



Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología

**GRADO DE INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Trabajo de Fin de Grado

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DECANTACIÓN PARA OPTIMIZAR
LA DEPURACIÓN DE RESIDUOS EN UNA PLANTA DE REFINACIÓN DE ACEITES Y
GRASAS ANIMALES UBICADA EN HUELVA**

Nombre del autor:

Joaquín De Loresecha Ureba

Directores:

María del Prado Díaz de Mera Sánchez

Año académico: 2023 / 2024



Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Trabajo de Fin de Grado

El presente trabajo, titulado **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DECANTACIÓN PARA OPTIMIZAR LA DEPURACIÓN DE RESIDUOS EN UNA PLANTA DE REFINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS ANIMALES UBICADA EN HUELVA**, constituye la memoria correspondiente a la asignatura Trabajo de Fin de Grado que presenta D. JOAQUÍN DE LORESECHA UREBA como parte de su formación para aspirar al Título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías Industriales. Este trabajo ha sido realizado en UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS en el DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA QUÍMICA, ENERGÉTICA Y MECÁNICA bajo la dirección de **MARÍA DEL PRADO DÍAZ DE MERA SÁNCHEZ**.

En Móstoles, a 28 de febrero de 2024.

Contenido

1	Introducción	5
1.1	La sostenibilidad y su importancia.....	5
1.2	Los biocombustibles como fuente de energía.....	6
1.2.1	Descripción y tipología de los biocombustibles	6
1.2.2	Los biocombustibles a nivel nacional e internacional	6
1.3	Refinación del aceite y grasas animales:	7
1.3.1	Procesos de refinación del aceite y de grasas animales.....	8
1.4	Depuración de aguas residuales	13
1.4.1	Flujos de influentes a depurar	14
1.5	Localización de la planta industrial de refinación de aceite	14
2	Objetivos	16
3	Solución técnica / Resultados	18
3.1	Justificación del trabajo	18
3.1.1	Ampliación de la producción de grasas animales.....	19
3.2	Estudio de la problemática debido a la demanda	20
3.2.1	Estudio de las alternativas para aumentar la capacidad de filtrado	23
3.2.2	Filtro prensa.....	23
3.2.3	Decanter	26
3.2.4	Justificación de la elección del decanter	28
3.3	Elección del decanter.....	29
3.4	Explicación del proceso de depuración de las corrientes involucradas	31
3.5	Dimensionamiento de las líneas de la instalación del decanter.....	33
3.5.1	Dimensionamiento de la línea A.....	33
3.5.2	Dimensionamiento línea B	42
3.5.3	Dimensionamiento línea C	49
3.7	Selección de codos y uniones en “T”	56

3.8	Selección de las bombas	57
3.9	Selección de las válvulas	59
3.10	Selección de la tornillería y bridas	60
3.11	Resumen de los resultados obtenidos.....	62
4	Estudio económico.....	65
5	Planificación del trabajo.....	67
7	Conclusiones.....	68
8	Bibliografía	70
9	Anexo.....	73
9.1	Anexo 1. P&ID de la Planta de tratamiento de aguas residuales	73
9.2	Anexo 2. Índice de tablas.....	74
9.3	Anexo 3. Índice de ilustraciones	75
9.4	Anexo 4. Normativa aplicable.....	76
9.5	Anexo 5. Elementos del sistema de decantación	78
9.6	Anexo 6. Impacto ambiental debido al consumo de biocombustibles.....	82
9.7	Anexo 7. Necesidad de depurar el agua y el fango producidos en los provenientes de refinación	83
9.8	Anexo 8. Tipos de biocombustibles	84
9.9	Anexo 9. Manual de instrucciones del decanter	85
9.10	Anexo 10. Plano filtro prensa	88
9.11	Anexo 11. Planificación del proyecto.....	88

Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado se centra en la implementación de un sistema de decantación en una planta de refinación de aceites y grasas animales ubicado en Huelva, con el objetivo de optimizar la depuración de residuos generados durante el proceso de refinación. Este trabajo aborda un análisis detallado de las corrientes de residuos, incluyendo agua residual y fangos, destacando la necesidad crítica de tratar estos subproductos para cumplir con la normativa ambiental vigente y promover prácticas sostenibles dentro de la industria. Se ha realizado un estudio exhaustivo de las tecnologías disponibles, seleccionando el decanter como la solución más adecuada por su eficiencia en la separación de fases, capacidad de manejo de grandes volúmenes de residuos y compatibilidad con los requerimientos específicos de la planta. El trabajo incluye el diseño detallado del sistema de decantación, consideraciones sobre su integración en las operaciones existentes de la planta, y una evaluación de su impacto en el rendimiento del filtrado en la planta. Para la realización del diseño se han realizado esquemas del diseño a implantar, dimensionando las líneas que van a ser necesarias para conducir el fluido, seleccionando los componentes necesarios para hacer esto posible. Se ha realizado también un estudio económico del coste total del proyecto y una planificación de la duración de la implementación del proyecto teniendo en cuentas las actividades necesarias para su correcta ejecución.

