cdot 3,1 = 0,26 \text{ m}$$

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

$$L = \frac{1}{4} \cdot 1 = 0,25 \text{ m}$$

A continuación, se calculará la potencia del agitador. Previamente será necesario determinar el tipo de régimen que presenta el agua residual. Para ello se calcula el Reynolds a partir de la ecuación 3.1. En este caso, la velocidad de agitación debe de ser menos enérgica, para evitar la rotura de los flóculos que se vayan formando. La velocidad elegida es de 60 rpm. Sustituyendo en la ecuación:

$$Re = \frac{0,7^2 \cdot \frac{60}{60} \cdot 997}{0,001} = 488.530$$

Como $Re > 10^5$ el régimen es turbulento por lo que la potencia del agitador se calcula a partir de la ecuación 3.3. para régimen turbulento. Se toma un valor de $k = 6,30$ (turbina, 6 palas planas) y se sustituyen los datos en la ecuación:

$$P = 6,30 \cdot 997 \cdot \left(\frac{60}{60}\right)^3 0,7^5 = 1,05 \text{ kW}$$

4.5. Sedimentador

En primer lugar, se ha representado la altura de la interfase frente al tiempo y se ha aplicado el método gráfico de Talmadge y Fitch para la muestra de agua procedente del **pulido de tipo Lapatto** tal y como se observa en la figura 3.5:

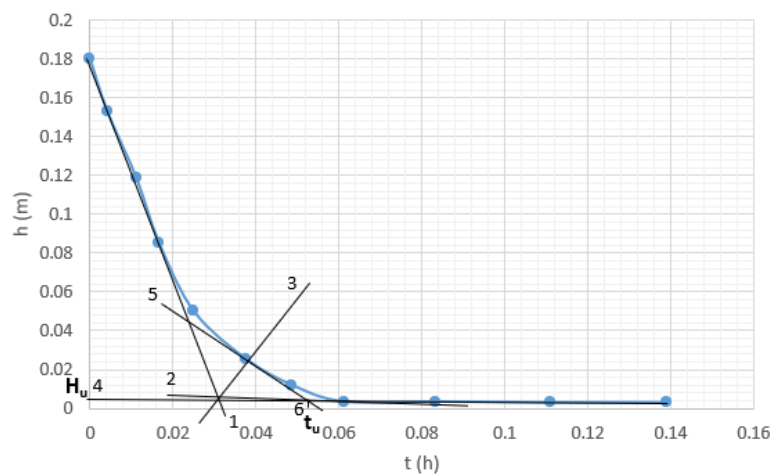


Figura 3.5. Método de Talmadge y Fitch aplicado a la curva de decantación de la muestra de agua residual del pulido de tipo Lapatto

La velocidad de decantación para la decantación frenada corresponde a la pendiente de la recta 1:

$$V_s = \left| \frac{0,18 - 0,085}{0 - 0,016} \right| = 5,938 \text{ m/s}$$

Sustituyendo en la ecuación 2.3:

$$A_1 = \frac{Q}{V_s} = \frac{156 \text{ m}^3/\text{s}}{5,938 \text{ m/s}} = 26,271 \text{ m}^2$$

A continuación, se calcula el área considerando la zona de compresión frenada aplicando la ecuación 2.4:

$$A_2 = \frac{Q}{V_c} = \frac{Q}{\frac{H_0}{t_u}} = \frac{Q \cdot t_u}{H_0} = \frac{156 \cdot 0,052}{0,18} = 45,07 \text{ m}^2$$

El área de diseño es la máxima entre el área de decantación frenada y el área de compresión, a la que se le aplicará un factor de seguridad de 2:

$$A_{diseño} = \text{máx}(A_1; A_2) \cdot F = 45,07 \cdot 2 = 90,14 \text{ m}^2$$

A continuación, se ha representado la altura de la interfase frente al tiempo para la segunda muestra de agua residual de pulido procedente del **pulido sobre esmalte y granilla** y se ha aplicado el método gráfico de Talmadge y Fitch tal y como se puede ver en la figura 3.6:

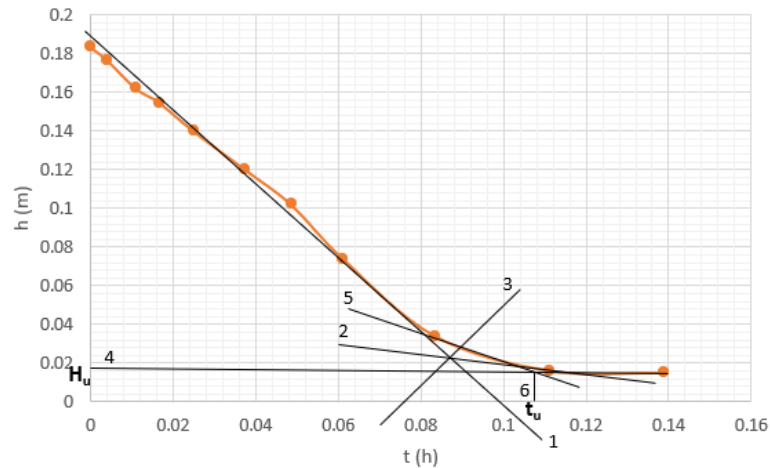


Figura 3.6. Método de Talmadge y Fitch aplicado a la curva de decantación de la muestra de agua residual del pulido sobre esmalte y granilla

La velocidad de decantación para la decantación frenada corresponde a la pendiente de la recta 1:

$$V_s = \left| \frac{0,184 - 0,12}{0 - 0,036} \right| = 1,78 \text{ m/s}$$

Sustituyendo en la ecuación 2.3:

$$A_1 = \frac{Q}{V_s} = \frac{156 \text{ m}^3/\text{s}}{1,78 \text{ m/s}} = 87,64 \text{ m}^2$$

A continuación, se calcula el área considerando la zona de compresión frenada mediante la ecuación 2.4:

$$A_2 = \frac{Q}{V_c} = \frac{Q}{\frac{H_0}{t_u}} = \frac{Q \cdot t_u}{H_0} = \frac{156 \cdot 0,108}{0,184} = 91,57 \text{ m}^2$$

El área de diseño es la máxima entre el área de decantación frenada y el área de compresión, a la que se le aplicará un **factor de seguridad de 2**:

$$A_{diseño} = \text{máx}(A_1; A_2) \cdot F = 91,57 \cdot 2 = \mathbf{183,13 \text{ m}^2}$$

El área de diseño elegida será la de 183,13 m², correspondiente a la segunda muestra de agua residual. El diámetro se obtiene a partir del área:

$$A_{diseño} = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{diseño}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 183,13}{\pi}} = 15,27 \text{ m}$$

En la tabla 3.3, se recoge la información utilizada para el dimensionamiento del sedimentador:

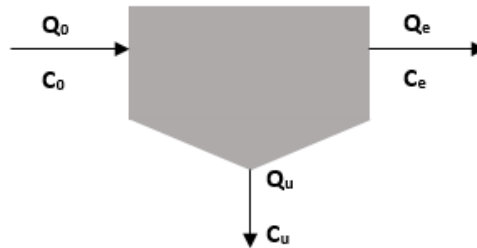
Tabla 3.3. Información típica para el diseño de sedimentadores circulares para el tratamiento primario de agua residual

Parámetro	Valor	
	Intervalo	Típico
Profundidad (m)	3 - 4,5	3,6
Pendiente de la solera (mm/m)	62,5-160	80
Velocidad de los rascadores (rpm)	0,02-0,05	0,03

El sedimentador contará de rasquetas para el barrido de los fangos por lo que la pendiente de la solera no es necesario que sea elevada, ya que los rascadores facilitan su extracción. Por lo tanto, se ha tomado un valor bajo, dentro del intervalo recomendado, de 80 mm/m (valor típico).

Para elegir la profundidad y la velocidad de los rascadores se han tomado los valores típicos (3,6 m de profundidad y 0,03 rpm de velocidad de los rascadores).

A continuación, se realiza el **balance másico al sedimentador**:



Donde:

Q_0 : caudal volumétrico del agua residual de entrada al sedimentador (m^3/h).

Q_u : caudal volumétrico de los fangos generados (m^3/h).

Q_e : caudal volumétrico del agua de salida del sedimentador (m^3/h).

C_0 : concentración de sólidos en el agua residual de entrada (kg/m^3).

C_u : concentración de sólidos en el fango (kg/m^3).

C_e : concentración de sólidos en el agua de salida (kg/m^3).

A continuación, se plantea el balance másico al sólido a partir de los caudales másicos (m_i) y las fracciones másicas de sólido (w_i):

Balance másico al sólido: $m_0 \cdot w_0 = m_u \cdot w_u + m_e \cdot w_e$

Como la concentración de sólidos en los fangos no será elevada la densidad del agua se puede suponer constante, por lo que el balance de materia se puede escribir a partir de los caudales volumétricos y las concentraciones:

$$Q_0 \cdot C_0 = Q_u \cdot C_u + Q_e \cdot C_e$$

m_e será muy próximo a 0 ya que los sólidos sedimentan casi en su totalidad ($C_e \approx 0$).

Teniendo esto en cuenta el balance se puede simplificar del siguiente modo:

$$Q_0 \cdot C_0 = Q_u \cdot C_u$$

El balance puede escribirse como:

$$H_0 \cdot A \cdot C_0 = H_u \cdot A \cdot C_u$$

Despejando C_u y sustituyendo los valores de H obtenidos a partir del método de Talmadge y Fitch:

$$C_u = \frac{C_0 \cdot H_0}{H_u} = \frac{1,858 \cdot 0,184}{0,016} = 21,367 \text{ g/L}$$

A partir de la concentración de sólido en el fango puede calcularse el caudal de fango a partir del balance al sólido:

$$Q_0 \cdot C_0 = Q_u \cdot C_u$$

Despejando:

$$Q_u = \frac{Q_0 \cdot C_0}{C_u} = \frac{156 \cdot 1,858}{21,367} = 13,57 \text{ m}^3/\text{h}$$

Balance másico total: $m_0 = m_u + m_e$

Si se considera la densidad del agua constante y los volúmenes aditivos el balance se puede escribir a partir de los caudales volumétricos:

$$Q_0 = Q_u + Q_e \rightarrow Q_e = Q_0 - Q_u = 156 - 13,57 = 142,43 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.6. Espesador de fangos

El espesador se dimensionará a partir de la carga de sólidos, un parámetro utilizado para obtener el área que asegura que toda la masa de sólidos que entra al espesador es capaz de sedimentar, ya que es el parámetro crítico en el diseño de un espesador.

Se ha utilizado un valor de **carga de sólidos de 550 kg/m²d** (proporcionado por la empresa Servyeco), en base a espesadores diseñados para fangos de características similares, ya que es un valor adecuado desde el punto de vista técnico y económico.

A partir de la carga de sólidos se calcula el área del espesador utilizando la ecuación 3.11:

$$A_{\text{espesador}} = \frac{m_0}{C} \quad (3.11)$$

$A_{\text{espesador}}$: área del espesador (m^2).

m_0 : caudal másico de los sólidos del fango de entrada al espesador ($kg/día$).

C : carga de sólidos ($kg/m^2 \cdot d$).

El caudal másico de los sólidos de entrada al espesador se calcula a partir del caudal y de la concentración de sólidos en el fango de entrada al espesador se calcula a partir del caudal y de la concentración de sólidos en el fango de entrada del espesador mediante la ecuación 3.12:

$$m_0 = Q_0 \cdot C_0 \quad (3.12)$$

m_0 : caudal másico de sólidos en el fango de entrada al espesador ($kg/día$).

Q_0 : caudal del fango de entrada al espesador ($m^3/día$).

C_0 : concentración de sólidos en el fango de entrada al espesador (kg/m^3).

Sustituyendo los datos del balance de materia al sedimentador en la ecuación 3.12:

$$m_0 = 13,57 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{24 h}{1 \text{ día}} \cdot 21,36 \text{ kg}/m^3 = 6958,8 \text{ kg}/día$$

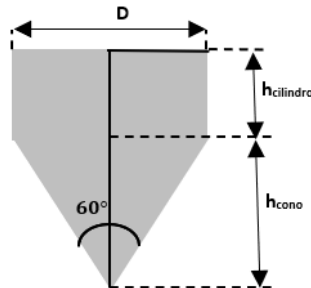
Por otro lado, sustituyendo el caudal másico en la ecuación 3.11 se calcula el área del espesador:

$$A_{\text{espesador}} = \frac{m}{C} = \frac{6958,8}{550} = 12,65 \text{ m}^2$$

El espesador es de geometría cilíndrica-cónica por lo que el diámetro es el siguiente:

$$A_{\text{espesador}} = \frac{\pi}{4} D^2 \rightarrow D = \sqrt{\frac{A_{\text{espesador}} \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{12,65 \cdot 4}{\pi}} = 4,01 \text{ m}$$

El ángulo de la parte cónica del espesador será de 60° para facilitar la extracción del fango espesado. A partir de este valor y del diámetro del espesador calculado anteriormente se va a calcular la altura de la parte cónica del espesador mediante trigonometría:



$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{D/2}{h_{cono}} \rightarrow h_{cono} = \frac{4,01/2}{\tan(30^\circ)} = 3,47 \text{ m}$$

La altura de la parte cilíndrica será de 2m, siendo la altura total de 5,47m. A partir de las dimensiones se calcula el volumen del espesador:

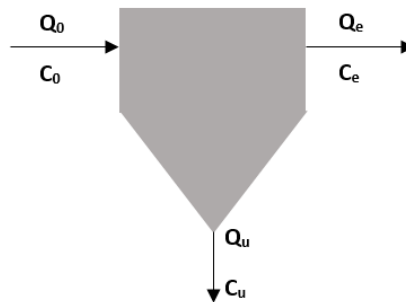
$$V_{\text{espesador}} = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{cono}} = A_{\text{espesador}} \cdot h_{\text{cilindro}} + \frac{1}{3}\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot h_{\text{cono}}$$

$$V_{\text{espesador}} = 12,65 \cdot 2 + \frac{1}{3}\pi \cdot \left(\frac{4,01}{2}\right)^2 \cdot 3,47 = 39,91 \text{ m}^3$$

A partir del volumen del espesador se calcula el tiempo de residencia del agua en el espesador:

$$\tau = \frac{V}{Q} = \frac{39,91}{13,57} = 2,94 \text{ h}$$

A continuación, se realiza el **balance másico al espesador**:



Donde:

Q_0 : caudal volumétrico de los fangos de entrada al espesador (m^3/h).

Q_u : caudal volumétrico de los fangos espesados a la salida del espesador (m^3/h).

Q_e : caudal volumétrico del agua de salida del espesador (m^3/h).

C_0 : concentración de sólidos en los fangos de entrada (kg/m^3).

C_u : concentración de sólidos en el fango de salida (kg/m^3).

C_e : concentración de sólidos en el agua de salida (kg/m^3).

El caudal de entrada al espesador es de $13,57 m^3/h$, correspondiente al caudal de fangos de salida del sedimentador determinado anteriormente mediante los balances másicos. Por otro lado, también se ha determinado que la concentración de sólidos del fango de entrada al espesador es de $21,367 g/L$.

A continuación, se plantea el balance másico al sólido a partir de los caudales másicos (m_i) y las fracciones másicas de sólido (w_i):

Balance másico al sólido: $m_0 \cdot w_0 = m_u \cdot w_u + m_e \cdot w_e$

Como la concentración de sólidos en los fangos será baja, suponiendo que la densidad es constante, el balance se puede escribir a partir de los caudales volumétricos:

$$Q_0 \cdot C_0 = Q_u \cdot C_u + Q_e \cdot C_e$$

m_e será muy próximo a 0 suponiendo que los sólidos sedimentan casi en su totalidad ($C_e \approx 0$). Por lo tanto:

$$Q_0 \cdot C_0 = Q_u \cdot C_u$$

Para conocer la concentración del fango espesado se han consultado valores típicos en la bibliografía. Estos valores se recogen en la tabla 3.4:

Tabla 3.4. Concentraciones típicas de fangos sin espesar y espesados y cargas de sólidos para espesadores por gravedad (Metcalf y Eddy, 1995)

Tipo de fango	Concentración de fango (%)	
	Sin espesar	Espesado
Fango primario	2-7	5-10

Como en este caso, la concentración del fango sin espesar obtenida a partir del balance al sedimentador es de un 2,13% se ha elegido la concentración del fango espesado más baja en la tabla, del 5%. A partir de este valor se calcula la concentración de sólidos en el fango:

$$C_u = \frac{m_s}{V_s + V_w} = \frac{m_s}{\frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_w}{\rho_w}} = \frac{50}{\frac{50}{2400} + \frac{950}{997}} = 51,35 \text{ kg/m}^3$$

C_0 : concentración de sólidos en el fango (kg/m^3)

m_s : masa de sólidos (kg).

m_w : masa de agua (kg).

V_s : volumen de sólidos (m^3).

V_w : volumen de agua (m^3).

ρ_s : densidad del gres porcelánico (kg/m^3).

ρ_w : densidad del agua (kg/m^3).

A partir de la concentración de sólido en el fango puede calcularse el caudal de fango despejando del balance másico al sólido:

$$Q_u = \frac{Q_0 \cdot C_0}{C_u} = \frac{13,57 \cdot 21,367}{51,350} = 5,65 \text{ m}^3/\text{h}$$

Balance másico total: $m_0 = m_u + m_e$

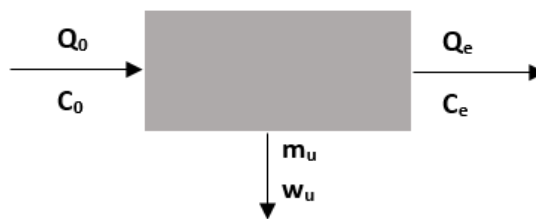
De forma simplificada se puede suponer que la densidad es constante y los volúmenes aditivos y escribir el balance a partir de los caudales volumétricos:

$$Q_0 = Q_u + Q_e$$

$$Q_e = Q_0 - Q_u = 13,57 - 5,65 = 7,92 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.7. Filtro prensa

A continuación, se realiza el **balance másico al filtro prensa**:



Donde:

Q_0 : caudal másico de los fangos de entrada al filtro prensa (m^3/h).

m_u : caudal másico de las tortas formadas (kg/h).

Q_e : caudal volumétrico del agua de salida del filtro prensa (m^3/h).

C_0 : concentración de sólidos en los fangos de entrada al filtro prensa (kg/m^3).

w_u : fracción másica de sólidos en las tortas formadas ($\text{kg sólidos}/\text{kg total de la torta}$).

C_e : concentración de sólidos en el agua de salida del filtro prensa (kg/m^3).

El caudal de entrada al filtro prensa es de $5,65 \text{ m}^3/\text{h}$, correspondiente al caudal de fangos de salida del espesador determinado en el apartado anterior mediante los balances másicos. Por otro lado, también se ha determinado que la concentración de sólidos del fango de entrada al filtro prensa es del 5%.

Balance másico al sólido: $m_0 \cdot w_0 = m_u \cdot w_u + m_e \cdot w_e$

m_e será muy próximo a 0 suponiendo que los sólidos se separan del agua casi en su totalidad ($C_e \approx 0$). Por lo tanto:

$$m_0 \cdot w_0 = m_u \cdot w_u$$

Sustituyendo el caudal másico del agua de entrada por datos conocidos:

$$Q_0 \cdot C_0 = m_u \cdot w_u$$

La humedad residual en las tortas de fango se considera del 20%, es decir, la fracción másica de sólidos será del 80%:

$$w_u = \frac{m_s}{m_s + m_w} = 0,80$$

w_s : fracción másica (kg sólidos/kg agua residual).

m_s : masa de sólidos (kg).

m_w : masa de agua (kg).

Sustituyendo los datos conocidos en el balance de materia se calcula el caudal másico de las tortas generadas en el filtro prensa:

$$m_u = \frac{Q_0 \cdot C_0}{w_u} = \frac{5,65 \cdot 51,35}{0,80} = 362,66 \text{ kg/h}$$

Balance másico total: $m_0 = m_u + m_e \rightarrow Q_0 \cdot \rho_0 = m_u + Q_e \cdot \rho_e$

La densidad del agua que entra al filtro prensa se puede calcular de manera aproximada teniendo en cuenta que su concentración de sólidos es del 5%:

$$\rho_0 = \frac{m_s + m_w}{V_s + V_w} = \frac{\frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_w}{\rho_w}}{\frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_w}{\rho_w}} = \frac{50 + 950}{\frac{50}{2400} + \frac{950}{997}} = 1027,02 \text{ kg/m}^3$$

ρ_0 : densidad del agua residual de entrada al filtro prensa (kg/ m³).

m_s : masa de sólidos (kg).

m_w : masa de agua (kg).

V_s : volumen de sólidos (m³).

V_w : volumen de agua (m³).

ρ_s : densidad gres porcelánico en el agua residual de entrada al filtro prensa (kg/ m³).

ρ_w : densidad del agua de entrada al filtro prensa (kg/ m³).

Una vez calculada la densidad del agua residual de entrada al filtro prensa se calcula el caudal del efluente:

$$Q_e = \frac{Q_0 \cdot \rho_0 - m_u}{\rho_e} = \frac{5,65 \cdot 1027,02 - 362,66}{997} = 5,46 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.8. Balsa pulmón

Los efluentes obtenidos del sedimentador, del espesador y del filtro prensa serán dirigidos a una balsa pulmón antes de acabar su tratamiento en los filtros de profundidad. Esta balsa se diseñará con un tiempo de retención hidráulico de 2h para poder almacenar y suministrar agua en casos en los que hayan paradas a una parte de la depuradora (ecuación 3.5).

Donde Q es el caudal de agua que llega del sedimentador, del espesador y del filtro prensa:

$$Q = Q_{\text{sedimentador}} + Q_{\text{espesador}} + Q_{\text{filtro}} = 142,43 + 7,92 + 5,46 = 155,81 \text{ m}^3/\text{h}$$

Una vez conocido el caudal que llega a la balsa pulmón, se calcula el volumen que debe tener la balsa despejándolo de la ecuación 3.5:

$$V = TRH \cdot Q = 2 \cdot 155,81 = 311,6 \text{ m}^3$$

La balsa será de geometría cilíndrica y se diseñará con una altura igual al diámetro:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H \rightarrow H = D = \sqrt[3]{\frac{V \cdot 4}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{311,6 \cdot 4}{\pi}} = 7,35 \text{ m}$$

Para reducir el espacio ocupado, esta balsa se construirá 5m bajo tierra.

4.9. Contenedor de tortas

Las tortas generadas en el filtro prensa caerán por gravedad a un contenedor situado bajo este. El caudal másico de las tortas generadas es de 362,66 kg/h y estas serán transportados por un camión con una capacidad de 26 toneladas. A partir de estos datos se calcula el tiempo de residencia:

$$\tau = \frac{m_{\text{camión}}}{m_u} = \frac{26.000 \text{ kg}}{362,66 \text{ kg/h}} = 71,69h \approx 3 \text{ días/contenedor}$$

El contenedor se sobredimensionará un 50% ($F=1,5$) para evitar que los fangos rebosen. El volumen necesario para el contenedor se calcula a partir de la ecuación 3.13. La densidad aparente de la torta (ρ_u) se ha estimado que es de unos 1.400 kg/m³.

$$V = \tau \cdot \frac{m_u}{\rho_u} \cdot F \quad (3.13)$$

V: volumen del contenedor (m³).

m_u : caudal másico de las tortas (kg/h).

ρ_u : densidad aparente de las tortas (kg/m³).

F: factor de seguridad.

