



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

AGRADECIMIENTOS

*A mis tutoras Amparo y Marién, por toda la ayuda,
paciencia, comprensión y dedicación
que han tenido durante todo este tiempo.*

*A mis padres, por todo el cariño y apoyo incondicional
recibido día a día durante todos estos años.*

*A mis amigos, en especial, a Hector y Aitor por
la toda la paciencia y comprensión.*

*Y a mis compañeros de universidad, en especial a Hijarro,
Josemi y Merche. Sin ellos todo hubiese sido diferente.*

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo realizar el diseño de los equipos de depuración de una industria de galvanizado de hierro. Para ello, se describirá el proceso de galvanizado con el fin de conocer las aguas residuales que se generan y decidir cuáles serán depuradas en la propia planta para su reutilización.

Primero, se propondrá el esquema de depuración que se pretende dimensionar, tanto para la línea de aguas como para la línea de fangos. A partir de las características del agua residual a tratar, se realizarán los cálculos pertinentes para el dimensionado de los equipos y también, para el diseño de los diferentes tratamientos físico-químicos que intervienen en el proceso. A partir del diseño de la depuración en continuo se pretende que el agua depurada reúna las características adecuadas para que sea posible su reutilización al proceso de galvanizado y que los fangos que se generen sean gestionados por un gestor externo.

Palabras Clave: industria galvanizado; aguas residuales; tratamiento físico químico.

RESUM

El present Treball de Fi de Grau té com a objectiu la realització del disseny dels equips de depuració d'una indústria de galvanització de ferro. Es descriurà el procés de galvanitzat amb la finalitat de conèixer les aigües residuals que es generen i decidir quines seran depurades en la mateixa planta per a la seua reutilització.

Primer, es proposarà l'esquema de depuració que es pretén dimensionar, tant per a la línia d'aigües com per a la línia de fangs. A partir de les característiques de l'aigua residual a tractar, es realitzaran els càlculs pertinents per al dimensionat dels equips i també, per al disseny dels diferents tractaments fisicoquímics que intervenen en el procés. A partir del disseny de la depuració en continu es pretén que l'aigua depurada presente les característiques adequades per a la seua reutilització en el procés de galvanització i els fangs generats es gestionen per un gestor extern.

Paraules Clau: indústria galvanitzat; aigües residuals; tractament fisicoquímic.

ABSTRACT

The aim of this Final Degree Project is to design a wastewater treatment for an iron galvanizing industry. For this, the galvanizing process described in order to know the steps that generate wastewater and their characteristics and then to decide which ones will be treated in the plant for its reuse.

The treatment treated scheme will be proposed, both for the water line and for the sludge line. Based on the characteristics of the wastewater to be treated, relevant calculations will be carried out for the sizing of the equipment and also for the design of the different physic-chemical treatments that are involved in the process. From the design of the continuous treatment, it is intended that the purified water meet the adequate characteristics to be reused the galvanizing process and that the sludge generated could be managed by an external manager.

Key words: galvanizing industry; wastewater; physical-chemical treatment.

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG:

- Memoria
- Planos
- Presupuesto

ÍNDICE DE LA MEMORIA:

1. OBJETIVO DEL TFG	3
2. JUSTIFICACIÓN DEL TFG	4
3. ANTECEDENTES	5
4. INTRODUCCIÓN	6
4.1. EL GALVANIZADO EN ESPAÑA Y LA COMUNITAT VALENCIANA.....	6
4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO GENERADOR DE AGUAS RESIDUALES.....	8
5. AGUAS GENERADAS EN EL PROCESO	20
6. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL A TRATAR	21
7. ESQUEMA DEL TRATAMIENTO PROPUESTO	22
7.1. LÍNEA DE AGUAS.....	23
7.1.1. AIREACIÓN (OXIDACIÓN DEL HIERRO)	23
7.1.2. AJUSTE DE pH	23
7.1.3. FLOCULACIÓN.....	24
7.1.4. DECANTACIÓN.....	24
7.2. LÍNEA DE FANGOS	25
7.2.1 CONCENTRACIÓN	25
7.2.2 DESHIDRATACIÓN.....	26
8. ENSAYOS DE LABORATORIO	27
8.1. MATERIAL	27
8.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	27
8.3. RESULTADOS	29

9. DISEÑO DEL TRATAMIENTO PROPUESTO	32
9.1. DISEÑO DE LA ETAPA DE OXIDACIÓN DEL HIERRO	32
9.2. DISEÑO DEL TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN.....	39
9.2.1. ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SOBRENADANTE DEL ESPESADOR	40
9.2.2. ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL LICOR DE FANGO DEL FILTRO PRENSA....	46
9.2.3. DISEÑO DEL TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN.....	49
9.3. DISEÑO DE LA ETAPA DE AJUSTE DE pH.....	51
9.4. DISEÑO DEL TANQUE DE FLOCULACIÓN	56
9.5. DISEÑO DE LA ETAPA DE SEDIMENTACIÓN	61
9.6. CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE FINAL.....	66
9.7. CONCENTRACIÓN	67
9.8. ACONDICIONAMIENTO CON POLIELECTROLITO	72
9.9. FILTRO PRENSA.....	75
10. ESTUDIO ECONÓMICO	79
10.1. ENERGÍA	79
10.2 PERSONAL.....	79
10.3 REACTIVOS.....	80
10.4 MANTENIMIENTO	80
10.5 COSTES TOTALES	81
11. CONCLUSIONES	83
12. BIBLIOGRAFÍA	84

ANEXOS A LA MEMORIA

1. CONDICIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS	86
1.1. TANQUE DE OXIDACIÓN	86
1.2. TANQUE DE HOMOGEINIZACIÓN	86
1.3. DECANTADOR LAMELAR CON TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO	87
1.4. ESPESASOR CILINDROCÓNICO	87
1.5. FILTRO PRENSA MANUAL	88
1.6. DEPÓSITOS DE LOS REACTIVOS	89
1.7. BOMBAS DOSIFICADORAS	89
1.8. DIFUSORES DE AIRE	90

ÍNDICE DE LOS PLANOS:

1. PLANO 01	94
--------------------------	-----------

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO:

1. PRESUPUESTO	98
1.1. PRESUPUESTOS PARCIALES	98
1.1.1. CUADRO DE PRECIOS DE LA MANO DE OBRA	98
1.1.2. CUADRO DE PRECIOS DEL MATERIAL AMORTIZABLE.....	99
1.1.3. CUADRO DE PRECIOS DEL MATERIAL NO AMORTIZABLE.....	100
1.1.4. CUADRO DE PRECIOS DE LA INSTALACIÓN.....	101
1.2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	102
1.3. PRESUPUESTO GENERAL O PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	102

DOCUMENTO I: MEMORIA

1. OBJETIVO DEL TFG

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es el diseño preliminar de los procesos químicos y físicos para el tratamiento de las aguas residuales generadas en una industria de galvanizado, así como de los fangos generados durante el tratamiento de las mismas.

La instalación de depuración consta de dos partes:

-La línea de aguas residuales estará formada por equipos cuya principal función será eliminar el hierro presente en el agua, acondicionándola para su posterior reutilización en el proceso de galvanizado.

-En la línea de fangos se concentrarán y deshidratarán los fangos producidos para su posterior gestión.

2. JUSTIFICACIÓN DEL TFG

Las aguas residuales que se forman en una industria de galvanizado no son aptas para el vertido al alcantarillado según la ordenanza municipal de vertidos por su alto contenido en hierro. Por tanto, será necesario depurar las mismas para reducir el contenido de este metal. Además, si estas aguas se depuran pueden ser reutilizadas en el proceso de galvanizado, reduciendo así el consumo de agua de red en el mismo.

Ha sido necesaria la visita a industrias de galvanizado para poder reunir la información necesaria sobre el proceso y poder así detectar en qué puntos se generan las aguas residuales que se van a tratar.

3. ANTECEDENTES

Las industrias de galvanizado generan una serie de residuos que van a tener controles estrictos a través de la legislación, debido fundamentalmente a su alto contenido en metales.

Estos residuos pueden ser depurados en la propia industria y recircularse al proceso productivo o bien, se pueden tratar mediante un gestor externo autorizado. La depuración en la propia industria, aunque tenga un coste elevado de instalación puede ser motivo de ahorro económico a largo plazo por disminuir los costes de algunas materias primas, así como de la gestión por parte de un gestor externo.

En este Trabajo Final de Grado, se va a diseñar el tratamiento de una de las corrientes de agua residual formadas formados en el proceso de galvanizado, en concreto, la procedente de la etapa de Preflux. El resto se van a considerar que se tratan de manera externa debido a la dificultad de su depuración o por ser inservibles para el retorno al proceso.

La depuración que se va a proponer va a constar de línea de aguas y fangos. El fango será acondicionado para que pueda ser aceptado por un gestor externo autorizado y el agua depurada se almacenará en un depósito y desde éste se reutilizará en el proceso de galvanizado.

4. INTRODUCCIÓN

4.1. EL GALVANIZADO EN ESPAÑA Y LA COMUNITAT VALENCIANA.

La industria del galvanizado es una industria potente. En el mercado europeo se encuentran más de 1000 empresas dedicadas a este sector, el cual genera unos 1250 millones de euros al año mediante la galvanización de unos 5 millones de toneladas de piezas de acero.

Pero este sector no cuenta sólo con grandes multinacionales, sino que la mayor parte de las empresas que se dedican al galvanizado son medianas o pequeñas empresas. En este sector es habitual trabajar con todo tipo de piezas y diferentes volúmenes de pedido por lo que la producción es variable y muy flexible.

Las empresas dedicadas al galvanizado están acostumbradas al trato y negociación con el cliente debido a que normalmente los requerimientos son variados y por tanto, las especificaciones técnicas sobre el galvanizado que quieren realizar son muy diferentes.

Más de la mitad del zinc que se usa en esta la industria se emplea en la protección del acero frente a la corrosión.

La importancia de este tipo de empresas es debida a que la corrosión afecta a muchos materiales metálicos comunes y el galvanizado puede proteger durante más tiempo este tipo de piezas sin necesidad de hacer recambios o revisiones de forma tan frecuentes. Esto se puede lograr, en gran parte, porque el promedio de vida del acero desprotegido es de sólo dos años. En cambio, un correcto galvanizado puede garantizar una durabilidad de las piezas de unos 15 años, incluso con condiciones climatológicas y ambientales favorables puede que no haya ningún tipo de degradación hasta los 50 años. Por tanto, las empresas de galvanizado promocionan fiabilidad [1].

El sector del galvanizado en España es amplio, con más de 170 empresas y una producción de unas 520.000 toneladas. La mayor parte de industrias de galvanizado están ubicadas en Catalunya y Madrid repartiéndose entre estas dos comunidades un tercio del sector en España.

Desde 1965 existe una Asociación Técnica de Galvanización (ATEG) que representa la industria del galvanizado en caliente en España. Esta asociación busca fomentar el galvanizado en caliente como opción prioritaria para la protección frente a la corrosión del hierro y acero a través de la unión de diferentes empresas y otras entidades que se encuentran en este sector industrial. Para ello, se realizan diferentes estudios y trabajos para la mejora de las técnicas que se emplean en este tipo de industria. También se hacen divulgaciones y se organizan actividades didácticas para asesorar y transmitir conocimientos sobre la galvanización [2].

Cabe destacar que hay muchas industrias de galvanizado repartidas por todo el estado y que no hay una zona geográfica claramente dominada en este sector.

La Comunitat Valenciana destaca por poseer el 14% de este sector con 24 empresas [3]. A continuación, se muestra un listado con estas empresas y su ubicación en la **Tabla 1.4.1**.

Tabla 1.4.1. Empresas de galvanizado y su localización en la Comunitat Valenciana.

EMPRESA	LOCALIDAD	PROVINCIA
GALVANIZADOS GALJOMA SI	Almassora	Castelló
ZINCATS ULLDECONA SL	Vinaròs	Castelló
GALVANIZADOS ALMAZORA SI	Almassora	Castelló
GALVANIZADOS GRANELL SL	Rafelbunyol	València
SENDA RECUBRIMIENTOS SI	Pobla Farnals	València
GALVANIZADOS ESTELLA SI	València	València
GALVANIZADOS BASOR SI	Castelló de Rugat	València
GALVANIZADOS ROVIRA	Godella	València
GALVANIZADOS VALENCIANA SI	Xest	València
THYSSEN ROS CASARES SA	Puig	València
JOSÉ CASAÑ COLOMAR SA	Rafelbunyol	València
PINTURAS CATAFORESICAS	Almussafes	València
GRUPO POSTIGO INFRAESTRUCTURAS Y SERVICIOS SL	Manises	València
POSTIGO OBRAS Y SERVICIOS SA	Manises	València
POSTIGO. OBRAS Y SERVICIOS SA	Manises	València
BRAUSANZ SA	València	València
AISVAL GARIBO SI	València	València
PINTURAS Y GALVANIZADOS SI	Pobla Farnals	València
PERFILES GALVANIZADOS DE LEVANTE SL	Aldaia	València
GALVANIZADOS CARRUS SI	Elx	Alacant
GALVANIZADOS ALICANTE SI	Alacant	Alacant
CONDISMAT OCIO SL	Alacant	Alacant
TEXTILES Y GALVANIZADOS J MANRESA SI	Cox	Alacant

4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO GENERADOR DE AGUAS RESIDUALES

El proceso de galvanizado, en este caso de galvanizado en caliente, se realiza para conseguir unos recubrimientos de un metal protector sobre la superficie de las piezas de acero y así, proteger la pieza de la corrosión.

Para realizar el galvanizado es necesario acondicionar las piezas. Puede que el metal esté oxidado y haya sufrido degradación natural por estar expuesto al ambiente. Por tanto, se van a aplicar una serie de tratamientos para eliminar y corregir esta corrosión. En la **Figura 1.4.1** se puede observar un ejemplo de la corrosión que presentan las piezas antes del galvanizado.



Figura 1.4.1. Pieza de metal oxidado antes de ser tratado y galvanizado.

El proceso de corrosión del acero y del hierro es complejo y provoca graves daños económicos, de seguridad ciudadana o laboral. Es necesario comprender que la corrosión es un proceso natural, el cual se agrava porque existen variaciones en la composición del mismo metal, las cuales afectan a este proceso corrosivo. La presencia de impurezas y la exposición a un ambiente irregular también son un factor determinante en la corrosión.

Se tiene que tener en cuenta que este fenómeno depende de factores como la humedad, temperatura, el pH del electrolito, el potencial eléctrico y la resistencia de las áreas anódicas y catódicas.

Por tanto, en la **Figura 1.4.2** [1] se puede observar como varía la velocidad de corrosión según la zona demográfica donde esté situado el metal. En España, los galvanizados con Zinc serán más resistentes en las zonas del Levante. En cambio, en el norte e interior de España la velocidad de oxidación del Zinc es mayor, debido a que en estas zonas geográficas el clima es más húmedo con

un mayor volumen de precipitaciones en comparación de otras zonas de España, requiriendo un espesor de galvanizado mayor.

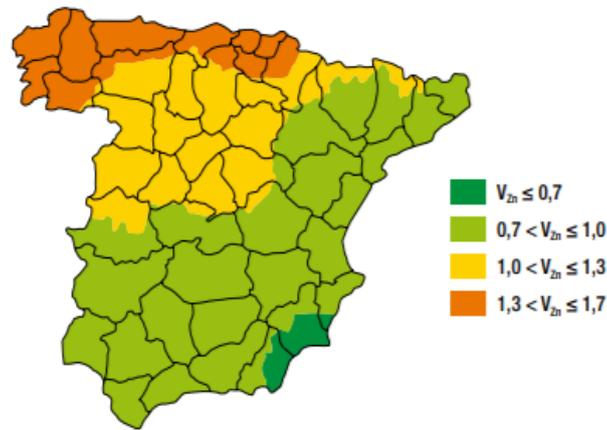


Figura 1.4.2. Mapa de la velocidad de corrosión del zinc en España.

Mediante el galvanizado en caliente con zinc se consigue crear una serie de capas de aleación de zinc-hierro que se unen al acero base. Esta protección se realiza mediante la oxidación o sacrificio del zinc, llamado también ánodo galvánico o de sacrificio. Ésta capa protectora evitará la oxidación en zonas que habían sido dañadas o superficies que hayan quedado expuestas [4].

El Zinc posee un potencial más anódico y por tanto, posee más tendencia a la corrosión. Esto provocará que con la oxidación de este metal exista mayor protección del hierro o del acero.

Existen otras formas de proteger al acero frente a la corrosión como puede ser el uso de plásticos o pinturas especiales. Se trata de técnicas de galvanizado en frío. Pero este tipo de protecciones envejece de forma más rápida, dejando expuesto el metal al ambiente y facilitando su corrosión. Por tanto, en general este tipo de técnicas no poseen tantas ventajas como el galvanizado en caliente.

Para la redacción de este TFG se consideró una industria de galvanizado en caliente. La estructura que se forma al realizar el galvanizado es compleja. Primero, se forma una capa delgada encima del acero que se conoce como Gamma y tiene aproximadamente una micra de espesor (0,001 mm). Esta capa está constituida por una aleación de hierro y zinc con aproximadamente un 25 % de hierro. Encima de la capa Gamma se encuentra la capa Delta, formada por un 12% de hierro. La capa Zeta es se encuentra después de la Delta, es la más gruesa y solo contiene un 6% de hierro. Por último, la capa más externa, o capa Eta, está constituida por zinc puro únicamente. Este conjunto, que representa el recubrimiento galvanizado, presenta un aspecto metálico brillante, el cual desaparecerá con el tiempo debido a las reacciones que tendrá lugar el zinc con el ambiente [5]. Esta capa exterior resultante se llamará de pasivación. Ésta se puede forzar también durante el proceso del galvanizado mediante la adición de una serie de reactivos pero que quitará el aspecto brillante característico. A continuación, en la **Figura 1.4.3.** [5] se pueden ver todas las capas descritas anteriormente.

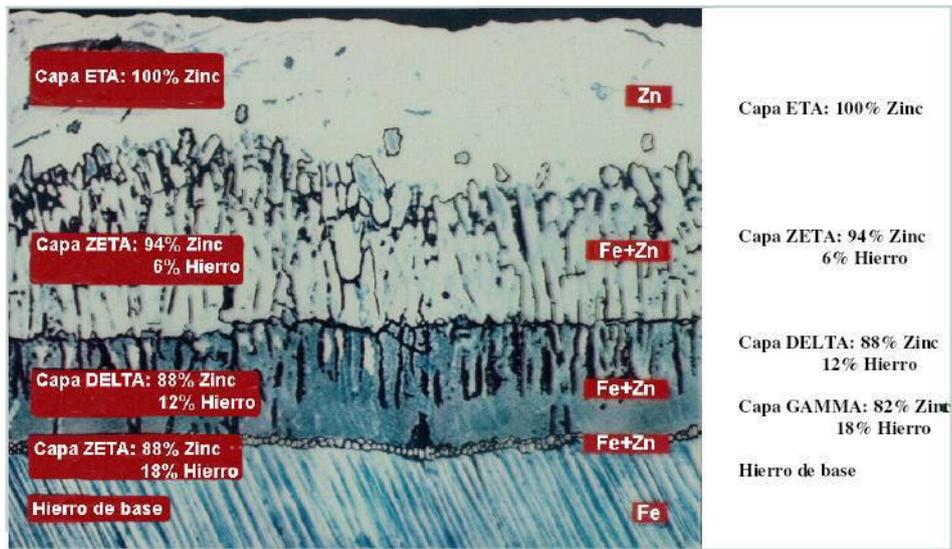


Figura 1.4.3. Capas formadas en el proceso de galvanizado.

En la **Figura 1.4.4** se explica cuáles son las etapas del proceso de galvanizado en caliente.

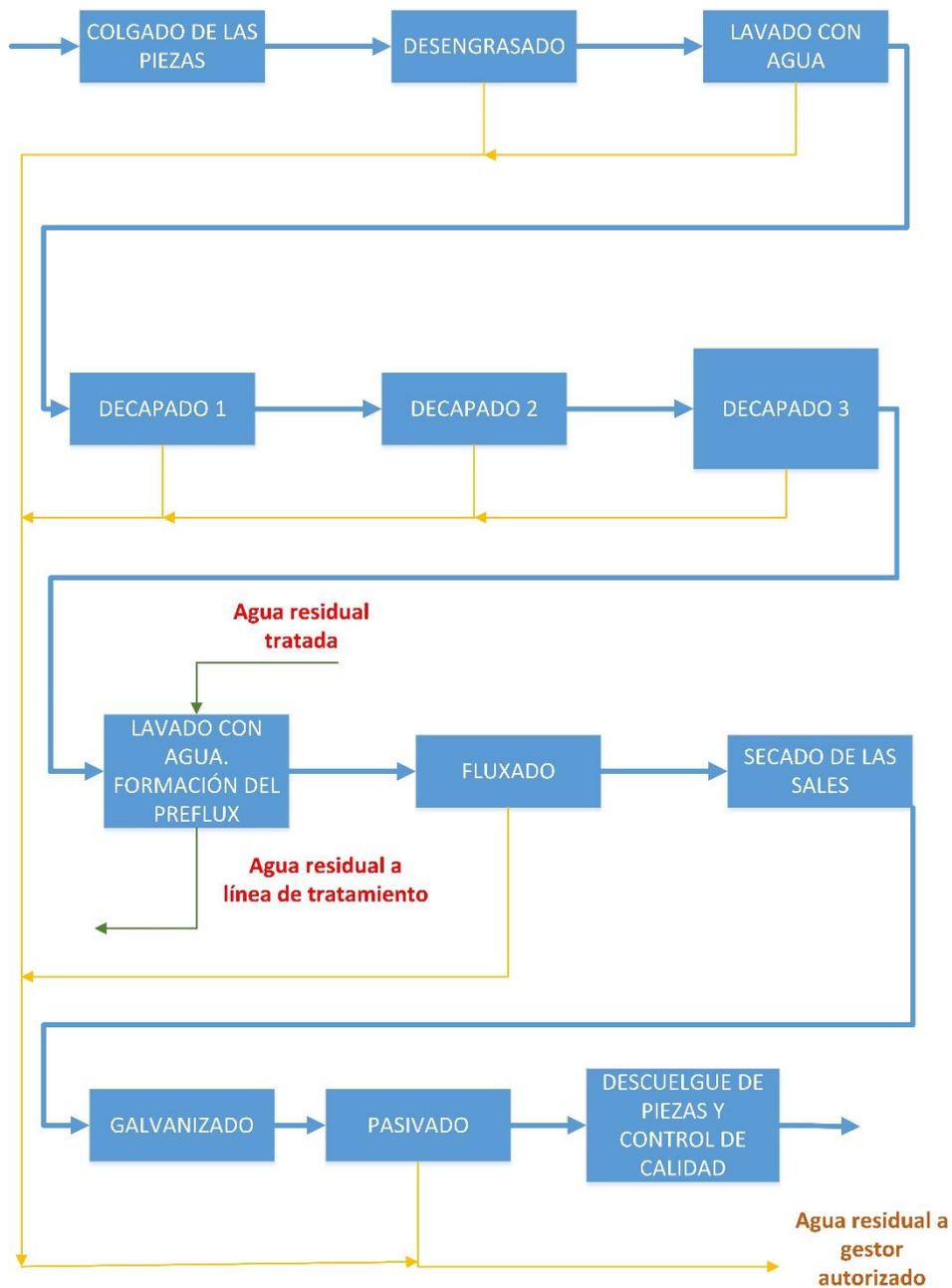


Figura 1.4.4. Esquema de galvanizado en caliente.