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.13:

$$V = 71,69h \cdot \frac{362,66}{1.400} \text{ m}^3/h \cdot 1,5 = 27,86 \text{ m}^3$$

La longitud de los lados será de 6m de largo (L) y 3m de ancho (A) para que los fangos del filtro prensa no caigan fuera de este. A partir de estas dimensiones y del volumen se calcula la altura:

$$V = L \cdot A \cdot H \rightarrow H = \sqrt[3]{\frac{V}{L \cdot A}} = \sqrt[3]{\frac{27,86}{6 \cdot 3}} = 1,24 \text{ m}$$

4.10. Filtración de profundidad

Para el diseño de los filtros en profundidad, en primer lugar, se ha calculado el área filtrante necesaria con la ecuación 3.14:

$$A_f = \frac{Q}{v_f} \quad (3.14)$$

A_f : área total de filtración (m^2)

Q : caudal de agua a tratar (m^3/h)

v_f : velocidad máxima de filtración (m/h)

Sustituyendo en la ecuación 3.14:

$$A_f = \frac{155,81}{20} = 7,79 \text{ m}^2$$

El número de filtros de área unitaria (n) viene dado por la ecuación 3.15:

$$n = \frac{A_f}{A_u} \quad (3.15)$$

N : número de filtros

A_f : área total de filtración (m^2)

A_u : área unitaria de filtración (m^2)

Donde el área unitaria (A_u) de filtración es la siguiente (ec. 3.16):

$$A_u = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (3.16)$$

El diámetro del filtro elegido es de 1,6 m por lo que:

$$A_u = \frac{\pi}{4} 1,6^2 = 2,01 \text{ m}^2$$

Sustituyendo en la ecuación 3.15:

$$n = \frac{7,79}{2,01} = 3,88 \approx 4 \text{ filtros}$$

Cada filtro se va a limpiar una vez al día, teniendo ya que la cantidad de sólidos que quedará después del sedimentador no será muy elevada. Cuando se esté limpiando uno de los filtros la velocidad del agua por los otros tres filtros se aumentará de modo que el caudal de agua sea siempre el mismo. La velocidad del agua cuando uno de los filtros se esté limpiando será la siguiente:

$$v_{limpieza} = \frac{4}{3} \cdot 20 = 26,67 \text{ m/h}$$

Se ha seleccionado una velocidad de lavado de 30 m/ h dentro del rango recomendado, por lo que el caudal de agua necesario será el siguiente:

$$Q_{lavado} = v \cdot A_u = 30 \cdot 2,01 = 60,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Teniendo en cuenta que el lavado dura 20 minutos se calcula el volumen necesario para cada lavado:

$$V_{lavado} = 60,3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,33 \text{ h} = 19,90 \text{ m}^3$$

4.11. Balsa de acumulación

Para el cálculo del volumen de la balsa de acumulación, igual que en el tanque de homogeneización, se ha utilizado la ecuación 3.4.

Se ha diseñado para **acumular agua durante un turno de trabajo (8h)** de modo que el valor de V_d es el siguiente:

$$V_d = Q \cdot TRH = 155,81 \cdot 8 = 1.246 \text{ m}^3$$

Considerando un **factor de seguridad de 1,25** y sustituyendo V_d en la ecuación 3.5:

$$V_{dis} = 1,25 \cdot 1.246 = 1.558 \text{ m}^3$$

La balsa será de geometría cilíndrica y de diámetro igual a la altura. A partir del volumen se calculan sus dimensiones:

$$V_{dis} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H \rightarrow H = D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{dis}}{\pi}} = 12,56 \text{ m}$$

Para reducir el espacio ocupado, esta balsa se va a construir 5 m bajo tierra.

En la balsa de acumulación se instalarán difusores de aire de burbuja fina. Se ha escogido un valor de **0,1 m³ de aire / m³ de balsa** ya que el agua procedente del pulido tiene muy poca carga orgánica. El caudal de aire necesario para la aireación en la balsa de acumulación es el siguiente:

$$Q_{aire} = \frac{0,1 \text{ m}^3/\text{h de aire}}{\text{m}^3 \text{ de balsa}} \cdot 1.558 \text{ m}^3 \text{ de balsa} = 155,8 \text{ m}^3 \text{ de aire/h}$$

El caudal de aire suministrado por cada difusor es de 8 m³/h por lo que el número de difusores necesarios es el siguiente:

$$N \text{ difusores} = \frac{Q_{aire}}{Q_{aire}/\text{difusor}} = \frac{155,8}{8} = 19,48 = 20 \text{ difusores}$$

4.12. Diseño de conducciones y bombas

En este apartado se presentan los cálculos realizados para el diseño de las conducciones y las bombas de la EDAR.

4.12.1. Cálculo del diámetro de las conducciones

Se diseñará una tubería para cada uno de los tramos que componen el proceso. Las conducciones se numeran y se describe cada uno de los tramos en la tabla 3.5:

Tabla 3.5. Descripción de las conducciones necesarias

Conducciones	Descripción
1	Tanque de homogeneización – Reactor de coagulación
2	Reactor de coagulación – Reactor de neutralización
3	Reactor de neutralización – Reactor de floculación
4	Tubería de adición del coagulante
5	Tubería de adición del neutralizante
6	Tubería de adición del floculante
7	Reactor de floculación - Sedimentador
8	Sedimentador – Balsa pulmón
9	Balsa pulmón – Bifurcación anterior a los filtros de profundidad
10, 11, 12 y 13	Bifurcación anterior a los filtros de profundidad – Entrada a los filtros de profundidad
14, 15, 16 y 17	Salida de los filtros de profundidad - Bifurcación posterior a los filtros de profundidad
18	Bifurcación posterior a los filtros de profundidad - Balsa de acumulación
19	Sedimentador – Espesador de fangos
20	Espesador de fangos – Balsa pulmón
21	Espesador de fangos – Filtro prensa
22	Filtro prensa – Balsa pulmón
23	Balsa de acumulación – Bifurcación posterior a los filtros de profundidad (lavado de filtros a contracorriente)
24, 25, 26 y 27	Bifurcación anterior a los filtros de profundidad (lavado de filtros a contracorriente) – Entrada del agua de lavado a los filtros de profundidad
28, 29, 30 y 31	Salida de del agua de lavado de los filtros de profundidad - Bifurcación posterior a los filtros de profundidad (lavado de filtros a contracorriente)
32	Bifurcación posterior a los filtros de profundidad (lavado de filtros a contracorriente) – Tanque de homogeneización

Las velocidades con que se hacen circular los fluidos por el interior de las conducciones son muy variables y su valor está en función del caudal y del diámetro de la conducción elegidos, así como del tipo de fluido considerado (viscosidad, densidad, posible contenido en sólidos en suspensión, etc).

En la tabla 3.6 se muestran algunos valores típicos de las velocidades del agua el interior de conducciones cilíndricas:

Tabla 3.6. Velocidades típicas del agua en tuberías de acero (m/s). (Rodrigo Carbonell, 2003)

Agua			
	D < 50 mm	80 mm < D < 250 mm	250 mm < D < 500 mm
Succión bomba	0,3 – 0,6	0,6 – 1,2	1 – 2
Descarga bomba	0,5 - 1	1 – 1,5	1,2 – 2
Desagües	1 – 1,2	1 – 1,5	-

Para determinar la velocidad de circulación del coagulante, el floculante y el hidróxido sódico hay que tener en cuenta que su viscosidad es mayor que la del agua por lo que las velocidades óptimas serán diferentes. Las velocidades típicas de líquidos viscosos por tuberías se recogen en la tabla 3.7:

Tabla 3.7. Velocidades típicas de líquidos viscosos en tuberías de acero (m/s). (McCabe et al., 2002)

Líquidos viscosos	
Succión bomba	0,06 – 0,15
Descarga bomba	0,15 – 0,6

La velocidad a la que circulan los líquidos por las conducciones puede calcularse mediante la ecuación 3.17:

$$v = \frac{Q}{S} \tag{3.17}$$

v: velocidad de circulación del líquido (m/s)

Q: caudal volumétrico (m³/s)

S: sección de la conducción (m²)

Como las conducciones son de geometría cilíndrica la sección de la conducción viene dada por la ecuación 3.18:

$$S = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (3.18)$$

D: diámetro de la conducción (m)

S: sección de la conducción (m²)

A partir de las ecuaciones anteriores se llega a la siguiente ecuación:

$$Q = v \cdot \frac{\pi}{4} D^2$$

Despejando el diámetro se llega a la ecuación 3.19:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad (3.19)$$

Para el cálculo del diámetro de las tuberías se ha fijado la velocidad del fluido y se ha calculado el diámetro necesario para cada conducción de modo que las velocidades y diámetros obtenidos estén dentro de los rangos recomendados en las tablas 3.6 y 3.7.

- **Conducciones 1, 2, 3 y 7:**

El caudal que circula por estas conducciones es de 156 m³/h. Para el cálculo del diámetro se ha fijado una velocidad de 1,2 m/s y se ha calculado el diámetro de modo que esté dentro del rango recomendado en la tabla 3.6. Sustituyendo en la ecuación 3.19:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 156 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 1,2 \text{ m/s}}} = 0,21 \text{ m} = 210 \text{ mm} \approx \text{DN 200}$$

- **Conducción 4:**

El caudal volumétrico que se añade de coagulante es de 0,0142 m³/h.

Se ha fijado una velocidad de 0,15 m/s y se ha calculado el diámetro de la conducción:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0142 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 0,15 \text{ m/s}}} = 0,006 \text{ m} = 6 \text{ mm} \approx \text{DN 6}$$

- **Conducción 5:**

El caudal añadido de hidróxido sódico diluido con agua es de 0,234 m³/h. Se ha fijado una velocidad de 0,15 m/s y se ha calculado el diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0234 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 0,15 \text{ m/s}}} = 0,0074 \text{ m} = 7,4 \text{ mm} \approx \text{DN 8}$$

- **Conducción 6:**

El caudal añadido de floculante diluido con agua es de 0,312 m³/h. Se ha fijado una velocidad de 0,15 m/s y se ha calculado el diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,312 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 0,15 \text{ m/s}}} = 0,027 \text{ m} = 27 \text{ mm} \approx \text{DN 25}$$

- **Conducción 8:**

El caudal de agua en esta conducción es de 142,43 m³/h. Para el cálculo del diámetro se ha fijado una velocidad de 1,2 m/s de modo que el diámetro se encuentre entre el rango recomendado. Sustituyendo en la ecuación 3.19:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 142,43 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 1,2 \text{ m/s}}} = 0,20 \text{ m} = 200 \text{ mm} = \mathbf{DN 200}$$

- **Conducciones 9 y 18:**

El caudal de agua en estas conducciones es de 155,81 m³/h. Para el cálculo del diámetro se ha fijado una velocidad de 1,2 m/s de modo que el diámetro se encuentre entre el rango recomendado. Sustituyendo en la ecuación 3.19:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 155,81 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 1,2 \text{ m/s}}} = 0,214 \text{ m} = 214 \text{ mm} \approx \mathbf{DN 200}$$

- **Conducciones 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17:**

La conducción que conduce el agua desde el sedimentador se bifurca en cuatro conducciones que transportan el agua hasta cada uno de los filtros de profundidad. Tras los filtros habrá cuatro conducciones iguales que se unirán en una para conducir el agua hasta la balsa de acumulación.

Para el cálculo del diámetro necesario para estas conducciones se ha de tener en cuenta que el caudal que circule por cada conducción será la cuarta parte que el que circula antes de la bifurcación ($Q = 38,95 \text{ m}^3/\text{h}$) excepto en los casos en los que se esté limpiando uno de los filtros que será una tercera parte ($Q = 51,94 \text{ m}^3/\text{h}$).

Se fija una velocidad de 1,2 m/s y se calcula el diámetro necesario para el caso en el que los cuatro filtros estén en funcionamiento:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 38,95 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 1,2 \text{ m/s}}} = 0,107 \text{ m} = 107 \text{ mm} \approx \mathbf{DN 115}$$

A continuación, se repite el cálculo para el caso en el que se esté limpiando uno de los filtros:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 51,94 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 1,2 \text{ m/s}}} = 0,124 \text{ m} = 124 \text{ mm} \approx \mathbf{DN 115}$$

En los dos casos se obtiene un diámetro dentro del rango indicado en la tabla 37 por lo que estas tuberías se diseñarán con un diámetro nominal que sea adecuado para los dos caudales de 115 mm.

- **Conducción 19:**

Los lodos que se extraen del sedimentador tienen una concentración en sólidos baja (alrededor de un 2%) por lo que para calcular el diámetro se utilizarán los rangos de la tabla 3.6 para el caso en el que circula agua.

El caudal de agua en esta conducción es de 13,57 m³/h. Para el cálculo del diámetro se ha fijado una velocidad de 0,6 m/s. Sustituyendo en la ecuación 3.19:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 13,57 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 0,6 \text{ m/s}}} = 0,089 \text{ m} = 89 \text{ mm} \approx \text{DN 90}$$

- **Conducción 20:**

El caudal de agua en esta conducción es de 7,92 m³/h. Para el cálculo del diámetro se ha fijado una velocidad de 1 m/s. Sustituyendo en la ecuación 3.19:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,92 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 1 \text{ m/s}}} = 0,053 \text{ m} = 53 \text{ mm} \approx \text{DN 50}$$

- **Conducción 21:**

Los lodos que se extraen del espesador tienen una concentración en sólidos baja (alrededor de un 5%) por lo que para calcular el diámetro se utilizarán los rangos de la tabla 3.6 para el caso en el que circula agua.

El caudal de agua en esta conducción es de 5,65 m³/h. Para el cálculo del diámetro se ha fijado una velocidad de 0,6 m/s. Sustituyendo en la ecuación 3.19:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,65 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 0,6 \text{ m/s}}} = 0,058 \text{ m} = 58 \text{ mm} \approx \text{DN } 50$$

- **Conducción 22:**

El caudal de agua en esta conducción es de 5,46 m³/h. Para el cálculo del diámetro se ha fijado una velocidad de 0,6 m/s. Sustituyendo en la ecuación 3.19:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,46 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 0,6 \text{ m/s}}} = 0,057 \text{ m} = 57 \text{ mm} \approx \text{DN } 50$$

- **Conducciones 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 32:**

El caudal de agua de lavado que va a circular por cada una de estas conducciones es de 60,3 m³/h ya que mientras se esté limpiando uno de los filtros, los otros tres van a seguir en funcionamiento. Para el cálculo del diámetro se ha fijado una velocidad de 1,2 m/s. Sustituyendo en la ecuación 3.19:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 60,3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 1,2 \text{ m/s}}} = 0,133 \text{ m} = 133 \text{ mm} \approx \text{DN } 125$$

El diámetro calculado se encuentra dentro del rango recomendado por lo que el diámetro nominal de la conducción 22 será de 125mm.

4.12.2. Cálculo de las cargas de las bombas

Si se calcula la pérdida de energía mecánica que experimentan los fluidos que circulan por las conducciones, se puede calcular la energía que se requiere para su transporte. La ecuación 3.20 corresponde al balance de energía mecánica para líquidos que circulan por conducciones:

$$g(z_2 - z_1) + \left(\frac{v_2^2}{2\alpha_2} - \frac{v_1^2}{2\alpha_1} \right) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Delta F = \widehat{W} \quad (3.20)$$

g : aceleración gravitacional (m/s²).

z_2 : altura del fluido en el punto final (m).

z_1 : altura del fluido en el punto inicial (m).

v_2 : velocidad del fluido en el punto final (m/s).

v_1 : velocidad del fluido en el punto inicial (m/s).

P_2 : presión a la que está sometido el fluido en el punto final (Pa).

P_1 : presión a la que está sometido el fluido en el punto inicial (Pa).

ρ : densidad del fluido (kg/m³).

α : En régimen laminar $\alpha=0,5$ y en régimen turbulento $\alpha \approx 1$.

ΔF : pérdida de energía mecánica del fluido a través de la conducción (J/kg).

\widehat{W} : trabajo que realiza la bomba (J/kg).

El balance de energía se va a expresar en función de las cargas (los términos del balance de energía mecánica divididos por g). El balance de energía mecánica, expresando todos los términos como cargas, viene dado por la ecuación 3.21:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \left(\frac{v_2^2}{2g\alpha_2} - \frac{v_1^2}{2g\alpha_1} \right) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B \quad (3.21)$$

h_s : carga del sistema.

$(z_2 - z_1)$: carga estática

$\left(\frac{v_2^2}{2g\alpha_2} - \frac{v_1^2}{2g\alpha_1} \right)$: carga de velocidad

$\frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g}$: carga de presión

$\frac{\Delta F}{g}$: carga debida a la fricción

$\frac{\widehat{W}}{g} = h_B$: carga de la bomba

Siendo $\frac{J \cdot s^2}{kg \cdot m}$ las unidades de cada término. Es decir, el valor de energía de cada término se expresa como la altura a la que podría elevarse 1 kg del fluido que se desea transportar. Como en este caso el fluido que se transporta es agua las cargas se pueden expresar en metros de columna de agua (m.c.a), equivalente a la presión ejercida por una columna de agua de un metro de altura.

La pérdida de energía mecánica por unidad de masa (ΔF) es debida a los fenómenos de rozamiento (flujo viscoso) o de rozamiento y turbulencia combinados (flujo turbulento). Tal y como se muestra en la ecuación 3.22 se debe a dos contribuciones distintas:

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_a \quad (3.22)$$

ΔF_r : pérdida de energía mecánica en todos los tramos rectos debido al rozamiento y turbulencia.

ΔF_a : pérdida de energía mecánica en todos accidentes del sistema debido al rozamiento y turbulencia (“pérdidas menores”).

La pérdida de energía mecánica en los tramos rectos se calcula mediante las ecuaciones 3.23 o 3.24, según si el régimen sea laminar o turbulento:

Régimen laminar:
$$\Delta F_r = 2 \cdot f \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D}$$

$$f = 16/Re$$

$$\Delta F_r = 2 \frac{16\mu}{\rho V D} V^2 \frac{L}{D} = \frac{32\mu V L}{\rho \cdot D^2} \quad (3.23)$$

Régimen turbulento:
$$\Delta F_r = 2fV^2 \frac{L}{D} \quad (3.24)$$

$$f = \Phi(Re, \varepsilon/D)$$

El factor de fricción se obtiene a partir del diagrama de Moody (figura 3.7), una representación en escala doble logarítmica del factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la conducción:

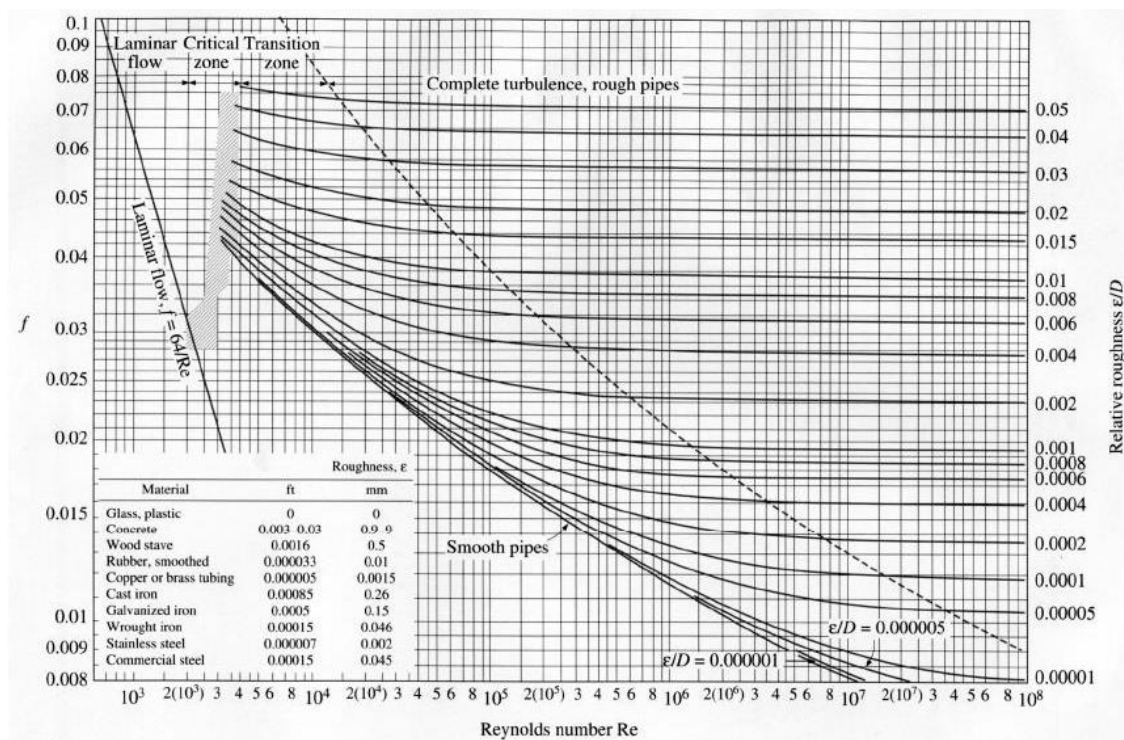


Figura 3.7. Diagrama de Moody

En este caso, todas las conducciones son de acero comercial, por lo que se tomará un valor de rugosidad absoluta de 0,045 tal y como se indica en la figura 3.7.

Por otro lado, las pérdidas de energía mecánica en los accidentes, cuando el régimen es turbulento, se calcularán por el procedimiento de las “cargas de velocidad” aplicando la ecuación 3.25:

Régimen turbulento:

$$\Delta F_a = K \frac{V^2}{2} \tag{3.25}$$


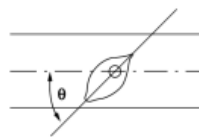
ΔF_a : pérdida de energía mecánica en todos accidentes del sistema debido al rozamiento y turbulencia (“pérdidas menores”).

K: constante característica de cada accidente.

V: velocidad en el accidente.

Los accidentes presentes en las conducciones son codos de 90° y válvulas de mariposa. En la tabla 3.8 se recoge el valor de la constante característica K para este tipo de accidentes:

Tabla 3.8. Valores de la constante característica K para distintos tipos de accidentes (Rodrigo Carbonell, 2003)

Accidente	K	Velocidad	Gráfico
Codo de 90°	0,75	La del tubo	
Válvula de mariposa	$\theta = 5^\circ - 0,05$ $10^\circ - 0,29$ $20^\circ - 1,56$ $40^\circ - 17,3$ $60^\circ - 206,0$	La del tubo	

Las válvulas mariposa son válvulas de corte de flujo, por lo que normalmente se encuentran totalmente abiertas o cerradas. Sin embargo, aunque no sea su objetivo principal, pueden utilizarse para regular el caudal colocándolas en posiciones intermedias. En caso de utilizarlas para regular el caudal en alguna ocasión, el ángulo máximo al que se utilizarán será de 20°, por lo que las pérdidas de carga se calcularán para este valor.

Por otro lado, cuando el régimen sea laminar, se utilizará el método de la longitud equivalente, calculando la longitud a partir del diámetro de la conducción según las relaciones que se muestran en la tabla 3.9:

Tabla 3.9. Longitud equivalente de distintos tipos de accidente (m)

Accidente	$(L/D)_{eq}$
Codo de 90°	35
Válvula de mariposa abierta	30

En la tabla 3.10 se recoge una descripción de los tramos a los que se van a aplicar los balances de energía mecánica:

Tabla 3.10. Tramos para la aplicación de los balances de energía mecánica

Tramo	Descripción
1	Salida del tanque de homogeneización - Entrada al reactor de coagulación
2	Salida del reactor de coagulación – Entrada al reactor de neutralización
3	Salida del reactor de neutralización – Entrada al reactor de floculación
4	Inicio de la tubería de adición del coagulante – Final de la tubería de adición del coagulante
5	Inicio de la tubería de adición del neutralizante – Final de la tubería de adición del neutralizante
6	Inicio de la tubería de adición del floculante – Final de la tubería de adición del floculante
7	Salida del reactor de floculación – Entrada al sedimentador
8	Salida del sedimentador – Balsa pulmón
9	Salida de la balsa pulmón – Entrada a la balsa de acumulación
10, 11, 12 y 13	Entrada a los filtros de profundidad – Bifurcación posterior a los filtros de profundidad
14	Bifurcación posterior a los filtros de profundidad – Entrada a la balsa de acumulación
15	Salida del sedimentador – Entrada al espesador de fangos
16	Salida del espesador de fangos – Entrada a la balsa pulmón
17	Salida del espesador de fangos – Entrada al filtro prensa
18	Salida del filtro prensa – Entrada a la balsa pulmón
19	Salida de la balsa de acumulación – Bifurcación anterior a los filtros de profundidad (lavado de filtros a contracorriente)
20, 21, 22 y 23	Bifurcación anterior a los filtros de profundidad – Bifurcación posterior a los filtros de profundidad (lavado de filtros a contracorriente)
24	Bifurcación posterior a los filtros de profundidad – Tanque de homogeneización (lavado de filtros a contracorriente)

- **BEM al tramo 1:**

El balance de energía mecánica, expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (salida del tanque de homogeneización) y el punto 2 (entrada al reactor de coagulación) es el de la ecuación 3.21.