COLGADO DE LAS PIEZAS

Antes de empezar el proceso de galvanizado es necesario el cuelgue de las piezas en unos soportes unidos a un puente grúa que trasladarán las piezas por las diferentes etapas del galvanizado. En la **Figura 1.4.5** se puede ver un ejemplo del colgado de las piezas.



Figura 1.4.5. Colgado de las piezas a galvanizar.

DESENGRASE

El proceso de galvanizado empieza por una primera etapa donde se van a eliminar los residuos de grasa y/o aceites procedentes de la propia fabricación de las piezas metálicas o del uso habitual que hayan tenido. En algunas industrias, el desengrase puede ser una etapa combinada con el decapado y, por tanto, se realiza también el decapado de las piezas.

En este caso, se emplea un desengrase alcalino a temperatura media, en el cual, el baño se encuentra a unos 60°C y actúa un desengrasante formado por un tensoactivo específico e hidróxido sódico.

En este baño, se van a generar aguas residuales las cuales cuando se saturan en grasas, son vaciadas y tratadas por un gestor externo autorizado. La balsa es necesario limpiarla antes de volver a formular su contenido.

El tiempo de retención de las piezas en el baño es corto, de unos 25 minutos.

En la **Figura 1.4.6** se puede ver una imagen de una balsa de desengrase.

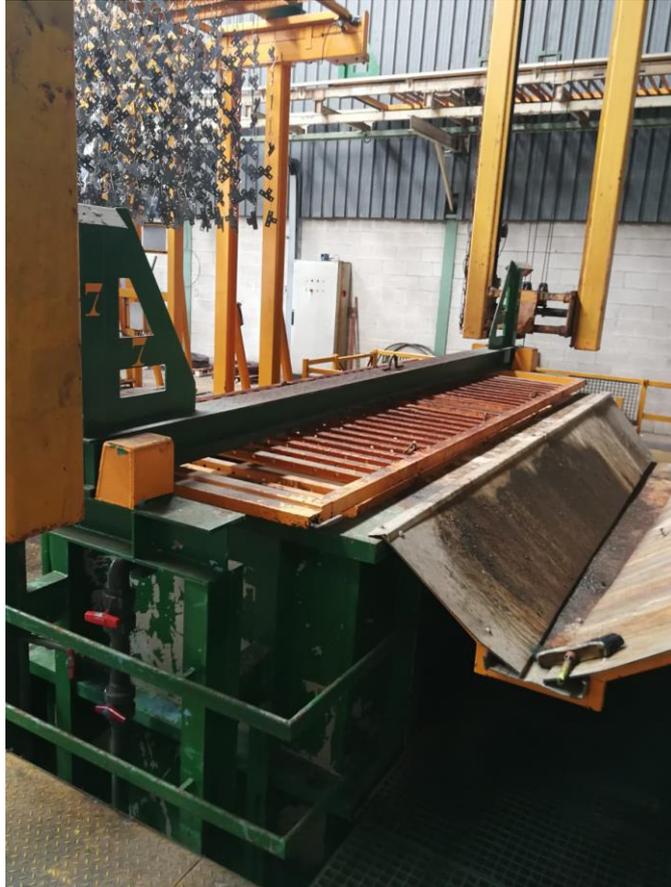


Figura 1.4.6. Balsa de desengrase.

LAVADO CON AGUA

Después de quitar el exceso de grasa de las piezas metálicas es necesario realizar un lavado con agua para eliminar la grasa, el aceite y el jabón que haya podido quedar retenido en la superficie de las piezas.

En esta balsa sólo hay agua a temperatura ambiente y los residuos que se generan en ella también van a ser tratados por un gestor externo.

El método de lavado consiste en introducir las piezas hasta llegar al límite inferior de la balsa y sacarlas rápidamente para continuar con la siguiente etapa.

DECAPADO

A diferencia de los dos procesos anteriores, este va a estar formado por tres balsas en serie. Esto se debe a que las piezas no van a tener siempre el mismo tiempo de retención debido a la diferencia de la composición de la pieza, es decir, de las impurezas que tenga el metal o de la cantidad de óxido que presente en el caso de no ser una pieza recién fabricada. Por tanto, se hace para evitar cuellos de botella en el decapado y obstaculizar las posteriores etapas.

Este método consiste en la introducción de las piezas en un baño con ácido clorhídrico al 33 % para eliminar los óxidos metálicos y otras impurezas para que queden limpias y su posterior galvanizado sea el correcto.

La velocidad de decapado se ve favorecida ante una mayor concentración del ácido o de la temperatura. Sin embargo, la efectividad de esta actividad disminuirá cuando la concentración de sales de hierro formadas por los desprendimientos de las capas de óxido aumente. Para evitarlo, se deberá ir reponiendo, tanto el ácido clorhídrico como el agua perdida por evaporación.

El tiempo de residencia de las piezas en estos baños, como se ha comentado anteriormente, es muy variado y, por tanto, la mejor opción es un control visual sobre las mismas para que adquieran las mejores características del decapado.

Cabe destacar que en esta etapa del proceso se emplean otras sustancias inhibitoras para evitar que el ácido clorhídrico ataque al hierro y solo afecte a la capa de óxido que poseen las piezas.

En la **Figura 1.4.7**, se puede ver la influencia que tiene la concentración de ácido sobre el tiempo del decapado y la concentración de Fe que hay en el baño [6].

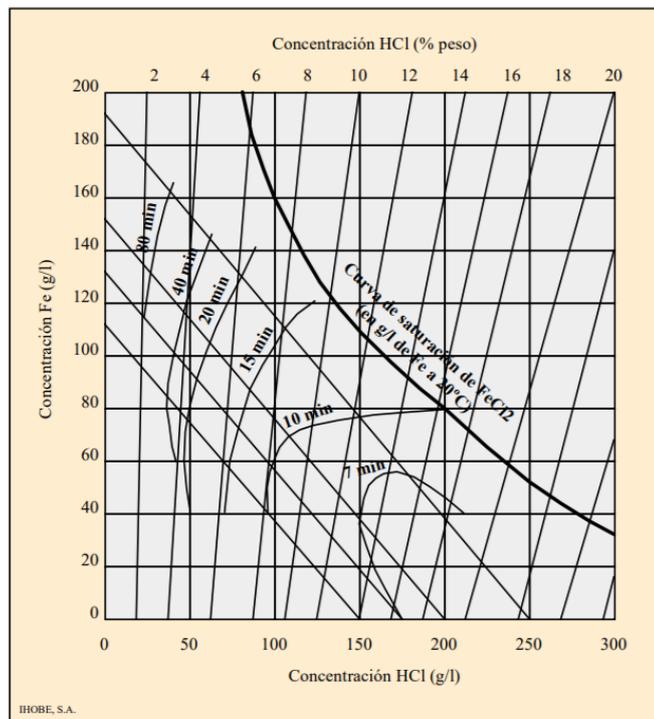


Figura 1.4.7 Influencia de la concentración de Fe y HCl sobre el tiempo de decapado.

Como se puede ver en la **Figura 1.4.7**, la concentración óptima de ácido sería de unos 200 g/L, en la cual el decapado sería muy rápido. Por debajo de estos 200 g/L el decapado se realizaría con tiempos más altos, pero de manera más estable y uniforme.

LAVADO CON AGUA. FORMACIÓN DEL PREFLUX.

Cuando el decapado se ha realizado con éxito y las piezas presentan las características adecuadas, éstas pasan a otro lavado de agua para eliminar el exceso de ácido y que las mismas piezas lo arrastren a otras balsas. Este baño presenta las mismas características que el descrito para el lavado de las piezas después del desengrase y por tanto, se realiza a temperatura ambiente con un solo enjuagado de las mismas.

El agua de las balsas de Preflux se va saturando en hierro debido a los desprendimientos por acción del ácido sobre los óxidos metálicos y otros restos que se encuentran en la superficie de las piezas. Cuando la concentración de hierro es superior a 1 g/L, el agua se debe llevar a la línea de tratamiento de aguas para depurarla y disminuir la concentración de este metal.

El diseño de esta línea, así como de los fangos generados en la misma es objeto del presente TFG. El agua depurada será reintroducida en la etapa de lavado con agua para posteriores lavados.

En la **Figura 1.4.8** se aprecia la balsa con el Preflux que será tratado.



Figura 1.4.8 Balsa para después del decapado. Formación del Preflux.

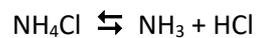
FLUXADO

Esta etapa, también denominada de mordentado, sirve para eliminar las impurezas que no se hayan eliminado en etapas anteriores y también, como activación de la superficie de hierro de las piezas y así asegurar un buen contacto con el zinc en el galvanizado.

Para ello se añaden disoluciones de cloruro de zinc y de cloruro amónico. En las balsas, la concentración de cloruro de zinc debe estar comprendida entre 280 y 300 g/L, en cambio la de cloruro amónico debe ser menor, de 230 a 250 g/L.

El pH del agua tiene que estar entre 4 a 5 para que precipite el hierro en forma de hidróxidos y así evitar que se formen matas de zinc.

En los baños de fluxado se va a producir la siguiente reacción:



Esta reacción va a estar desplazada a la derecha y por tanto, el ácido clorhídrico va a tener un efecto decapante. Aunque el efecto sería mucho más pronunciado si la temperatura de los baños fuese mayor.

Cuando la concentración de hierro sea mayor de 1 g/L o las concentraciones de las sales sobrepasen los límites anteriores, el contenido del baño de fluxado deberá ser depurado. Este tratamiento se realiza mediante los servicios de un gestor externo.

En la **Figura 1.4.9** se observan los tres baños en serie para el decapado.



Figura 1.4.9 Imagen de las tres balsas donde se realiza la etapa de decapado.

SECADO DE LAS SALES

El objetivo principal de esta etapa es evitar que se formen salpicaduras al introducir las piezas en el zinc fundido. Estas salpicaduras se producen por la evaporación del agua que se pueda encontrar en la superficie de las piezas debido a la alta temperatura de los baños.

Para ello, el secado se lleva a cabo mediante aire caliente que precalienta las piezas que van a ser galvanizadas y así evitar un futuro choque térmico que proporcione un acabado inadecuado.

GALVANIZADO

Una vez realizadas las etapas descritas anteriormente, se sumergen las piezas en un baño de zinc fundido con una pureza del 99.99% a una temperatura de unos 450°C.

Al entrar las piezas en el baño, como van impregnadas de las sales del fluxado, al entrar en contacto con el zinc a esa temperatura se queman, quedando retenidas en la superficie. Por este motivo, la velocidad de introducción de las piezas metálicas debe ser lo más rápida posible para que la capa de galvanizado que se forme quede constituida de manera uniforme [7].

La reacción de unión del metal base a la superficie metálica de la pieza es muy rápida al principio, formándose el espesor principal de la capa de galvanizado en este tiempo. Posteriormente, la capa formada no aumentará mucho su grosor debido a que la velocidad disminuye. El tiempo que pasa la pieza dentro del baño depende del grosor que se requiera de galvanizado, pero no suele sobrepasar los 2 o 3 minutos.

Pasado el tiempo necesario para el galvanizado, antes de extraer las piezas se deben eliminar de la superficie las sales quemadas para evitar que se peguen a la superficie del metal. Al contrario que en la introducción de las piezas, la velocidad a la que se extraen debe ser lenta para evitar que se formen gotas en el recubrimiento y por tanto, perjudicar el aspecto final.

En la **Figura 1.4.10** se puede ver la balsa donde se realiza el galvanizado y como se introducen las piezas en dicha balsa.



Figura 1.4.10. Imágenes de la balsa y del proceso de galvanizado.

PASIVADO

Esta es la última etapa del proceso. Se realiza para evitar que se formen manchas en la superficie del galvanizado por la acción de una humedad excesiva en el ambiente. Las manchas son un producto del hidróxido de zinc que se forma al reaccionar el metal del galvanizado con el agua del ambiente y, por tanto, el acabado que se obtendría sin esta etapa no sería el deseado.

El pasivado se realiza mediante la inmersión de las piezas ya galvanizadas en un baño con un producto especial a base de cromo trivalente (*Lanthane Blue*). Esta etapa se realiza a temperatura ambiente y durante un breve periodo de tiempo.

En la **Figura 1.4.11** se observa la balsa para el pasivado de las piezas.



Figura 1.4.11. Balsa donde se realiza el pasivado de las piezas galvanizadas.

DESCUELGE DE PIEZAS Y CONTROL DE CALIDAD

Una vez ha concluido la etapa de pasivado, las piezas que aún siguen en el puente-grúa, se descuelgan. Es necesario realizar un control sobre el grosor adquirido en el galvanizado, que debe cumplir una serie de requisitos según la norma UNE-EN-ISO 1461:2009 [8]. Estos valores se recogen en la **Tabla 1.4.2**.

Tabla 1.4.2. Espesores mínimos de zinc en el galvanizado según la norma UNE-EN-ISO 1461:2009.

Espesor de la pieza	Valor local (mínimo)(μm)	Valor medio (mínimo)(μm)
Acero ≥ 6 mm	70	85
Acero ≥ 3mm hasta < 6mm	55	70
Acero ≥ 1.5 mm hasta < 3mm	45	55
Acero < 1.5 mm	35	45
Piezas moldeadas ≥ 6mm	70	80
Piezas moldeadas < 6mm	60	70

5. AGUAS GENERADAS EN EL PROCESO

Como se ha visto en el apartado anterior, **4.2 Descripción general del proceso generados de aguas residuales**, en el proceso de galvanizado se generan varios tipos de aguas residuales que necesitan ser tratadas. Éstas son:

-AGUA DEL DESENGRASE QUÍMICO: Es la primera agua residual que se genera en el proceso. En este caso los parámetros que se van a tener en cuenta son las grasas generadas por las piezas metálicas y también la concentración de un desengrasante alcalino empleado ("*PRELIK 1760*"). Al tratarse de un residuo peligroso, la depuración de estas aguas está a cargo de un gestor externo autorizado. El agua del lavado del desengrase químico posee unas características similares y también es tratada por un gestor externo autorizado.

-AGUA RESIDUAL DE LA ETAPA DEL DECAPADO: El agua residual que se forma en el decapado depende de la frecuencia de galvanizado y de la naturaleza de las piezas utilizadas en el proceso. El agua formada en estas balsas, que posteriormente se depurará, influye en el estado de las piezas después del decapado. Por todo esto, se tendrá que tener en cuenta las concentraciones de metales, de ácido clorhídrico y de los inhibidores que se emplean en esta etapa, para un correcto funcionamiento del proceso productivo. Esta agua se lleva a gestor autorizado.

-PREFLUX: El Preflux se forma en la balsa de lavado de las piezas metálicas después del decapado. Es necesario depurar esta agua ya que satura en hierro y se va acidificando por el ácido que arrastra de la etapa de decapado. Cuando la concentración de hierro en esta corriente alcanza 1 g/L, el agua se va a llevar a línea de tratamiento de aguas. El diseño de esta línea, así como de los fangos generados en la misma, es objeto del presente TFG.

Las características límite del Preflux cuando se va a depurar son las siguientes:

-pH: 0.6

-Concentración de Fe: 1 g/L

-FLUX: El flux se forma en la balsa donde se añaden las sales, es decir, en la balsa de flux. En este caso, a parte de la concentración de hierro también se van a tener en cuenta la concentración de las sales y los cloruros. El cloruro de zinc debe de estar por debajo de los 300 g/L y el cloruro amónico por debajo de 250 g/L. El hierro debe permanecer al igual que en el flux por debajo de 1 g/L. A diferencia del caso anterior, el Flux es depurado por un gestor externo y, por tanto, el diseño de la depuración no va a tener en cuenta los parámetros del agua residual generada en esta etapa.

-PASIVADO: El residuo formado en la etapa de pasivado está formado por hierro, zinc y el producto empleado para realizar la pasivación de las piezas ("*Lanthane Blue 126*"). Cuando la balsa se satura de zinc y hierro, sobrepasando unos límites, un gestor externo autorizado se encarga de su gestión.

6. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL A TRATAR

El diseño de la instalación del presente TFG corresponde al tratamiento del agua residual generada en la etapa PREFLUX, cuyas características límite para su depuración son las siguientes:

Debido a que estas aguas no se vierten a alcantarillado, sino que se recirculan, no deben cumplir la legislación actual y, por tanto, las características deberán ser las óptimas para reintroducirlas en el proceso de galvanizado y producir como consecuencia un ahorro de agua que se consume en el proceso.

En los procesos de galvanizado, como se ha descrito en el apartado **5. Aguas generadas en el preflux**, se generan varios tipos de aguas que se deben gestionar de manera correcta debido a su peligrosidad. En este caso hay cinco tipos de aguas diferentes, de las cuales solo una se va a tratar internamente y recircular en el proceso. El resto serán gestionadas por una empresa externa debido a su peligrosidad y dificultad para una depuración con EDARI.

Para la descripción del proceso de depuración y sus equipos, se va a dividir en dos partes: La línea de aguas y la línea de fangos.

7. ESQUEMA DEL TRATAMIENTO PROPUESTO

A continuación, se desarrollará cada uno de los equipos del esquema de la depuración presentes en la **Figura 1.7.1**:

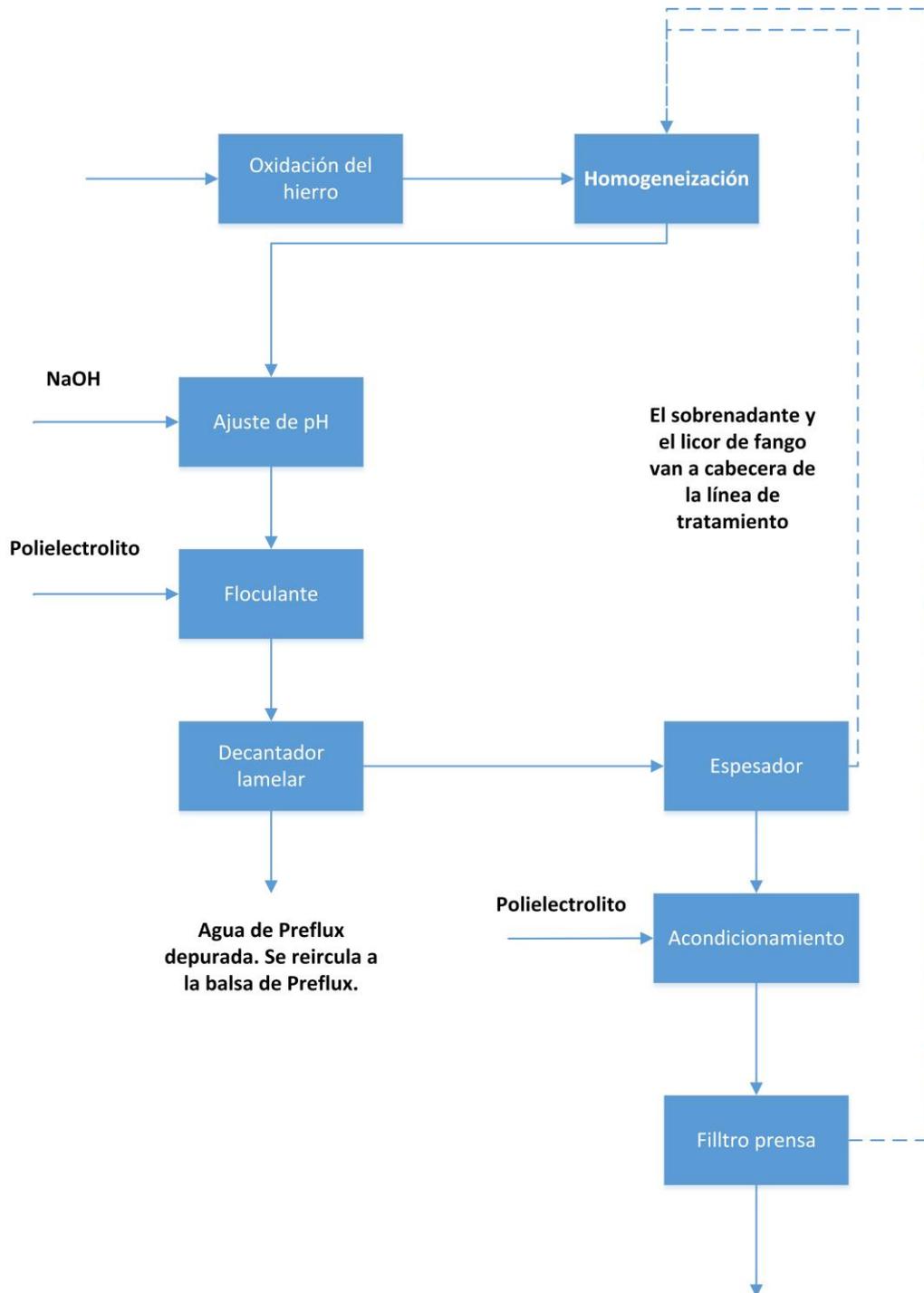


Figura 1.7.1. Esquema del tratamiento de las aguas propuesto.

7.1. LÍNEA DE AGUAS

En este apartado se describen y justifican los tratamientos que componen a la línea de aguas presentes en el **Plano 01** del **Documento II: Planos**.

7.1.1. AIREACIÓN (OXIDACIÓN DEL HIERRO)

La aireación es la primera etapa del proceso de depuración.

El agua del Preflux contiene Fe^{+2} procedente de la superficie de las piezas que van a ser galvanizadas y este metal debe ser eliminado. El hierro se eliminará por decantación en una etapa posterior, pero antes hay que realizar la oxidación del Fe^{+2} a Fe^{+3} puesto que la solubilidad del $\text{Fe}(\text{OH})_3$ es mucho menor que la del $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y, por tanto, decantará con mayor facilidad.

La oxidación del Fe^{+2} a Fe^{+3} se realiza con aire y para llevar a cabo esta oxidación se van a necesitar difusores que aporten el aire necesario.

7.1.2. AJUSTE DE pH

En la depuración de aguas residuales o en una EDARI es habitual un ajuste por diversos motivos:

- Cumplimiento de la legislación vigente, más concretamente de la Ordenanza Municipal del municipio donde esté ubicada dicha EDARI.
- Ajuste al pH dentro del rango de vida de los microorganismos.
- Acidificación o alcalinización del medio para precipitar compuestos.
- Neutralización de las aguas para realizar otros procesos posteriores.
- Ajuste pH óptimo del proceso en caso de recirculación del agua.

En este caso va a ser necesario subir el pH para conseguir la precipitación del Fe^{+3} formado en la etapa anterior mediante la aireación. Como el agua residual de PREFLUX es muy ácida, la precipitación se va a realizar mediante la adición de NaOH.

La adición de NaOH se va a realizar desde un tanque mediante una bomba de dosificación al tanque de ajuste de pH. El $\text{Fe}(\text{OH})_3$ formado, como se ha mencionado en el **apartado 7.1.1**, es una sal que precipita fácilmente.

7.1.3. FLOCULACIÓN

En la depuración de aguas es habitual una etapa de coagulación-floculación. Esta etapa sirve para estabilizar las suspensiones coloidales que sean más estables y favorecer la formación de flóculos de forma que sean más fáciles de eliminar por decantación.

Pero para la depuración del Preflux no va a ser necesario una coagulación, debido a que los coagulantes más empleados son a base de hierro, como el FeCl_3 . Y, por tanto, sería contraproducente añadir más hierro al medio, cuando se quiere eliminar.

La floculación va a conseguir mediante la adición de un polielectrolito agrupar los micro flóculos. En este caso, el proceso se realiza con una agitación lenta de una duración de 10 a 30 minutos.

La floculación se va a realizar en un tanque provisto de unas paletas y un motor para la agitación y el floculante se añadirá desde un tanque mediante una bomba dosificadora. El floculante que se va a emplear es el "FLOCUSOL – KW/711" y es un polielectrolito de tipo aniónico, el cual puede trabajar en cualquier rango de pH y que se ha elegido entre otros polielectrolitos mediante un ensayo experimental descrito en el apartado **8. Ensayos de laboratorio**.

7.1.4. DECANTACIÓN

La decantación es un tratamiento físico en el cual se van a separar los flóculos formados anteriormente mediante la acción de la gravedad. Para ello, es necesario reducir la velocidad del agua.

El parámetro de diseño de los decantadores es la velocidad ascensional o carga hidráulica (q_A). Este parámetro va a determinar la velocidad y facilidad de decantación y se debe cumplir:

$$q_{A_agua} < q_{A_partículas}$$

Cuando la velocidad ascensional del agua sea menor que la velocidad ascensional de las partículas, éstas últimas decantarán.

Existen varios tipos de decantadores, pero para este caso concreto se ha elegido un decantador lamelar debido a que se pueden emplear caudales no muy grandes y la extracción de los fangos puede realizarse de manera continua.

Los decantadores lamelares no son de gran tamaño y están formadas por placas (o lamelas) de polipropileno o policloruro de vinilo dispuestas en paralelo y con un grado de inclinación determinado. Tanto el número de lamelas, como su tamaño o el grado de inclinación son parámetros de diseño para estos equipos y por tanto variarán según el tipo de agua residual a tratar.

Al colocar las placas de manera paralela en el tanque se obtiene una gran superficie de decantación y posibilita la reducción del área superficial de los tanques.

El modo de funcionamiento de los decantadores lamelares consiste en hacer pasar el agua desde la parte inferior del decantador a la superior, para que los sólidos que se depositen sobre las lamelas decanten por la fuerza de gravedad en el tanque de decantación.

Los parámetros más importantes para el diseño de estos equipos son:

- **Velocidad ascensional:** es la velocidad a la que van a decantar las partículas sedimentables. Este parámetro debe ser superior a la velocidad ascensional del agua y será determinante para el cálculo de la superficie proyectada y el resto de los parámetros.
- **Número de lamelas:** El número de lamelas viene determinado por el caudal y la velocidad ascensional. Cuanto más grande sea el número de lamelas, menor será la velocidad ascensional.
- **Inclinación de las lamelas:** En este caso, la inclinación de las lamelas también va a tener influencia sobre la velocidad ascensional. Al aumentar la inclinación de las lamelas, la velocidad ascensional también va a ser mayor. Pero hay que tener en cuenta que, a una inclinación muy baja, por debajo de los 45º, la decantación provocaría que se acumulasen los fangos, disminuyendo la eficacia del proceso. Y con una inclinación de la lamela excesiva, más de 60º la decantación no sería efectiva.

El proceso de decantación es el último tratamiento en la línea de aguas que se realiza al Preflux, debido a que el sobrenadante que sale del decantador se llevará a un depósito. Desde este mismo depósito se recirculará a la etapa de lavado del proceso sin reajustar el pH, ya que cuando entre en contacto con el agua de la balsa de Preflux, no se superará el pH mínimo de precipitación del hierro. El fango generado se continuará tratando en la línea de fangos con sus respectivos equipos que se describirán a continuación.

7.2. LÍNEA DE FANGOS

En este apartado se va a describir y justificar los tratamientos que componen a la línea de aguas presentes en el **Plano 01** del **Documento II: Planos**.

7.2.1 CONCENTRACIÓN

Este proceso se lleva a cabo en el espesador en el cual se produce una concentración de los fangos generados en la decantación. EL objetivo principal de esta etapa es la concentración de los sólidos, separando la fase sólida y líquida lo máximo posible.

Esta etapa se realiza en un tanque estático y está basado en el mismo principio que el decantador lamelar; separar las dos fases por gravedad.

Esta reducción de volumen de los fangos tiene como consecuencia un mayor rendimiento en la etapa posterior de deshidratación etapas posteriores o también beneficios económicos a la hora de su gestión.

El sobrenadante que sale por la parte superior del espesador se recirculará a cabecera del proceso la depuración y el fango extraído por la parte inferior continuará en la línea de fangos y se deshidratará en un filtro prensa.

7.2.2 DESHIDRATACIÓN

La etapa de deshidratación es una etapa física que tiene como objetivo reducir al máximo la humedad del fango generado.

Con esta operación se espera que el fango disminuya al máximo su volumen y su peso para facilitar su posterior gestión, manipulación y transporte.

Se va a realizar la deshidratación mediante un filtro prensa de placas, en el cual se van a generar una serie de tortas con un bajo porcentaje de humedad y alta concentración de sólidos. En cambio, la concentración de sólidos en suspensión en el licor del fango va a ser baja. Para favorecer la separación del agua del fango, se añade un polielectrolito. De la deshidratación se obtiene un fango que será gestionado por un gestor externo autorizado.

8. ENSAYOS DE LABORATORIO

Antes de realizar el diseño de los equipos que forman parte del tratamiento del Preflux fue necesario realizar un ensayo en el laboratorio para obtener datos en cuanto a la línea de fangos necesarios para el diseño.

8.1. MATERIAL

- Dos vasos de precipitados de 1 L
- Tres vasos de precipitados de 500 mL
- Vaso de precipitados de 50 mL
- Micropipeta
- Bureta 50 mL
- Conos Imhoff
- Equipo Jar Test
- pH-metro

Reactivos:

- FeCl_3 (30% p/p y densidad = 1,306 kg/L)
- NaOH (98% riqueza)
- Agua
- Floculantes: Flocusol KW/711, Flocusol KW/18

8.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Mediante este ensayo de laboratorio se pretende a través de un Jar Test obtener de forma cualitativa la cantidad de floculante a añadir y el valor de la V_{30} del fango sedimentado. La V_{30} son los mL de fango que sedimentan por cada litro de agua residual.

Primero, se realizan en dos vasos de precipitados dos disoluciones de 1 L de 1 g/L de FeCl_3 que simularán el agua residual. A continuación, se añade NaOH 10M hasta alcanzar un pH de 5. Los volúmenes de NaOH añadidos se especifican en el apartado **8.3 Resultados**. El montaje del ajuste de pH realizado en el laboratorio se puede observar en la **Figura 1.8.1**.



Figura 1.8.1 Imagen del montaje del ajuste de pH de la disolución de FeCl_3 con NaOH para ajustar el pH a 5.

Cuando las disoluciones han alcanzado un pH 5, una de ellas se dividirá en tres partes iguales de 300 mL en tres vasos de precipitados de 500 mL para realizar el Jar Test y la otra disolución se empleará para determinar V_{30} en un Cono Imhoff con el tipo y volumen de floculante seleccionados en el Jar Test.

En cuanto al Jar Test, se añade en cada vaso un tipo de floculante diferente y diferentes volúmenes para determinar qué tipo de polielectrolito es el óptimo para realizar la etapa de floculación. El montaje del Jar Test se encuentra en la **Figura 1.8.2**.



Figura 1.8.2 Ensayo Jar Test con diferentes tipos de floculante y diferentes concentraciones de este.

Cuando se añade el floculante se agita a 50 rpm unos 30 minutos. Una vez ha concluido este tiempo, se deja en reposo y se mide a los 30 minutos la V_{30} .

A partir de estos datos se determina el tipo y el volumen de floculante óptimos y con ellos se determina la V_{30} y V_{24h} de un litro de agua residual en un Cono Imhoff.

8.3. RESULTADOS

- Ajuste de pH=5 de la disolución de 1g/L de Fe^{+3} con NaOH 10M:

Disolución 1:

pH_inicial = 2.19

Volumen de NaOH 10 M añadido = 6 mL

pH_final = 5.19

Disolución 2:

pH_inicial = 2.1

Volumen de NaOH 10 M añadido = 5.5 mL

pH_final = 5.13

- Ensayo "Jar-Test":

Para realizar este ensayo emplearon los siguientes tipos y volúmenes de floculante:

-Vaso 1: 6mL Flocusol KW/711

-Vaso 2: 3 mL Flocusol KW/711

-Vaso 3: 3 mL Flocusol KW/18

Los resultados de la V_{30} , presentes en la **Figura 1.8.3**, fueron:

-Vaso 1: 6mL Flocusol KW/711

$V_{30} < 100$ mL y presentaba un sobrenadante transparente

-Vaso 2: 3 mL Flocusol KW/711

$V_{30} < 100$ mL y presentaba un sobrenadante transparente

-Vaso 3: 3 mL Flocusol KW/18

$V_{30} < 100$ mL y presentaba un sobrenadante turbio.

Como se aprecia en la **Figura 1.8.3**, el sobrenadante de la disolución con Flocusol KW/18 no era transparente, por lo que se descartó este polielectrolito. Se eligió el Flocusol KW/711 con un volumen de 3 mL, ya que con esta cantidad presentaba la misma las mismas características con un menor volumen de floculante.

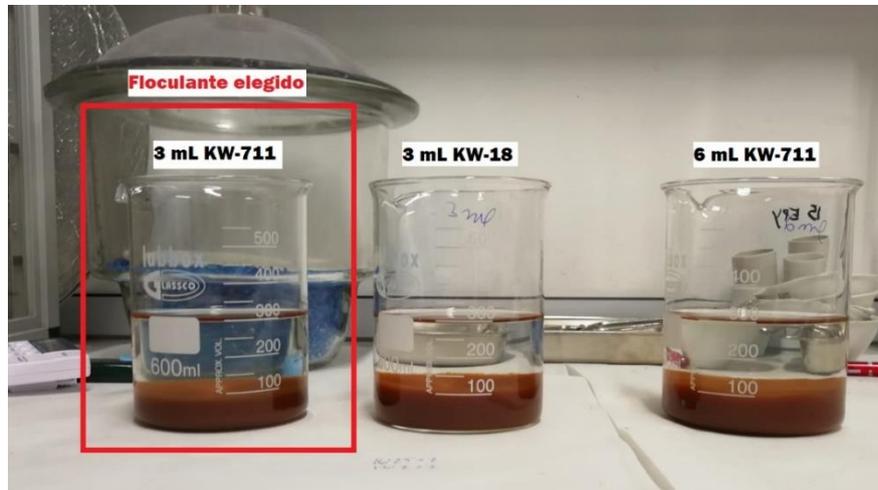


Figura 1.8.3 Resultado del Jar Test con diferentes tipos y concentraciones de floculante.

- Sedimentación Cono Imhoff:

Una vez determinada la cantidad y el tipo de polielectrolito óptimo, se añadirán 10 mL del floculante Flocusol KW/711 a un litro de disolución de 1 g/L de Fe^3 (pH=5). Los volúmenes de fango sedimentado, presentes en la **Figura 1.8.4**, medidos a los 30 minutos y a las 24 horas son:

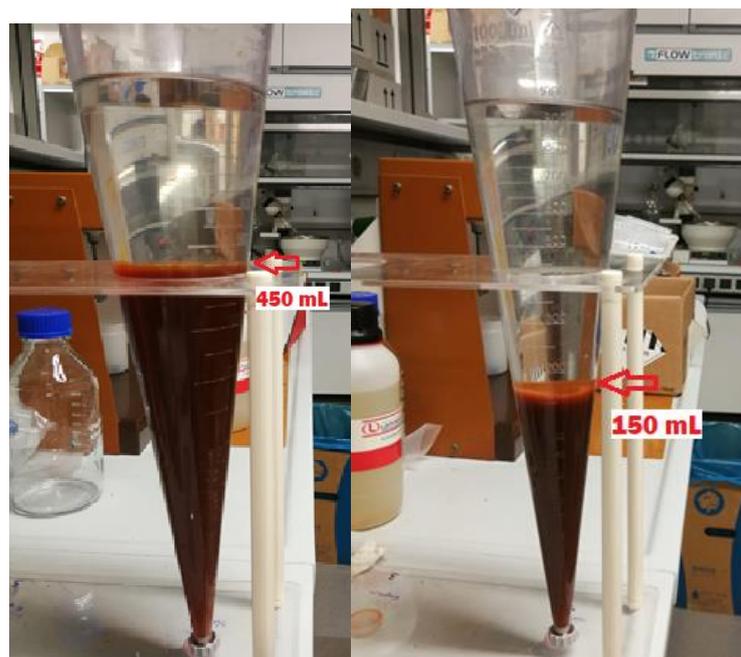


Figura 1.8.4. Resultado de la sedimentación del agua residual en diferentes tiempos.

- V_{30} = 450 mL fango/ 1L disolución, con sobrenadante turbio.

- V_{24H} = 150 mL fango /1 L disolución, con sobrenadante transparente.

Los resultados obtenidos en el laboratorio que serán empleados en el diseño de la depuración del Preflux son:

- Tipo de Floculante: Flocusol KW/711
- Dosis floculante: 1 mL floculante/100 mL agua residual
- V_{24h} : 150mL fangos/1 L agua residual

9. DISEÑO DEL TRATAMIENTO PROPUESTO

Después de realizar el planteamiento del tratamiento del Preflux, es necesario llevar a cabo la descripción detallada y el diseño de los equipos que se van a emplear para dicha depuración.

Para realizar el diseño se considera que la industria trabaja todos los días de la semana, con tres turnos de trabajo de 8 horas al día. Por tanto, el proceso de depuración será en continuo.

Los datos de partida son:

- El caudal de entrada a la depuradora procedente de la balsa de Preflux:

$$Q_{e_Preflux} = 4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- La concentración de hierro y el pH de las aguas a la entrada del proceso de depuración son:

$$pH = 0.6 \quad Fe_e = 1 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Para el diseño de todos los equipos se considerará un 10% de altura adicional como factor de seguridad (FS) por las posibles variaciones de caudal que pueda haber en el funcionamiento de la depuración.

Tanto los sistemas de agitación de los equipos, válvulas de seguridad, bombeo del agua residual como los sistemas de control y automatización de los procesos no serán diseñados debido a que no es objetivo de este Trabajo de Fin de Grado.

En cambio, se diseñarán las bombas encargadas de la dosificación de los reactivos, tanto del NaOH en la etapa de ajuste de pH, como del floculante en las etapas de floculación.

En primer lugar, se van a diseñar los equipos involucrados en la línea de aguas:

DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS

9.1. DISEÑO DE LA ETAPA DE OXIDACIÓN DEL HIERRO

En la **Figura 1.9.1** se encuentra el esquema propuesto para la etapa de oxidación del hierro:

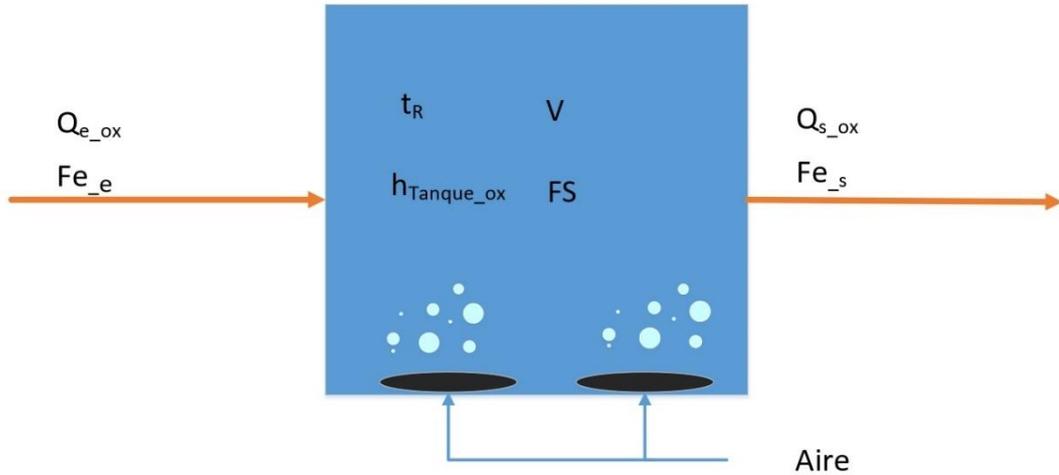


Figura 1.9.1. Esquema del tanque de oxidación del hierro.

El primer equipo que se va a diseñar es el tanque de oxidación de hierro. Esta etapa, como se ha descrito en el apartado **7.1.1 Aireación (oxidación del hierro)**, es necesaria para oxidar de Fe^{+2} a Fe^{+3} de un modo que en la siguiente etapa se forme el $Fe(OH)_3$ que sedimenta con mayor facilidad que el $Fe(OH)_2$.

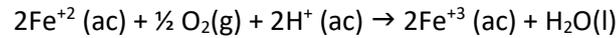
Esta oxidación se podría hacer mediante la adición de reactivos químicos oxidantes o como en este caso, mediante el aporte de oxígeno a través de difusores de aire.

Para el diseño de esta etapa se tendrán en cuenta los parámetros recogidos en la **Tabla 1.9.1**:

Tabla 1.9.1 Datos para el balance en la oxidación del hierro.

Datos	Valor
$Q_{e_ox} \left(\frac{m^3}{d} \right)$	4
$Fe_{-e} \left(\frac{g}{L} \right)$	1
T(K)	293
$R \left(\frac{atm \cdot L}{mol \cdot K} \right)$	0.082
P(atm)	1

El oxígeno que se aporta mediante los difusores reaccionará con el Fe^{+2} que hay en el agua, oxidándolo a Fe^{+3} y reaccionando también con los H^+ libres que hay en el medio formando agua en estado líquido. La reacción que se da es:



A partir de la relación estequiométrica anterior se calculará el aporte de **aire necesario para oxidar el hierro** del Preflux.

Inicialmente, la concentración de hierro en el agua es:

$$\text{Fe}_{-e} = 1 \frac{\text{g}}{\text{L}} \quad \text{PM} := 55.85 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{Fe}$$

A partir de estos datos se obtiene que la concentración molar es:

$$1 \frac{\text{gFe}}{\text{L}} \cdot \frac{1\text{gFe}}{55.85\text{gFe}} = 0.018 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Y, a partir de la relación estequiométrica, se obtienen los moles de oxígeno que se requieren:

$$0.018 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot \text{Fe} \cdot \frac{\frac{1}{2} \text{mol} \cdot \text{O}_2}{2 \text{mol} \cdot \text{Fe}} = 0.0045 \frac{\text{mol} \cdot \text{O}_2}{\text{L}}$$

Y a partir de la ecuación de los gases ideales y suponiendo condiciones normales, se calcula el volumen de O_2 que se tiene que proporcionar para oxidar el hierro:

$$P := 1 \text{ atm}$$

$$n := 0.0045$$

$$T := 293 \text{ K}$$

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad \text{(Ec 9.1)}$$

El volumen que resulta de O_2 que hay que introducir por cada litro de agua residual es:

$$1 \cdot V_{\text{O}_2} = 0.00450.082293$$

$$V_{O_2} = 0.11 \cdot \frac{L \cdot O_2}{L}$$

Pero se tiene que obtener la cantidad de aire necesaria a dosificar. La proporción en volumen de oxígeno en el aire es del 21%:

$$V_{aire} = \frac{0.11 \cdot \frac{L \cdot O_2}{L}}{0.21} = 0.52 \frac{L_{aire}}{L}$$

Si tenemos en cuenta el caudal de entrada al tanque de oxigenación se obtiene:

$$V_{aire} = 0.52 \frac{L_{aire}}{L} \cdot 4000 \frac{L}{h}$$

$$V_{aire} = 2.1 \frac{m^3}{h}$$

En un catálogo de "Sulzer", se va a determinar qué modelo de difusores van a utilizarse para suministrar este caudal de aire, así como y las características técnicas adecuadas para obtener un correcto rendimiento [9].