Como el diámetro es constante al largo de las conducciones $v_1=v_2$ se simplifica el balance:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.11 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.11. Datos para resolver el BEM en el tramo 1

Tramo	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
1	10	2,15 - 0	997	0,001	$P_{atm} - P_1$

A continuación, se van a calcular las pérdidas de energía mecánica. Para ello, en primer lugar, se debe saber si el régimen es turbulento o laminar para saber que ecuaciones aplicar. Por lo tanto, se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{997 \cdot 1,2 \cdot 0,2}{0,001} = 239280 > 10^4 \rightarrow \text{Régimen turbulento}$$

Como el número de Reynolds es $>10^4$, se calculan las pérdidas de energía mecánica utilizando las ecuaciones 3.24 y 3.25 para régimen turbulento.

El factor de fricción (f) se determina utilizando el diagrama de Moody (figura 3.7), a partir de la rugosidad relativa y el número de Reynolds. Los valores de estos parámetros se recogen en la tabla 3.12:

Tabla 3.12. Valor del factor de fricción (f) y de los parámetros utilizados para su obtención

ε (mm)	D (mm)	ε/D	Re	f
0,045	200	0,000225	239280	0,017

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo tal y como se observa en la tabla 3.13:

Tabla 3.13. N° de accidentes y valor de $\sum K$ en el tramo 1

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	$\sum K$
1	3	1	3,81

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2 \cdot 0,017 \cdot 1,2^2 \cdot \frac{10}{0,2} + 3,81 \cdot \frac{1,2^2}{2} = 5,19 \text{ J/kg}$$

El final de la conducción (punto 2) está abierto a la atmósfera por lo que la presión corresponde a la presión atmosférica. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), está causada por la suma de la presión atmosférica y la presión causada por el agua almacenada en el tanque de homogeneización. El valor de P_1 es el siguiente:

$$P_1 = P_{atm} + h \cdot g \cdot \rho$$

Donde h hace referencia al nivel del agua contenida en el tanque de homogeneización. El nivel del agua no será siempre constante por lo que para calcular la carga de la bomba se considera un nivel mínimo de 1m ya que si el nivel contenido en el tanque es menor se detendrá el tratamiento.

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (2,15 - 0) + \frac{P_{atm} - P_{atm} - 1 \cdot 9,8 \cdot 997}{997 \cdot 9,8} + \frac{5,19}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = 1,68 \text{ m}$$

- **BEM al tramo 2:**

El balance de energía mecánica simplificado (D cte. $\rightarrow v_1=v_2$), expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (salida del reactor de coagulación) y el punto 2 (entrada al reactor de neutralización) es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.14 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.14. Datos para resolver el BEM en el tramo 2

Tramo	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
2	3	2,15 - 0	997	0,001	$P_{atm} - P_1$

A continuación, se van a calcular las pérdidas de energía mecánica. El número de Reynolds es el mismo que para el tramo 1 por lo que a continuación, se calculan las pérdidas de energía mecánica utilizando las ecuaciones para régimen turbulento. El factor de fricción (f) también coincide con el del tramo 1, siendo su valor de 0,017.

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo tal y como se observa en la tabla 3.15:

Tabla 3.15. N° de accidentes y valor de $\sum K$ en el tramo 2

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	$\sum K$
2	3	1	3,81

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2 \cdot 0,017 \cdot 1,2^2 \cdot \frac{3}{0,2} + 3,81 \cdot \frac{1,2^2}{2} = 3,48 \text{ J/kg}$$

El final de la conducción (punto 2) está abierto a la atmósfera por lo que la presión corresponde a la presión atmosférica. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), está causada por la suma de la presión atmosférica y la presión causada por el agua almacenada en el reactor de coagulación. El valor de P_1 es el siguiente:

$$P_1 = P_{atm} + h \cdot g \cdot \rho$$

Donde h hace referencia al nivel del agua contenida en el reactor de coagulación. El volumen del agua en los reactores estará regulado para dosificar los reactivos y el nivel del líquido será de 1,9m.

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (2,15 - 0) + \frac{P_{atm} - P_{atm} - 1,9 \cdot 9,8 \cdot 997}{997 \cdot 9,8} + \frac{3,48}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = 0,61 \text{ m}$$

- **BEM al tramo 3:**

El balance de energía mecánica simplificado (D cte. $\rightarrow v_1=v_2$), expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (salida del reactor de neutralización) y el punto 2 (entrada al reactor de floculación) es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.16 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.16. Datos para resolver el BEM en el tramo 3

Tramo	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
3	4	3,1 - 0	997	0,001	$P_{atm} - P_1$

A continuación, se van a calcular las pérdidas de energía mecánica. El número de Reynolds es el mismo que para el tramo 1 por lo que a continuación, se calculan las pérdidas de energía mecánica utilizando las ecuaciones para régimen turbulento. Además, el factor de fricción (f) también es el mismo que en el tramo 1 (f = 0,017).

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo (tabla 3.17):

Tabla 3.17. N° de accidentes y valor de $\sum K$ en el tramo 1

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	$\sum K$
3	3	1	3,81

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2 \cdot 0,017 \cdot 1,2^2 \cdot \frac{4}{0,2} + 3,81 \cdot \frac{1,2^2}{2} = 3,72 \text{ J/kg}$$

El final de la conducción (punto 2) está abierto a la atmósfera por lo que la presión corresponde a la presión atmosférica. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), está causada por la suma de la presión atmosférica y la presión causada por el agua almacenada en el reactor de neutralización. El valor de P₁ es el siguiente:

$$P_1 = P_{atm} + h \cdot g \cdot \rho$$

Donde h hace referencia al nivel del agua contenida en el tanque de neutralización, que será de 1,9 m.

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (3,1 - 0) + \frac{P_{atm} - P_{atm} - 1,9 \cdot 9,8 \cdot 997}{997 \cdot 9,8} + \frac{3,72}{9,8} = \frac{\hat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = 1,57 \text{ m}$$

- **BEM al tramo 4:**

El balance de energía mecánica simplificado (D cte. $\rightarrow v_1=v_2$), expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (inicio de la conducción de adición de coagulante) y el punto 2 (final de la conducción de adición de coagulante) es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.18 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.18. Datos para resolver el BEM en el tramo 4

Tramo	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
4	2,5	2,15- 0	1100	0,002	$P_{atm} - P_1$

A continuación, se van a calcular las pérdidas de energía mecánica. Para ello, en primer lugar, se debe saber si el régimen es turbulento o laminar para saber que ecuaciones aplicar. Por lo tanto, a continuación, se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1100 \cdot 0,15 \cdot 0,006}{0,002} = 495 < 2100 \rightarrow \text{Régimen laminar}$$

A continuación, se calculan las pérdidas de energía mecánica utilizando la ecuación 3.23 para régimen laminar para los tramos rectos y el método de la longitud equivalente para los accidentes.

A partir de los valores de la tabla 3.9 y del número de cada tipo de accidente se calcula la longitud equivalente en este tramo en la tabla 3.19:

Tabla 3.19. N° de accidentes y valor de L_{eq} en el tramo 4

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	L_{eq} (m)
4	2	1	0,57

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = \frac{32 \cdot 0,002 \cdot 0,15 (2,5 + 0,57)}{1100 \cdot 0,006^2} = 0,74 \text{ J/kg}$$

El final de la conducción (punto 2) está abierto a la atmósfera por lo que la presión corresponde a la presión atmosférica. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), está causada por la suma de la presión atmosférica y la presión causada por el coagulante almacenado en el IBC. El valor de P_1 es el siguiente:

$$P_1 = P_{atm} + h \cdot g \cdot \rho$$

Donde h hace referencia al nivel del coagulante contenido en el IBC. La bomba se va a diseñar teniendo en cuenta los casos en los que el IBC se queda casi vacío ($h=0\text{m}$).

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (2,15 - 0) + \frac{P_{atm} - P_{atm} - 0}{1100 \cdot 9,8} + \frac{0,74}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = 2,23 \text{ m}$$

- **BEM al tramo 5:**

El balance de energía mecánica simplificado (D cte. $\rightarrow v_1=v_2$), expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (inicio de la conducción de adición de neutralizante) y el punto 2 (final de la conducción de adición de neutralizante) es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.20 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.20. Datos para resolver el BEM en el tramo 5

Tramo	L (m)	z ₂ - z ₁ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	P ₂ - P ₁ (Pa)
5	2,5	2,15- 0	1000	1,24·10 ⁻³	P _{atm} - P ₁

A continuación, se van a calcular las pérdidas de energía mecánica. Para ello, en primer lugar, se debe saber si el régimen es turbulento o laminar para saber que ecuaciones aplicar. Por lo tanto, a continuación, se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 0,15 \cdot 0,008}{1,24 \cdot 10^{-3}} = 967,74 < 2100 \rightarrow \text{Régimen laminar}$$

A continuación, se calculan las pérdidas de energía mecánica utilizando las ecuaciones para régimen laminar.

A partir de los valores de la tabla 3.9 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor de la longitud equivalente este tramo en la tabla 3.21:

Tabla 3.21. N° de accidentes y valor de L_{eq} en el tramo 5

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	L _{eq} (m)
5	2	1	0,76

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = \frac{32 \cdot 1,24 \cdot 10^{-3} \cdot 0,15 (2,5 + 0,76)}{1000 \cdot 0,008^2} = 0,30 \text{ J/kg}$$

El final de la conducción (punto 2) está abierto a la atmósfera por lo que la presión corresponde a la presión atmosférica. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), está causada por la suma de la presión atmosférica y la presión causada por el neutralizante almacenado en el tanque de neutralizante. El valor de P₁ es el siguiente:

$$P_1 = P_{atm} + h \cdot g \cdot \rho$$

Donde h hace referencia al nivel del neutralizante contenido en el tanque. La bomba se va a diseñar teniendo en cuenta los casos en los que el tanque se queda casi vacío ($h = 0$ m).

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (2,15 - 0) + \frac{P_{atm} - P_{atm} - 0}{1000 \cdot 9,8} + \frac{0,30}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = 2,18 \text{ m}$$

- **BEM al tramo 6:**

El balance de energía mecánica simplificado (D cte. $\rightarrow v_1=v_2$), expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (inicio de la conducción de adición de floculante) y el punto 2 (final de la conducción de adición de floculante) es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.22 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.22. Datos para resolver el BEM en el tramo 6

Tramo	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
6	3,5	3,10 - 0	1000	0,07	$P_{atm} - P_1$

A continuación, se van a calcular las pérdidas de energía mecánica. Para ello, en primer lugar, se debe saber si el régimen es turbulento o laminar para saber que ecuaciones aplicar. Por lo tanto, a continuación, se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 0,15 \cdot 0,025}{0,07} = 53,57 < 2100 \rightarrow \text{Régimen laminar}$$

A continuación, se calculan las pérdidas de energía mecánica utilizando las ecuaciones para régimen laminar.

A partir de los valores de la tabla 3.9 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor de la longitud equivalente en este tramo en la tabla 3.23:

Tabla 3.23. N° de accidentes y valor de L_{eq} en el tramo 6

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	L_{eq} (m)
6	2	1	2,38

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = \frac{32 \cdot 0,07 \cdot 0,15 (3,5 + 2,38)}{1000 \cdot 0,025^2} = 3,16 \text{ J/kg}$$

El final de la conducción (punto 2) está abierto a la atmósfera por lo que la presión corresponde a la presión atmosférica. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), está causada por la suma de la presión atmosférica y la presión causada por el floculante almacenado en el tanque de floculante. El valor de P_1 es el siguiente:

$$P_1 = P_{atm} + h \cdot g \cdot \rho$$

Donde h hace referencia al nivel del floculante contenido en el tanque. La bomba se va a diseñar teniendo en cuenta los casos en los que el tanque se queda casi vacío ($h=0\text{m}$).

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (3,10 - 0) + \frac{P_{atm} - P_{atm} - 0}{1000 \cdot 9,8} + \frac{3,16}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = 3,42 \text{ m}$$

- **BEM al tramo 7:**

El balance de energía mecánica simplificado (D cte. $\rightarrow v_1=v_2$), expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (salida del reactor de floculación) y el punto 2 (entrada al sedimentador) es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.24 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.24. Datos para resolver el BEM en el tramo 7

Tramo	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
7	8	3,60 - 0	997	0,001	$P_{atm} - P_1$

A continuación, se van a calcular las pérdidas de energía mecánica. El número de Reynolds es el mismo que para el tramo 1 por lo que a continuación, se calculan las pérdidas de energía mecánica utilizando las ecuaciones para régimen turbulento.

El factor de fricción (f) se determina utilizando el diagrama de Moody (figura 3.7), a partir de la rugosidad relativa y el Reynolds. Los valores de estos parámetros coinciden con los del tramo 1 (f = 0,017) por lo que se utilizarán las ecuaciones para régimen turbulento.

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo tal y como se observa en la tabla 3.25:

Tabla 3.25. N° de accidentes y valor de $\sum K$ en el tramo 7

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	$\sum K$
7	3	1	3,81

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2 \cdot 0,017 \cdot 1,2^2 \cdot \frac{8}{0,2} + 3,81 \cdot \frac{1,2^2}{2} = 4,70 \text{ J/kg}$$

El final de la conducción (punto 2) está abierto a la atmósfera por lo que la presión corresponde a la presión atmosférica. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), está causada por la suma de la presión atmosférica y la presión causada por el agua almacenada en el reactor de floculación. El valor de P_1 es el siguiente:

$$P_1 = P_{atm} + h \cdot g \cdot \rho$$

Donde h hace referencia al nivel del agua contenida en el reactor de floculación, que será de 2,7 m.

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (3,60 - 0) + \frac{P_{atm} - P_{atm} - 2,7 \cdot 9,8 \cdot 997}{997 \cdot 9,8} + \frac{4,70}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = 1,38 \text{ m}$$

- **BEM al tramo 8:**

El balance de energía mecánica, expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (salida del sedimentador) y el punto 2 (entrada a la balsa pulmón) teniendo en cuenta que el diámetro es constante al largo de las conducciones $v_1=v_2$, es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.26 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.26. Datos para resolver el BEM en el tramo 8

Tramo	L (m)	z ₂ - z ₁ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	P ₂ - P ₁ (Pa)
8	12	2,33 - 3,60	997	0,001	P _{atm} - P ₁

A continuación, se van a calcular las pérdidas de energía mecánica. Para ello, en primer lugar, se debe saber si el régimen es turbulento o laminar para saber que ecuaciones aplicar. Por lo tanto, a continuación, se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{997 \cdot 1,2 \cdot 0,2}{0,001} = 239280 > 10^4 \rightarrow \text{Régimen turbulento}$$

Como $Re > 10^4$, a continuación, se calculan las pérdidas de energía mecánica utilizando las ecuaciones para régimen turbulento.

El factor de fricción (f) se determina con el diagrama de Moody (figura 3.7), a partir de la rugosidad relativa y el número de Reynolds. Los valores de estos parámetros se recogen en la tabla 3.27:

Tabla 3.27. Valor del factor de fricción (f) y de los parámetros utilizados para su obtención

ε (mm)	D (mm)	ε/D	Re	f
0,045	200	0,000225	239280	0,017

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo en la tabla 3.28:

Tabla 3.28. N° de accidentes y valor de ΣK en el tramo 8

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	Σ K
8	2	1	3,06

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2 \cdot 0,017 \cdot 1,2^2 \cdot \frac{12}{0,2} + 3,06 \cdot \frac{1,2^2}{2} = 5,14 \text{ J/kg}$$

El final de la conducción (punto 2) está abierto a la atmósfera por lo que la presión corresponde a la presión atmosférica. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), está causada por la suma de la presión atmosférica y la presión causada por el agua del sedimentador. El valor de P_1 es el siguiente:

$$P_1 = P_{atm} + h \cdot g \cdot \rho$$

Donde h hace referencia al nivel del agua contenida en el sedimentador. El nivel del agua por encima de la conducción es de 0m por lo que la presión en el punto 1 es la atmosférica.

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (2,33 - 3,60) + \frac{P_{atm} - P_{atm} - 0}{997 \cdot 9,8} + \frac{5,14}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = -0,75 \text{ m}$$

El valor de la carga de la bomba en el tramo 8 es negativo, lo que significa que el agua será transportada del sedimentador a la balsa pulmón por gravedad.

- **BEM al tramo 9:**

El balance de energía mecánica, expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (salida de la balsa pulmón) y el punto 2 (entrada a los filtros de profundidad) teniendo en cuenta que el diámetro es constante al largo de las conducciones $v_1=v_2$, es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.29 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.29. Datos para resolver el BEM en el tramo 9

Tramo	L (m)	z ₂ - z ₁ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	P ₂ - P ₁ (Pa)
9	14	2,50 - (-5)	997	0,001	P ₂ - P ₁

El número de Reynolds es el mismo que en el tramo 8, por lo que se calculan las pérdidas de energía mecánica utilizando las ecuaciones para régimen turbulento:

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_a = 2fv^2 \frac{L}{D} + K \frac{v^2}{2}$$

El factor de fricción (f) se determina con el diagrama de Moody (figura 3.7), a partir de la rugosidad relativa y el número de Reynolds. Los valores de estos parámetros se recogen en la tabla 3.30:

Tabla 3.30. Valor del factor de fricción (f) y de los parámetros utilizados para su obtención

ε (mm)	D (mm)	ε/D	Re	f
0,045	200	0,000225	239280	0,017

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo en la tabla 3.31:

Tabla 3.31. N° de accidentes y valor de ΣK en el tramo 9

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	Σ K
9	4	1	4,56

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2 \cdot 0,017 \cdot 1,2^2 \cdot \frac{14}{0,2} + 4,56 \cdot \frac{1,2^2}{2} = 6,71 \text{ J/kg}$$

La presión al final de la conducción (punto 2) no es conocida. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), está causada por la suma de la presión atmosférica y la presión causada por el agua en la balsa pulmón. El valor de P_1 es el siguiente:

$$P_1 = P_{atm} + h \cdot g \cdot \rho$$

Donde h hace referencia al nivel del agua contenida en el sedimentador. Para el cálculo de la potencia necesaria se va a tomar el caso en el que el nivel del agua sea mínimo ($h \approx 0$ m).

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (2,50 - (-5)) + \frac{P_2 - P_{atm} - 0 \cdot 9,8 \cdot 997}{997 \cdot 9,8} + \frac{6,71}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = 7,50 + \frac{P_2 - P_{atm}}{9770,6} + \frac{6,71}{9,8} \quad (\text{ec. a})$$

Se llega a **una ecuación con dos incógnitas**.

- **BEM a los tramos 10, 11, 12 y 13:**

Los tramos 10, 11, 12 y 13 corresponden al camino que sigue el agua a través de cada uno de los filtros de profundidad. Teniendo en cuenta que los cuatro tramos son iguales se realizarán los cálculos una sola vez para los 4 tramos.

El balance de energía mecánica, expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (bifurcación anterior a los filtros de profundidad) y el punto 2 (bifurcación posterior a los filtros de profundidad) teniendo en cuenta que el diámetro es constante al largo de las conducciones $v_1=v_2$, es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.32 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.32. Datos para resolver el BEM en los tramos 10, 11, 12 y 13

Tramo	L (m)	z ₂ - z ₁ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	P ₂ - P ₁ (Pa)
10, 11, 12 y 13	6	0 - 2,50	997	0,001	P ₂ - P ₁

A continuación, se van a calcular las pérdidas de energía mecánica. Para ello, en primer lugar, se debe saber si el régimen es turbulento o laminar para saber que ecuaciones aplicar. Por lo tanto, a continuación, se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{997 \cdot 1,2 \cdot 0,115}{0,001} = 137586 > 10^4 \rightarrow \text{Régimen turbulento}$$

Las pérdidas de energía mecánica se calcularán utilizando las ecuaciones para régimen turbulento. La pérdida de carga que experimenta el agua a través del lecho de arena y antracita se le sumará la pérdida de carga causada por los tramos rectos y los accidentes y se multiplicará por cuatro para conocer la pérdida de carga total a través de los cuatro tramos:

$$\Delta F = 4 \cdot (\Delta F_l + \Delta F_r + \Delta F_a) = 4 \cdot \left(\Delta F_l + 2f v^2 \frac{L}{D} + K \frac{v^2}{2} \right)$$

El factor de fricción (f) se determina con el diagrama de Moody (figura 3.7), a partir de la rugosidad relativa y el número de Reynolds. Los valores de estos parámetros se recogen en la tabla 3.33:

Tabla 3.33. Valor del factor de fricción (f) y de los parámetros utilizados para su obtención

ε (mm)	D (mm)	ε/D	Re	f
0,045	115	0,00045	137586	0,019

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo en la tabla 3.34:

Tabla 3.34. N° de accidentes y valor de $\sum K$ en los tramos 10, 11, 12 y 13

Tramos	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	$\sum K$
10, 11, 12 y 13	3	1	3,81

A continuación, se calcula la pérdida de carga que sufre el agua a través de los huecos que dejan las partículas sólidas en el lecho de los filtros de profundidad.

Para su cálculo se puede utilizar la **ecuación de Ergun (3.26)**:

$$\frac{\Delta P}{L} = K_1 \frac{\mu (1 - \varepsilon)^2}{D_p^2 \varepsilon^3} v + K_2 \frac{\rho (1 - \varepsilon)}{D_p \varepsilon^3} v^2 \quad (3.26)$$

Donde:

ΔP : caída de presión a través del lecho (Pa).

L: espesor del lecho (m).

v: velocidad media del flujo del fluido (m/s).

D_p : diámetro de las partículas o gránulos del lecho (m).

ε : porosidad del lecho (m^3 huecos/ m^3 lecho).

μ : viscosidad del fluido (Pa·s).

ρ : densidad del fluido (kg/m^3).

K_1 y K_2 : son dos constantes que dependen del tipo de partículas sólidas. Como valores promedio pueden tomarse $K_1 = 150$ y $K_2 = 1,75$.

Como el filtro está compuesto por una capa de sílex y otra de antracita la caída de presión a través del lecho será la suma de la caída de presión causada por cada una de las capas. Por tanto, la caída de presión puede calcularse del siguiente modo:

$$\Delta P = \left(\frac{L_{síl.}}{D_{p\ síl.}^2} + \frac{L_{antr.}}{D_{p\ antr.}^2} \right) \cdot K_1 \cdot \mu \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} v + \left(\frac{L_{síl.}}{D_{p\ síl.}} + \frac{L_{antr.}}{D_{p\ antr.}} \right) \cdot K_2 \cdot \rho \cdot \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} v^2$$

Las cargas de sílex y antracita son ambas de 600 kg. A partir de las densidades del sílex y la antracita se calcula el volumen que ocupa cada una de las capas en el filtro con el fin de calcular sus espesores.