Para el **diseño de los difusores** de aire es necesario determinar el área total de difusión y el área total del fondo. Con esto, se calculan las áreas y la relación en porcentaje entre ellas:

- Para el cálculo del área del difusor, se emplea el diámetro que aparece en catálogo:

$$\phi_{difusor} = 0.37m$$

$$A_{total_difusor} = \pi \cdot \left(\frac{0.37}{2} \right)^2 = 0.1 \text{ m}^2$$

- Para el cálculo del área total, se tiene en cuenta que los difusores tienen que estar a una profundidad de 4 metros y que el tiempo de retención es de 3 horas:

$$h_{min} = 4m$$

$$t_R = 3h$$

$$\text{Volumen} = Q_{e_ox} \cdot t_R \quad (\text{Ec 9.2})$$

$$\text{Volumen} = 4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 3 \cdot h = 12 \text{m}^3$$

A partir del volumen y del caudal se calcula el área total del fondo:

$$A_{\text{total_fondo}} = \frac{\text{Volumen}}{Q_{e_ox}} = \frac{12}{4} = 3 \text{m}^2$$

Por tanto, la relación entre el área total de difusión y el área total de fondo es:

$$\text{Rel_areas} = \frac{0.11}{3} \cdot 100 = 3.6\%$$

A partir de la **Figura 1.9.2** del catálogo y con una relación del 5% y $2.1 \frac{\text{m}^3}{\text{h difusor}}$:

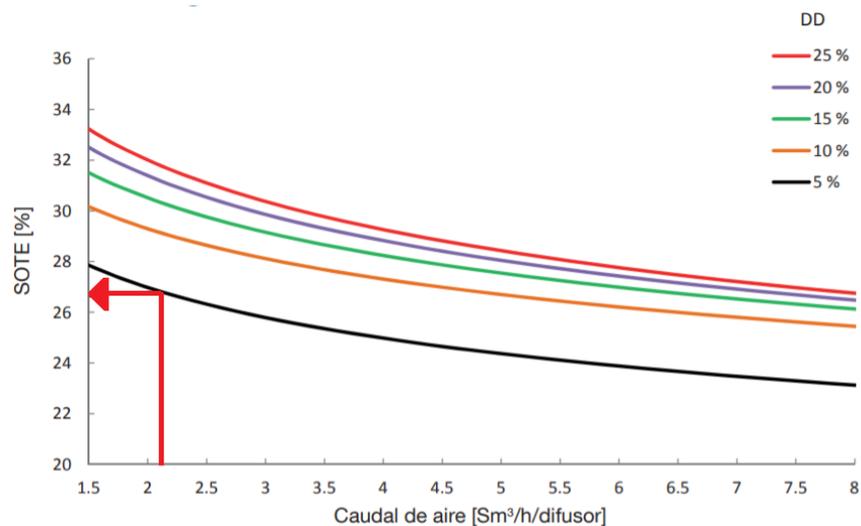


Figura 1.9.2 Relación entre el rendimiento de los difusores, las áreas y el caudal de aire a emplear por cada difusor.

A partir de la **Figura 1.9.2** se obtiene un rendimiento del 27%. A partir de este dato, se recalcula las necesidades de aire para oxidar todo el hierro:

$$V_{\text{aire}} = \frac{2.1}{0.27} = 7.8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Se aproxima a un valor entero:

$$V_{\text{aire}} = 8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Con todos los datos obtenidos anteriormente, lo más adecuado será instalar 4 difusores de sistema de aireación de burbuja fina Gama ABS PIK 300 de $2 \frac{\text{m}^3}{\text{h difusor}}$.

A continuación, se va a calcular la cantidad de agua formada a partir de la estequiometría de la reacción. Como la formación de agua va a depender de cuanto oxígeno se aporta, los moles de O_2 que se introducen en el sistema con los dosificadores elegidos son:

$$V_{\text{O}_2} = 8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0.21 = 1.68 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El caudal en litros/hora es:

$$V_{\text{O}_2} = 1680 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Y con **(Ec 9.1)**, se obtienen los moles de O_2 :

$$n = \frac{P \cdot V_{\text{O}_2}}{R \cdot T} = \frac{1 \cdot 1680}{0.082 \cdot 293}$$

Como resultado se obtiene:

$$n = 69.92 \text{ moles} \cdot \text{O}_2$$

Y con los moles obtenidos, mediante la relación estequiométrica se calculan los litros de agua que se formarán:

$$69.92 \frac{\text{moles} \cdot \text{O}_2}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{mol} \cdot \text{H}_2\text{O}}{0.5 \text{moles} \cdot \text{O}_2} \cdot \frac{18 \text{g} \cdot \text{H}_2\text{O}}{1 \cdot \text{mol} \cdot \text{O}_2} \cdot \frac{1 \text{L}}{1000 \text{g} \cdot \text{H}_2\text{O}} = 2.52 \frac{\text{L} \cdot \text{H}_2\text{O}}{\text{h}}$$

El volumen de agua que se produce debido a la la oxidación incrementará el caudal de salida del tanque de oxidación, pero este valor en comparación con el caudal de entrada es pequeño y por tanto se despreciará.

Las características del agua después de la etapa de oxidación del hierro se presentan en la **Tabla 1.9.2:**

Tabla 1.9.2 Datos de salida del tanque de oxidación de hierro.

Datos	Valor
$Q_{s_ox} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right)$	4
$Fe_s \left(\frac{\text{g}}{\text{L}} \right)$	1

Los difusores de aire de disco seleccionados (Gama ABS PIK 300) están constituidos por una membrana de elastómero microperforado y se pueden usar tanto con aireación continua como en intermitente. Están diseñados para disminuir las pérdidas de carga y garantizar la mayor eficiencia energética posible.

Para el diseño de las **dimensiones del tanque de oxidación** se van a tener en cuenta los datos de la **Tabla 1.9.3:**

Tabla 1.9.3 Datos para el diseño de las dimensiones del tanque de oxidación de hierro.

Datos	Valor
$t_R(\text{h})$	3
$h_{\text{Tanque_ox}}(\text{m})$	4
FS(%)	10

Se calcula primero el volumen a partir de los datos de la **Tabla 1.9.3** y de la **Tabla 1.9.2:**

$$V = Q_{s_ox} \cdot t_R \cdot FS \quad (\text{Ec 9.3})$$

$$V = 12\text{m}^3$$

Las dimensiones del tanque de oxidación se presentan en la **Tabla 1.9.4**:

Tabla 1.9.4. Resultados del diseño de las dimensiones del tanque de oxidación de hierro.

Datos	Valor
$Q_{s_ox} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right)$	4
$v(\text{m}^3)$	12
$h_{\text{Tanque_ox}}(\text{m})$	4

Acudiendo a diferentes catálogos se selecciona un tanque para le etapa de oxidación que reúne las características descritas anteriormente. Este equipo es un Depósito de Oxidación de 12 m³ de la marca “Ventura Orts”.

9.2. DISEÑO DEL TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN

El esquema del tanque de homogeneización se encuentra en la **Figura 1.9.3**:

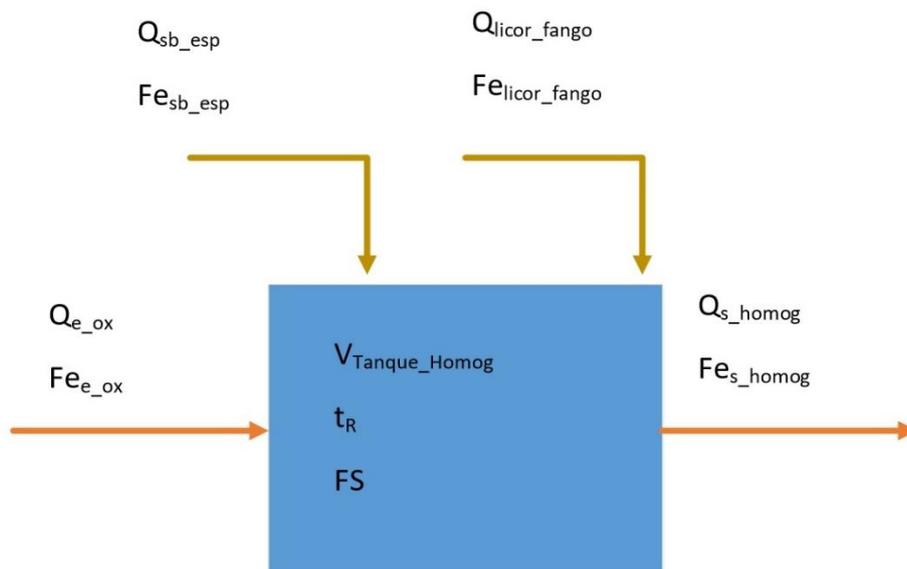


Figura 1.9.3. Esquema del tanque de homogeneización

Al tanque de homogeneización entran las aguas procedentes de tanque de oxidación del hierro (Q_{e_ox}), las recirculaciones del sobrenadante obtenido en el espesador (Q_{sobr}) y también, del licor de fango del filtro prensa (Q_{licor_fango}).

Pero como los datos del sobrenadante y del licor del fango aún no se han determinado, para el diseño del tanque de homogeneización será necesario realizar una estimación previa.

Para la estimación de los caudales y concentraciones de las recirculaciones, se desprecian las etapas previas donde se dosifican reactivos para el ajuste de pH y la floculación

9.2.1. ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SOBRENADANTE DEL ESPESADOR

La **Figura 1.9.4** representa el esquema del sedimentador lamelar para realizar la estimación de las características del sobrenadante.

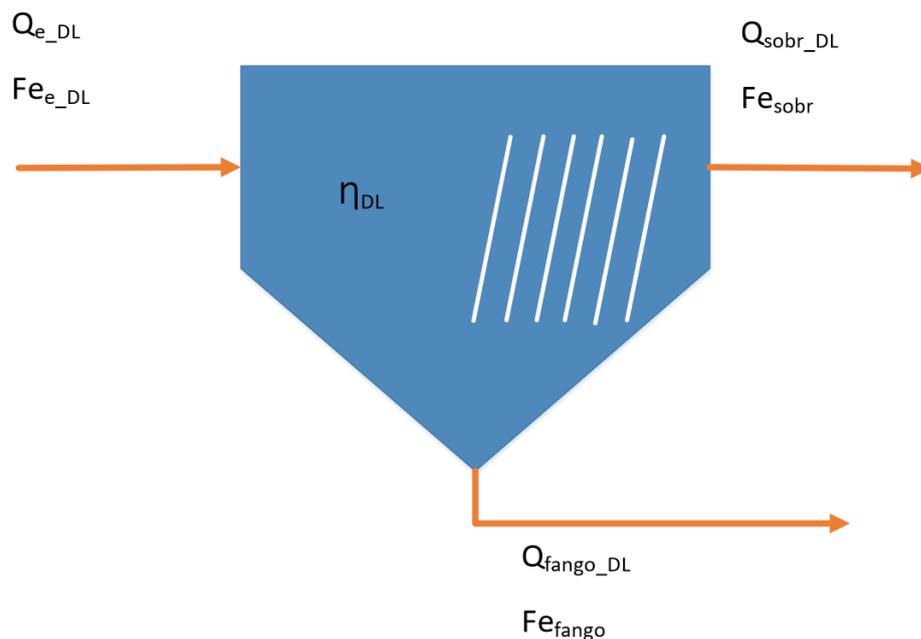


Figura 1.9.4. Esquema del decantador lamelar.

Para la estimación del sobrenadante del espesador es necesario conocer el caudal y la concentración de fangos del decantador lamelar, ya que estos fangos son los que entrarán al espesador.

Para la obtención del caudal de los fangos que salen del decantador lamelar se aplica un balance de materia total y uno de Fe^{+3} al decantador. Los datos de los que se disponen para los balances se presentan en la **Tabla 1.9.5**:

Tabla 1.9.5. Datos para realizar el balance en el decantador lamelar.

Datos	Valor
$Q_{e_DL} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	4
$Fe_{e_DL} \left(\frac{g}{L} \right)$	1
$\eta_{DL} (\%)$	98

Primero, se aplica un balance de materia total:

$$Q_{e_DL} = Q_{sobr_DL} + Q_{fango_DL} \quad (\text{Ec 9.4})$$

$$4000 = Q_{sobr_DL} + Q_{fango_DL}$$

A continuación, se aplica el balance de concentración de hierro:

$$Q_{e_DL} \cdot Fe_{e_DL} = Q_{sobr_DL} \cdot Fe_{sobr_DL} + Q_{fango_DL} \cdot Fe_{fango_DL} \quad (\text{Ec 9.5})$$

Y aplicando el rendimiento del 98% de eliminación de sólidos como $(Fe(OH)_3)$ sobre la **(Ec 9.5)**:

$$Q_{sobr_DL} \cdot Fe_{sobr_DL} = (1 - 0.98) \cdot (Q_{e_DL} \cdot Fe_{e_DL})$$

$$Q_{sobr_DL} \cdot Fe_{sobr_DL} = (1 - 0.98) \cdot (4000 \cdot 0.1)$$

$$Q_{sobr_DL} \cdot Fe_{sobr_DL} = 0.08 \frac{kg}{h}$$

Y con el dato del caudal de fangos del decantador obtenido en el ensayo experimental del apartado **8. Ensayos de laboratorio**, se calcula el caudal de fango que sale del decantador y el caudal de sobrenadante:

$$Q_{\text{fango_DL}} = 4000 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot \frac{0.15 \text{L} \cdot \text{fango}}{1\text{L}} = 600 \frac{\text{L} \cdot \text{fango}}{\text{h}}$$

A partir del resultado del caudal de fango ($Q_{\text{fango_DL}}$) y el caudal de entrada al decantador ($Q_{\text{e_DL}}$), se calcula el caudal de sobrenadante:

$$Q_{\text{sobr_DL}} = Q_{\text{e_DL}} - Q_{\text{fango_DL}} = 4000 - 600 = 3400 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Las concentraciones de Fe^{+3} en el sobrenadante y en el fango se calculan aplicando los balances correspondientes:

$$\text{Fe}_{\text{sobr}} = \frac{80}{3400} = 0.024 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

A continuación, a partir de la **(Ec 9.5)** se calcula la concentración de hierro en el fango:

$$\text{Fe}_{\text{fango}} = \frac{\text{Fe}_{\text{e_DL}} \cdot Q_{\text{e_DL}} - \text{Fe}_{\text{sobr}} \cdot Q_{\text{sobr_DL}}}{Q_{\text{fango_DL}}} = \frac{1 \cdot 4000 - 0.024 \cdot 3400}{600} = 6.53 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Por tanto, las características de las corrientes de salida del decantador lamelar son:

Tabla 1.9.6. Características del agua tras realizar el balance en el decantador lamelar.

Datos	Valor
$Q_{\text{sobr_DL}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	3.4
$Q_{\text{fango_DL}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0.6
$Fe_{\text{sobre}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	0.024
$Fe_{\text{fango}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	6.53

A partir de estos datos obtenidos, presentes en la **Tabla 1.9.6**, se aplican los balances en el espesador, representado a través de la **Figura 1.9.5**:

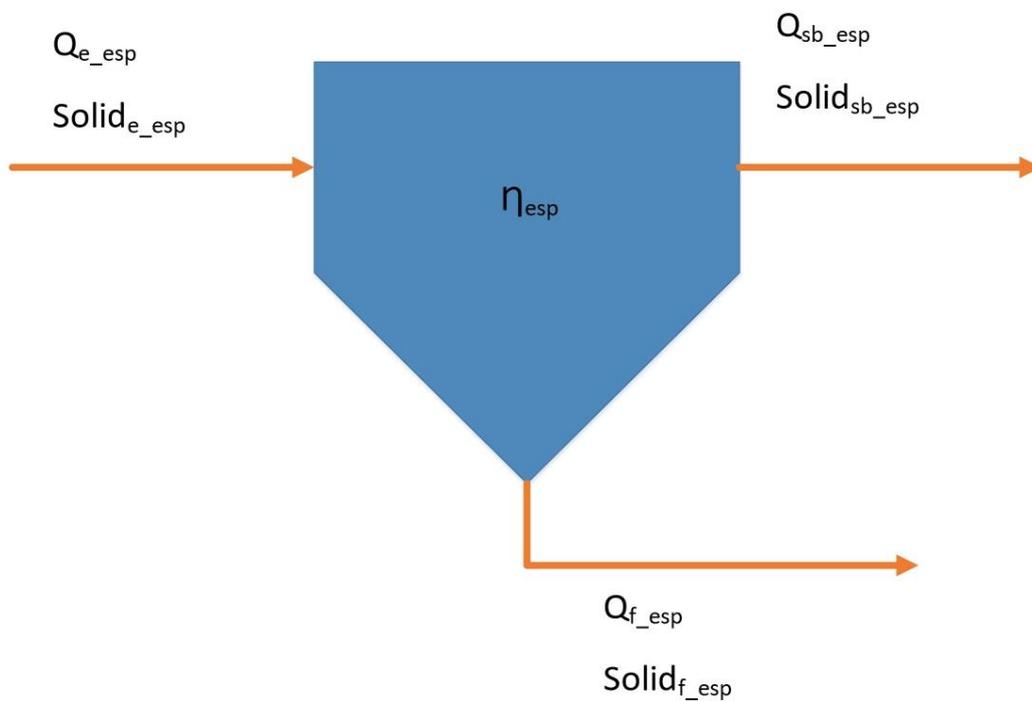


Figura 1.9.5 Esquema del espesador.

La concentración de hierro en el fango calculada se ha realizado aplicando un balance al Fe^{+3} . Por tanto, como en el fango se van a realizar los balances en referencia a los sólidos ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) es necesario realizar la conversión de concentración de Fe^{+3} a $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

La entrada al espesador corresponde a la salida de los fangos del decantador lamelar. Y como la concentración de hierro en el fango calculada a la salida del decantador lamelar se ha realizado aplicando un balance al Fe^{+3} , a continuación, se realiza una conversión de concentración de Fe^{+3} a $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (expresado como sólidos)

$$\text{Solid}_{e_esp} = 6.53 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{Fe}^{+3} \cdot \frac{1 \text{molFe}}{55.85 \text{gFe}} \cdot \frac{1 \text{mol Fe}(\text{OH})_3}{1 \text{molFe}} \cdot \frac{106.87 \text{Fe}(\text{OH})_3}{1 \text{mol} \cdot \text{Fe}(\text{OH})_3} = 12.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Y los datos que se van a considerar para realizar los balances en el espesador se encuentran en la **Tabla 1.9.7:**

Tabla 1.9.7. Datos de entrada para realizar el balance en el espesador.

Datos	Valor
$Q_{e_esp} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0.6
$\text{Solid}_{e_esp} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	12.5
$\text{Solid}_{f_esp} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	20
$\eta_{esp}(\%)$	90

Primero, se aplica un balance total en el espesador:

$$Q_{e_esp} = Q_{f_esp} + Q_{sb_esp} \quad (\text{Ec 9.6})$$

$$0.6 = Q_{f_esp} + Q_{sb_esp}$$

Y considerando los sólidos en suspensión y el rendimiento de eliminación del 90%, se aplica el balance correspondiente:

$$Q_{e_esp} \cdot \text{Solid}_{e_esp} = Q_{f_esp} \cdot \text{Solid}_{f_esp} + Q_{c_esp} \cdot \text{Solid}_{sb_esp} \quad (\text{Ec 9.7})$$

$$Q_{f_esp} \cdot \text{Solid}_{f_esp} = 0.90(Q_{e_esp} \cdot \text{Solid}_{e_esp}) = 0.9 \cdot (0.6 \cdot 12.5) = 6.75 \frac{\text{kgSolid}}{\text{h}}$$

$$Q_{f_esp} = \frac{6.75}{\text{Solid}_{f_esp}} = \frac{6.75}{30} = 0.23 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

A partir del balance total (**Ec 9.6**) se calcula el caudal de sobrenadante del espesador

$$Q_{sb_esp} = Q_{e_esp} - Q_{f_esp} = 0.6 - 0.23 = 0.37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Por último, a partir de la (**Ec 9.7**) se calculan los sólidos en suspensión del sobrenadante del espesador:

$$\text{Solid}_{sb_esp} = \frac{Q_{e_esp} \cdot \text{Solid}_{e_esp} - Q_{f_esp} \cdot \text{Solid}_{f_esp}}{Q_{sb_esp}} = \frac{0.6 \cdot 12.5 - 0.23 \cdot 30}{0.37} = 2.03 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Las características de las corrientes de salida del espesador están presentes en la **Tabla 1.9.8**:

Tabla 1.9.8 Características de las corrientes de salida tras realizar el balance en el espesador.

Datos	Valor
$Q_{f_esp} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	0.23
$Q_{sb_esp} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	0.37
$Solid_{f_esp} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	30
$Solid_{sb_esp} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	2.03

9.2.2. ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL LICOR DE FANGO DEL FILTRO PRENSA

La **Figura 1.9.6** representa el esquema del filtro prensa, a partir del cual se realizará la estimación del licor del fango:

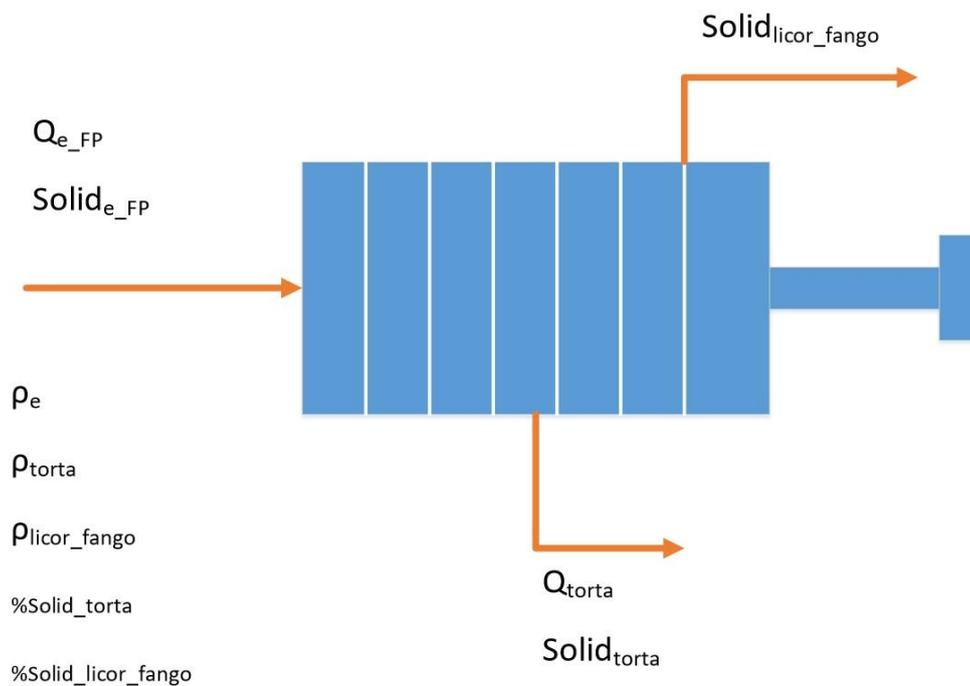


Figura 1.9.6 Esquema del filtro prensa.

El caudal y la concentración de sólidos en suspensión en la entrada del filtro banda serán los procedentes de la corriente de fangos espesados del espesador. Por tanto, los datos de entrada son los de la **Tabla 1.9.9**:

Tabla 1.9.9. Datos de entrada para realizar el balance en el filtro prensa.

Datos	Valor
$Q_{e_FP} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	0.23
$Solid_{e_FP} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	30
$\rho_e \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	1020
$\rho_{licor_fango} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	1010
$\rho_{torta} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	1070
$\% Solid_{licor_fango} (\%)$	0.9
$\% Solid_{torta} (\%)$	35

Se aplica el balance de materia total en el filtro teniendo en cuenta las densidades de cada corriente:

$$Q_{e_FP} \cdot \rho_{e_FP} = Q_{licor_fango} \cdot \rho_{licor_fango} + Q_{torta} \cdot \rho_{torta} \quad (\text{Ec 9.8})$$

Y sustituyendo los valores de la **Tabla 1.9.9** en la **(Ec 9.8)**:

$$0.23 \cdot 1020 = Q_{licor_fango} \cdot 1010 + (0.23 - Q_{licor_fango}) \cdot 1070$$

Despejando el caudal de licor de fango, en función del caudal de la torta:

$$Q_{\text{licor_fango}} = \frac{0.23 \cdot 1020 - Q_{\text{torta}} \cdot 1070}{1010}$$

Ahora, se aplica el balance parcial a los sólidos en suspensión y se sustituye el caudal de licor de fango obtenido en el balance total:

$$Q_{e_FP} \cdot \text{Solid}_{e_FP} = Q_{\text{licor_fango}} \cdot \text{Solid}_{\text{licor_fango}} + Q_{\text{torta}} \cdot \text{Solid}_{\text{torta}} \quad (\text{Ec 9.9})$$

Teniendo en cuenta las densidades del licor del fango y de la torta y el porcentaje de sólidos en cada una de las corrientes de salida:

$$Q_{e_FP} \cdot \text{Solid}_{e_FP} = Q_{\text{licor_fango}} \cdot \rho_{\text{licor_fango}} \cdot \% \text{Solid}_{\text{licor_fango}} + Q_{\text{torta}} \cdot \rho_{\text{torta}} \cdot \% \text{Solid}_{\text{torta}} \quad (\text{Ec 9.10})$$

Para el cálculo de los caudales de salida se combina la **Ec 9.8** y la **Ec 9.10**:

$$Q_{e_FP} \cdot \text{Solid}_{e_FP} = \frac{0.23 \cdot 1020 - Q_{\text{torta}} \cdot 1070}{1010} \cdot \rho_{\text{licor_fango}} \cdot \% \text{Solid}_{\text{licor_fango}} + Q_{\text{torta}} \cdot \rho_{\text{torta}} \cdot \% \text{Solid}_{\text{torta}}$$

$$0.23 \cdot 30 = \frac{0.23 \cdot 1020 - Q_{\text{torta}} \cdot 1070}{1010} \cdot 1010 \cdot 0.00009 + Q_{\text{torta}} \cdot 1070 \cdot 0.35$$

Despejando el caudal de la torta:

$$Q_{\text{torta}} = 0.018 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Y sustituyendo, se obtiene el caudal de licor de fango:

$$Q_{\text{licor_fango}} = \frac{0.23 \cdot 1020 - 0.018 \cdot 1070}{1010} = 0.21 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{licor_fango}} = 0.21 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Los resultados obtenidos en los balances en el filtro prensa están resumidos en la **Tabla 1.9.10**:

Tabla 1.9.10. Características de las corrientes de salida tras realizar el balance en el filtro prensa.

Datos	Valor
$Q_{\text{licor_fango}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0.21
$Q_{\text{torta}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0.018

Por tanto, ya se conocen de forma aproximada los caudales de sobrenadante del espesador y del licor de fango del filtro prensa que se recirculan al tanque de homogeneización y que son necesarios para poder realizar el diseño del mismo.

9.2.3. DISEÑO DEL TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN

El tanque de homogeneización (**Figura 1.9.3**) tiene tres corrientes de entrada:

$$Q_{e_ox} = 4 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{licor_fango}} = 0.21 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{sb_esp}} = 0.37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Y considerando en el balance de materia total que la densidad de las corrientes es $\rho=1\text{kg/L}$:

$$Q_{e_Homog} = Q_{e_ox} + Q_{c_esp} + Q_{\text{licor_fango}} \quad (\text{Ec } 9.11)$$

$$Q_{e_Homog} = 4 + 0.21 + 0.37 = 4.6 \frac{m^3}{h}$$

Los datos para el diseño del tanque de homogenización se presentan en la **Tabla 1.9.11**:

Tabla 1.9.11 Datos para el diseño del tanque de homogeneización.

Datos	Valor
$Q_{e_Homog} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	4.6
$t_R(h)$	4
$h(m)$	2
FS(%)	10

El volumen del tanque se calcula en función del caudal de entrada y del tiempo de retención:

$$V_{Tanque_Homog} = Q_{e_Homog} \cdot t_R \cdot FS \quad (\text{Ec 9.12})$$

$$V_{Tanque_Homog} = 4.6 \cdot 4 \cdot 1.1 = 20.24 m^3$$

El tanque de homogenización se diseñará con características presentes en la **Tabla 1.9.12**:

Tabla 1.9.12 Resultados del diseño del tanque de homogeneización.

Datos	Valor
$Q_{e_Homog} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	4.6
$V_{Tanque_Homog} (m^3)$	20.24
$h(m)$	2

Acudiendo a diferentes catálogos se selecciona un tanque para la homogeneización que reúne las características descritas anteriormente. Este equipo es un Depósito para la oxidación APQ.6 Simple Pared de la marca “Ventura Orts”.

9.3. DISEÑO DE LA ETAPA DE AJUSTE DE pH

El esquema propuesto para la etapa de ajuste de pH se encuentra en la **Figura 1.9.7**:

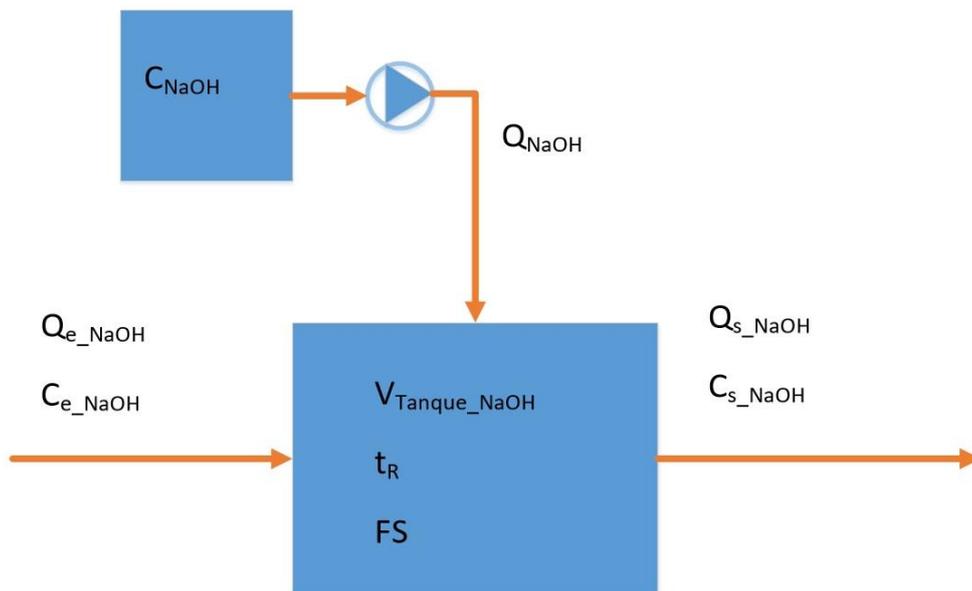


Figura 1.9.7. Esquema del tanque de ajuste de pH.

En primer lugar, es necesario determinar cuales el pH al que se formarán los hidróxidos de hierro que sedimentarán posteriormente en el decantador lamelar.

El pH óptimo para la precipitación del hierro es 5. Pero con este valor, el caudal de dosificación sería demasiado pequeño con concentraciones de NaOH demasiado bajas. Por tanto, el pH al que se ajustará el medio será pH= 6 y así también, se asegura la precipitación de todo el hierro en el agua.

A continuación, se calcula la cantidad de NaOH a añadir al proceso para la precipitación del hierro a partir de los datos de la **Tabla 1.9.13**:

Tabla 1.9.13 Datos para el balance del tanque de ajuste de pH.

Datos	Valor
$Q_{e_NaOH} \left(\frac{m^3}{d} \right)$	110.33
$C_{e_NaOH} \left(\frac{mol}{L} \right)$	0
$C_{NaOH} \left(\frac{mol}{L} \right)$	0.001

El pH del agua residual y el pH que se deberá alcanzar son:

$$\begin{array}{l} pH_{inicial} = 0.6 \quad \rightarrow \quad pOH_{inicial} = 13.4 \\ pH_{final} = 6 \quad \rightarrow \quad pOH_{final} = 8 \end{array}$$

Se calculan los moles necesarios para subir el pH:

$$pOH_{final} - pOH_{inicial} = 10^{-8} - 10^{-13.4} = 9.99 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{mol}{L}$$

Y con el peso molecular de la NaOH, se calculan los gramos por litro de NaOH necesarios:

$$C_{s_NaOH} = 9.99 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{mol}{L} \cdot 40 \frac{g}{mol} = 3.99 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{g}{L}$$

Luego, la concentración de NaOH que debe haber en el tanque de ajuste de pH que coincidirá con el valor de salida del mismo es:

$$C_{s_NaOH} = 3.99 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Aplicando el balance de materia total y suponiendo $\rho = 1 \text{ kg/L}$:

$$Q_{s_NaOH} = Q_e + Q_{NaOH} \quad (\text{Ec 9.13})$$

Y con el balance al componente, en este caso a la concentración de NaOH, se obtiene:

$$Q_{e_NaOH} C_{e_NaOH} + Q_{NaOH} C_{NaOH} = Q_{s_NaOH} C_{s_NaOH} \quad (\text{Ec 9.14})$$

$$0 + Q_{NaOH} C_{NaOH} = (Q_e + Q_{dos_NaOH}) \cdot C_{s_NaOH}$$

$$Q_{NaOH} = \frac{3.99 \cdot 10^{-7} \cdot 110.33}{3.99 \cdot 10^{-7} - 0.04}$$

$$Q_{NaOH} = 1.103 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Aplicando el balance de materia total, el caudal de salida del tanque de ajuste de pH es:

$$Q_{s_NaOH} = 110.33 + 1.1 \times 10^{-3} = 110.331 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Los resultados obtenidos con los balances realizados en el tanque de ajuste de pH quedan resumidos en la **Tabla 1.9.14**:

Tabla 1.9.14. Resultados de los balances en el tanque de ajuste de pH.

Datos	Valor
$Q_{s_NaOH} \left(\frac{m^3}{d} \right)$	110.33
$Q_{NaOH} \left(\frac{m^3}{d} \right)$	$1.11 \cdot 10^{-3}$

Para el diseño del tanque se van a considerar los datos de la **Tabla 1.9.15**:

Tabla 1.9.15. Datos para el diseño del tanque de ajuste de pH.

Datos	Valor
t_R (h)	0.2
h(m)	1
FS(%)	10

La ecuación para el cálculo del volumen es:

$$V_{\text{Tanque_NaOH}} = Q_{s_NaOH} \cdot t_R \cdot FS \quad (\text{Ec 9.15})$$

Sustituyendo los valores de la **Tabla 1.9.15** en la **(Ec 9.15)**:

$$V_{\text{Tanque_NaOH}} = 4.6 \frac{m^3}{h} \cdot 0.2 \cdot hr \cdot 1.1 = 1m^3$$

En resumen, los parámetros de diseño del tanque de ajuste de pH se encuentran en la **Tabla 1.9.16**:

Tabla 1.9.16. Resultados del diseño del tanque de ajuste de pH.

Datos	Valor
$Q_{s_NaOH} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	4.6
$V_{Tanque_NaOH} (m^3)$	1
h(m)	1

Acudiendo a diferentes catálogos se selecciona un tanque que estará integrado en el equipo de decantación lamelar. Este equipo se describirá más detalladamente en el apartado **9.5 Diseño de la etapa de sedimentación.**

También, entre los diferentes catálogos se ha seleccionado un tanque adecuado para la dosificación de la NaOH. Este tanque para la dosificación de NaOH es un Depósito APQ 006 de 1m³ de la marca “Ventura Orts”.

A continuación, se procede a la selección del modelo de la bomba y dosificación de las condiciones de operación. Para esto, es necesario conocer el caudal de dosificación, calculado en el apartado **9.3. Ajuste de pH:**

$$Q_{NaOH} = 1.1 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{d} \cdot \frac{1000L}{1m^3} \cdot \frac{1d}{24h} = 0.046 \frac{L}{h}$$

Con éste caudal, se consulta en los catálogos de bombas magnéticas y se selecciona la bomba dosificadora “ProMinent® Beta BT4a 1000”. (**Figura 1.9.8**)

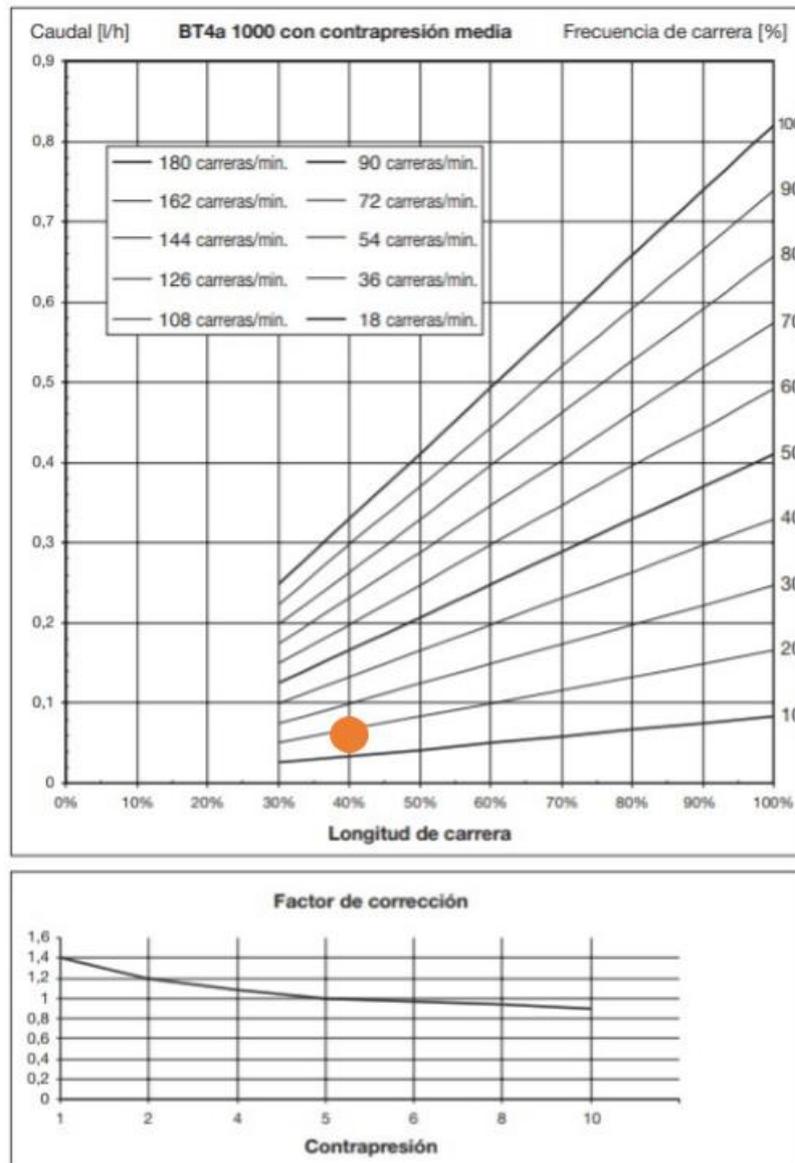


Figura 1.9.8 Bomba dosificadora magnética "ProMinent® Beta BT4a 0708".

Según la **Figura 1.9.8**, las condiciones de operación de la bomba serán: longitud de carrera (40%) y frecuencia de carrera (20%).

9.4. DISEÑO DEL TANQUE DE FLOCULACIÓN

El esquema de la etapa de floculación en la línea de aguas se encuentra en la **Figura 1.9.9**:

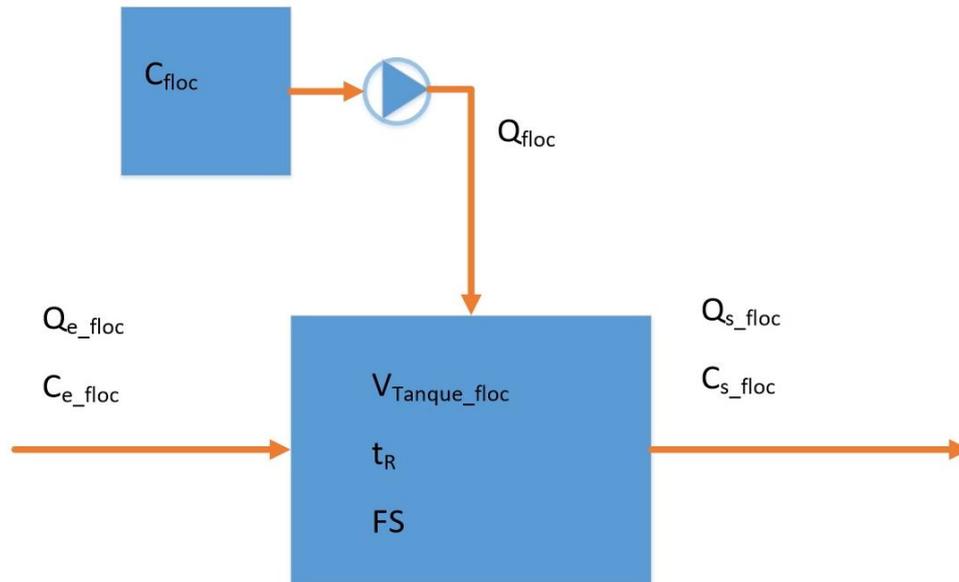


Figura 1.9.9 Esquema del tanque de floculación.

El caudal de entrada al tanque de floculación será el mismo que el de salida de la etapa de ajuste de pH. Los datos necesarios para realizar los balances y los cálculos pertinentes están presentes en la **Tabla 1.9.17**:

Tabla 1.9.17. Datos para realizar los balances en el tanque de floculación

Datos	Valor
$Q_{e_floc} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	4.6
$C_{e_floc} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	0
$C_{floc} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	10
$\rho_{e_floc} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	1000
$\rho_{s_floc} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	1000
$\rho_{floc} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	1200

Primero, se realiza el balance de materia total al tanque. No se puede asumir, a diferencia de los anteriores apartados, que la densidad del floculante es la misma que la del agua y por tanto, en el balance se tendrá en cuenta este parámetro:

$$\rho_{s_floc} \cdot Q_{s_floc} = \rho_{e_floc} \cdot Q_{e_floc} + \rho_{floc} \cdot Q_{floc} \quad (\text{Ec 9.16})$$

A partir del ensayo experimental del apartado **8. Ensayos de laboratorio**, se obtuvo la concentración óptima de floculante a añadir. Por tanto, en el caso del tanque de floculación:

$$Q_{floc} = 10 \frac{\text{mL}}{\text{L}} \cdot 4600 \frac{\text{L}}{\text{h}} = 46.000 \frac{\text{mL}}{\text{h}} = 0.046 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Con este dato y el del caudal de entrada, por medio del balance de materia total, **(Ec 9.17)**, se calcula el caudal de salida del tanque de floculación:

$$1000 Q_{s_floc} = 1000 \cdot 4.6 + 12000 \cdot 0.046$$

Despejando el caudal de salida del tanque de floculación:

$$Q_{s_floc} = 4.66 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

A continuación, se aplica el balance al componente. En este caso, a la concentración de floculante:

$$Q_{e_floc} \cdot C_{e_floc} + Q_{floc} \cdot C_{floc} = Q_{s_floc} \cdot C_{s_floc} \quad (\text{Ec 9.17})$$

$$4.60 + 0.046 \cdot 10 = 4.66 C_{s_floc}$$

$$C_{s_floc} = 0.099 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Los datos obtenidos mediante los balances se resumen en la **Tabla 1.9.16**:

Tabla 1.9.18. Resultados de los balances en el tanque de floculación:

Datos	Valor
$Q_{floc} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	0.046
$Q_{s_floc} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	4.66
$C_{s_floc} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	0.099

Para el cálculo de las dimensiones del tanque de floculación se tienen en cuenta los datos de la **Tabla 1.9.19**:

Tabla 1.9.19 Datos para el diseño del tanque de floculación

Datos	Valor
$Q_{Diseño_floc} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	4.66
$t_R(h)$	0.5
$h_{Tanque_floc}(m)$	2
FS(%)	10

A partir del caudal de entrada se calculará con el tiempo de residencia y el factor de seguridad el volumen necesario:

$$V_{Tanque_floc} = Q_{Diseño_floc} \cdot t_R \cdot FS \quad (\text{Ec 9.18})$$

Sustituyendo los valores en la **Tabla 1.9.19** en la **(Ec 9.18)**:

$$V_{\text{Tanque_floc}} = 4.66 \cdot 0.5 \cdot 1.1 = 2.6 \text{m}^3$$

Las dimensiones del tanque de floculación se resumen en la **Tabla 1.9.20**:

Tabla 1.9.20. Resultados del diseño del tanque de floculación

Datos	Valor
$Q_{\text{Diseño_floc}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	4.66
$h_{\text{Tanque_floc}}(\text{m})$	2
$V_{\text{Tanque_floc}} \left(\text{m}^3 \right)$	2.6

Acudiendo a diferentes catálogos se selecciona un tanque que estará integrado, al igual que el tanque de ajuste de pH, en el equipo de decantación lamelar. Este equipo se describirá más detalladamente en el apartado **9.5 Diseño de la etapa de sedimentación**.