En primer lugar, se calcula el volumen que ocupa la capa de sílex sabiendo que la densidad aparente del lecho es de unos 1650 kg/m³ y que su carga en el filtro es de 600 kg:

$$V_{\text{sílex}} = \frac{\text{carga sílex (kg)}}{\rho_{\text{sílex}} (\text{kg/m}^3)} = \frac{600}{1650} = 0,367 \text{ m}^3$$

A partir del volumen se calcula el espesor de la capa de sílex ($L_{\text{sílex}}$) sabiendo que la geometría de los filtros es cilíndrica y que el diámetro es de 1,6 m.

$$V_{\text{sílex}} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L_{\text{sílex}} \rightarrow L_{\text{sílex}} = \frac{V_{\text{sílex}} \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{0,367 \cdot 4}{\pi \cdot 1,6^2} = 0,183 \text{ m}$$

A continuación, se calcula el volumen que ocupa la capa de antracita sabiendo que la densidad aparente del lecho es de unos 833 kg/m³ y que su carga en el filtro es de 600 kg:

$$V_{\text{antracita}} = \frac{\text{carga antracita (kg)}}{\rho_{\text{antracita}} (\text{kg/m}^3)} = \frac{600}{833} = 0,720 \text{ m}^3$$

A partir del volumen se calcula el espesor de la capa de sílex ($L_{\text{sílex}}$) sabiendo que la geometría de los filtros es cilíndrica y que el diámetro es de 1,6 m.

$$V_{\text{antracita}} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L_{\text{antracita}} \rightarrow L_{\text{antracita}} = \frac{V_{\text{antracita}} \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{0,720 \cdot 4}{\pi \cdot 1,6^2}$$

$$L_{\text{antracita}} = 0,358 \text{ m}$$

El diámetro de partícula del sílex que se va a utilizar es de unos 4 mm mientras que el de la antracita es de alrededor de 1,2mm.

Para realizar los cálculos se tendrá en cuenta la velocidad a la que circula el agua cuando uno de los filtros se está limpiando, que es de 26,67 m/h ($7,41 \cdot 10^{-3}$ m/s).

Además, se considerará una porosidad del lecho de alrededor de 0,4 m³ huecos / m³ lecho.

Conociendo estos datos y los espesores de cada capa se calcula la pérdida de presión a través del lecho:

$$\Delta P = \left(\frac{0,183}{0,004^2} + \frac{0,358}{0,0012^2} \right) \cdot 150 \cdot 0,001 \cdot \frac{(1 - 0,4)^2}{0,4^3} \cdot 7,41 \cdot 10^{-3} + \\ + \left(\frac{0,183}{0,004} + \frac{0,358}{0,0012} \right) \cdot 1,75 \cdot 997 \cdot \frac{(1 - 0,4)}{0,4^3} \cdot (7,41 \cdot 10^{-3})^2 = 1.934,91 \text{ Pa}$$

A partir de la caída de presión (ΔP) y de la densidad del agua (ρ) se calcula la pérdida de carga causada por cada uno de los filtros de profundidad:

$$\Delta F_l = \frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1.934,91 \text{ J/m}^3}{997 \text{ kg/m}^3} = 1,94 \text{ J/kg}$$

A esta pérdida de energía mecánica se le aplica un factor de 1,4 para tener en cuenta la pérdida de carga causada por el ensuciamiento de los filtros:

$$\Delta F_l = 1,4 \cdot 1,94 = 2,72 \text{ J/kg}$$

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 4 \cdot \left(2,72 + 2 \cdot 0,019 \cdot 1,2^2 \cdot \frac{6}{0,115} + 3,81 \cdot \frac{1,2^2}{2} \right) = 33,27 \text{ J/kg}$$

La presión al final de la conducción (punto 2) no es conocida. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), coincide con la presión 1 del tramo 9, de valor desconocido.

Los datos conocidos se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (0 - 2,50) + \frac{P_2 - P_1}{997 \cdot 9,8} + \frac{33,27}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = -2,50 + \frac{P_2 - P_1}{9770,6} + \frac{33,27}{9,8} \quad (\text{ec. b})$$

Se llega a **una ecuación con dos incógnitas**. Con la ecuación a y la ecuación b se tiene un sistema de dos ecuaciones y tres incógnitas, por lo que no se puede resolver el sistema.

- **BEM al tramo 14:**

El balance de energía mecánica, expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (bifurcación posterior a los filtros de profundidad) y el punto 2 (entrada a la balsa de acumulación) teniendo en cuenta que el diámetro es constante al largo de las conducciones $v_1=v_2$, es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.65 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.65. Datos para resolver el BEM en el tramo 14

Tramo	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
14	50	7,20 - 0	997	0,001	$P_2 - P_1$

El número de Reynolds es el mismo que en el tramo 8, por lo que se calculan las pérdidas de energía mecánica utilizando las ecuaciones para régimen turbulento. Por tanto, el factor de fricción (f) también coincide con el del tramo 8 ($f = 0,017$).

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo en la tabla 3.66:

Tabla 3.66. N° de accidentes y valor de $\sum K$ en el tramo 14

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	$\sum K$
14	4	1	4,56

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2 \cdot 0,017 \cdot 1,2^2 \cdot \frac{50}{0,2} + 4,56 \cdot \frac{1,2^2}{2} = 13,36 \text{ J/kg}$$

La presión al final de la conducción (punto 2) corresponde a la presión atmosférica. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1) esta es desconocida y coincide con la presión 2 en los tramos anteriores.

Los datos conocidos, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (7,20 - 0) + \frac{P_{atm} - P_1}{997 \cdot 9,8} + \frac{13,36}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = 7,20 + \frac{P_{atm} - P_1}{9770,6} + \frac{13,36}{9,8} \quad (\text{ec. c})$$

Se llega a una ecuación con dos incógnitas.

Se va a instalar una sola bomba a la salida de la balsa pulmón que transporte el agua hasta la balsa de acumulación de modo que la pérdida de carga de este tramo corresponde a la suma de las pérdidas de carga de los tramos 9, 10, 11, 13 y 14.

Con las ecuaciones obtenidas de los balances a los tramos 9, 10, 11, 12, 13 y 14 se llega a un **sistema de 3 ecuaciones y 3 incógnitas**. Para resolverlo se han tenido en cuenta las siguientes relaciones:

$$h_B = h_{B,9} + h_{B,10} + h_{B,11} + h_{B,12} + h_{B,13} + h_{B,14}$$

$$P_a = P_{2,9} = P_{1,10} = P_{1,11} = P_{1,12} = P_{1,13}$$

$$P_b = P_{1,14} = P_{2,10} = P_{2,11} = P_{2,12} = P_{2,13}$$

Aplicando estas relaciones el sistema a resolver es el siguiente:

$$h_{B,9} = 7,50 + \frac{P_a - P_{atm}}{9770,6} + \frac{6,71}{9,8} \quad (\text{ec. a})$$

$$h_{B,10} = h_{B,11} = h_{B,12} = h_{B,13} = -2,50 + \frac{P_b - P_a}{9770,6} + \frac{33,27}{9,8} \quad (\text{ec. b})$$

$$h_{B,14} = 7,20 + \frac{P_{atm} - P_b}{9770,6} + \frac{13,36}{9,8} \quad (\text{ec. c})$$

La carga de la bomba corresponde a la suma de la carga necesaria en cada tramo por lo que la ecuación resultante es la siguiente:

$$h_B = 7,50 + \frac{P_a - P_{atm}}{9770,6} + \frac{6,71}{9,8} - 2,50 + \frac{P_b - P_a}{9770,6} + \frac{33,27}{9,8} + 7,20 + \frac{P_{atm} - P_b}{9770,6} + \frac{13,36}{9,8}$$

Desarrollando la ecuación, esta se simplifica y desaparecen las incógnitas de las presiones a y b:

$$h_B = 12,2 + \frac{53,34}{9,8} = 17,64 \text{ m}$$

- **BEM al tramo 15:**

El balance de energía mecánica, expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (salida del sedimentador) y el punto 2 (entrada al espesador) teniendo en cuenta que el diámetro es constante al largo de las conducciones $v_1=v_2$ es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.67 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.67. Datos para resolver el BEM en el tramo 15

Tramo	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
15	25	5,47 - 0	997	0,001	$P_{atm} - P_1$

A continuación, se van a calcular las pérdidas de energía mecánica. Para ello, en primer lugar, se debe saber si el régimen es turbulento o laminar para saber que ecuaciones aplicar. Por lo tanto, a continuación, se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{997 \cdot 0,6 \cdot 0,09}{0,001} = 53838 > 10^4 \rightarrow \text{Régimen turbulento}$$

A continuación, se calculan las pérdidas de energía mecánica utilizando las ecuaciones para régimen turbulento.

El factor de fricción (f) se determina con el diagrama de Moody (figura 3.7), a partir de la rugosidad relativa y el Reynolds. Los valores de estos parámetros se recogen en la tabla 3.68:

Tabla 3.68. Valor del factor de fricción (f) y de los parámetros utilizados para su obtención

ε (mm)	D (mm)	ε/D	Re	f
0,045	90	0,0005	53838	0,022

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo en la tabla 3.69:

Tabla 3.69. N° de accidentes y valor de $\sum K$ en el tramo 15

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	$\sum K$
15	4	1	4,56

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2 \cdot 0,022 \cdot 0,6^2 \cdot \frac{25}{0,09} + 4,56 \cdot \frac{0,6^2}{2} = 5,22 \text{ J/kg}$$

El final de la conducción (punto 2) está abierto a la atmósfera por lo que la presión corresponde a la presión atmosférica. Por lo que respecta a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), está causada por la suma de la presión atmosférica y la presión causada por el agua almacenada en el sedimentador. El valor de P_1 es el siguiente:

$$P_1 = P_{atm} + h \cdot g \cdot \rho$$

Donde h hace referencia al nivel del agua contenida en el sedimentador. El nivel del agua será de 3,60 m.

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (5,47 - 0) + \frac{P_{atm} - P_{atm} - 3,60 \cdot 9,8 \cdot 997}{997 \cdot 9,8} + \frac{5,22}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = 2,40 \text{ m}$$

- **BEM al tramo 16:**

El balance de energía mecánica, expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (salida del espesador) y el punto 2 (entrada a la balsa pulmón) teniendo en cuenta que el diámetro es constante al largo de las conducciones $v_1=v_2$ es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.70 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.70. Datos para resolver el BEM en el tramo 16

Tramo	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
16	10	2,34 - 5,47	997	0,001	$P_{atm} - P_1$

A continuación, se van a calcular las pérdidas de energía mecánica. Para ello, en primer lugar, se debe saber si el régimen es turbulento o laminar para saber que ecuaciones aplicar. Por lo tanto, a continuación, se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{997 \cdot 1 \cdot 0,05}{0,001} = 49850 > 10^4 \rightarrow \text{Régimen turbulento}$$

El factor de fricción (f) se determina con el diagrama de Moody (figura 3.7), a partir de la rugosidad relativa y el Reynolds. Los valores de estos parámetros se recogen en la tabla 3.71:

Tabla 3.71. Valor del factor de fricción (f) y de los parámetros utilizados para su obtención

ε (mm)	D (mm)	ε/D	Re	f
0,045	50	0,0009	49850	0,023

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo en la tabla 3.72:

Tabla 3.72. N° de accidentes y valor de $\sum K$ en el tramo 16

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	$\sum K$
16	2	1	3,06

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2 \cdot 0,023 \cdot 1^2 \cdot \frac{10}{0,05} + 3,06 \cdot \frac{1^2}{2} = 10,73 \text{ J/kg}$$

El final de la conducción (punto 2) está abierto a la atmósfera por lo que la presión corresponde a la presión atmosférica. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), está causada por la suma de la presión atmosférica y la presión causada por el agua almacenada en el espesador. El valor de P_1 es el siguiente:

$$P_1 = P_{atm} + h \cdot g \cdot \rho$$

Donde h hace referencia al nivel del agua contenida en el espesador. El nivel del agua por encima de la conducción es de 0m.

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (2,34 - 5,47) + \frac{P_{atm} - P_{atm} - 0 \cdot 9,8 \cdot 997}{997 \cdot 9,8} + \frac{10,73}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = -2,04 \text{ m}$$

La carga que necesita la bomba es negativa, lo que significa que el agua circulará por el tramo 16 por gravedad sin la necesidad de ser impulsada por una bomba.

- **BEM al tramo 17:**

El balance de energía mecánica, expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (salida del espesador) y el punto 2 (entrada al filtro prensa) teniendo en cuenta que el diámetro es constante al largo de las conducciones $v_1=v_2$ es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.73 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.73. Datos para resolver el BEM en el tramo 17

Tramo	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
17	9,5	4 - 0	997	0,001	$P_{atm} - P_1$

A continuación, se van a calcular las pérdidas de energía mecánica. Para ello, en primer lugar, se debe saber si el régimen es turbulento o laminar para saber que ecuaciones aplicar. Por lo tanto, a continuación, se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{997 \cdot 0,6 \cdot 0,05}{0,001} = 29910 > 10^4 \rightarrow \text{Régimen turbulento}$$

El factor de fricción (f) se determina con el diagrama de Moody (figura 3.7), a partir de la rugosidad relativa y el Reynolds. Los valores de estos parámetros se recogen en la tabla 3.74:

Tabla 3.74. Valor del factor de fricción (f) y de los parámetros utilizados para su obtención

ε (mm)	D (mm)	ε/D	Re	f
0,045	50	0,0009	29910	0,026

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo en la tabla 3.75:

Tabla 3.75. N° de accidentes y valor de $\sum K$ en el tramo 17

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	$\sum K$
17	4	1	4,56

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2 \cdot 0,026 \cdot 0,6^2 \cdot \frac{9,5}{0,05} + 4,56 \cdot \frac{0,6^2}{2} = 4,38 \text{ J/kg}$$

El final de la conducción (punto 2) está abierto a la atmósfera por lo que la presión corresponde a la presión atmosférica. Por lo que respecta a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), está causada por la suma de la presión atmosférica y la presión causada por el agua almacenada en el espesador. El valor de P_1 es el siguiente:

$$P_1 = P_{atm} + h \cdot g \cdot \rho$$

Donde h hace referencia al nivel del agua contenida en el espesador. El nivel de agua será de 5,47 m.

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (4 - 0) + \frac{P_{atm} - P_{atm} - 5,47 \cdot 9,8 \cdot 997}{997 \cdot 9,8} + \frac{4,38}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = -1,02 \text{ m}$$

El agua circulará por este tramo por acción de la gravedad.

- **BEM al tramo 18:**

El balance de energía mecánica, expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (salida del filtro prensa) y el punto 2 (entrada a la balsa pulmón) teniendo en cuenta que el diámetro es constante al largo de las conducciones ($v_1=v_2$) es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.76 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.76. Datos para resolver el BEM en el tramo 18

Tramo	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
18	18	2,34 - 4	997	0,001	$P_{atm} - P_1$

El número de Reynolds coincide con el del tramo 17, por lo que se calculan las pérdidas de energía mecánica utilizando las ecuaciones para régimen turbulento. El factor de fricción (f) también es el mismo que en el tramo 17 ($f = 0,026$).

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo en la tabla 3.77:

Tabla 3.77. N° de accidentes y valor de $\sum K$ en el tramo 15

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	$\sum K$
18	1	1	2,31

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2 \cdot 0,026 \cdot 0,6^2 \cdot \frac{18}{0,05} + 2,31 \cdot \frac{0,6^2}{2} = 1,09 \text{ J/kg}$$

En este caso, tanto el inicio como el final de la conducción están abiertos a la atmósfera, por lo que ambas presiones corresponden a la atmosférica.

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (2,34 - 4) + \frac{P_{atm} - P_{atm}}{997 \cdot 9,8} + \frac{1,09}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = -1,55 \text{ m}$$

El valor de la carga de la bomba en el tramo 18 es negativo, lo que significa que el agua será transportada del filtro prensa a la balsa pulmón por gravedad.

- **BEM al tramo 19:**

El balance de energía mecánica, expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (salida de la balsa de acumulación) y el punto 2 (entrada al tanque de homogeneización) teniendo en cuenta que el diámetro es constante al largo de las conducciones $v_1=v_2$, es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.78 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.78. Datos para resolver el BEM en el tramo 19

Tramo	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
19	50	0 - 0	997	0,001	$P_2 - P_1$

A continuación, se van a calcular las pérdidas de energía mecánica. Para ello, en primer lugar, se debe saber si el régimen es turbulento o laminar para saber que ecuaciones aplicar. Por lo tanto, a continuación, se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{997 \cdot 1,2 \cdot 0,125}{0,001} = 149.550 > 10^4 \rightarrow \text{Régimen turbulento}$$

El factor de fricción (f) se determina con el diagrama de Moody (figura 3.7) a partir de la rugosidad relativa y el Reynolds. Los valores de estos parámetros se recogen en la tabla 3.79:

Tabla 3.79. Valor del factor de fricción (f) y de los parámetros utilizados para su obtención

ε (mm)	D (mm)	ε/D	Re	f
0,045	125	0,00036	149550	0,019

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo en la tabla 3.80:

Tabla 3.80. N° de accidentes y valor de $\sum K$ en el tramo 19

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	$\sum K$
19	2	1	3,06

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2 \cdot 0,019 \cdot 1,2^2 \cdot \frac{50}{0,125} + 3,06 \cdot \frac{1,2^2}{2} = 24,09 \text{ J/kg}$$

La presión al final de la conducción (punto 2) no es conocida. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), está causada por la suma de la presión atmosférica y la presión causada por el agua en la balsa de acumulación. El valor de P_1 es el siguiente:

$$P_1 = P_{atm} + h \cdot g \cdot \rho$$

Donde h hace referencia al nivel del agua contenida en la balsa de acumulación. Para el cálculo de la potencia necesaria se va a tomar el caso en el que el nivel del agua sea mínimo ($h \approx 0$ m).

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (0 - 0) + \frac{P_2 - P_{atm} - 0 \cdot 9,8 \cdot 997}{997 \cdot 9,8} + \frac{24,09}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = \frac{P_2 - P_{atm}}{9770,6} + \frac{24,09}{9,8} \text{ (ec. a')}$$

Se llega a **una ecuación con dos incógnitas**.

- **BEM a los tramos 20, 21, 22 y 23:**

Los tramos 20, 21, 22 y 23 corresponden al camino que sigue el agua a través de cada uno de los filtros de profundidad cuando se lavan a contracorriente. Para realizar los cálculos hay que tener en cuenta que mientras se limpie uno de los filtros los otros tres estarán en funcionamiento.

El balance de energía mecánica, expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (bifurcación anterior a los filtros de profundidad) y el punto 2 (bifurcación posterior a los filtros de profundidad) teniendo en cuenta que el diámetro es constante al largo de las conducciones $v_1=v_2$, es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.81 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.81. Datos para resolver el BEM en los tramos 20, 21, 22 y 23

Tramos	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
20, 21, 22 y 23	6	2,50 - 0	997	0,001	$P_2 - P_1$

El número de Reynolds es el mismo que en el tramo 19 por lo que las pérdidas de energía mecánica se calcularán utilizando las ecuaciones para régimen turbulento. La pérdida de carga que experimenta el agua a través del lecho de arena y antracita se le sumará la pérdida de carga causada por los tramos rectos y los accidentes:

$$\Delta F = \Delta F_l + \Delta F_r + \Delta F_a = \Delta F_l + 2f v^2 \frac{L}{D} + K \frac{v^2}{2}$$

El factor de fricción (f) también es el mismo que en el tramo anterior (f=0,019).

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo en la tabla 3.82:

Tabla 3.82. N° de accidentes y valor de $\sum K$ en los tramos 20, 21, 22 y 23

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	$\sum K$
20, 21, 22 y 23	3	1	3,81

A continuación, se calcula la pérdida de carga que sufre el agua a través de los huecos que dejan las partículas sólidas en el lecho de los filtros de profundidad.

Para su cálculo se puede utilizar la ecuación de Ergun (ecuación 3.26) del mismo modo que en los tramos 10, 11, 12 y 13.

Para realizar los cálculos hay que tener en cuenta que la velocidad del agua de limpieza a través de los filtros es de 25 m/h ($6,94 \cdot 10^{-3}$ m/s).

Conociendo estos datos y los espesores de cada capa se calcula la pérdida de presión a través del lecho:

$$\Delta P = \left(\frac{0,183}{0,004^2} + \frac{0,358}{0,0012^2} \right) \cdot 150 \cdot 0,001 \cdot \frac{(1 - 0,4)^2}{0,4^3} \cdot 6,94 \cdot 10^{-3} + \left(\frac{0,183}{0,004} + \frac{0,358}{0,0012} \right) \cdot 1,75 \cdot 997 \cdot \frac{(1 - 0,4)}{0,4^3} \cdot (6,94 \cdot 10^{-3})^2 = 1.566,12 \text{ Pa}$$

A partir de la caída de presión (ΔP) y de la densidad del agua (ρ) se calcula la pérdida de carga al lavar cada uno de los filtros de profundidad:

$$\Delta F_l = \frac{\Delta P}{\rho} = \frac{2.515,01 \text{ J/m}^3}{997 \text{ kg/m}^3} = 1,57 \text{ J/kg}$$

A esta pérdida de energía mecánica se le aplica un factor de 1,4 para tener en cuenta la pérdida de carga causada por el ensuciamiento de los filtros:

$$\Delta F_l = 1,4 \cdot 1,57 = 2,20 \text{ J/kg}$$

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2,20 + 2 \cdot 0,019 \cdot 1,2^2 \cdot \frac{6}{0,125} + 3,81 \cdot \frac{1,2^2}{2} = 7,57 \text{ J/kg}$$

La presión al final de la conducción (punto 2) no es conocida. Por lo que respecta a la presión en el inicio de la conducción (punto 1), coincide con la presión 2 del tramo 19, de valor desconocido.

Los datos conocidos se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (2,50 - 0) + \frac{P_2 - P_1}{997 \cdot 9,8} + \frac{8,90}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = 2,50 + \frac{P_2 - P_1}{9770,6} + \frac{7,57}{9,8} \text{ (ec. b')}$$

Se llega a **una ecuación con dos incógnitas**.

- **BEM al tramo 24:**

El balance de energía mecánica, expresando los términos como cargas, entre el punto 1 (bifurcación posterior a los filtros de profundidad) y el punto 2 (entrada al tanque de homogeneización) teniendo en cuenta que el diámetro es constante al largo de las conducciones $v_1=v_2$, es el siguiente:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

Los datos que se utilizarán para resolver el balance se recogen en la tabla 3.83 donde la longitud de la tubería y las alturas de los fluidos se han estimado a partir del plano de distribución en planta y de las dimensiones de los equipos:

Tabla 3.83. Datos para resolver el BEM en el tramo 24

Tramo	L (m)	$z_2 - z_1$ (m)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	$P_2 - P_1$ (Pa)
24	80	8,00 – 2,50	997	0,001	$P_2 - P_1$

El número de Reynolds es el mismo que en el tramo 20, por lo que se calculan las pérdidas de energía mecánica utilizando las ecuaciones para régimen turbulento.

El factor de fricción (f) también coincide con el del tramo anterior (f=0,019).

A partir de los valores de la tabla 3.8 y del número de cada tipo de accidente se calcula el valor total de K en este tramo en la tabla 3.84:

Tabla 3.84. N° de accidentes y valor de $\sum K$ en el tramo 24

Tramo	N° de codos de 90°	N° de válvulas mariposa	$\sum K$
24	4	1	4,56

Conocidos todos los datos de la ecuación, se sustituyen para determinar las pérdidas de energía mecánica:

$$\Delta F = 2 \cdot 0,019 \cdot 1,2^2 \cdot \frac{80}{0,125} + 4,56 \cdot \frac{1,2^2}{2} = 38,30 \text{ J/kg}$$

La presión al final de la conducción (punto 2) corresponde a la presión atmosférica. Por lo que hace a la presión en el inicio de la conducción (punto 1) esta es desconocida y coincide con la presión 2 del tramo 20.

Los datos conocidos, se sustituyen en la ecuación del cálculo de la carga de la bomba:

$$h_s = (8,00 - 2,50) + \frac{P_{atm} - P_1}{997 \cdot 9,8} + \frac{38,30}{9,8} = \frac{\widehat{W}}{g} = h_B$$

$$h_B = 5,50 + \frac{P_{atm} - P_1}{9770,6} + \frac{38,30}{9,8} \text{ (ec. c')}$$

Se llega a **una ecuación con dos incógnitas**.