También, entre los diferentes catálogos se ha seleccionado un tanque adecuado para la dosificación del floculante. Este tanque para la dosificación es un Depósito APQ 006 de 1m³ de la marca “Ventura Orts”.

El floculante que se empleará en esta etapa es un polielectrolito aniónico.

Para el diseño de la bomba de dosificación del polielectrolito es necesario conocer el caudal de salida del tanque del polielectrolito, calculado en el apartado **9.4. Floculación**:

$$Q_{\text{floc}} = 46 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

A partir del caudal de floculante a dosificar y del catálogo de bombas dosificadoras magnéticas de la marca ProMinent, presente en la **Figura 1.9.10**, se selecciona la bomba dosificadora magnética “ProMinent® MDLa 100150”.

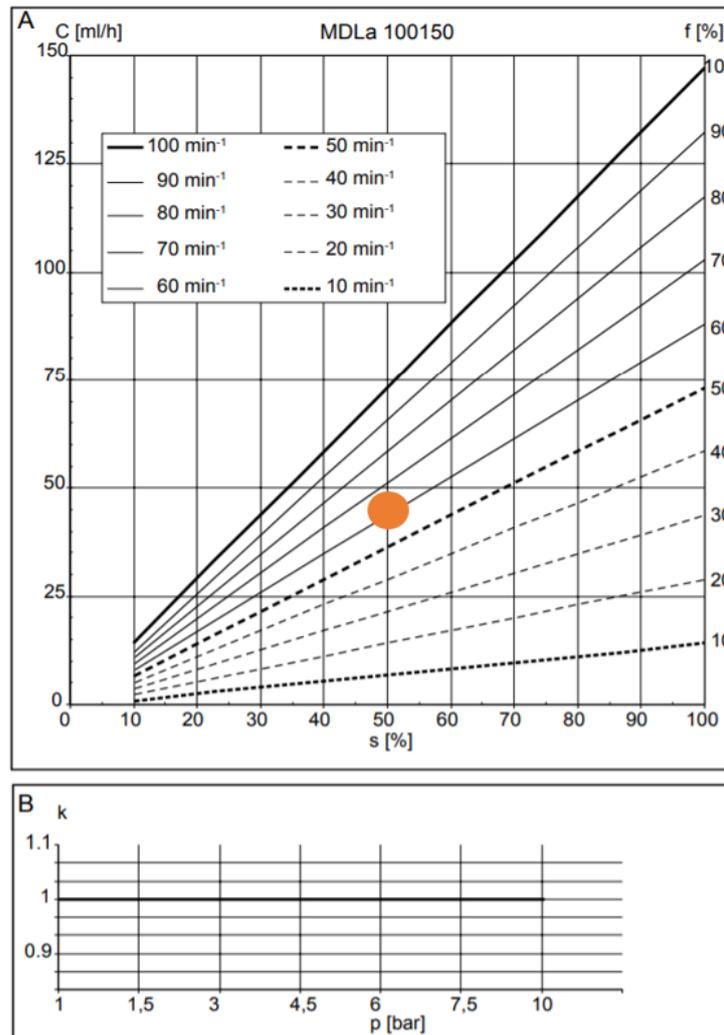


Figura 1.9.10 Bomba dosificadora magnética "ProMinent® MDLa 100150".

Según la **Figura 1.9.10**, las condiciones de operación de la bomba serán: longitud de carrera (50%) y frecuencia de carrera (60%).

9.5. DISEÑO DE LA ETAPA DE SEDIMENTACIÓN

El esquema propuesto para la etapa de sedimentación, mediante un decantador lamelar (DL) se encuentra en la **Figura 1.9.11**:

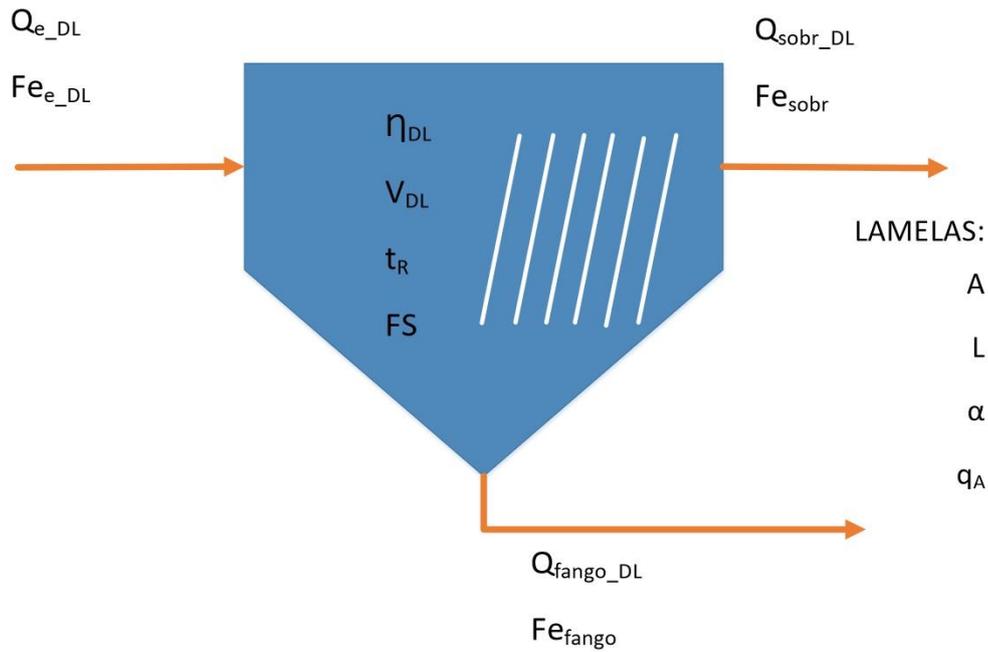


Figura 1.9.11 Esquema del decantador lamelar.

A diferencia del apartado 9.2. **Homogeneización**, donde se realizaron estimaciones sin tener en cuenta el tratamiento fisicoquímico anterior. En este apartado se va a realizar el diseño real de decantador lamelar teniendo en cuenta la dosificación previa de NaOH y de floculante.

Los datos conocidos para el diseño se presentan en la **Tabla 1.9.21**:

Tabla 1.9.21. Datos para realizar los balances del decantador lamelar.

Datos	Valor
$Q_{e_DL} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	4.66
$Fe_{e_DL} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	1
$\eta_{DL}(\%)$	98

Se aplica el balance de materia total, considerando que la densidad es $\rho=1$ kg/L:

$$Q_{e_DL} = Q_{sobr} + Q_{fango} \quad (\text{Ec 9.19})$$

Se calcula el caudal de fangos que sale del decantador lamelar a partir de los datos del ensayo de laboratorio del apartado **8. Ensayos de laboratorio** ($V_{24h} = 150\text{ml/L}$):

$$Q_{\text{fangos}} = \frac{0.15\text{m}^3}{1\text{m}^3} \cdot 4.66 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Se obtiene el caudal de sobrenadante:

$$Q_{\text{sobr}} = Q_{e_DL} - Q_{\text{fangos}} = 4.65 - 0.7 = 3.96 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{sobr}} = 3.96 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Para el cálculo de las concentraciones de sólidos en el fango y en el sobrenadante se aplica el balance al componente:

$$Q_{e_DL} \cdot Fe_{e_DL} = Q_{\text{sobr}} \cdot Fe_{\text{sobr}} + Q_{\text{fangos}} \cdot Fe_{\text{fangos}} \quad (\text{Ec 9.20})$$

Considerando los datos de la **Tabla 1.9.21** y aplicando el rendimiento del 90%:

$$Q_{\text{sobr}} \cdot Fe_{\text{sobr}} = (1 - 0.98) \cdot (Q_{e_DL} \cdot Fe_{e_DL}) = 0.02 \cdot (4.66 \cdot 1) = 0.093 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$Fe_{\text{sobr}} = \frac{0.093}{Q_{\text{sobr}}} = \frac{0.093}{3.96} = 0.024 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Fe_{\text{fangos}} = \frac{Fe_{e_DL} \cdot Q_{e_DL} - Q_{\text{sobr}} \cdot Fe_{\text{sobr}}}{Q_{\text{fangos}}} = \frac{4.66 - 0.093}{0.7} = 6.51 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Las características del fango y del sobrenadante quedan resumidos en la tabla **Tabla 1.9.22**:

Tabla 1.9.22. Resultados de los balances en el decantador lamelar.

Datos	Valor
$Q_{\text{sobr_DL}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	3.96
$Q_{\text{fango_DL}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0.7
$Fe_{\text{sobre}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	0.024
$Fe_{\text{fango}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	6.51

Para el diseño del decantador lamelar se van a calcular las dimensiones del decantador y también las características que deberá poseer para un correcto funcionamiento. Por tanto, se calculará también el número de lamelas y se fijará el ángulo de estas.

Para realizar el diseño los datos de partida se encuentran en la **Tabla 1.9.23**:

Tabla 1.9.23. Datos del diseño del decantador lamelar.

Datos	Valor
$Q_{\text{DL}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	4.66
$t_{\text{R}}(\text{h})$	1.5
$q_{\text{A}} \left(\frac{\text{m}}{\text{h}} \right)$	1
A(m)	1
L(m)	1
$\alpha(^{\circ})$	60
FS(%)	10

A partir del caudal de entrada, del tiempo de residencia fijado y del factor de seguridad, se calcula el volumen que tendrá que tener el sedimentador:

$$V_{DL} = Q_{DL} \cdot t_R \quad (\text{Ec 9.21})$$

$$V_{DL} = Q_{DL} \cdot t_R = 4.66 \cdot 1.5 = 7\text{m}^3$$

Una vez calculado el volumen, se procede al cálculo del área proyectada, necesaria para el calcular el número de lamelas y para la altura del decantador.

El área proyectada se calcula mediante el caudal de entrada y la velocidad ascensional, fijada en la **Tabla 1.9.23**:

$$q_A = \frac{Q_{DL}}{S_{\text{proy}}} \quad (\text{Ec 9.22})$$

$$S_{\text{proy}} = \frac{Q_{DL}}{q_A} = \frac{4.66}{1} = 4.66\text{m}^2$$

El área proyectada se relaciona con el número de lamelas según la ecuación:

$$S_{\text{proy}} = n \cdot A \cdot L \cdot \cos(\alpha) \quad (\text{Ec 9.23})$$

$$n = \frac{4.66}{1 \cdot 1 \cdot \cos(60)} = 9.3$$

Redondeando a un número entero de lamelas y superior a 9.3:

$$n = 10$$

Calculado el número de lamelas que tendrá el decantador, es necesario recalcular la nueva velocidad ascensional:

$$q_A = \frac{Q_{DL}}{n \cdot A \cdot L \cdot \cos(\alpha)} = \frac{4.66}{10 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \cos(60)} = 0.93 \frac{m}{h}$$

En resumen, las dimensiones del decantador lamelar se presentan en la **Tabla 1.9.24**:

Tabla 1.9.24. Parámetros de diseño del decantador lamelar.

Datos	Valor
$Q_{DL} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	4.66
$q_A \left(\frac{m}{h} \right)$	0.93
A(m)	1
L(m)	1
$\alpha(^{\circ})$	60
N	10
$h_{DL}(m)$	1.5

Acudiendo a diferentes catálogos se elige un decantador lamelar que reúne las características descritas anteriormente y que integra un tanque para el ajuste de pH y otro para la etapa de floculación. Este decantador lamelar es un Decantador Lamelar de $7m^3/h$ con tratamiento físico-químico integrado. El depósito para la coagulación y floculación tienen una capacidad de $1m^3$ y $2.6 m^3$ respectivamente con agitación integrada.

9.6. CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE FINAL.

La corriente de fango procedente del DL pasa al tratamiento de la línea de fangos, formado por una etapa de concentración y deshidratación, espesador y filtro prensa respectivamente.

El agua residual una vez ha pasado por la decantación lamelar, tiene dos destinos distintos:

La corriente de sobrenadante se recirculará a la balsa de Preflux. El agua del sobrenadante que volverá al sistema tendrá las características de la **Tabla 1.9.25**:

Tabla 1.9.25. Características del agua a la salida de la depuración.

Datos	Valor
$Q_{\text{salida}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	3.96
$Fe_{\text{salida}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	0.024

DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE FANGOS

Una vez finalizada la etapa de tratamiento de aguas, se va a diseñar el tratamiento de la línea de fangos. Aunque se han realizado estimaciones para el apartado **9. Diseño del tratamiento de aguas**, se volverán a realizar los balances correspondientes a los diferentes equipos teniendo en cuenta las corrientes de dosificación de NaOH y floculante.

9.7. CONCENTRACIÓN

El esquema propuesto para la etapa de concentración se encuentra en la **Figura 1.9.12**:

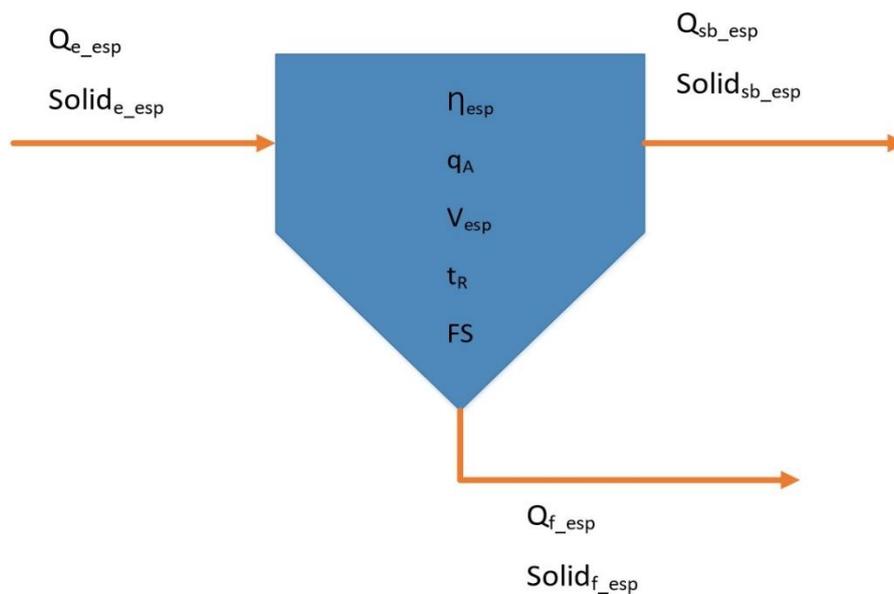


Figura 1.9.12. Esquema del espesador

El caudal entrante al espesador es el mismo que el caudal de salida del decantador lamelar:

$$Q_{e_esp} = Q_{fango} = 0.7 \frac{m^3}{h}$$

Pero debido a los flóculos y a la formación de los fangos, ya no se tendrá en cuenta solamente la concentración de hierro, sino la concentración de sólidos, es decir del $Fe(OH)_3$ formado. Para ello, se ha realizado la conversión de la concentración de Fe^{+3} a $Fe(OH)_3$ como en el apartado **9.2.1 Estimación de las características del sobrenadante del espesador**. El cálculo se presente a continuación:

$$Solid_{e_esp} = 6.51 \frac{g}{L} Fe^{+3} \cdot \frac{1 mol Fe}{55.85 g Fe} \cdot \frac{1 mol Fe(OH)_3}{1 mol Fe} \cdot \frac{106.87 g Fe(OH)_3}{1 mol Fe(OH)_3} = 12.46 \frac{kg}{m^3}$$

Tabla 1.9.26. Datos para realizar los balances en el espesador

Datos	Valor
$Q_{e_esp} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	0.7
$Solid_{e_esp} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	12.46
$Solid_{f_esp} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	30
$\eta_{esp}(\%)$	90

Primero, para el cálculo de los caudales que salen del espesador se va a realizar un balance de materia total:

$$Q_{e_esp} = Q_{f_esp} + Q_{sb_esp} \quad (\text{Ec 9.24})$$

$$0.7 = Q_{f_esp} + Q_{sb_esp}$$

Aplicando el rendimiento de eliminación del 90% y el balance de sólidos en suspensión, se obtiene el caudal de fangos saliente del espesador:

$$Q_{e_esp} \cdot \text{Solid}_{e_esp} = Q_{f_esp} \cdot \text{Solid}_{f_esp} + Q_{c_esp} \cdot \text{Solid}_{sb_esp} \quad (\text{Ec 9.25})$$

$$Q_{f_esp} \cdot \text{Solid}_{f_esp} = 0.9 \cdot (Q_{e_esp} \cdot \text{Solid}_{e_esp}) = 0.9 \cdot (0.7 \cdot 12.46) = 7.85 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$Q_{f_esp} = \frac{7.85}{\text{Solid}_{f_esp}} = \frac{7.85}{30} = 0.26 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Aplicando el balance de materia total se obtiene el caudal de sobrenadante:

$$Q_{sb_esp} = Q_{e_esp} - Q_{f_esp} = 0.7 - 0.26 = 0.44 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Por último, se calcula la concentración de salida del sobrenadante:

$$\text{Solid}_{sb_esp} = \frac{Q_{e_esp} \cdot \text{Solid}_{e_esp} - Q_{f_esp} \cdot \text{Solid}_{f_esp}}{Q_{sb_esp}} \quad (\text{Ec 9.26})$$

$$\text{Solid}_{sb_esp} = \frac{(0.7 \cdot 12.46) - (0.26 \cdot 30)}{0.44} = 2.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

En resumen, las características de las salidas del espesador se presentan en la **Tabla 1.9.27.**:

Tabla 1.9.27. Resultados tras realizar los balances en el espesador

Datos	Valor
$Q_{f_esp} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	0.26
Q_{sb_esp}	0.44
$Solid_{f_esp} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	30
$Solid_{sb_esp} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	2.1

Para el diseño del espesador es necesario tener en cuenta los parámetros de la **Tabla 1.9.28:**

Tabla 1.9.28. Datos para realizar el diseño en el espesador

Datos	Valor
$Q_{e_esp} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	0.7
$Solid_{e_esp} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	12.46
$q_A \left(\frac{kg}{m^2 \cdot d} \right)$	100
$t_R(h)$	4
FS(%)	10

A partir del caudal, del tiempo de residencia y del factor de seguridad se va a calcular el volumen necesario:

$$\text{Volumen} = Q_{e_esp} \cdot t_R \cdot 1.1 \quad (\text{Ec } 9.27)$$

$$\text{Volumen} = 0.7 \cdot 4 \cdot 1.1 = 3.1\text{m}^3$$

A partir del volumen y de la velocidad ascensional, se calculan la superficie y el radio del espesador:

$$\text{Superf_esp} = \frac{Q_{e_esp} \cdot SS_{e_es}}{q_A} \quad (\text{Ec 9.28})$$

$$\text{Superf_esp} = \frac{Q_{e_esp} \cdot SS_{e_es}}{q_A} = \frac{0.7 \cdot 12.46}{4.17} = 2.1\text{m}^2$$

$$r = \left(\frac{\text{Superf_esp}}{\pi} \right)^{0.5} \quad (\text{Ec 9.29})$$

$$r = \left(\frac{\text{Superf_esp}}{\pi} \right)^{0.5} = \left(\frac{2.1}{\pi} \right)^{0.5}$$

$$r = 0.82\text{m}$$

Por último, la altura se calcula a partir del volumen y la superficie:

$$h_esp = \frac{\text{Volumen}}{\text{Superf_esp}} \quad (\text{Ec 9.30})$$

$$h_esp = \frac{\text{Volumen}}{\text{Superf_esp}} = \frac{3.062}{2.1}$$

$$h_esp = 1.5\text{m}$$

Las dimensiones del espesador se resumen en la **Tabla 1.9.29**:

Tabla 1.9.29. Resultados del diseño del espesador.

Datos	Valor
$Q_{e_esp} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	0.7
$h_{esp} \text{ (m)}$	1.5
$r \text{ (m)}$	0.82

Acudiendo a diferentes catálogos se elige un espesador que reúne las características descritas anteriormente. Este espesador es un Depósito reactor espesador de 3 m³ de la marca “VenturaOrts”.

9.8. ACONDICIONAMIENTO CON POLIELECTROLITO

Para obtener un mayor rendimiento de filtrado, se realizará una etapa previa donde se dosificará el mismo polielectrolito que en la etapa de floculación, en el apartado **9.4. Floculación**. Esta dosificación se realizará directamente a la tubería que conecta la salida del espesador con el filtro prensa.

El esquema propuesto para esta etapa es el de la **Figura 1.9.13**:

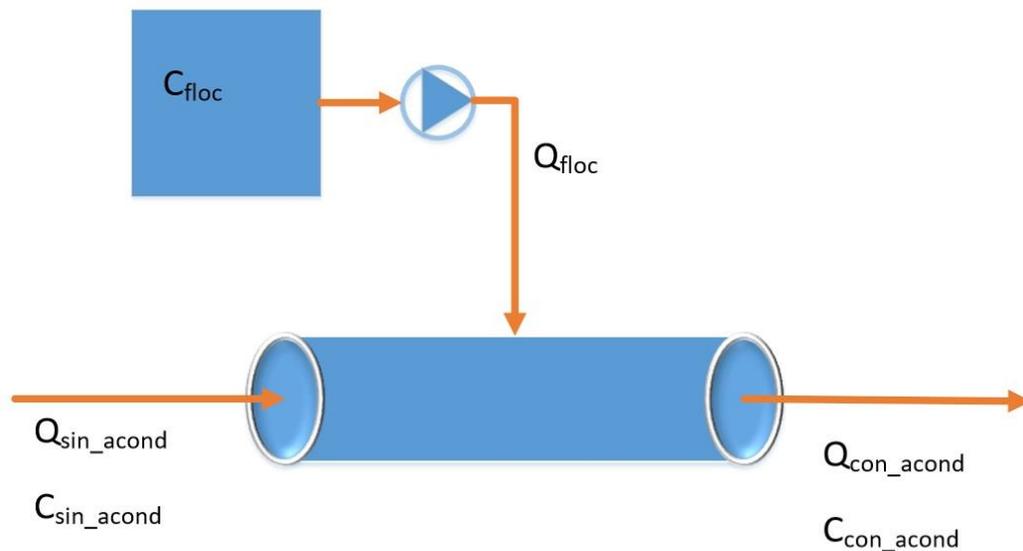


Figura 1.9.13 Esquema de la adición de polielectrolito

Los datos de partida para los cálculos son los de la **Tabla 1.9.30**:

Tabla 1.9.30 Datos para realizar los balances en el acondicionamiento con polielectrolito. de diseño del espesador.

Datos	Valor
$Q_{\text{sin_acond}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0.26
$C_{\text{floc}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	1
$C_{\text{sin_acond}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	30
$\frac{\text{kg}_{\text{floc}}}{\text{tSS}}$	2

Primero, se aplica el balance de materia total:

$$Q_{\text{sin_acond}} + Q_{\text{floc}} = Q_{\text{con_acond}} \quad (\text{Ec 9.31})$$

$$0.26 + Q_{\text{floc}} = Q_{\text{con_acond}}$$

Y se calcula, la concentración que tendrá de polielectrolito al llegar al filtro prensa:

$$C_{\text{con_acond}} = \frac{\text{kg}_{\text{floc}}}{\text{tSS}} \cdot C_{\text{f_esp}} = 0.002 \cdot 30 = 0.06 \frac{\text{kg}_{\text{floc}}}{\text{m}^3}$$

A continuación, se aplica el balance al polielectrolito para obtener el caudal de floculante a dosificar:

$$Q_{\text{sin_acond}} \cdot C_{\text{sin_acond}} + Q_{\text{floc}} \cdot C_{\text{floc}} = Q_{\text{con_acond}} \cdot C_{\text{con_acond}} \quad (\text{Ec 9.32})$$

$$0 + Q_{\text{floc}} \cdot 1 = (0.26 + Q_{\text{floc}}) \cdot 0.06$$

$$Q_{\text{floc}} = 0.017 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Con el balance total (**Ec 9.31**) se obtiene el caudal final:

$$Q_{\text{con_acond}} = 0.26 + 0.017 = 0.28 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

En resumen, los datos de salida de esta etapa son los que se presentan en la **Tabla 1.9.31**:

Tabla 1.9.31 Resultados de los balances en el acondicionamiento con polielectrolito.

Datos	Valor
$Q_{\text{dos_floc}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0.017
$Q_{\text{con_acond}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0.28

Entre los diferentes catálogos se ha seleccionado un tanque adecuado para la dosificación del floculante. Este tanque para la dosificación es un Depósito APQ 006 de 1m³ de la marca “Ventura Orts”.

El floculante que se empleará en esta etapa es un polielectrolito catiónico.

Para la elección de la bomba que dosifica el floculante a la tubería, se tiene en cuenta el caudal de dosificación calculado en el apartado **9.8. Acondicionamiento con Polielectrolito**:

$$Q_{\text{floc}} = 17 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

A partir de este caudal y del catálogo representado en la **Figura 1.9.14** se va a emplear la bomba dosificadora magnética “ProMinent® Beta BT5a 0232”.

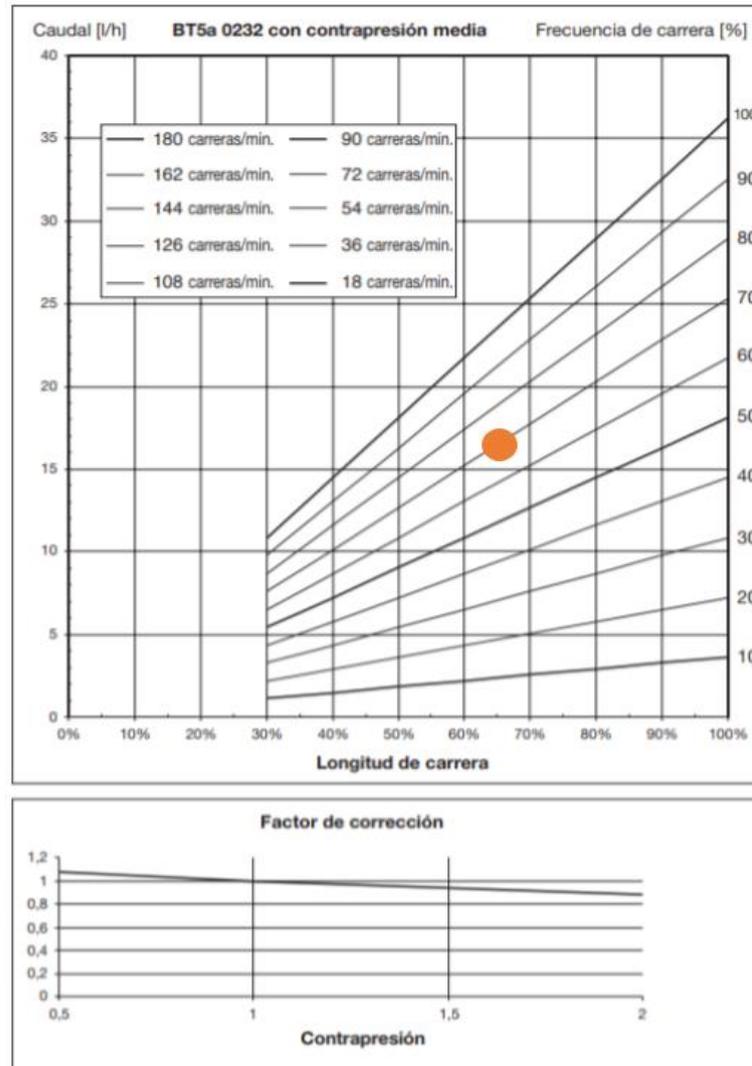


Figura 1.9.14 Bomba dosificadora magnética "ProMinent® Beta BT5a 0232".

Según la **Figura 1.9.8**, las condiciones de operación de la bomba serán: longitud de carrera (65%) y frecuencia de carrera (70%).

Entre los diferentes catálogos se ha seleccionado un tanque adecuado para la dosificación del floculante. Este tanque para la dosificación es de la marca VenturaOrts con una capacidad de 1m^3 .

El floculante empleado es un polielectrolito catiónico.

9.9. FILTRO PRENSA

El esquema propuesto para el diseño de la última etapa de la línea de fango es el presente en la **Figura 1.9.15**:

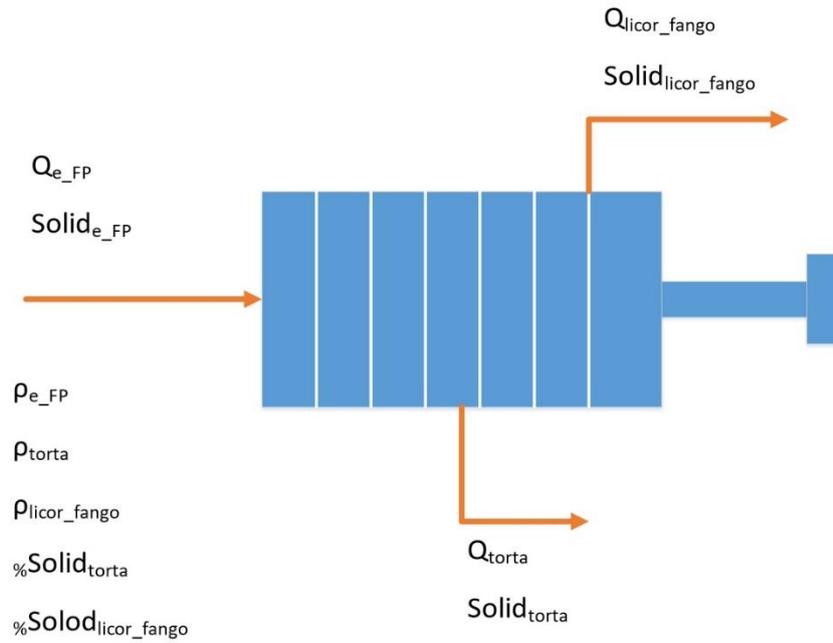


Figura 1.9.15 Esquema del filtro prensa.

Los datos de partida para el diseño de esta etapa se presentan en la **Tabla 1.9.32**:

Tabla 1.9.32. Datos para realizar los balances en el filtro prensa.

Datos	Valor
$Q_{e_FP} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	0.28
$Solid_{e_FP} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	30
$\rho_e \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	1020
$\rho_{licor_fango} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	1010
$\rho_{torta} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	1070
$\%Solid_{licor_fango}(\%)$	0.9
$\%Solid_{torta}(\%)$	35

Se aplica en el filtro prensa el balance total teniendo en cuenta las densidades:

$$Q_{e_FP} \cdot \rho_{e_FP} = Q_{licor_fango} \cdot \rho_{licor_fango} + Q_{torta} \cdot \rho_{torta} \quad (\text{Ec 9.33})$$

$$0.28 \cdot 1020 = Q_{licor_fango} \cdot 1010 + Q_{torta} \cdot 1070$$

Se despeja el caudal del licor de fango en función del caudal de la torta:

$$Q_{licor_fango} = \frac{0.28 \cdot 1020 - Q_{torta} \cdot 1070}{1010}$$

Ahora, se aplica el balance de sólidos:

$$Q_{e_FP} \cdot \text{Solid}_{e_FP} = Q_{licor_fango} \cdot \text{Solid}_{licor_fango} + Q_{torta} \cdot \text{Solid}_{torta} \quad (\text{Ec 9.34})$$

Teniendo en cuenta las densidades y del porcentaje de sólidos en las corrientes de salida:

$$Q_{e_FP} \cdot \text{Solid}_{e_FP} = Q_{licor_fango} \cdot \rho_{licor_fango} \cdot \% \text{Solid}_{licor_fango} + Q_{torta} \cdot \rho_{torta} \cdot \% \text{Solid}_{torta} \quad (\text{Ec 9.35})$$

Con la combinación de la **Ec 9.33** y la **Ec 9.35**:

$$Q_{e_FP} \cdot \text{SS}_{e_FP} = \frac{0.28 \cdot 1020 - Q_{torta} \cdot 1070}{1010} \cdot \rho_{licor_fango} \cdot \% \text{Solid}_{licor_fango} + Q_{torta} \cdot \rho_{torta} \cdot \% \text{Solid}_{torta}$$

$$0.28 \cdot 20 = \frac{0.28 \cdot 1020 - Q_{torta} \cdot 1070}{1010} \cdot 1010 \cdot 0.00009 + Q_{torta} \cdot 1070 \cdot 0.35$$

Y se obtiene el caudal de la torta:

$$Q_{\text{torta}} = 0.015 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El licor de fango tiene el siguiente valor:

$$Q_{\text{licor_fango}} = \frac{0.28 \cdot 1020 - 0.015 \cdot 1070}{1010} = 0.27 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Las características de las corrientes de salida del filtro prensa se resumen en la Tabla 1.9.33:

Tabla 1.9.33. Resultados tras realizar los balances en el filtro prensa.

Datos	Valor
$Q_{\text{licor_fango}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0.27
$Q_{\text{torta}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0.022

A continuación, se elegirá el equipo adecuado para el filtrado a partir del caudal de entrada:

$$Q_{e_FP} = 3.871 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

El filtrado, a diferencia de todas las etapas anteriores, trabaja de forma discontinua. Es decir, 8 horas al día durante 5 días a la semana. Por tanto:

$$Q_{e_FP} = 3.871 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} \cdot \frac{1\text{d}}{24 \cdot \text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{60\text{min}} = 2.688 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Acudiendo a diferentes catálogos se elige un filtro prensa que reúne las características descritas anteriormente. Se trata de un Filtro de Prensa Manual MIP 050S20 20P de la marca "VenturaOrts".

10. ESTUDIO ECONÓMICO

Los costes que incluye este proyecto son los siguientes:

- Energía
- Personal
- Reactivos
- Mantenimiento

10.1. ENERGÍA

Para el cálculo de la energía se ha tenido en cuenta un promedio de los términos energéticos de la tarifa 3.0A del año 2018. Estos costes quedan resumidos en la **Tabla 10.1**.

Tabla 10.1. Costes energéticos de la instalación.

Equipo	Ud	Potencia necesaria (kW)	Tiempo trabajo (h/año)	Consumo (kWh/año)	Coste fijo (€/año)	Coste variable (€/año)	Coste total (€/año)
Agitador 60 rpm	1	2,2	8760	19272	231,26	366,17	597,43
Agitador 100 rpm	1	1,1	8760	9636	115,63	183,08	298,71
Agitador 900 rpm	1	1,5	8760	13140	157,68	249,66	407,34
Bomba dosificadora BT4a 1000	1	0,017	8760	148,92	1,79	2,83	4,62
Bomba dosificadora MDLa 100150	1	0,026	8760	227,76	2,73	4,33	7,06
Bomba dosificadora BT5a 0232	1	0,024	8760	210,24	2,52	3,99	6,52
Filtro prensa	1	2,2	1920	4224	50,69	80,26	130,94
Coste Total Energía							1452,63

10.2 PERSONAL

Para evaluar los costes de personal, se ha tenido en cuenta que un Graduado en Ingeniería 240 días hábiles al año, con una jornada de 8 horas al día. El resumen de los costes de personal se encuentra en la **Tabla 10.2**.

Tabla 10.2. Costes totales del Personal.

Personal	Nº Personas	h/año	Salario base (€/mes)	Salario base (€/h)	Coste total (€/año)
Graduado en Ingeniería	1	1920	1920	20	38400
Costes totales personal					38400

10.3 REACTIVOS

Para el coste de los reactivos se ha tenido en cuenta las horas de funcionamiento de la instalación y las cantidades de reactivos necesarias para cada proceso teniendo en cuenta los factores de dilución aplicados para cada dosificación. Estos costes se resumen en la **Tabla 10.3**.

Tabla 10.3. Costes Totales de los Reactivos

Reactivos	Ud	Cantidad (ud/año)	Coste (€/ud)	Coste (€/año)
Floculante aniónico	L	3344,6	0,9	3010,14
Floculante catiónico	L	124,1	1,02	126,58
NaOH (98%)	g	16,64	0,03	0,50
Costes Totales de los Reactivos				3137,22

10.4 MANTENIMIENTO

El coste de mantenimiento se ha calculado suponiendo que corresponden a un 10% del Presupuesto Base de Licitación de la instalación, en el **Documento III: Presupuesto**.

Tabla 10.4. Costes de Mantenimiento de la instalación.

Apartado	Costes
Presupuesto Base de Licitación	91060,89
Mantenimiento (10%)	9106,09
Costes Totales Mantenimiento	9106,09

10.5 COSTES TOTALES

En la **Tabla 10.5** se presenta un cuadro resumen de los costes totales de operación de la instalación de depuración.

Tabla 10.5. Resumen de los costes totales de la instalación.

Fuente de los Costes	Costes (€/año)
Costes energéticos	1452,63
Costes de personal	38400
Costes de los reactivos	3137,22
Costes de mantenimiento	9106,09
Costes Totales	52095,94

A continuación, a partir de los Costes Totales calculados presentes en la **Tabla 10.5**, se calcula el coste de operación por m³ de agua que entra al sistema para ser tratada.

El caudal de entrada al sistema es:

$$Q_{\text{entrada}} = 96 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Como la instalación opera durante los 365 días del año, el caudal anual es:

$$Q_{\text{anual}} = Q_{\text{entrada}} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 96 \cdot 365$$

$$Q_{\text{anual}} = 35040 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

Si se define el cálculo de los costes de operación por cada m³ de agua tratada como:

$$\text{Costes_operación} = \frac{\text{Costes_Totales}}{Q_{\text{anual}}}$$

(Ec 11.1)

Con los Costes totales de la **Tabla 11.5** y el dato del caudal anual se calculan los costes de operación:

$$\text{Costes_operación} \left(\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{Costes_Totales} \left(\frac{\text{€}}{\text{año}} \right)}{Q_{\text{anual}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right)}$$

$$\text{Costes_operación} = \frac{52095.94 \left(\frac{\text{€}}{\text{año}} \right)}{35040 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right)} = 1.49 \left(\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right)$$

Los costes totales de operación ascienden a 1.49 €/m³.

11. CONCLUSIONES

En este Trabajo Fin de Grado se ha realizado el diseño de los equipos que forman parte del tratamiento de las aguas residuales de una industria de galvanizado, con el fin de reducir la concentración de hierro presentes en el agua residual generada en la etapa de Preflux.

A partir del tratamiento propuesto, el agua residual tratada (sobrenadante del decantador lamelar) podrá ser reutilizada en el proceso de galvanizado.

Tras los tratamientos físico-químicos llevados a cabo se ha conseguido reducir en un 97.6% la concentración de hierro en el agua de Preflux, alcanzando una concentración final de Fe^{+3} de 0.024 g/L.

La reducción en la concentración de hierro alcanzada tras el tratamiento propuesto permite que el agua reúna las características óptimas para su reutilización en el proceso de galvanizado. Con esta medida se consigue además un ahorro de consumo de agua de red estimado en 35040 m³/año lo que corresponde con un ahorro económico de 12264 €/año.

Por otra parte, el fango tiene un grado de sequedad del 35%, lo que lo hace apto para su gestión posterior por parte de un gestor externo.

12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Poder, F. Y. (2018). Notas informativas pymes. <https://www.ateg.es/media/1791/ateg-notas-informativas.pdf>
- [2] www.ateg.es. (2018). ¿Quiénes somos? <https://www.ateg.es/ateg/quienes-somos>
- [3] Empresite (2018) <http://empresite.economista.es/Actividad/GALVANIZADO/>
- [4] AGA, A. G. A. (2015). Galvanizado en caliente para protección contra la corrosión guía del especificador, 20. https://www.galvanizeit.org/uploads/publications/Galvanizado_Caliente_guia_especificador_small.pdf
- [5] Procedimientos_de_Galvanización_en_Caliente (2018) https://www.construmatica.com/construpedia/Procedimientos_de_Galvanización_en_Caliente
- [6] DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE ACUERDO DE PRODUCCIÓN LIMPIA : SECTOR GALVANIZADO (2012) Asociación Chilena de Industrias Metalúrgicas y Metalmecánicas ASIMET. http://www.asimet.cl/pdf/APL_galvanizadores/Informacion_tecnica_de_apoyo/doc0Diagnostico_sectorial_SECTOR_GALVANIZADO.pdf
- [7] Latiza, A. L. D. Z. (2010). Guía para la galvanización por inmersión en caliente, 54. www.latiza.com
- [8] Flórez, M. E., & Ruiz, J. L. (2011). Recubrimientos y Tratamientos Superficiales. *Asociación Para La Promoción Técnica Del Acero*. http://www.apta.com.es/pdf/galva_caliente.pdf
- [9] Nopon, A. B. S. (2018) Gama ABS PIK 300, 3–4. https://www.sulzer.com/-/media/files/products/compressors-and-aeration/product-information/disc-diffuser-system-type-abs/technical-data-sheets/pik_300_tds_e10460.ashx?la=es-es

ANEXOS A LA MEMORIA

1. CONDICIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

1.1. TANQUE DE OXIDACIÓN

Características principales:

- Material construcción PP 20mm.
- Capacidad 12m³.
- Medidas 6000x1000x2000mm
- Entrada brida 3", salida 3", desagüe 3"
- Provisto de parrillas de agitación por aire con membranas goma
- Electro soplante 7Hp

1.2. TANQUE DE HOMOGEINIZACIÓN

Características principales:

- Material de construcción PRFV.
- Medidas: Ø 2.500mm., H: 5.800mm.
- Emplazamiento interior o exterior.
- Capacidad útil: 25.000 Litros.
- Producto a contener: aguas de planta galvanizadora para depuración contaminadas de, con ácido clorhídrico y cloruro férrico (TEMPERATURA AMBIENTE)
- Forma cilíndrica, Base plana, toriesferico superior.
- Boca de hombre DN 500mm. con tapa.
- Tubo de venteo 4"
- Brida de llenado 2" CON TUBO BUZO
- Tubo buzo para agitación por aire.
- Salida de brida 2", por la parte inferior del depósito.
- Rebosadero brida 3"
- Brida para tubo de nivel y nivel transparente con detectores capacitivos.
- Tubo de nivel visual, sistema de bolla y contrapeso exterior guiado con tubo de PVC trasparente. Escala de capacidad.
- Detector máximo mínimo neumático.
- Cartelas de fijación a suelo.
- Soporte para placa de APQ 006. Con datos técnicos del depósito y CE.
- Vida útil 50 años. Con revisiones anuales a partir de 20 años.

1.3. DECANTADOR LAMELAR CON TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO

Características principales:

- Capacidad: 7000 Litros.
- Material de construcción PP. 15mm.
- Medidas constructivas: 4.200X1.000X2.500mm.
- Zona lamelar 1000X1000X1000mm, H-60 V 0,6 m/h material PP. O PVC.
- Canal regulable, rebosadero tubo Ø125 largo 1000mm., 40 orificios paso Ø32.
- Refuerzos exteriores acero carbono 60X60mm. pintura exterior poliuretano.
- Cuatro patas, con placas de anclaje 150X150mm.
- Deposito acumulación 1000X500X800mm.
- Entrada brida 2" salida brida 2"
- Tolva de lodos 1700X1000X500mm.
- Purga de lodos brida 1 ½ "
- Deposito coagulación, ajuste PH medidas 1000X1000X1000mm. con agitador mecánico de acero inox. C-316 motor 900 RPM. Hélice pequeña, desagües de 1" (agitación rápida) capacidad 1m3.
- Deposito floculación medidas 2600X1300X1000mm. con agitador de acero inox. C-316 agitación lenta 60 RPM, motor reductor hélice grande. desagüe 1" capacidad 2m3.