Se va a instalar una sola bomba a la salida de la balsa de acumulación que transporte el agua de lavado hasta el tanque de homogeneización de modo que la pérdida de carga de este tramo corresponde a la suma de las pérdidas de carga de los tramos 19, 20 y 21.

Con las ecuaciones obtenidas de los balances a los tramos 19, 20 y 21 se llega a un **sistema de 3 ecuaciones y 3 incógnitas**. Para resolverlo se han tenido en cuenta las siguientes relaciones:

$$h_B = h_{B,19} + h_{B,20} + h_{B,21}$$

$$P_a = P_{2,19} = P_{1,20}$$

$$P_b = P_{2,20} = P_{2,21}$$

Aplicando estas relaciones el sistema a resolver es el siguiente:

$$h_{B,19} = \frac{P_2 - P_{atm}}{9770,6} + \frac{24,09}{9,8} \quad (ec. a')$$

$$h_{B,20} = 2,50 + \frac{P_2 - P_1}{9770,6} + \frac{7,57}{9,8} \quad (ec. b')$$

$$h_{B,21} = 5,50 + \frac{P_{atm} - P_1}{9770,6} + \frac{38,30}{9,8} \quad (ec. c')$$

La carga de la bomba corresponde a la suma de la carga necesaria en cada tramo por lo que la ecuación resultante es la siguiente:

$$h_B = \frac{P_2 - P_{atm}}{9770,6} + \frac{24,09}{9,8} + 2,50 + \frac{P_2 - P_1}{9770,6} + \frac{7,57}{9,8} + 5,50 + \frac{P_{atm} - P_1}{9770,6} + \frac{38,30}{9,8}$$

Desarrollando la ecuación, esta se simplifica y desaparecen las incógnitas de las presiones a y b:

$$h_B = 8 + \frac{69,96}{9,8} = 15,14 \text{ m}$$

4.13. Balances de materia al sistema

En la figura 3.8, se muestra un esquema del sistema para aplicar el balance de materia a los cloruros solubles en el agua:

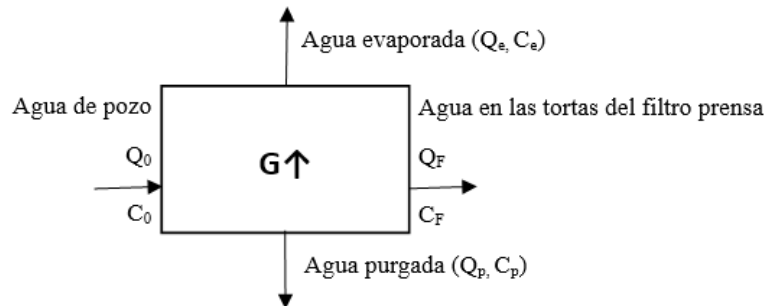


Figura 3.8. Esquema para aplicar el balance de materia a los cloruros

Donde:

Q_0 : caudal de agua de pozo aportada al proceso de pulido (m^3/h).

C_0 : concentración inicial de cloruros en el agua de pozo (kg/m^3).

Q_e : caudal de agua evaporada en el proceso de pulido (m^3/h).

C_e : concentración de cloruros en el agua evaporada (kg/m^3).

Q_F : caudal de agua contenida en las tortas procedentes del filtro prensa (m^3/h).

C_F : concentración de cloruros en el agua contenida en las tortas procedentes del filtro prensa (kg/m^3).

Q_p : caudal de agua purgada en la EDAR (m^3/h).

C_p : concentración de cloruros en el agua purgada (kg/m^3).

Balance de materia a los cloruros: $E + G = S + A$

Este balance se simplifica teniendo en cuenta que la densidad del agua se puede considerar constante y que si se purga de forma constante, para no sobrepasar la concentración máxima, la acumulación de cloruros en el sistema es 0 ($A=0$):

$$Q_0 C_0 + G = (Q_p + Q_F) \cdot C_{max} + Q_e \cdot C_e$$

Por otro lado, la concentración de cloruros en el agua evaporada es 0:

$$Q_0 C_0 + G = (Q_p + Q_F) \cdot C_{max}$$

Donde C_{\max} corresponde a la concentración máxima de cloruros que se quiere alcanzar en el agua recirculada. Como el límite de cloruros en los vertidos fijado por la *Entitat de Sanejament d'Aigües* de la *Generalitat Valenciana* es de 800 mg/L se ha elegido un valor máximo de 600 mg/L para mantener la concentración por debajo del límite de vertido.

Por otro lado, se ha estimado que “la generación de cloruros” es inferior a 0,01 g/m² de gres pulido (según datos de la empresa Servyeco). La producción calculada en *Requisitos de diseño* es de 24.960 m²/día. Con estos datos se calcula la generación de cloruros por hora:

$$G = 0,01 \text{ g/m}^2 \cdot 24.960 \text{ m}^2/\text{día} = 249,6 \text{ g/día} = 10,4 \text{ g/h}$$

La concentración inicial de cloruros que presenta el agua que se extrae del pozo para utilizar en el proceso de pulido contiene una concentración inicial de cloruros (C_0) de 50 mg/L.

El caudal de agua evaporada es de alrededor de un 2% del caudal de agua utilizado en el pulido de las piezas de gres porcelánico:

$$Q_e = 0,02 \cdot 156 = 3,12 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal másico de las tortas generadas en el filtro prensa se ha calculado en *Anexos* aplicando balances de materia y es de 362,66 kg/h. Para aplicar el balance hídrico se calcula el caudal de agua contenida en los fangos sabiendo que el porcentaje de agua en el fango es del 20%:

$$m_F = 0,20 \cdot m_u = 0,20 \cdot 362,66 = 72,5 \text{ kg/h}$$

A partir de la densidad del agua se calcula el caudal de agua equivalente extraído en las tortas generadas en el filtro prensa:

$$Q_F = \frac{m_F}{\rho} = \frac{72,5}{997} = 0,073 \text{ m}^3/\text{h}$$

A continuación, se sustituyen el resto de los datos conocidos:

$$156 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 50 \text{ g/m}^3 + 10,4 \text{ g/h} = (Q_p + 0,073) \text{ m}^3/\text{h} \cdot 600 \text{ g/m}^3$$

A continuación, se despeja Q_p y se aplica un factor de seguridad (F) del 20%:

$$Q_p = 12,94 \cdot F = 12,94 \cdot 1,2 = 15,53 \text{ m}^3/\text{h}$$

Una vez calculado el caudal de purga, el balance hídrico total es el que se observa en la figura 3.9:

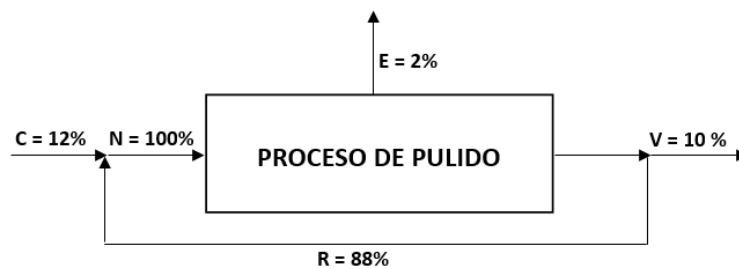


Figura 3.9. Esquema del balance hídrico total al proceso de pulido

Donde:

C: consumo de agua de pozo (%).

N: necesidades de agua (%).

E: evaporación de agua a la atmósfera (%).

R: agua recirculada (%).

V: vertido de agua (%).

El porcentaje de agua vertida se ha calculado teniendo en cuenta el caudal de agua purgada y el caudal de agua que se elimina con el fango resultante del filtro prensa:

$$V = \frac{Q_p + Q_F}{Q_0} = \frac{15,53 + 0,073}{156} = 10 \%$$

Para que el agua aportada al proceso de pulido se mantenga con un valor constante de $156 \text{ m}^3/\text{h}$ el consumo de agua de pozo que se debe aportar al proceso se despeja del balance hídrico al proceso de pulido y es de un 12%, es decir, de $18,72 \text{ m}^3/\text{h}$.

5. CATÁLOGOS Y FICHAS TÉCNICAS

- **SEDIMENTADOR LASMERT D = 15,27m**



TANQUE

Diámetro	: Ø 15,27 m
Pendiente de la solera	: 80 mm/m
Construcción	: Construido con paneles de hormigón prefabricado que incluyen el canal de rebose en el propio panel.

CABEZA DE MANDO

Tipo	: 5A
Relación reducción	: i=109
Par de régimen normal	: 2.266 m kg
Par de alarma	: 2.833 m kg
Par de corte	: 4.249 m kg
Potencia total instalada	: 3 CV
Salida equipo motor	: 39 rpm
Velocidad de giro de los rascadores	: 0,03 rpm

DISPOSITIVO DE ELEVACIÓN

Tipo	: automático
Recorrido	: 300 mm
Potencia	: 1 CV

MEDIDOR DE ESFUERZOS Y ALARMA DE SOBRECARGA

Tipo	: electrónico
Número de señales	: 2 marcha/paro + 2 de emergencia

EJE VERTICAL

Material	: Tubo de acero ST-37
Tipo	: Diámetro 273 x 6,3
Protección	: Chorreado y pintura epoxi

BRAZOS

Número: largos/cortos	: 2+2
Tipo	: Rascadores
Material	: Acero ST-37
Protección	: Chorreado y pintura epoxi
Rasquetas	: Barrido
Material	: Acero ST-37
Sujeción	: Atornillado

CILINDRO DE ALIMENTACIÓN

Tipo	: Cilíndrico
Diámetro	: 1.800 mm
Altura	: 1.500 mm
Material	: Acero ST-37.2
Protección	: Chorreado y pintura epoxi

CONO DE DESCARGA

Diámetro	: 1.200 mm
Material	: Acero ST-37

PUENTE

Tipo	: Transversales/vigas
Construcción	: Acero ST-37
Pasarela	: Trámex
Barandillas	: En ambos lados

ACCIONAMIENTO

Motor necesario	: 2 CV
Grupo motor/reductor	: Integrado
Transmisión	: Cadenas
Relación	: $i=2$

REBOSADERO

Tipo	: Periférico
Construcción	: Acero inox.
Modelo	: Entalladuras en V



FILTRO MULTIMEDIA SILEX ANTRACITA

FRENTE DE VÁLVULAS AUTOMÁTICAS

FILTRO INDUSTRIAL DE FUNCIONAMIENTO AUTOMÁTICO PARA LA RETENCIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN Y MATERIA ORGÁNICA DEL AGUA

Cuerpo construido en poliéster reforzado con fibra de vidrio
Válvulas automáticas activación trabajo/lavado
Distribuidores interiores adecuados al caudal de diseño
Completos de carga Silex Antracita

Velocidad de filtración aconsejada:

Circuito abierto: 10m/h a 25m/h

Circuito cerrado: 25m/h a 40 m/h

Lavado: 25 m/h a 40 m/h

Conexiones:

4 pulgadas filtros diámetro (780 mm)

6 pulgadas filtros diámetro (1088,1250,1600 mm)

Presión máxima de trabajo: 150 PSI

Temperatura de trabajo: 0°C a 35°C

Límites de empleo: PH Recomendado: 6,5

Cantidades altas de sulfatos, arseniados, fosfatos y silicatos pueden crear pantalla y reducir el rendimiento

INCLUDE: Frente de válvulas con manómetros de control entrada / salida
Lecho filtrante específico multimedia de Silex Antracita
Boca de descarga para recambio de lecho filtrante de 4 pulgadas
Kit de crepinas superiores e inferiores
Embalado y montaje listo para el envío a cualquier parte del mundo

MODELO	SUP.FILTR.M ²	CAUDAL SERVICIO M ³ /H VELOCIDAD FILTRACIÓN						CARGAS (Kgs)				DIÁMETRO ALTO	
		10	15	20	25	30	35	ANTRA.	SILEX	FINO	GRUESO		
IMA/H-1088	0,80	8	12	16	20	24	32	275	250	400	400	1088	2200
IMA/H-1250	1,16	11,6	17,4	23	29	34,8	46	325	300	500	625	1250	2200
IMA/H-1600	2,00	20	30	40	50	60	80	600	600	1000	1000	1600	2200



Sistema de aireación de burbuja fina Gama ABS PIK 300

SULZER

Difusores de disco de membrana de burbuja fina para aireación de depósitos fiable y energéticamente eficiente en plantas de tratamiento de aguas residuales. Idóneos para sistemas de aireación continua normal y para aireación intermitente, por ejemplo eliminación de nutrientes biológicos y procesos SBR.

Características

- Membrana de EPDM autolimpiable con rendijas
- La membrana se fija mediante un anillo roscado de tipo bayoneta
- El anillo de deslizamiento de material antifricción ayuda en la expansión y contracción de la membrana
- Válvula de retención con bola de acero inoxidable de alta resistencia
- La fijación con cuña ABS Nopon al tubo implica que no se requiere el uso de ningún pegamiento, disolvente o soldadura en el montaje
- El anillo de deslizamiento ayuda a abrir el difusor para realizar el mantenimiento después de varios años de funcionamiento
- La fijación con cuña facilita incrementar y reducir el número de difusores o reubicarlos cuando se requieren cambios en el proceso
- Aplicable a diversos materiales y dimensiones de tubo
- La temperatura del aire de entrada alcanza hasta 100 °C



Gama de modelos (fijación de cuña)

	PIK 300 V D90	PIK 300 D90*	PIK 300 S D88,9	PIK 300 4**
Tubo	90 mm, PVC	90 mm PP	88,9 mm, acero inoxidable NS3* PVC	NS4* PVC
Cuerpo principal	PSA 300	HSA 215	PSA 300	PSA 300-4
Cuña	PSK 90	PSK 90	PSK 90	PSK 4
Anillo roscado	PKR 300	PKR 300	PKR 300	PKR 300-3
Anillo de deslizamiento	PVR 300	PVR 300	PVR 300	PVR 300-3
Disco de membrana	HIK 300	HIK 300	HIK 300	HIK 300
Sello plano	PLT 15/4	PLT 15/4 SIL	PLT 15/5	PLT 15/4
Válvula de retención	PTV 15 L	PTV 15 L	PTV 15 L	PTV 15-3

* Disponibles como repuestos

Datos del difusor

Rango de caudal de aire de diseño	1,5-8,0 m ³ /h/difusor ¹⁾ (+20 °C; 1,013 mbar)	¹⁾ Cuando el agua residual contiene productos químicos perjudiciales para EPDM o cuando las temperaturas del agua residual son >30 °C o la temperatura del aire se aproxima a 80 °C, debe emplearse un caudal de aire máximo inferior. Puede emplearse un valor de pico de 10 m ³ /h durante únicamente un máx. de 15 minutos, por ejemplo para la limpieza de la membrana. Debe consultarse con Sulzer si se desea emplear un caudal de aire inferior a 1,5 m ³ /h. ²⁾ Medida recomendada desde el fondo del depósito hasta la parte superior del difusor. ³⁾ Póngase en contacto con Sulzer en relación con profundidades fuera del rango
Nivel del difusor	250 mm ²⁾	
Temperatura del aire, máx.	+ 100 °C	
Profundidad de montaje máx./mín.	3 - 8 m (óptimo) ³⁾	
Diámetro del difusor	336 mm	
Área superficial de la membrana	0,060 m ²	
Tamaño de las burbujas	1 - 3 mm	
Peso del difusor	0,795 kg	
Intervalo máx./mín., c/c	1,25 / 0,4 m	

- **ESPESADOR ESTÁTICO PARA FANGOS**



Espesador de fangos fabricado en PRFV.

Incluye:

- Pies de acero pintado.
- Cono inferior de 60°.
- Canal Thompson regulable.
- Campana central tranquilizadora.
- Orejas de elevación.
- Acabado exterior estándar.
- Escalera de acceso tipo "gato"
- Plataforma de mantenimiento superior

Serie EHC / EHR / EHRM



PAQUETE FILTRANTE

Tipo de placa filtrante	: de cámara incorporada
Tamaño placas	: 800 x 800 mm
Ejecución placas	: abierta
N.º de placas de cámara	: 35
N.º de cámaras	: 34
Espesor placa de cámara incluyendo tela	: 61,5 mm
Espesor torta	: 30 mm
Superficie filtrante cámara	: 1,078 m ²
Superficie filtrante total	: 36,65 m ²
Volumen torta/cámara	: 14,33 litros
Volumen torta total	: 487,22 litros
Material placas molecular	: polipropileno de alto peso
N.º máximo admitido en filtro	: 45
Longitud útil inicial	: 2.152,5 mm
Longitud útil final	: 2.767,5 mm

TRASLADO AUTOMÁTICO DE PLACAS FILTRANTES SUSPENDIDAS

Accionamiento	: motorreductor
Dispositivo de seguridad	: interruptor de cuerda
Potencia instalada	: 0,55 kW
Tensión de servicio	: 230/400 V
Protección	: IP-55
Sistema de seguridad	: embrague de deslizamiento

SERIE MAX5

Instrumento digital para la medición múltiple que permite controlar hasta 5 parámetros programables conjuntamente: pH, Rédox (ORP), Cloro total (Total, Libre o Combinado), Dióxido de Carbono, Peróxido de Hidrógeno, Ozono, Ácido Peracético, Turbidez, Conductividad, Oxígeno Disuelto y Temperatura. Toda la información es visualizada a través de un display gráfico LCD de amplio formato y con sistema ENCODER para la regulación mediante rotación. Control de la dosificación a través de comando externo (ejemplo: contacto N.O. de filtración).

Dispone de 6 puntos de intervención on/off o proporcionales (PWM), 6 salidas proporcionales, 5 entradas de alarma personalizadas, 1 entrada para el contador de agua para aporte y 1 salida de alarma general.

Se puede conectar a un PC y en modo remoto para el telecontrol de la instalación a través de un puerto USB, RS485, módem o ethernet. Opcional con 6 salidas analógicas (0/4 - 20 mA).

**Posibilidad protocolo MODBUS*



9

BOMBAS DOSIFICADORAS SERIE G™ A



- Caudal hasta 170l/h - presión hasta 12 bares
- Membrana de accionamiento mecánico
- Regulación del caudal por excéntrica variable

Principales características Técnicas

- Caudal hasta 170l/h
- Presión hasta 12 bares
- Membrana en PTFE de accionamiento mecánico
- Regulación de carrera por excéntrica variable, permite un caudal poco pulsado (sin choques hidráulicos)
- Temperatura máxima de los fluidos bombeados : 40°C
- Regulación del caudal nominal en marcha ó a bomba parada desde 0 hasta 100%
- Precisión del caudal regulado : $\pm 2\%$ en un abanico del 10 al 100%
- Altura máxima de aspiración : 4 m de CA
2.5 m de altura máxima de aspiración desde GA 90 y hasta modelo GA 170
- Opción de aspiración en vacío : 9 m CA (consúltenos)
- Presión máxima en la aspiración : 2 bares
- Carter en material de altas características técnicas reforzado con fibra de vidrio resistente a la corrosión
- Lubricación de por vida
- Opciones : doble membrana, VARIPULSE® o variación de frecuencia

Características Eléctricas de los Motores

Características generales en standard :

- Alimentación :
 - 230/400V - trifásico - 50/60 HZ
 - 230 V - monofásico - 50 ó 60 HZ
 - 115V - monofásico - 60 HZ
 - Protección IP 55, Motor tropicalizado, Estanqueidad : clase F
 - Conforme a las normas europeas e internacionales
- Opciones :**
- Brida motor F130 eje salida motor 14x30
 - Motor ADF : consultar (fuera de CEE unicamente, bombas no ATEX)

Accesorios

- Las bombas serie G™ A se suministran con los accesorios indicados en el cuadro adjunto (excepto en versiones Inox 316L y líquidos cargados).
- Otros accesorios disponibles : válvulas de 4 funciones, purgas 4 funciones, amortiguadores, válvulas de seguridad o de retención... Rogamos, nos consulten



Construcción de los dosificadores

Elementos Dosificador	Polipropileno (PP)	PVDF	Inox (316L)	Alta Viscosidad (HV)
-----------------------	--------------------	------	-------------	----------------------

Modelos GA 2 a GA 45

Cuerpo del dosificador	PP	PVDF	316L	PP
Cuerpo caja de válvulas	PVDF	PVDF	316L	PP
Asiento	Poliprol	PTFE	316L	PTFE
Bolas	Cerámica	Cerámica	316L	316L
Conexiones	PVDF/PP	PVDF/PP	316L	PP
Membrana	PTFE/PVDF*	PTFE/PVDF	PTFE/316L	PTFE/PVC
Junta	Viton	Viton	Viton	-

Modelos GA 90 a GA 170

Cuerpo del dosificador	PP	PVDF	316L	PP
Cuerpo caja de válvulas	PP	PVDF	316L	PP
Asiento	PTFE	PTFE	316L	PTFE
Bolas	Cerámica	Cerámica	316L	316L
Conexiones	PP/PVC	PVDF/PVC	316L	PP
Membrana	PTFE	PTFE	PTFE	PTFE
Junta	-	-	Viton	-

* Excepto GA 2 a GA 10 = PTFE/PVC

Otras construcciones del dosificador :

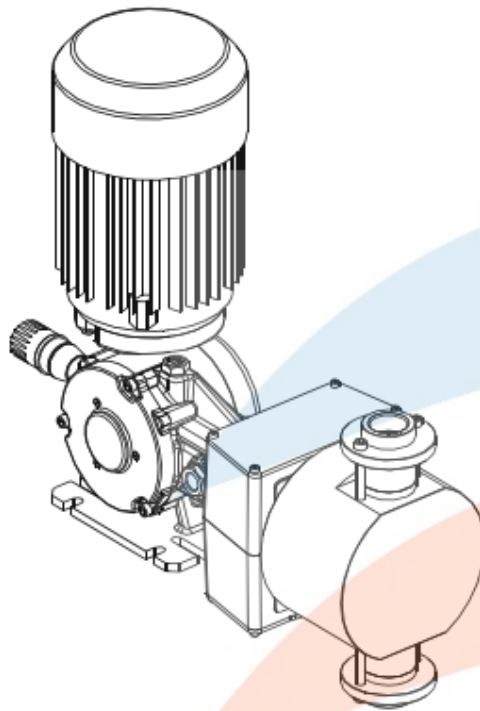
- Versión para líquidos fluorados : dosificador PVDF con bolas en PTFE
- Versión para líquidos cargados : dosificador en 316L con bolas en acero 440C.
- Versión mixta : dosificador en PP y bolas en AISI316L.

Accesorios

Las bombas dosificadoras con dosificadores en PP, PVDF, líquidos fluorados y mixtos se suministran con :

- Modelos GA 2 a GA 45 : 1 cañía de inyección, 1 válvula de pie con lastre, 6m de tubo ligero en polietileno 6x8, 6m de tubo en PVC reforzado 6x12 y racores gas 1/2" macho.
 - Modelos GA 90 a GA 170 : accesorios disponibles bajo petición.
- Las bombas dosificadoras con dosificador para alta viscosidad se suministran con :
- Modelos GA 2 a GA 45 : 2m de tubo 15x23+1/2" m en la aspiración y 3 m de tubo 9x12 en la impulsión, 1 cañía de inyección.
 - Modelos GA 90 a GA 170 : 2m de tubo 15x23+1/2" m en aspiración y conexión roscada 1/2" NPT macho en impulsión.