1.4. ESPESADOR CILINDROCÓNICO

Características principales:

- Deposito material PRFV. Resina Ortoftálica.
- Tubuladuras: 1 Brida DN600 PN10
- 2 bridas de 2" de vaciado.
- Diámetro interior: Ø1600 mm. Altura cilindro: 1300 mm., Altura cono: 600 mm. Altura total aprox. con estructura 3900 mm
- Fondos: Fondo superior ovalado e inferior cónico 45°.
- Capacidad total: 3m³
- Producto a almacenar: -----
- Concentración: -- 25% Densidad: Máx. 1 kg/l.
- Condiciones de operación: Tª operación: Ambiente
- Tª máxima operación: 45°C.
- Presión de trabajo: Atmosférica.
- Estratificado: Barrera química: ---
- Refuerzo mecánico: Resina Ortoftálica.
- Acabado exterior: Color a elegir por el cliente (ni oscuro ni metalizado).
- Accesorios: Estructura en acero al carbono con imprimación y pintura.
- Letrero de características en papel, orejas de elevación en acero al carbono.
- Agitador mecánico con eje largo 1200mm hélice de dos palas sobre disco de acero inox. Ø700mm.

- Válvula de mariposa 3" para salida de lodos.

1.5. FILTRO PRENSA MANUAL

Características principales:

- Chasis
- Hecho en acero al carbono pintado RAL 5015, adecuado para contener hasta 10 placas, compuesto por:
- 1 cabeza fija con patas de soporte en el suelo, completa con conexión de alimentación, con bridas, con tapa interna y tubo en acero inoxidable.
- 1 cabezal móvil deslizante en las barras laterales, con cubierta interna en acero inoxidable.
- 1 asa de acero para llevar el cilindro, con patas de soporte en el suelo.
- 2 barras laterales de tamaños adecuados.
- Dispositivo hidráulico
- Acotado para asegurar la presión de cierre, completo con:
- Tanque de aceite hidráulico;
- Bomba accionada manualmente para cerrar y abrir el paquete de placas;
- Válvula de bloqueo manual para el mantenimiento de la presión de cierre;
- Válvula manual para inversión.
- Gato oleodinámico
- Doble efecto con dimensiones y presión hidráulica para sostener la presión de la bomba de alimentación a una presión de trabajo máxima de 12 bar.
- Paquete de platos
- Completo con: 5 (3 intermedios + 2 cabezales) platos de filtración en polipropileno, modelo de platos de cámara empotradas, descarga abierta. n ° 5 (3 intermedios + 2 cabezas) ropa filtrada en polipropileno.

Datos técnicos:

- Número de platos instalados: 5
- Dimensiones: 500 X 500 mm
- Grosor de la torta: 32 mm
- Volumen de la torta: 5,58 litros
- Volumen total: 22,5 litros
- Protección Aspersores (opcional)
- Cubierta de acero inoxidable dividida en piezas con asas fáciles de desmontar para el mantenimiento.

Instrumentación

- Compuesto por: Manómetro de glicerina instalado en dumper.

1.6. DEPÓSITOS DE LOS REACTIVOS

Características principales:

- Capacidad: 1 m³
- Material: PP translucido 6 mm.
- Medidas exteriores: Ø 1.100mm., H: 1.100 mm
- Con agitador mecánico.
- Abierto
- Sin patas

1.7. BOMBAS DOSIFICADORAS

Beta®/ 4 con 180 carreras/minuto y 100 % longitud de carrera

Tipo de bomba	Caudal máx. con contrapresión máx.			Caudal máx. con contrapresión media			Conexión Øe x Øi mm	Altura de aspiración* m.c.a.	Altura de aspiración** m.c.a.	Presión previa adm. bar	Peso de envío PP, NP, PV, TT/SS aprox. kg
	bar	l/h	ml/carrera	bar	l/h	ml/carrera					
1000	10	0,74	0,07	5	0,82	0,076	6x4	6	1,8	8	2,9 / 3,6
0700	7	0,8	0,07	3,5	0,9	0,08	6x4	6	1,8	8	2,9 / 3,6
0400	4	0,84	0,08	2	1,1	0,105	6x4	6	1,8	8	2,9 / 3,6
1601	16	1,1	0,10	8	1,4	0,13	6x4	6	2,0	8	2,9 / 3,6
1001	10	1,3	0,12	5	1,5	0,14	6x4	6	2,0	8	2,9 / 3,6
0701	7	1,4	0,13	3,5	1,6	0,15	6x4	6	2,0	8	2,9 / 3,6
0401	4	1,5	0,14	2	2,3	0,21	6x4	6	2,0	8	2,9 / 3,6
1602	16	2,1	0,19	8	2,5	0,24	6x4	6	2,5	5,5	2,9 / 3,6
1002	10	2,4	0,22	5	2,8	0,25	6x4	6	2,5	5,5	2,9 / 3,6
0702	7	2,6	0,24	3,5	3,0	0,28	6x4	6	2,5	5,5	2,9 / 3,6
0402	4	2,8	0,26	2	4,0	0,37	6x4	6	2,5	5,5	2,9 / 3,6
1005	10	4,4	0,41	5	5,0	0,46	8x5****	5	3,0	3	3,1 / 4,5
0705	7	4,7	0,44	3,5	5,4	0,50	8x5****	5	3,0	3	3,1 / 4,5
0405	4	5,3	0,49	2	7,1	0,66	8x5****	5	3,0	3	3,1 / 4,5
0708	7	7,1	0,66	3,5	8,4	0,78	8x5	6	2,0	2	3,1 / 4,5
0408	4	8,3	0,77	2	10,6	0,98	8x5	4	2,0	2	3,1 / 4,5
0413	4	12,3	1,14	2	14,2	1,31	8x5	3	2,5	1,5	3,1 / 4,5
0220	2	19,0	1,76	1	20,9	1,94	12x9	2	2,0	1	3,1 / 4,5

Figura 1.12.1. Especificaciones de la Bomba dosificadora magnética ProMinent® Beta BT4a 1000.

mikro delta® con 100 carreras/minuto
y 100 % de longitud de la carrera

Tipo de unidades de transporte	Capacidad mínima de bombeo Con contrapresión máxima			Diámetro de émbolo mm	Núm. carreras Carreras/min
	bar	ml/h	µl/carrera		
100150 TT	10	145	24,17	2,5	100
100600 TT	10	580	96,67	5	100
101500 TT	10	1480	246,67	8	100
600150 SS	60	145	24,17	2,5	100
400600 SS	40	580	96,67	5	100
201500 SS	20	1480	246,67	8	100

Figura 1.12.2. Especificaciones de la Bomba dosificadora magnética ProMinent® Beta MDLa 100150.

Beta®/ 5 con 180 carreras/minuto y 100 % longitud de carrera

Tipo de bomba	Caudal máx. con contrapresión máx.			Caudal máx. con contrapresión media			Conexión Øe x Øi mm	Altura de aspiración* m.c.a.	Altura de aspiración** m.c.a.	Presión previa adm. bar	Peso de envío PP, NP, PV, TT/SS aprox. kg
	bar	l/h	ml/carrera	bar	l/h	ml/carrera					
1605	16	4,1	0,38	8	4,9	0,45	8x5****	4,0	3,0	3	4,5 / 5,9
1008	10	6,8	0,63	5	8,3	0,76	8x5	3,0	3,0	2	4,5 / 5,9
0713	7	11,0	1,02	3,5	13,1	1,21	8x5	3,0	3,0	1,5	4,5 / 5,9
0420	4	17,1	1,58	2	19,1	1,77	12x9	3,0	3,0	1	5,5 / 8,6
0232	2	32,0	2,96	1	36,2	3,35	12x9	2,0	2,0	0,8	5,5 / 8,6

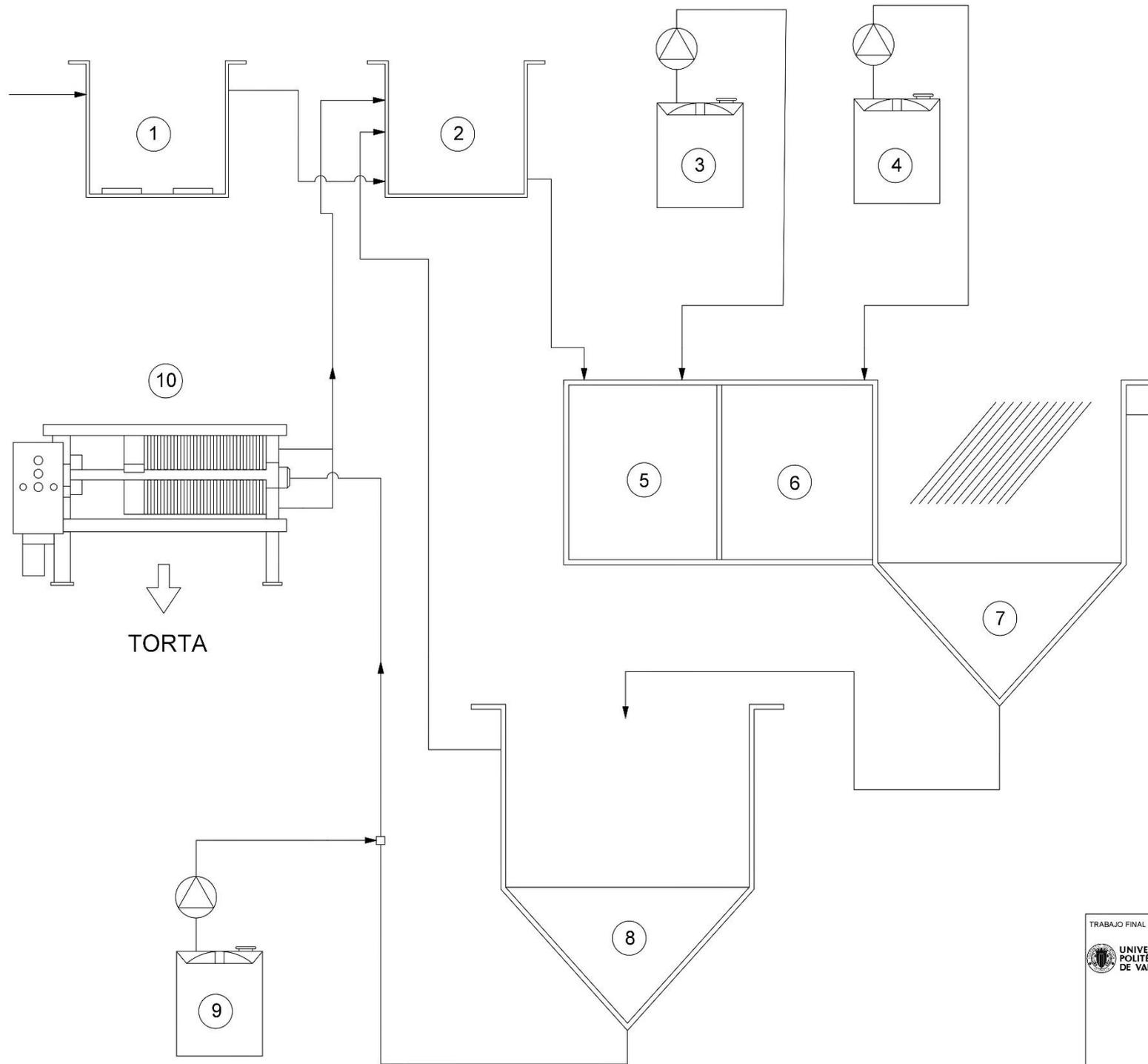
Figura 1.12.3. Especificaciones de la Bomba dosificadora magnética ProMinent® Beta BT5a 0232.

1.8. DIFUSORES DE AIRE

Características principales:

- Rango de caudal de aire de diseño: 1,5-8,0 m³/h/difusor (+20 °C; 1,013 mbar)
- Nivel del difusor: 250 mm
- 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 m²
- Tamaño de las burbujas: 1 - 3 mm
- Peso del difusor: 0,795 kg
- Intervalo máx./mín., c/c: 1,25 / 0,4 m

DOCUMENTO II: PLANOS



LEYENDA

①	Tanque de oxidación
②	Tanque de homogeneización
③	Depósito de Hidróxido sódico
④	Depósito de Polielectrolito aniónico
⑤	Tanque de ajuste de pH
⑥	Tanque de floculación
⑦	Decantador Lamelar
⑧	Depósito de Polielectrolito catiónico
⑨	Espesador
⑩	Filtro Prensa
⊕	Bombas de dosificación de reactivos
—	Conducciones

Sobrenadante a recirculación en el proceso

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA QUIMICA 	Proyecto: DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN UNA INDUSTRIA DE GALVANIZADO DE HIERRO
	Fecha: Julio 2018
Nº Plano: Línea de tratamiento	Nº Plano: 01
Alexandre Caballero Sempere <small>Autor proyecto</small>	

DOCUMENTO III: PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO

Una vez realizado el diseño de la instalación para el tratamiento de las aguas residuales y el estudio económico, en este capítulo, se incluye el presupuesto necesario para llevar a cabo este Trabajo de Fin de Grado, así como el presupuesto de inversión de la instalación diseñada.

Para ello, se dividirá el presupuesto en diferentes cuadros de presupuestos parciales. Estos son:

- Cuadro de precios de mano de obra.
- Cuadro de precios de la maquinaria.
- Cuadro de precios de los materiales
- Cuadro de precios de los equipos.

A partir de los presupuestos parciales se estimará el presupuesto de ejecución material (PEM), el presupuesto de ejecución por contrata (PEC) y el presupuesto general o presupuesto base de licitación.

Los diferentes códigos empleados para la denominación de los cuadros de presupuestos parciales se han resumido en la **Tabla 1.1**:

Tabla 1.1. Resumen de los códigos utilizados en la realización de los presupuestos parciales.

Código	Descripción del Código
MO	Mano de obra
MT	Material no amortizable
MQ	Material amortizable.
EQ	Equipos

1.1. PRESUPUESTOS PARCIALES

1.1.1. CUADRO DE PRECIOS DE LA MANO DE OBRA

Para el cálculo del coste de la mano de obra para la elaboración del TFG, se ha tenido en cuenta que el alumno dispone de 300 horas para su realización y la retribución es el salario mínimo que establece la Escuela de Ingenieros Industriales en un contrato de prácticas en empresa. Es decir, 750 €/mes suponiendo 21 días hábiles en un mes y 8 h/día.

Teniendo en cuenta estas premisas, se presenta en la **Tabla 1.2**. el cuadro de presupuesto de la mano de obra.

Tabla 1.2. Presupuesto parcial de la mano de obra.

Código	Unidad (u)	Descripción	Cantidad (h)	Precio (€/h)	Importe (€)
MO1	h	Estudiante en Ingeniería química	300	4,46	1338
Precio Total de la Mano de Obra					1338

Total Partida: 1338,00 €

Asciendo el precio total a la expresa cantidad de: **MIL TRESCIENTOS TREINA Y OCHO EUROS.**

1.1.2. CUADRO DE PRECIOS DEL MATERIAL AMORTIZABLE.

Para el cálculo del precio por hora del material amortizable empleado en el presente trabajo, se ha considerado que la amortización de dicho material es de 10 años. Por tanto, como el uso del material empleado en el laboratorio es de carácter universitario se tendrán en cuenta solo los días hábiles en un año.

El cálculo de la amortización se presenta a continuación:

$$\text{Coste} = \frac{P_{\text{maq}} \cdot t_{\text{empleo}}}{t_{\text{amort}}} \quad (\text{Ec 1.1})$$

Donde:

Coste → Es el coste del material teniendo en cuenta el precio unitario de la misma, el tiempo de empleo y el tiempo de amortización considerado.

P_{maq} → Es el precio del material (Coste del equipo)

t_{empleo} → Es el tiempo de empleo que se ha tenido del material (Tiempo de empleo)

t_{amort} → Es el tiempo de amortización considerado.

Se resume en la **Tabla 1.3.** el cuadro de presupuesto del material amortizable.

Tabla 1.3. Presupuesto parcial del material amortizable.

Código	Unidad (u)	Descripción	Coste del equipo (€)	Tiempo de empleo	Precio unitario (€/h)	Precio (€)
MQ1	h	Equipo "Jar-Test"	1746,32	2	0,91	1,82
MQ2	h	pH-metro	448,87	2	0,23	0,47
MQ3	h	Ordenador Asus	949	40	0,49	19,77
MQ4	h	Paquete de Office	102,79	200	0,05	10,71
MQ5	h	Software Mathcad	719,95	150	0,37	56,25
MQ6	h	Software AutoCad	471,9	80	0,25	19,66
Precio Total de la Maquinaria						108,67

Total Partida: 108,67 €

Asciendo el precio total a la expresa cantidad de: **CIENTO OCHO EUROS CON SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS.**

1.1.3. CUADRO DE PRECIOS DEL MATERIAL NO AMORTIZABLE.

Para este apartado, se ha tenido en cuenta todo el material empleado y los reactivos utilizados para la realización del ensayo de laboratorio. Este material, a diferencia del anterior, no se considera amortizable. En la **Tabla 1.4** se resume el cuadro de este presupuesto parcial.

Tabla 1.4. Presupuesto parcial del material no amortizable.

Código	Unidad (u)	Descripción	Precio(€/u)	Cantidad(u)	Precio (€)
MT1	Ud	Vaso de precipitados de 1 L	1,97	2	3,94
MT2	Ud	Vaso de precipitados de 500 mL	1,08	3	3,24
MT3	Ud	Vaso de precipitados de 50 mL	0,64	1	0,64
MT4	Ud	Micropipeta	40,56	1	40,56
MT5	Ud	Bureta 50 mL	16,86	1	16,86
MT6	Ud	Cono Imhoff	30,88	2	61,76
MT7	mL	FeCl3 (30% p/p, $\rho=1,3\text{kg/L}$)	0,063	5,1	0,32
MT8	g	NaOH (98% riqueza)	0,006	3,3	0,02
MT9	L	Agua de red	0,0022	2,5	0,01
MT10	mL	Flocusol KW/711	0,0032	9	0,03
MT11	mL	Flocusol KW/18	0,0035	3	0,01
Precio Total del Material					127,39

Total Partida: 127,39 €

Asciendo el precio total a la expresa cantidad de: **CIENTO VEINTISIETE EUROS CON TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS.**

1.1.4. CUADRO DE PRECIOS DE LA INSTALACIÓN.

A partir del diseño realizado en el apartado 9. **Diseño del tratamiento propuesto** se ha elegido una serie de equipos en catálogos. Los precios por unidad se presentan en la **Tabla 1.5**. Con este cuadro se completan todos los cuadros de precios que componen los presupuestos parciales.

Tabla 1.5. Resumen del presupuesto parcial de los equipos.

Equipo	Unidad (u)	Descripción	Precio (€/u)	Cantidad (u)	Precio (€)
EQ1	Ud	Tanque de oxidación de 12 m3	20690	1	20690,00
EQ2	Ud	Tanque de homogenización de 25 m3	10500	1	10500,00
EQ3	Ud	Decantador lamelar con tanque de ajuste de pH y tanque de floculación integrados	9800	1	9800,00
EQ4	Ud	Espesador troncocónico de 3 m3	3500	1	3500,00
EQ5	Ud	Filtro prensa	12000	1	12000,00
EQ6	Ud	Tanque para la dosificación de NaOH	1500	1	1500,00
EQ7	Ud	Tanque para la dosificación de floculante aniónico.	1800	1	1800,00
EQ8	Ud	Tanque para la dosificación de floculante catiónico	1800	1	1800,00
EQ9	Ud	Bomba dosificadora magnética ProMinent® Beta BT4a 1000	988,5	1	988,50
EQ10	Ud	Bomba dosificadora magnética ProMinent® Beta MDLa 100150	1250	1	1250,00
EQ11	Ud	Bomba dosificadora magnética ProMinent® Beta BT5a 0232	998,5	1	998,50
EQ12	Ud	Difusores de aire Sulzer Gama ABS PIK 300	49,5	4	198,00
Precio Total de los Equipos					65025,00

Total Partida: 65025,00 €

Asciendo el precio total a la expresa cantidad de: **SESENTA Y CINCO MIL VEINTICINCO EUROS**

1.2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

El presupuesto de ejecución material se obtiene como la suma de los presupuestos parciales calculados en el apartado anterior. El resumen de este presupuesto se encuentra en la **Tabla 1.6**.

Tabla 1.6. Resumen del Presupuesto de Ejecución Material.

Concepto	Subtotal (€)	Total (€)
Mano de Obra	1338	
Material amortizable	108,67	
Material no amortizable	127,39	
Equipos de la instalación	65025	
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)		66599,06

Asciendo el precio total a la expresa cantidad de: **SESENTA Y SEIS MIL QUINIENTOS NOVENTA Y NUEVE EUROS CON 6 CÉNTIMOS.**

1.3. PRESUPUESTO GENERAL O PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN

Para el cálculo del **Presupuesto Base de Licitación** se tendrá en cuenta que los gastos generales son un 13% del PEM, con estos se calcula el **Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)**. En estos gastos generales se incluye la luz, gas, agua u otros gastos. También se tendrá en cuenta el IVA, que actualmente es del 21% y se aplicará al PEC. Con todos estos datos, el presupuesto general se presenta en la **Tabla 1.7**.

Tabla 1.7. Resumen del Presupuesto Base de Licitación.

Concepto	Total (€)
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	66599,06
Gastos Generales (GG): 13%	8657,88
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	75256,94
IVA (21%)	15803,96
Presupuesto Base de Licitación	91060,89

Asciendo el precio total a la expresa cantidad de: **NOVENTA Y UN MIL SESENTA EUROS CON OCHENTA Y NUEVE CÉNTIMOS.**