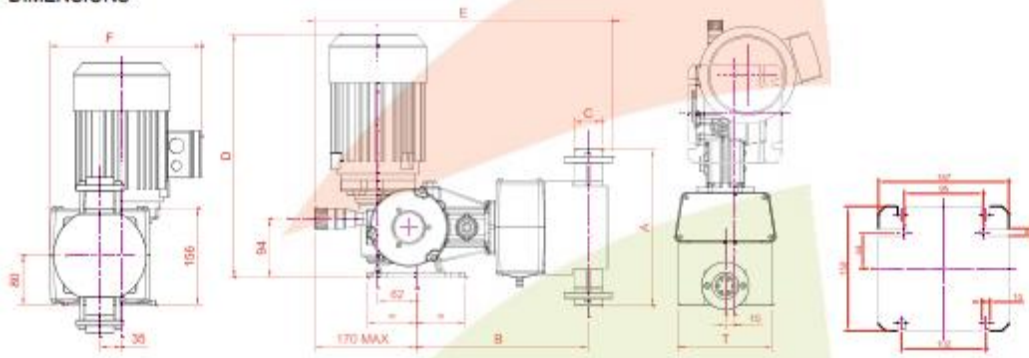
DOSING PUMP SPRING SERIES – PS2 – Plunger piston pump



Technical characteristics

- Flow rates: from 40 to 1000 l/h
- Max Pressure: up to 20 bar (290 psi)
- Motor:
 - 0.25 kW to 0.75 kW - 3 ph (IP55)
 - 0.37 kW to 1 kW - 1.1 kW 1ph (IP55)
- Stroke rate: 58 – 116 strokes/minute
- Stroke length: 25 mm
- Piston diameter: from 25 to 89 mm
- Pump head:
 - SS 316 L
 - PVC
- Max. dosing temperature:
 - SS 316 L 90° C
 - PVC 40° C
- Ambient dosing temperature:
 - +5 ÷ +45 °C
- Storing temperature:
 - -10 ÷ +50 °C

DIMENSIONS



ESP

PROCESS PUMPS

CE



Horizontal axial-suction centrifugal pump over baseplate, single-stage with closed, semiopen or vortex impeller.

Bomba centrifuga horizontal de aspiración axial sobre bancada, de una etapa y con impulsor cerrado, semiabierto o vortex.

Pompe centrifuge horizontale à aspiration axiale sur châssis, mono-étagée avec roue fermée, semi-ouverte ou vortex.

Horizontal/Vertical bomba centrifuga, corpo helicoidal largo, estágio simples, aspiração final, com rotor fechado, semi-aberto ou tipo vortex.

Characteristics

Discharge flange:
DN 40.....DN 300 mm.

Flow rate up to 1600 m³/h (*)

Head up to 95 m (*)

Operating temperature
between -10 °C and +110 °C

Casing pressure (Pmax):
10 bar (16 bar)

Speed rotation:
50Hz - 1450rpm and 2900rpm
60Hz - 1750rpm and 3500rpm

Applications

Supply for industry, petrochemicals, cogeneration, conditioning, irrigation and multiple services for clean or lightly loaded fluids.

Materials

Cast Iron, Steel, Bronze, Stainless Steel, nodular or any type of metal alloy.

Flanges

DIN 2632 / PN 10
DIN 2633 / PN 16

(*) Higher flows and pressures under request.

Características

Brida de descarga:
DN 40.....DN 300 mm.

Caudal hasta 1600 m³/h (*)

Altura hasta 95 m (*)

Temperatura de funcionamiento
entre -10 °C y +110 °C

Presión de la carcasa (Pmax):
10 bar (16 bar)

Velocidad de rotación:
50Hz - 1450rpm y 2900rpm
60Hz - 1750rpm y 3500rpm

Aplicaciones

Abastecimiento para la industria, petroquímica, cogeneración, acondicionamiento, regadíos y múltiples servicios para fluidos limpios o ligeramente cargados.

Materiales

Hierro Fundido, Acero, Bronce, Aceros Inoxidables, nodular o cualquier tipo de aleación metálica.

Bridas

DIN 2632 / PN 10
DIN 2633 / PN 16

(*) Mayores caudales y presiones bajo consulta.

Caractéristiques

Bride de refoulement:
DN 40 DN 300 mm.

Débit jusqu'à 1600 m³ / h (*)

Hauteur jusqu'à 95 m (*)

Température de fonctionnement
entre -10 °C et +110 °C

Pression du corps (Pmax):
10 bar (16 bar)

Vitesse de rotation:
50Hz - 1450tr/mn et 2900tr/mn
60Hz - 1750tr/mn et 3500tr/mn

Applications

Industrie générale, pétrochimie, cogénération, conditionnement, réseaux d'incendie, irrigation, services multiples pour fluides propres ou légèrement chargés.

Matériaux

Fonte, acier, bronze, acier inoxydable, nodular ou tout type d'alliage métallique.

Bridas

DIN 2632 / PN 10
DIN 2633 / PN 16

(*) Débits et pressions plus élevés sur demande.

Características

Flange de descarga:
DN 40 DN 300 mm.

Caudais até 1600 m³ / h (*)

Altura até 95 m (*)

Temperatura de operação
entre -10 °C e +110 °C

Pressão da carcaça (Pmax):
10 bar (16 bar)

Velocidade de rotação:
50Hz - 1450rpm e 2900rpm
60Hz - 1750rpm e 3500rpm

Aplicações

Suprimentos para a indústria, petroquímica, cogeração, condicionamento, redes de incêndio, irrigação, serviços múltiplos para fluidos limpos ou levemente carregados.

Materiais

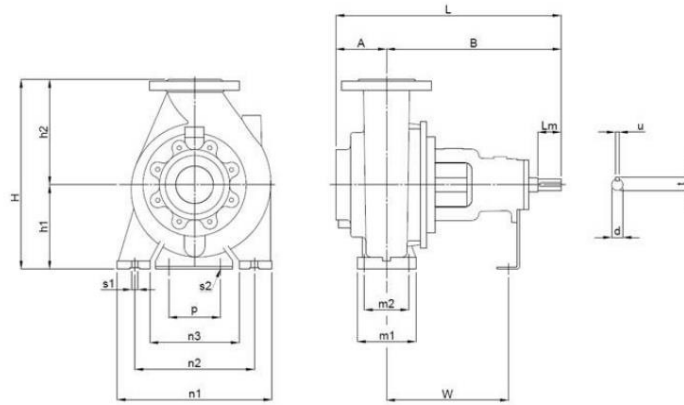
Ferro Fundido, Aço, Bronce, Aço Inoxidável, nodular ou qualquer tipo de liga metálica.

Flanges

DIN 2632 / PN 10
DIN 2633 / PN 16

(*) O material das bombas difere consoante o tipo de líquido bombeado, a temperatura de funcionamento e a pressão. Contacto para mais informações.

Technical Data / Datos Técnicos / Données techniques / Dados Técnicos



Pump type	Dimensions (mm)																				Weight (kg)	
	Dna	DNb	Outside dimensions						Support & Foot dimensions							Shaft dimensions						
EN733			A	B	L	H	h1	h2	n1	n2	n3	s1	p	s2	m1	m2	W	d	Lm	t	u	
40-160	50	40	82	348	430	340	160	180	240	190	140	14	110	14	100	70	247	24	50	27	8	50
50-160	65	50	100	350	450	340	160	180	270	212	160	14	110	14	100	70	270	24	50	27	8	50
50-200			105	370	475	360	160	200	270	210	160	14	110	14	100	95	270	24	50	27	8	60
65-200	80	65	108	372	480	405	180	225	330	255	190	14	110	14	125	95	260	24	80	27	8	65
80-160	100	80	83	384	467	360	180	180	310	250	190	14	110	14	120	85	288	24	50	27	8	60
80-200			83	488	571	400	180	220	350	280	215	18	110	14	125	90	358	32	80	35	10	70
80-315			55	480	535	560	250	310	400	315	240	18	110	14	125	95	350	32	80	35	10	75
100-240	125	100	82	492	574	475	225	250	370	280	205	20	110	14	160	110	357	32	80	35	10	100
100-270			97	500	597	585	275	310	430	345	270	20	110	14	160	110	371	32	80	35	10	110
100-315			97	500	597	585	275	310	430	345	270	20	110	14	160	110	371	32	80	35	10	120
150-315	150	150	119	638	757	635	280	355	500	400	300	23	110	14	200	150	445	42	110	45	12	170
150-500			126	782	908	1025	425	600	720	600	435	28	140	20	250	200	562	55	110	59	16	580
200-315	200	200	165	707	872	805	355	450	600	500	360	24	110	14	250	200	543	48	110	51	12	315
200-400			142	757	899	910	380	530	600	500	360	24	140	20	250	200	536	55	110	59	16	370
200-500			126	968	1094	1025	425	600	720	580	435	28	140	20	300	240	700	70	140	74.5	20	600
250-315	250	250	145	1003	1148	810	335	475	680	540	400	27	140	20	300	230	730	70	140	79.5	20	430
300-400	300	300	201	974	1175	960	400	560	720	600	435	27	140	20	300	240	730	75	140	79.5	20	675
300-500			201	974	1175	1050	450	600	800	660	520	27	140	20	300	230	700	75	140	79.5	20	750



EBARA Pumps Iberia

SERIE 3 - SERIE 3L



Electrobomba centrífuga Normalizada según EN 733

Tabla de características a 2.900 r.p.m - Modelos 3M/3LM - 3S/3LS - 3P/3LP																	2 Polos		
Modelo	kW	CV	Q=Caudal																
			100	200	300	333	400	500	600	700	1000	1200	1700	1900	2100	2200	2300	2400	2500
			6	12	18	20	24	30	36	42	60	72	102	115	126	132	138	144	150
			H=Altura manométrica total (m)																
32-125/1.1 (M)	1,1	1,5		21	18,4	14,1	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32-160/1.5 (M)	1,5	2		28	24,5	19,2	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32-160/2.2 (M)	2,2	3		35,5	32	27	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32-200/3.0	3	4		42	37,5	31	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32-200/4.0	4	5,5		53,5	49,5	43,5	40,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32-200/5.5	5,5	7,5		69	65	58,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32-200/7.5	7,5	10		69	65	58,5	55,5	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40-125/1.5 (M)	1,5	2		-	19	17,6	17	15,7	13,2	10,3	7	-	-	-	-	-	-	-	-
40-125/2.2 (M)	2,2	3		-	25,5	24	23,5	22	19,5	16,4	13	-	-	-	-	-	-	-	-
40-160/3.0	3	4		-	29,5	27,5	27	25,5	22,5	20	17	-	-	-	-	-	-	-	-
40-160/4.0	4	5,5		-	38,5	37	36	34,5	32	29	25,5	-	-	-	-	-	-	-	-
40-200/5.5	5,5	7,5		-	45,5	44	43	41	38	35	31	-	-	-	-	-	-	-	-
40-200/7.5	7,5	10		-	57	55,5	55	53,5	51	47,5	44	-	-	-	-	-	-	-	-
40-200/11	11	15		-	71	70	70	68,5	66	63	59	-	-	-	-	-	-	-	-
50-125/2.2 (M)	2,2	3		-	-	-	-	17,5	16,3	14,9	13,4	8	-	-	-	-	-	-	-
50-125/3.0	3	4		-	-	-	-	20,5	19,6	18,4	17	11,8	8	-	-	-	-	-	-
50-125/4.0	4	5,5		-	-	-	-	26	25	24	22,5	17,9	14	-	-	-	-	-	-
50-160/5.5	5,5	7,5		-	-	-	-	31	30	28,5	27	22	18	-	-	-	-	-	-
50-160/7.5	7,5	10		-	-	-	-	38,5	37,5	36	35	30	26	-	-	-	-	-	-
50-200/9.2	9,2	12,5		-	-	-	-	50	49	47,5	40,5	34	-	-	-	-	-	-	-
50-200/11	11	15		-	-	-	-	56	55	54	48	42	-	-	-	-	-	-	-
50-200/15	15	20		-	-	-	-	70	69	68	62	57	-	-	-	-	-	-	-
65-125/4.0	4	5,5		-	-	-	-	-	20	19,4	16,5	14,4	8,6	6,3	-	-	-	-	-
65-125/5.5	5,5	7,5		-	-	-	-	-	25	24,5	21,5	19,1	13,3	10,8	8	-	-	-	-
65-125/7.5	7,5	10		-	-	-	-	-	30,5	29,5	27	24,7	18,7	16,1	13,4	12	-	-	-
65-160/7.5	7,5	10		-	-	-	-	-	-	30	27	25,9	19,9	17,1	14,2	-	-	-	-
65-160/9.2	9,2	12,5		-	-	-	-	-	-	34,5	32	29,9	23,9	21,1	18,3	16,8	-	-	-
65-160/11	11	15		-	-	-	-	-	-	38,5	36	34,2	28,4	25,8	23	21,5	20	-	-
65-160/15	15	20		-	-	-	-	-	-	45,5	43	41	35,3	32,6	29,6	28	26,5	-	-
65-200/15	15	20		-	-	-	-	-	-	51	48	45,5	38,4	35,3	31,8	30	-	-	-
65-200/18.5	18,5	25		-	-	-	-	-	-	58,5	55,5	53	46	43	39,7	38	36,3	-	-
65-200/22	22	30		-	-	-	-	-	-	65,5	63	60,5	54	51	48	46,5	45	-	-
65-250/30*	30	40		-	-	-	-	-	-	-	76	74,5	68	64,5	60	57,5	55	52	-
65-250/37*	37	45		-	-	-	-	-	-	-	87	86,5	80,5	77,5	74	72	70	67,5	65

(*) Modelos 3LS / 3LP fabricados en AISI 316L.

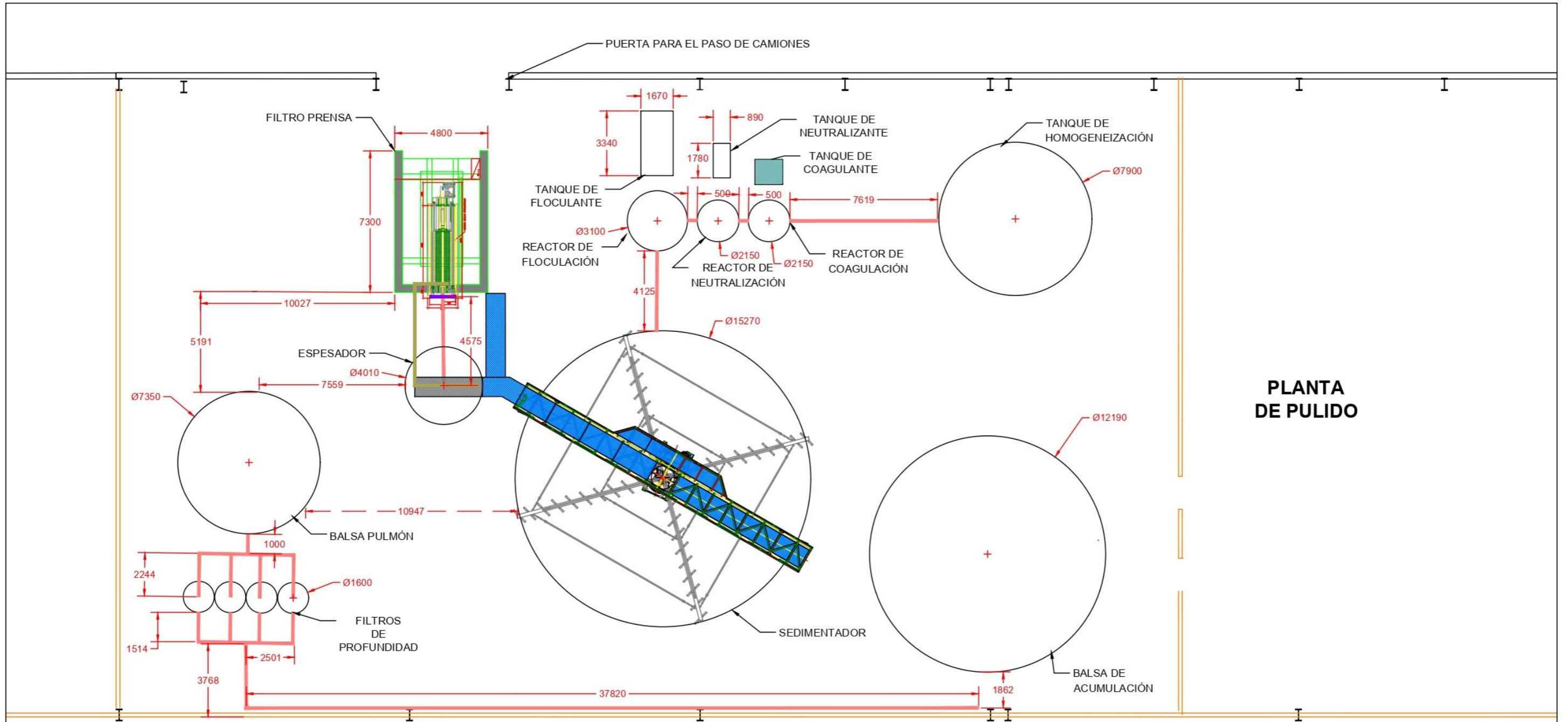
Tabla de características SERIE 80 a 2.900 r.p.m - Modelos 3LM - 3LS - 3LP																	2 Polos		
Modelo	kW	CV	Q=Caudal																
			0	1300	1800	2200	2600	3000	3400	3600	3800	4000	4200	4300	4400	4500	4600	4700	4800
			0	78	108	132	156	180	204	216	228	240	252	258	264	270	276	282	288
			H=Altura manométrica total (m)																
80-160/11	11	15		29	27,3	24,8	22,4	19,7	16,4	12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80-160/15R	15	20		32	30,5	28,3	25,9	23,3	20,1	16,5	14,5	-	-	-	-	-	-	-	-
80-160/15	15	20		35	34	32	30	27,5	24,4	21	19,1	17	-	-	-	-	-	-	-
80-160/18.5	18,5	25		40	39	37,2	35,2	32,9	30	26,4	24,4	22,3	20	-	-	-	-	-	-
80-200/22*	22	30		50	48	45	42	37,9	33,2	27,8	25	-	-	-	-	-	-	-	-
80-200/30*	30	40		60	58,5	56,5	54	50,5	46,5	41,5	39	36,1	33	-	-	-	-	-	-
80-200/37*	37	50		66	64	61,5	59	55,5	51,5	47	44,5	41,5	38,5	-	-	-	-	-	-
80-250/37*	37	50		73	71,5	67,5	63	56,5	48,5	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80-250/45*	45	60		84	82,5	79	75	69,5	62	53	48	42,3	-	-	-	-	-	-	-
80-250/55*	55	75		95	93,5	91	87,5	82,5	76,5	68,5	64,5	60	55	-	-	-	-	-	-

(*) Modelos 3LS / 3LP fabricados en AISI 316L.

4. Planos

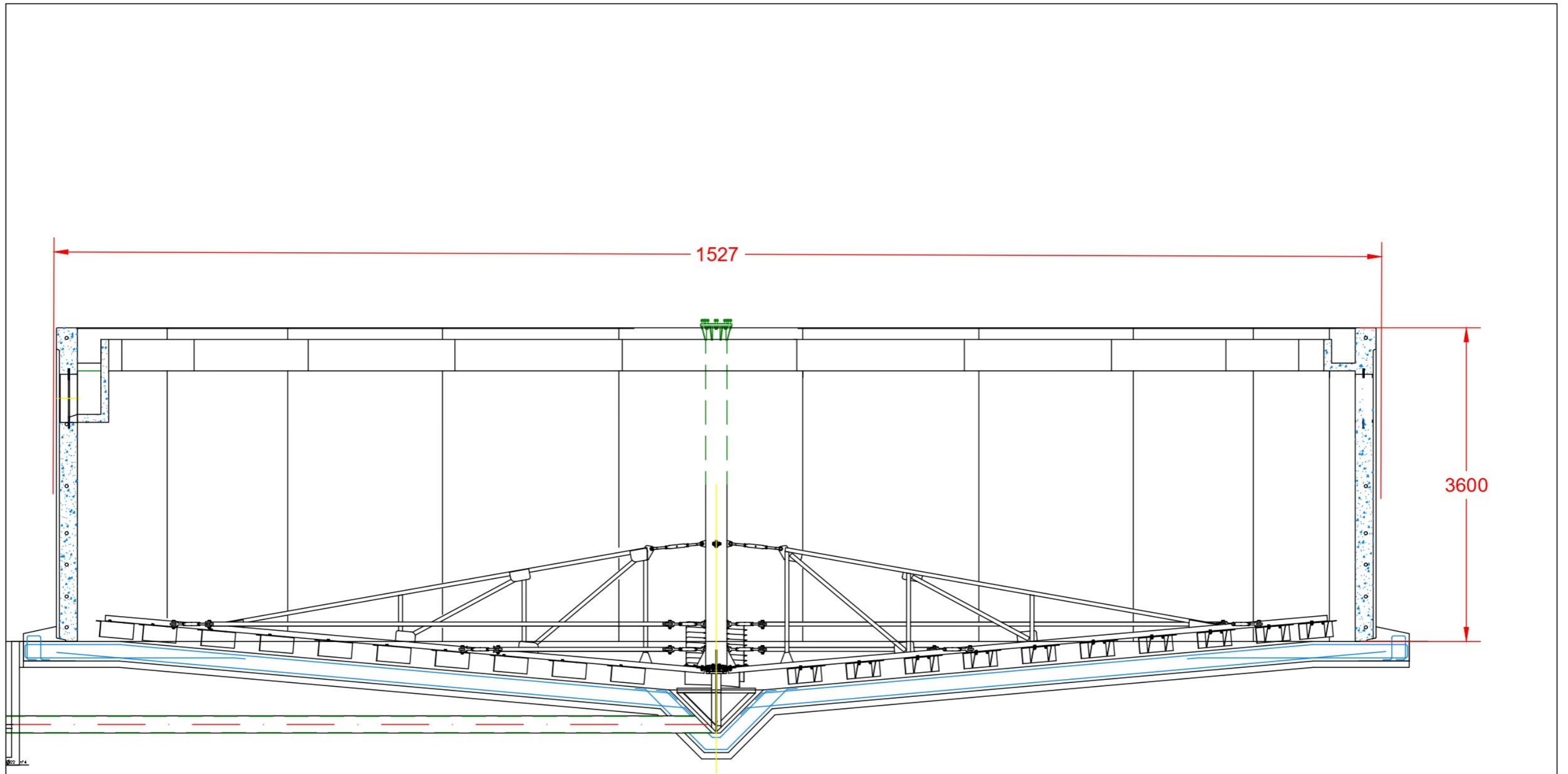
ÍNDICE:

1. Distribución en planta
2. Sedimentador
3. Espesador

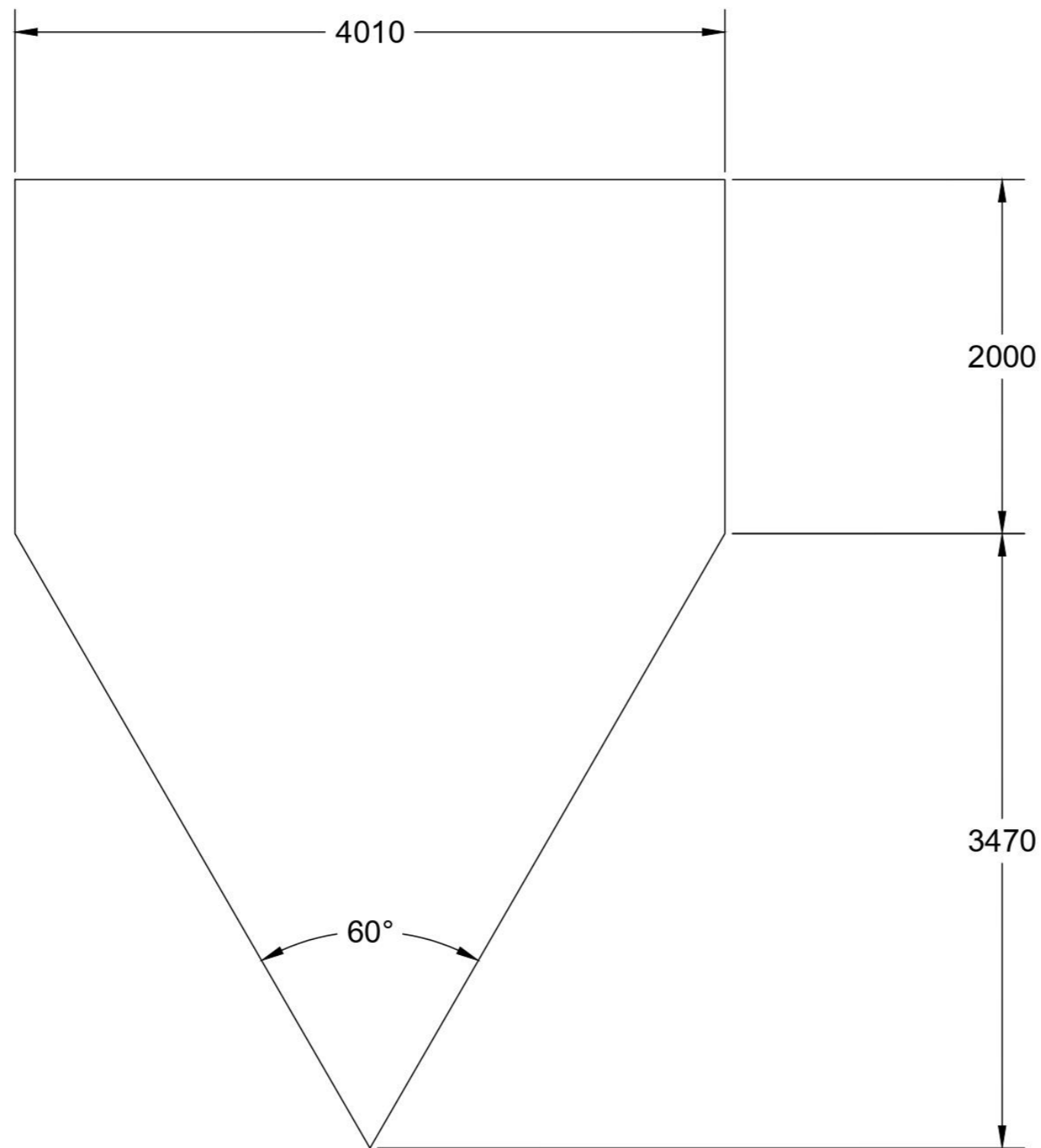


PLANTA DE PULIDO

	Autora Neus Monfort Dols		Representación 
	Unidades mm	Formato A3	Fecha noviembre de 2023
Escala 1:200	Título DISTRIBUCIÓN EN PLANTA		nº de plano 1



 UNIVERSITAT JAUME I	Autora Neus Monfort Dols		Representación 
	Unidades mm	Formato A3	Fecha noviembre de 2023
Escala 1:50	Título SEDIMENTADOR		



 UNIVERSITAT JAUME I	Autora Neus Monfort Dols		Representación 
	Unidades mm	Formato A3	Fecha noviembre de 2023
Escala 1:35	Título ESPESADOR		nº de plano 3

5. Pliego de condiciones

ÍNDICE:

1. CONDICIONES GENERALES	3
1.1. Condiciones de carácter general	3
1.2. Contrato de obra	3
1.1.3. Documentación del contrato de obra	3
2. CONDICIONES FACULTATIVAS	4
2.1. Definición y atribuciones de los agentes de la edificación.....	4
2.1.1. El promotor.....	4
2.1.2. El proyectista	4
2.1.3. El contratista.....	5
2.1.4. El director de obra	5
2.1.5. El director de la ejecución de la obra	5
2.1.6. Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación.....	6
2.1.7. Los suministradores de productos	6
3. CONDICIONES ECONÓMICAS.....	7
3.1. Contrato de obra	7
2.2. Criterio General	8
2.3. Fianzas	8
2.3.1. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza.....	8
2.3.2. Devolución de las fianzas	8
2.3.3. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales	9
2.4. De los precios	9
2.4.1. Precio básico.....	9
2.4.2. Precio unitario	9
2.4.3. Presupuesto de Ejecución Material (PEM).....	10
3.4.4. Reclamación de aumento de precios	10

3.4.5. De la revisión de los precios contratados	10
3.4.6. Acopio de materiales	10
3.5. Valoración y abono de los trabajos	11
3.5.1. Forma y plazos de abono de las obras	11
3.5.2. Abono de trabajos especiales no contratados	11
3.5.3. Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras	11
3.5.4. Demora de los pagos por parte del Promotor	12
3.5.5. Unidades de obra defectuosas.....	12
3.5.6. Liquidación económica de las obras.....	12
3.5.7. Liquidación final de la obra.....	12
4. CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES.....	13
4.1. Condiciones de materiales y equipos.....	13
4.1.1. Condiciones Generales	13
4.1.2. Materiales no especificados en el pliego	13
4.1.3. Hormigones y morteros	13
4.1.4. Aceros	18
4.1.5. Tuberías	18
4.1.6. Válvulas de mariposa.....	18
4.1.7. Material para la instalación eléctrica	19
4.2. Condiciones de ejecución y montaje	19
4.2.1. Excavaciones	20
4.2.2. Tuberías de abastecimiento	21
4.2.3. Ejecución de las instalaciones electromecánicas.....	23

1. CONDICIONES GENERALES

1.1. Condiciones de carácter general

La finalidad de este Pliego es la de fijar los criterios de la relación que se establece entre los agentes que intervienen en las obras definidas en el presente proyecto y servir de base para la realización del contrato de obra entre el Promotor y el Contratista.

1.2. Contrato de obra

La finalidad de este contrato de obra es construir una EDAR para el tratamiento de aguas residuales procedentes del pulido de gres porcelánico para su reutilización. Se recomienda la contratación de la ejecución de las obras por unidades de obra, con arreglo a los documentos del proyecto y en cifras fijas. El Director de Obra ofrece la documentación necesaria para la realización del contrato de obra.

1.1.3. Documentación del contrato de obra

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

1. Las condiciones fijadas en el contrato de obra
2. El presente Pliego de Condiciones
3. La documentación gráfica y escrita del Proyecto: planos, memoria, anexos, estado de mediciones y presupuesto.

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

2. CONDICIONES FACULTATIVAS

2.1. Definición y atribuciones de los agentes de la edificación

Las atribuciones de los distintos agentes intervinientes en la edificación son las reguladas por la Ley 38/99 de Ordenación de la Edificación (L.O.E.).

Se definen agentes de la edificación todas las personas, físicas o jurídicas, que intervienen en el proceso de la edificación. Sus obligaciones quedan determinadas por lo dispuesto en la L.O.E. y demás disposiciones que sean de aplicación y por el contrato que origina su intervención.

2.1.1. El promotor

Es la persona física o jurídica, pública o privada, que individual o colectivamente decide, impulsa, programa y financia, con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título.

Asume la iniciativa de todo el proceso de la edificación, impulsando la gestión necesaria para llevar a cabo la obra inicialmente proyectada, y se hace cargo de todos los costes necesarios. Según la legislación vigente, a la figura del promotor se equiparan también las de gestor de sociedades cooperativas, comunidades de propietarios, u otras análogas que asumen la gestión económica de la edificación.

Cuando las Administraciones públicas y los organismos sujetos a la legislación de contratos de las Administraciones públicas actúen como promotores, se regirán por la legislación de contratos de las Administraciones públicas y, en lo no contemplado en la misma, por las disposiciones de la L.O.E.

2.1.2. El proyectista

Es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto.

Podrán redactar proyectos parciales del proyecto, o partes que lo complementen, otros técnicos, de forma coordinada con el autor de éste.

Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos según lo previsto en el apartado 2 del artículo 4 de la L.O.E., cada proyectista asumirá la titularidad de su proyecto.

2.1.3. El contratista

Es el agente que asume, contractualmente ante el Promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de estas con sujeción al Proyecto y al Contrato de obra.

Es el responsable explícito de los vicios o defectos constructivos al contratista general de la obra, sin perjuicio del derecho de repetición de éste hacia los subcontratistas.

2.1.4. El director de obra

Es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas, y las condiciones del contrato, con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto. Podrán dirigir las obras de los proyectos parciales otros técnicos, bajo la coordinación del director de obra.

2.1.5. El director de la ejecución de la obra

Es el agente que, formando parte de la Dirección Facultativa, asume la función técnica de dirigir la Ejecución Material de la Obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y calidad de lo edificado. Para ello es requisito indispensable el estudio y análisis previo del proyecto de ejecución una vez redactado por el ingeniero, procediendo a solicitarle, con antelación al inicio de las obras, todas aquellas aclaraciones, subsanaciones o documentos complementarios que, dentro de su competencia y atribuciones legales, estimare necesarios para poder dirigir de manera solvente la ejecución de estas.

2.1.6. Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación

Son entidades de control de calidad de la edificación aquéllas capacitadas para prestar asistencia técnica en la verificación de la calidad del proyecto, de los materiales y de la ejecución de la obra y sus instalaciones de acuerdo con el proyecto y la normativa aplicable.

Por otro lado, son laboratorios de ensayos para el control de calidad de la edificación los capacitados para prestar asistencia técnica, mediante la realización de ensayos o pruebas de servicio de los materiales, sistemas o instalaciones de una obra de edificación.

2.1.7. Los suministradores de productos

Se consideran suministradores de productos los fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción. Se entiende por producto de construcción aquel que se fabrica para su incorporación permanente en una obra, incluyendo materiales, elementos semielaborados, componentes y obras o parte de estas, tanto terminadas como en proceso de ejecución.

3. CONDICIONES ECONÓMICAS

Las condiciones económicas fijan el marco de relaciones económicas para el abono y recepción de la obra. Tienen un carácter subsidiario respecto al contrato de obra, establecido entre las partes que intervienen, Promotor y Contratista, que es en definitiva el que tiene validez.

3.1. Contrato de obra

Se aconseja que se firme el contrato de obra, entre el Promotor y el Contratista, antes de iniciarse las obras, evitando en lo posible la realización de la obra por administración. A la Dirección Facultativa (Director de Obra y Director de Ejecución de la Obra) se le facilitará una copia del contrato de obra, para poder certificar en los términos pactados.

Sólo se aconseja contratar por administración aquellas partidas de obra irrelevantes y de difícil cuantificación, o cuando se desee un acabado muy esmerado.

El contrato de obra deberá prever las posibles interpretaciones y discrepancias que pudieran surgir entre las partes, así como garantizar que la Dirección Facultativa pueda, de hecho, coordinar, dirigir y controlar la obra, por lo que es conveniente que se especifiquen y determinen con claridad, como mínimo, los siguientes puntos:

- Documentos que aportar por el Contratista.
- Condiciones de ocupación del solar e inicio de las obras.
- Determinación de los gastos de enganches y consumos.
- Responsabilidades y obligaciones del Contratista: Legislación laboral.
- Responsabilidades y obligaciones del Promotor.
- Presupuesto del Contratista.
- Revisión de precios (en su caso).
- Forma de pago: Certificaciones. Retenciones en concepto de garantía (nunca menos del 5%).
- Plazos de ejecución: Planning.
- Retraso de la obra: Penalizaciones.
- Recepción de la obra: Provisional y definitiva.
- Litigio entre las partes.

Dado que este Pliego de Condiciones Económicas es complemento del contrato de obra, en caso de que no exista contrato de obra alguno entre las partes se le comunicará a la Dirección Facultativa, que pondrá a disposición de las partes el presente Pliego de Condiciones Económicas que podrá ser usado como base para la redacción del correspondiente contrato de obra.

2.2. Criterio General

Todos los agentes que intervienen en el proceso de la construcción, definidos en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (L.O.E.), tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas, pudiendo exigirse recíprocamente las garantías suficientes para el cumplimiento diligente de sus obligaciones de pago.

2.3. Fianzas

El Contratista presentará una fianza con arreglo al procedimiento que se estipule en el contrato de obra.

2.3.1. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en nombre y representación del Promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

2.3.2. Devolución de las fianzas

La fianza recibida será devuelta al Contratista en un plazo establecido en el contrato de obra, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El Promotor podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros y subcontratos.

2.3.3. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales

Si el Promotor, con la conformidad del Director de Obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

2.4. De los precios

El objetivo principal de la elaboración del presupuesto es anticipar el coste del proceso de construir la obra. Se descompondrá el presupuesto en unidades de obra, y en base a esos precios, se calculará el presupuesto.

2.4.1. Precio básico

Es el precio por unidad (UD, m, kg, etc.) de un material dispuesto a pie de obra, (incluido su transporte a obra, descarga en obra, embalajes, etc.) o el precio por hora de la maquinaria y de la mano de obra.

2.4.2. Precio unitario

Es el precio de una unidad de obra que se obtiene como suma de los siguientes costes:

- Costes directos: calculados como suma de los productos "precio básico x cantidad" de la mano de obra, maquinaria y materiales que intervienen en la ejecución de la unidad de obra.
- Medios auxiliares: Costes directos complementarios, calculados en forma porcentual como porcentaje de otros componentes, debido a que representan los costes directos que intervienen en la ejecución de la unidad de obra y que son de difícil cuantificación. Son diferentes para cada unidad de obra.
- Costes indirectos: aplicados como un porcentaje de la suma de los costes directos y medios auxiliares, igual para cada unidad de obra debido a que representan los costes de los factores necesarios para la ejecución de la obra que no se corresponden a ninguna unidad de obra en concreto.

En relación a la composición de los precios, el vigente Reglamento general de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas (Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre)

establece que la composición y el cálculo de los precios de las distintas unidades de obra se base en la determinación de los costes directos e indirectos precisos para su ejecución, sin incorporar, en ningún caso, el importe del Impuesto sobre el Valor Añadido que pueda gravar las entregas de bienes o prestaciones de servicios realizados.

2.4.3. Presupuesto de Ejecución Material (PEM)

Es el resultado de la suma de los precios unitarios de las diferentes unidades de obra que la componen. Se denomina Presupuesto de Ejecución Material al resultado obtenido por la suma de los productos del número de cada unidad de obra por su precio unitario y de las partidas alzadas. Es decir, el coste de la obra sin incluir los gastos generales, el beneficio industrial y el impuesto sobre el valor añadido.

3.4.4. Reclamación de aumento de precios

Si el Contratista, antes de la firma del contrato de obra, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

3.4.5. De la revisión de los precios contratados

El presupuesto presentado por el Contratista se entiende que es cerrado, por lo que no se aplicará revisión de precios. Sólo se procederá a efectuar revisión de precios cuando haya quedado explícitamente determinado en el contrato de obra entre el Promotor y el Contratista.

3.4.6. Acopio de materiales

El Contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que el Promotor ordene por escrito. Los materiales acopiados, una vez abonados por el propietario, son de la exclusiva propiedad de éste, siendo el Contratista responsable de su guarda y conservación.

3.5. Valoración y abono de los trabajos

3.5.1. Forma y plazos de abono de las obras

Los pagos se efectuarán por la propiedad en los plazos previamente establecidos en el contrato de obra, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de la obra conformadas por el Director de Ejecución de la Obra, en virtud de las cuáles se verifican aquellos.

El Director de Ejecución de la Obra realizará, en la forma y condiciones que establezca el criterio de medición en obra incorporado en las Prescripciones en cuanto a la Ejecución por unidad de obra, la medición de las unidades de obra ejecutadas durante el período de tiempo anterior, pudiendo el Contratista presenciar la realización de tales mediciones.

Para las obras o partes de obra que, por sus dimensiones y características, hayan de quedar posterior y definitivamente ocultas, el contratista está obligado a avisar al Director de Ejecución de la Obra con la suficiente antelación, a fin de que éste pueda realizar las correspondientes mediciones y toma de datos, levantando los planos que las definan, cuya conformidad suscribirá el Contratista.

A falta de aviso anticipado, cuya existencia corresponde probar al Contratista, queda este obligado a aceptar las decisiones del Promotor sobre el particular.

3.5.2. Abono de trabajos especiales no contratados

Cuando fuese preciso efectuar cualquier tipo de trabajo de índole especial u ordinaria que, por no estar contratado, no sea de cuenta del Contratista, y si no se contratasen con tercera persona, tendrá el Contratista la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, los cuales le serán abonados por la Propiedad por separado y en las condiciones que se estipulen en el contrato de obra.

3.5.3. Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras

Si, por causas imputables al Contratista, las obras sufrieran un retraso en su finalización con relación al plazo de ejecución previsto, el Promotor podrá imponer al Contratista, con cargo

a la última certificación, las penalizaciones establecidas en el contrato, que nunca serán inferiores al perjuicio que pudiera causar el retraso de la obra.

3.5.4. Demora de los pagos por parte del Promotor

Se regulará en el contrato de obra las condiciones a cumplir por parte de ambos.

3.5.5. Unidades de obra defectuosas

Las obras defectuosas no se valorarán.

3.5.6. 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.

3.5.7. Liquidación final de la obra

Entre el Promotor y Contratista, la liquidación de la obra deberá hacerse de acuerdo con las certificaciones conformadas por la Dirección de Obra. Si la liquidación se realizara sin el visto bueno de la Dirección de Obra, ésta sólo mediará, en caso de desavenencia o desacuerdo, en el recurso ante los Tribunales.

4. CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES

El presente Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares tiene por objeto regir y ordenar todas aquellas condiciones técnicas que se refieran a los aspectos generales, a los materiales, a la ejecución y a la medición y abono de las obras correspondientes al proyecto “Diseño de una EDAR para el tratamiento y reutilización de las aguas residuales de una planta de pulido de gres porcelánico”.

4.1. Condiciones de materiales y equipos

4.1.1. Condiciones Generales

En general son válidas todas las prescripciones referentes a las condiciones que deben satisfacer los materiales que figuran en las Instrucciones, Pliegos de Prescripciones y Normas Oficiales que reglamentan la recepción, transporte, manipulación y empleo de cada uno de los materiales que se utilizan en la ejecución de las obras, siempre que no prescriba lo contrario el presente Pliego, el cual prevalece.

Cada uno de los materiales cumplirá las condiciones que se especifican en los artículos siguientes, lo que deberá comprobarse mediante los correspondientes ensayos, si así lo ordena la Dirección de Obra.

4.1.2. Materiales no especificados en el pliego

Los materiales que, sin especificarse en el presente Pliego, hayan de ser empleados en obra, serán de primera calidad, y no podrán utilizarse sin antes haber sido reconocidos por el Director de Obra, que podrá rechazarlos si no reuniesen a su juicio, las condiciones exigibles para conseguir debidamente el objeto que motivara su empleo.

4.1.3. Hormigones y morteros

- **Áridos:**

La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón, así como las características resistentes que se exijan en el presente proyecto.

El árido grueso a emplear en hormigones será grava natural o procedente del machaqueo y trituración de piedra de cantera o graveras, escorias siderúrgicas apropiadas y otros productos cuyo empleo haya sido sancionado por la práctica o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en laboratorio, estudios en los que se realizarán ensayos de identificación mineralógicos, petrográficos, físicos o químicos, según convenga al caso.

Si los áridos proceden de machaqueo, se desechará, antes de dicha operación, la roca meteorizada y, cuando se obtenga por trituración, la forma de las partículas debe ser aproximadamente cúbica, y las planas o alargadas se desecharán. En todo caso, el árido se compondrá de elementos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, exentos de polvo, suciedad, arcilla y otras materias extrañas. Cumplirá, además, las condiciones exigidas en la construcción para el Proyecto y ejecución de las Obras de Hormigón Estructural EHE-08 y las disposiciones o normas complementarias que en lo sucesivo sean aprobadas, con carácter oficial, por la Consejería de Obras Públicas y Organismos equivalentes de la Administración Central.

En caso de utilizar escorias siderúrgicas como árido, se comprobará previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni sulfuros oxidables.

Se prohíbe el empleo de áridos que contengan sulfuros oxidables, sustancias que, aún en pequeña cantidad, resultan muy peligrosas para el hormigón, pues por oxidación y posterior hidratación se transforman en ácido sulfúrico y óxido de hierro hidratado, con gran aumento de volumen.

- **Cementos:**

Para la clasificación, usos recomendados y ensayos de recepción de los conglomerantes hidráulicos será de aplicación los cementos que cumplan la vigente Instrucción para la Recepción de Cementos y correspondan a la clase resistente 32,5 o superior, además de lo reseñado en el artículo 26 de la EHE-08.

Cuando el cemento se emplee como producto de inyección se tendrá en cuenta lo prescrito en el artículo 35.4 de la vigente EHE-08.

Los cementos para usos especiales están, fundamentalmente, indicados para grandes macizos de hormigón en masa no debiendo utilizarse para hormigón armado o pretensado.

A la entrega del cemento, el suministrador acompañará un albarán con los datos exigidos por la vigente Instrucción para la recepción de cementos.

El Contratista deberá disponer de los lugares apropiados para almacenar los conglomerantes hidráulicos, tanto si el suministro es en sacos como si es a granel. En el primero de los casos, los envases los recibirá cerrados, tal como hayan salido de fábrica, y el lugar elegido para el almacenaje deberá estar ventilado y defendido, tanto de la intemperie, como de la humedad del suelo y paredes.

Aún en el caso de que las condiciones de conservación sean buenas, el almacenamiento de cemento no debe ser muy prolongado, ya que puede meteorizarse.

El cemento será transportado en envases de tipo aprobado en los que deberá figurar expresamente el tipo de cemento y nombre del fabricante, o bien a granel o en depósitos herméticos, en cuyo caso deberá acompañar a cada remesa el documento de envío con las mismas indicaciones citadas.

Todos los vehículos utilizados para el transporte de cemento estarán provistos de dispositivos de protección contra el viento y la lluvia. Se efectuarán ensayos para determinar la calidad del cemento utilizado de acuerdo con los procedimientos indicados en el vigente Pliego RC-08.

Deberán repetirse los ensayos de comprobación de condiciones de almacenamiento si transcurren dos semanas o más desde la anterior hasta el momento de su empleo. En ambientes muy húmedos o en el caso de condiciones atmosféricas especiales, el Director de Obra podrá variar, a su criterio, el indicado plazo de dos semanas.

El cemento será rechazado si deja de cumplir alguna de las condiciones que se le exigen en los ensayos que se mencionan en el presente Pliego o en el RC-08.

- **Aditivos:**

Se consideran aditivos aquellos que se utilizan añadiéndolos al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso del amasado suplementario) en pequeñas cantidades (inferiores al 5%) para modificar algunas de sus características, en estado fresco o endurecido, o propiedades habituales o su comportamiento.

En los hormigones armados o pretensados no podrán utilizarse como aditivos el cloruro cálcico ni en general productos en cuya composición intervengan cloruros, sulfuros, sulfitos u otros componentes químicos que puedan ocasionar o favorecer la corrosión de las armaduras.

En los documentos de origen, figurará la designación del aditivo de acuerdo con lo indicado en la UNE EN 934-2:2010+A1:2012, así como el certificado de garantía del fabricante de que las características y especialmente el comportamiento del aditivo, agregado en las proporciones y condiciones previstas, son tales que produce la función principal deseada sin perturbar excesivamente las restantes características del hormigón, ni representar peligro para las armaduras.

Se realizarán probetas, que se romperán a los veintiocho días, para poder comprobar sus características con las de otras probetas sin aditivo. Según el resultado de dicha comparación, se aprobará o no el uso del aditivo.

- **Agua:**

El agua que se emplee en el amasado de los morteros y hormigones y en general en todos los conglomerantes, deberá reunir las condiciones que prescribe la Instrucción para el Proyecto y Ejecución de las Obras de Hormigón estructural, EHE-08.

Como norma general, podrán utilizarse todas aquellas aguas que la práctica haya sancionado como aceptables, es decir, que no hayan producido eflorescencias, agrietamiento o perturbaciones en el fraguado y resistencia de obras similares a las que se proyectan.

Salvo justificación especial, deberán rechazarse las aguas que no cumplan las condiciones siguientes:

- Exponente de hidrógeno pH (UNE 83952:2008) superior a cinco (5).
- Sustancias solubles (UNE 83957:2008) en cantidad inferior a quince gramos por litro (15.000 p.p.m.).
- Contenido en sulfatos, expresado en SO₄, (UNE 83956:2008), inferior a un gramo por litro (1.000 p.p.m.).
- Glúcidos (azúcares o carbohidratos) (UNE 83959:2014), ni aún en cantidades mínimas.
- Ion Cloruro (UNE 7178:58) en proporción inferior a un gramo por litro (1.000 p.p.m.) para hormigón pretensado e inferior a tres gramos por litro (3.000 p.p.m.) para hormigón armado u hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración.
- Grasas o aceites de cualquier origen (UNE 83959:2014) en cantidad inferior a quince gramos por litro (15.000 p.p.m.).

- **Hormigones prefabricados**

Los hormigones prefabricados se ensayarán también para determinar su resistencia característica. El suministrador deberá contar con equipo de Control de Calidad que lleve a cabo el control y garantía de suministro de conformidad con lo que especifica la EHE-08.

La Dirección de Obra exigirá al Contratista que se realicen ensayos de consistencia del hormigón prefabricado que se reciba, para comprobar que tiene las características exigidas al fabricante. El Contratista será responsable ante la Dirección de Obra de que se cumplan dichas características.

La Dirección de Obra podrá rechazar todas aquellas cargas que acusen un estado de desecación, disgregación o principio de fraguado.

Las muestras tomadas de cada carga de hormigón, entendiéndose como carga a la suministrada de una sola vez y en un único recipiente, tendrá un volumen igual a vez y media (1,5) del volumen necesario en los ensayos, como mínimo.

Se tomarán seis (6) probetas, de las cuales se romperán tres (3) a los siete (7) días, y tres (3) a los veintiocho (28) días.

4.1.4. Aceros

Los aceros laminados y piezas y palastros deberán ser de grano fino y homogéneo, sin presentar grietas o señales que puedan comprometer su resistencia, estarán bien calibrados cualquiera que sea su perfil y los extremos encuadrados y sin rebabas.

El almacenaje se hará con precauciones necesarias para reducir las oxidaciones. Cumplirán lo dispuesto en los artículos 27, 28 y 29 de la Instrucción de Acero Estructural (EAE).

4.1.5. Tuberías

Cualquier tubo o pieza cuyos defectos sean ocultados por soldadura, plomo o cualquier otro procedimiento serán rechazados. El mismo criterio se seguirá respecto a la obturación de fugas por calafates o cualquier otro sistema.

Los tubos, uniones y piezas que presenten pequeñas imperfecciones inevitables a consecuencia del proceso de fabricación y que no perjudiquen al servicio para el que están destinados, no serán rechazados.

Los revestimientos no deberán contener ningún elemento soluble en agua, ni ningún producto que pueda dar sabor u olor al agua, después de un conveniente lavado de la conducción.

4.1.6. Válvulas de mariposa

Los cuerpos de las válvulas de mariposa serán de hierro fundido, deberán de ser probadas a la presión mínima de cuatro veces la presión de servicio. Según norma UNE-EN 1563: 2012.

La mariposa y eje será de acero inoxidable según norma UNE-EN 10088-3: 2015, el cierre sobre elementos de goma en EPDM especial para agua potable.

Los modelos que se propongan deberán ser sometidos a la aprobación del Director de Obra con indicación expresa de que todas las partes interiores que han de estar en contacto con el agua estén construidas con materiales inoxidables.

Deberán probarse en fábrica exigiéndose una garantía de estanqueidad, de acuerdo con las normas, NF E 29-311 tasa 3, DIN 3230 parte 3 tabla 1, siendo todos los gastos de pruebas por cuenta del Adjudicatario.

4.1.7. Material para la instalación eléctrica

Todo el material que se emplee en las instalaciones eléctricas ha de ser de primera calidad, y su elección habrá de ser confirmada por el Director de la Obra, sin cuya aprobación no podrá calificarse el material.

Para estas instalaciones el Contratista, de no estar reconocido como especializado en este tipo de trabajos, las subcontratará a una firma debidamente especializada. Esta firma deberá contar con la aprobación del Director de las Obras.

En todo lo que respecta a este tipo de instalaciones se tendrá fundamentalmente en cuenta lo prescrito en los vigentes Reglamentos Electrotécnicos de Alta y Baja Tensión, e Instrucciones Complementarias.

Los tubos para alojar conductores eléctricos serán de resinas sintéticas (polivinilo), de chapa aislada tipo borgman, o de acero especial para instalaciones eléctricas con rosca P.G. según indicación del Proyecto.

El Contratista presentará modelos del tipo de tubo que se vaya a emplear para su aprobación por el Director de la Obra.

4.2. Condiciones de ejecución y montaje

Todas las obras comprendidas en el Proyecto se ejecutarán de acuerdo con los planos y resto de documentos del Proyecto, así como instrucciones y órdenes del Ingeniero Director, quien resolverá las cuestiones que se planteen referentes a la interpretación de aquellos y de las condiciones de ejecución.

El Ingeniero Director suministrará al Contratista cuanta información se precise para que las obras puedan ser realizadas.

El orden de ejecución de los trabajos deberá ser aprobado por el Ingeniero Director y será compatible con los plazos programados. Para ello y en el acto de replanteo, o en el plazo máximo de diez días contados a partir del mismo, el Contratista hará entrega al Ingeniero Director de las Obras de un programa de Trabajo, donde se detallarán las distintas actividades a ejecutar.

Antes de iniciar cualquier parte de la obra deberá el Contratista ponerlo en conocimiento del Ingeniero Director, y recabar su aprobación para dicho trabajo y los medios que pretenda emplear en su ejecución.

4.2.1. Excavaciones

Estos trabajos consisten en las operaciones necesarias para excavar, transportar y nivelar los materiales en las formas definidas en los documentos contractuales, de acuerdo con los planos, Pliego de Condiciones y órdenes del Ingeniero Director. En estos trabajos están incluidos los agotamientos y desagües provisionales, los andamiajes y apuntalamientos, así como las ataguías y cajones, todo ello con los materiales auxiliares que corresponda y su extracción para poder hacer el relleno consiguiente.

El Contratista notificará al Ingeniero Director, con suficiente anticipación el comienzo de cualquier excavación, a fin de que éste pueda tomar las mediciones necesarias sobre el terreno inalterado. El terreno natural adyacente al emplazamiento no podrá ser modificado ni removido sin permiso del citado Ingeniero Director.

Las zanjas o pozos de cimentación se excavarán con las dimensiones hasta las profundidades indicadas en los planos. No obstante, las profundidades de cimentación indicadas en el Proyecto se considerarán como aproximadas, puesto que ha de ser a la vista de la clase de terreno cuando se fijen las definitivas, introduciendo las modificaciones que se estimen necesarias para asegurar una cimentación satisfactoria.

Los taludes de las zanjas y pozos para cimientos serán los necesarios para evitar desprendimientos, salvo que se empleen entibaciones y otros medios, que los eviten. El contratista someterá a la previa aprobación del Ingeniero Director los taludes a adoptar en

cada caso, cuando observara que los previstos en Proyectos que se consideran simplemente orientativos pudieran, a la vista de las condiciones reales del terreno, entrañar peligro.

Los bolos, troncos o cualquier otro material inadecuado que se encuentre en la excavación, serán eliminados. En cimentación en roca se eliminará ésta de material flojo o suelto y se excavará hasta obtener una superficie firme y limpia, a nivel o escalonada, según disponga el Ingeniero Director. Las grietas y hendiduras se limpiarán adecuadamente. Las rocas sueltas y desintegradas, así como los estratos delgados serán eliminados.

La excavación de los últimos treinta (30) centímetros, no se hará hasta momentos antes de colocar los cimientos y el Contratista no podrá ejecutarla sin antes haberlo notificado al Ingeniero Director y hasta después de que éste lo autorice, una vez comprobadas las dimensiones y el tipo de terreno de cimentación. Todo ello es válido por el cimiento de fábricas igual que para el de conducciones.

Cuando se ejecute en seco sin necesidad de entibación ni ataguías, se podrán omitir los encofrados con permiso del Director de las Obras y rellenar toda la excavación con la clase de fábrica prevista para el cimiento de la estructura, siendo el exceso de la misma de cuenta del Contratista.

En los trabajos de cimentación de estructuras, etc. se cuidará especialmente el mantenimiento en perfectas condiciones de las estructuras actualmente en servicio, para lo cual se elaborará el correspondiente Proyecto de ejecución de excavaciones, que se detallará suficientemente por parte del Contratista para que a juicio del Ingeniero Director queden totalmente salvaguardados los elementos preexistentes.

4.2.2. Tuberías de abastecimiento

Para el transporte, acopio y montaje de las tuberías se cumplirán las siguientes normas:

- En la carga, transporte y descarga de los tubos y piezas se tomarán las precauciones necesarias para su manejo, de tal manera que no sufran golpes ni daños de importancia.

- Los tubos se descargarán, a ser posible, frente al lugar donde deben ser colocados en la zanja.
- Una vez los tubos en el fondo de la zanja, se examinarán éstos para cerciorarse de que su interior está libre de tierra, piedra, útiles de trabajo, prendas de vestir, etc., y se comprobará su centrado y perfecta alineación, conseguido lo cual se procederá a calzarlos y acodarlos con un poco de material fino para impedir su movimiento y hasta que quede perfectamente nivelado según la rasante marcada por el Proyecto. Cada tubo deberá centrarse perfectamente con los adyacentes y nivelarse con total precisión: en el caso de zanjas con inclinaciones superiores al diez por ciento, la tubería se colocará en sentido ascendente. Si se precisase reajustar algún tubo, deberá levantarse el relleno y prepararlo como para su primera colocación.
- Cuando se interrumpa la colocación de tubería, se taponarán los extremos para impedir la entrada de agua o cuerpos extraños.
- Las tuberías y zanjas se mantendrán libres de agua agotando con bombas o dejando desagües en la excavación en caso necesario.

Las pruebas en obra y zanjas se ajustarán a los artículos 1.11-1.12 y 1.13 del Pliego Oficial de Tuberías, levantándose siempre al final de cada prueba un Acta donde se haga constar la clase de prueba, material probado y resultado. Dicha Acta la firmarán, en triplicado ejemplar, el Contratista y Director de Obra, debiendo figurar un ejemplar de ella en el Acta de Recepción de las Obras.

Una vez montados los tubos y las piezas especiales se procederá a la sujeción y apoyo de los codos, cambios de dirección, reducción, piezas de derivación y en general todos aquellos elementos que estén sometidos a presiones que puedan originar derivaciones perjudiciales.

Estos apoyos o sujeciones serán de hormigón o de hormigón con abrazadera metálica, establecidos sobre terrenos de resistencia suficiente y con el desarrollo preciso para evitar que puedan ser movidos por los esfuerzos soportados.

Los apoyos, salvo prescripción taxativa contraria, deberán ser colocados en forma tal que las juntas de las tuberías y de los accesorios sean accesibles para su preparación.

Las barras de acero o abrazaderas metálicas deberán ser galvanizadas o tratadas de otro modo contra la oxidación, incluso pintándolas adecuadamente o embebiéndolas en hormigón.

Se prohíbe en absoluto el empleo de cuñas de piedra o de madera que puedan desplazarse.

4.2.3. Ejecución de las instalaciones electromecánicas

A la llegada del material a la obra se efectuará la recepción de este, comprobando que corresponde al incluido en la oferta aprobada, para lo cual se levantará un acta donde firmarán los representantes de la Dirección y del Contratista, haciéndose constar tal circunstancia. En caso contrario, serán desechados para su correcta reposición.

El montaje de todos los elementos constitutivos de las instalaciones electromecánicas será ejecutado por personal especializado en esta rama, debiendo tomarse todas las medidas de seguridad que se deriven de la legislación vigente sobre la materia.

6. Estado de mediciones

ÍNDICE:

1. Obra civil	1
2. Equipos principales	1
3. Conducciones	2
4. Accesorios de las conducciones	2
5. Equipos auxiliares	3
6. Instalación eléctrica	3

1. Obra civil

La obra necesaria en este proyecto es la correspondiente a las dos balsas de las que consta la EDAR, ya que ambas se construyen 5m bajo tierra. No será necesario realizar más obras ya que se dispone de una nave al lado de la planta de pulido preparada para ubicar la depuradora.

El estado de mediciones correspondiente a la obra civil es el de la tabla 6.1:

Tabla 6.1. Estado de mediciones de la obra civil

Elemento	Unidades	Cantidad
Balsa pulmón de hormigón de 312 m ³	UD	1
Balsa de acumulación de hormigón de 1558 m ³	UD	1

2. Equipos principales

En la tabla 6.2 se recoge el estado de mediciones de los equipos principales para el tratamiento del agua residual en cada una de las etapas:

Tabla 6.2. Estado de mediciones de los equipos principales

Elemento	Unidades	Cantidad
Tanque de homogeneización de hormigón prefabricado de 390m ³	UD	1
Reactor de acero inoxidable AISI 316 de 7,8m ³	UD	2
Reactor de acero inoxidable AISI 316 de 9,4m ³	UD	1
Tanque de preparación de floculante de acero inoxidable AISI 304 de 9,4m ³	UD	1
Tanque de preparación de neutralizante de acero inoxidable AISI 304 de 1,4m ³	UD	1
Sedimentador de hormigón prefabricado de 15,27m de diámetro	UD	1
Filtros de profundidad de 1,6m de diámetro y 2m de altura, IMA/M 1600	UD	4
Espesador de fibra de vidrio PRFV de 4,05 m de diámetro	UD	1
Filtro prensa automático, TEFSA PEH-800/12	UD	1
Contenedor de tortas de acero corten de 27,86m ³	UD	1

3. Conducciones

En la tabla 6.3 se recoge el estado de mediciones correspondiente a las conducciones que componen la EDAR:

Tabla 6.3. Estado de mediciones de las conducciones

Elemento	Unidades	Cantidad
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 6	m	2,5
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 8	m	2,5
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 50	m	3,5
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 90	m	37,5
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 115	m	24
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 125	m	82
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 200	m	101

4. Accesorios de las conducciones

En la tabla 6.4 se muestra el estado de mediciones correspondiente a los accesorios instalados en las conducciones:

Tabla 6.4. Estado de mediciones de los accesorios de las conducciones

Elemento	Unidades	Cantidad
Codo de 90° de latón DN 6	UD	2
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 6	UD	1
Codo de 90° de latón DN 8	UD	2
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 8	UD	1
Codo de 90° de latón DN 25	UD	2
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 25	UD	1
Codo de 90° de latón DN 50	UD	7
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 50	UD	3
Codo de 90° de latón DN 90	UD	4
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 90	UD	1
Codo de 90° de latón DN 115	UD	12
Válvula de mariposa DN 115	UD	4
Codo de 90° de latón DN 125	UD	18
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 125	UD	6
Codo de 90° de latón DN 200	UD	22
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 200	UD	7

5. Equipos auxiliares

Por otro lado, en la tabla 6.5, se recoge el estado de mediciones correspondiente a los equipos auxiliares:

Tabla 6.5. Estado de mediciones de los equipos auxiliares

Elemento	Unidades	Cantidad
Bomba dosificadora de la serie G A	UD	1
Bomba dosificadora Seko de la serie Spring PS2	UD	2
Bomba de la serie Esp	UD	5
Bomba de la serie 3M 50-125	UD	1
Bomba de la serie 3M 32-125	UD	1
Turbina de seis palas planas, tanque de homogeneización	UD	1
Turbina de seis palas planas, reactores de coagulación y neutralización	UD	2
Turbina de seis palas planas, reactor de floculación	UD	1
Turbina de seis palas planas, tanque de preparación de neutralizante	UD	1
Hélice de paso cuadrado de 3 palas planas, tanque de preparación de floculante	UD	1
Difusor de burbuja fina Gama ABS PIK 300	UD	20
Regulador digital para el control de pH, conductividad y turbidez serie MAX5	UD	1

6. Instalación eléctrica

Por último, en la tabla 6.6, se recoge el estado de mediciones correspondiente a la instalación eléctrica:

Tabla 6.6. Estado de mediciones de la instalación eléctrica

Elemento	Unidades	Cantidad
Potencia eléctrica industrial en fuerza motriz	kW	35
Potencia eléctrica industrial en alumbrado	W	400

7. Presupuesto

ÍNDICE:

1.	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM).....	1
1.1.	Obra civil	1
1.2.	Equipos principales.....	1
1.3.	Conducciones.....	2
1.4.	Accesorios de las conducciones.....	3
1.5.	Equipos auxiliares.....	4
1.6.	Instalación eléctrica	5
1.7.	Resumen del presupuesto de ejecución de material (PEM).....	5
2.	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC).....	5
3.	PRESUPUESTO TOTAL	6

1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)

1.1. Obra civil

El presupuesto de ejecución de material parcial correspondiente a la obra civil es el que se muestra en la tabla 7.1:

Tabla 7.1. Presupuesto de ejecución de material parcial de la obra civil

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio unitario (€/UD)	Precio total (€)
Balsa pulmón de hormigón de 312m ³	UD	1	35.000	35.000
Balsa de acumulación de hormigón de 1558m ³	UD	1	90.000	90.000
Precio total de la obra civil				125.000 €

1.2. Equipos principales

Por otro lado, en la tabla 7.2, se calcula el presupuesto correspondiente a los equipos principales:

Tabla 7.2. Presupuesto de ejecución de material parcial de los equipos principales

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio unitario (€/UD)	Precio total (€)
Tanque de homogeneización de hormigón prefabricado de 390m ³	UD	1	30.000	30.000
Reactor de acero inoxidable AISI 316 de 7,8m ³	UD	2	1.100	2.200
Reactor de acero inoxidable AISI 316 de 9,4m ³	UD	1	1.500	1.500
Tanque de preparación de floculante de acero inoxidable AISI 304 de 9,4m ³	UD	1	1.200	1.200
Tanque de preparación de neutralizante de acero corten AISI 304 de 1,4m ³	UD	1	500	500
Sedimentador de hormigón prefabricado de 15,27m de diámetro	UD	1	51.500	51.500

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio unitario (€/UD)	Precio total (€)
Filtros de profundidad de 1,6m de diámetro y 2m de altura, IMA/M 1600	UD	4	20.000	80.000
Espesador de fibra de vidrio PRFV de 4,05 m de diámetro	UD	1	11.000	11.000
Filtro prensa automático, TEFSA PEH-800/12	UD	1	72.000	72.000
Contenedor de tortas de acero corten de 27,86m ³	UD	1	1.600	1.600
Precio total de los equipos principales				251.500 €

1.3. Conducciones

En la tabla 7.3 se calcula el presupuesto correspondiente a las conducciones:

Tabla 7.3. Presupuesto de ejecución de material parcial de las conducciones

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio unitario (€/m)	Precio total (€)
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 6	m	2,5	8,10	20,25
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 8	m	2,5	10,01	25,02
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 50	m	3,5	22,21	77,73
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 90	m	37,5	39,44	1.479,00
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 115	m	24	45,97	1.103,28
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 125	m	82	49,82	4.085,24
Conducción de acero inoxidable AISI 304 DN 200	m	101	54,45	2.468,45
Precio total de las conducciones				9.258,97 €

1.4. Accesorios de las conducciones

En la tabla 7.4 se calcula el presupuesto correspondiente a los accesorios de las conducciones:

Tabla 7.4. Presupuesto de ejecución de material parcial de los accesorios de las conducciones

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio unitario (€/UD)	Precio total (€)
Codo de 90° de latón DN 6	UD	2	8,43	16,86
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 6	UD	1	31,14	31,14
Codo de 90° de latón DN 8	UD	2	10,71	21,42
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 8	UD	1	36,88	36,88
Codo de 90° de latón DN 25	UD	2	14,01	28,02
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 25	UD	1	42,53	42,53
Codo de 90° de latón DN 50	UD	7	38,74	271,18
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 50	UD	3	45,26	135,78
Codo de 90° de latón DN 90	UD	4	63,63	254,52
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 90	UD	1	56,40	56,40
Codo de 90° de latón DN 115	UD	12	146,84	1.762,08
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 115	UD	4	72,42	289,68
Codo de 90° de latón DN 125	UD	18	276,96	4.985,28
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 125	UD	6	98,03	588,18
Codo de 90° de latón DN 200	UD	22	311,52	6.853,44
Válvula de mariposa de hierro fundido DN 200	UD	7	172,44	172,44
Precio total de los accesorios de las conducciones				15.545,83 €

1.5. Equipos auxiliares

A continuación, en la tabla 7.5, se calcula el presupuesto correspondiente a los equipos auxiliares:

Tabla 7.5. Presupuesto de ejecución de material parcial de los equipos auxiliares

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio unitario (€/UD)	Precio total (€)
Bomba dosificadora de la serie G A	UD	1	1.800	1.800
Bomba dosificadora Seko de la serie Spring PS2	UD	2	1.330	2.660
Bomba de la serie Esp	UD	5	1.700	8.500
Bomba de la serie 3M 50-125	UD	1	1.400	1.400
Bomba de la serie 3M 32-125	UD	1	740	740
Turbina de seis palas planas, tanque de homogeneización	UD	1	1.900	1.900
Turbina de seis palas planas, reactores de coagulación y neutralización	UD	2	950	950
Turbina de seis palas planas, reactor de floculación	UD	1	750	750
Turbina de seis palas planas, tanque de preparación de neutralizante	UD	1	1.050	1.050
Hélice de paso cuadrado de 3 palas planas, tanque de preparación de floculante	UD	1	2.200	2.200
Difusor de burbuja fina Gama ABS PIK 300	UD	20	40	800
Regulador digital para el control de pH, conductividad y turbidez serie MAX5	UD	1	6.500	6.500
Precio total de los equipos auxiliares				29.250 €

1.6. Instalación eléctrica

En la tabla 7.6 se calcula el presupuesto correspondiente a la instalación eléctrica:

Tabla 7.6. Presupuesto de ejecución de material parcial de la instalación eléctrica

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio unitario (€/kW)	Precio total (€)
Potencia eléctrica industrial en fuerza motriz	kW	35	250	8.750
Potencia eléctrica industrial en alumbrado	kW	0,5	950	475
Precio total de la instalación eléctrica				9.225 €

1.7. Resumen del presupuesto de ejecución de material (PEM)

Por último, en la tabla 7.7, se calcula el presupuesto de ejecución de material (PEM) a partir de los presupuestos de ejecución por material parciales calculados en los apartados anteriores:

Tabla 7.7. Resumen del presupuesto de ejecución de material (PEM)

Elemento	Precio (€)
Obra civil	125.000
Equipos principales	251.500
Conducciones	9.258,97
Accesorios de las conducciones	15.545,83
Equipos auxiliares	29.250
Instalación eléctrica	9.225
PEM	439.279,80

2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)

En la tabla 7.8 se calcula el presupuesto de ejecución por contrata sumando los gastos generales, cargas fiscales y el beneficio industrial al presupuesto de ejecución de material:

Tabla 7.8. Presupuesto de ejecución por contrata (PEC)

Elemento	Precio (€)
Presupuesto de ejecución de material (PEM)	439.279,80
Gastos generales y cargas ficales (15%)	65.891,97
Beneficio industrial (6%)	26.356,79
PEC	531.528,56

3. PRESUPUESTO TOTAL

Por último, al presupuesto de ejecución por contrata se le debe sumar un 7% correspondiente al proyecto y la dirección de obra y aplicar el 21% de IVA sobre el precio total. Estos cálculos se reflejan en la tabla 7.9:

Tabla 7.9. Presupuesto total del proyecto

Elemento	Precio (€)
Presupuesto de ejecución por contrata (PEC)	531.528,56
Proyecto y dirección de obra (7%)	37.207
Total	568.735,56
Total + IVA (21%)	688.170,03 €

El presupuesto total del proyecto “Diseño de una EDAR para el tratamiento y reutilización de las aguas residuales de una planta de pulido de gres porcelánico” asciende a **SEISCIENTOS OCHENTA Y OCHO MIL CIENTO SETENTA EUROS CON TRES CÉNTIMOS**.