Actualmente, el uso de biocombustibles está aumentando considerablemente debido a la preocupación ambiental y el impacto nocivo producido por el uso de combustibles. Por otro lado, la gestión de los residuos generados por las plantas industriales es una preocupación muy presente, debido a que la normativa cada vez es más exigente con la búsqueda de la sostenibilidad y la preocupación por el medio ambiente.

1 Introducción

1.1 La sostenibilidad y su importancia

El logro del desarrollo sostenible requiere un enfoque integral que considere tanto las preocupaciones ambientales como el desarrollo económico. En 1987, la Comisión Brundtland de las Naciones Unidas definió la sostenibilidad como la capacidad de "satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades". En la actualidad, cerca de 140 países en desarrollo buscan abordar sus necesidades de desarrollo, pero la creciente amenaza del cambio climático exige esfuerzos concretos para garantizar que el desarrollo actual no tenga impactos negativos en las generaciones venideras.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecen un marco para mejorar las condiciones de vida en todo el mundo y mitigar los efectos perjudiciales derivados de las actividades humanas relacionadas con el cambio climático. Específicamente, el ODS 13: Acción por el clima insta a la integración de medidas para prevenir el cambio climático en los planes de desarrollo. Además, el ODS 14: Vida submarina y el ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres también abogan por prácticas más sostenibles en el uso de los recursos naturales del planeta. Estos objetivos reflejan la necesidad imperativa de adoptar enfoques responsables y sostenibles en el desarrollo para preservar el equilibrio ambiental y garantizar un futuro viable para las generaciones venideras [1]. En la ilustración 1 se muestran los ODS:



Ilustración 1 - Objetivos de desarrollo sostenible [2]

Sin embargo, la dimensión ambiental juega un papel crucial en la sostenibilidad. Esto implica la conservación y preservación de los recursos naturales, la biodiversidad y la mitigación de impactos negativos sobre el medio ambiente. La sostenibilidad busca minimizar la huella ecológica de las actividades humanas, promoviendo prácticas respetuosas con el entorno y fomentando la transición hacia fuentes de energía renovable.

1.2 Los biocombustibles como fuente de energía

A continuación, se van a contextualizar los combustibles realizando un análisis de cuál es su situación actual y cuál es su relevancia.

1.2.1 Descripción y tipología de los biocombustibles

¿Qué es el biocombustible?

Los biocombustibles son combustibles derivados de materia orgánica, normalmente residuos vegetales o animales. Se producen mediante procesos biológicos y se utilizan como alternativas a los combustibles fósiles tradicionales como el petróleo y el gas natural. El principal objetivo de los biocombustibles es reducir la dependencia de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero [3].

Las tipologías de biocombustibles están reflejadas en el anexo 7.

1.2.2 Los biocombustibles a nivel nacional e internacional

A nivel nacional en España también se está apostando por este tipo de energía, y por ello se van a dar varios ejemplos de menciones y proyectos que se están llevando a cabo para explotar el biocombustible como fuente de energía:

- Repsol invertirá 200 millones de euros en el proyecto, que producirá 250.000 toneladas anuales de biocombustibles avanzados como biodiésel, bionafta y biopropano, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono en 900.000 toneladas anuales [4].
- Fragmento de un artículo del periódico 5 días con título “España, el hidrógeno verde y los biocombustibles: su gran oportunidad”: *“Nos referimos a sectores como la industria pesada –intensiva en el uso de la energía– o el transporte pesado y de larga distancia, como barcos, aviones o camiones. Los biocombustibles avanzados presentan la virtud de dar una segunda vida a residuos orgánicos que ahora se desechan, impulsar proyectos industriales que tanta falta nos hacen en la España rural, explotar mejor la potente industria del refino español y garantizar el suministro de combustibles sostenibles aprovechando gran parte de las infraestructuras logísticas y vehículos ya existentes para así minimizar el impacto económico de la transición a nivel país [5]”.*

A continuación, se adjunta la ilustración 2 que refleja la distribución porcentual de la producción mundial de biocombustible en 2022, por países:

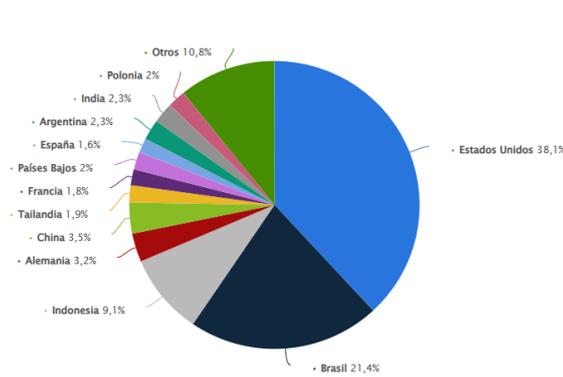


Ilustración 2 - Distribución porcentual de la producción mundial de biocombustibles [6]

1.3 Refinación del aceite y grasas animales:

Antes que nada, deberíamos saber que se entiende por refinación, para muchos científicos y técnicos no es más que el conjunto de procesos que se le realizan a los aceites para eliminar aquellos componentes que disminuyen su calidad. En el libro “Los aceites y grasas. Refinación y otros procesos de transformación industrial” se nos define la refinación como “la serie de tratamientos a que son sometidos los distintos aceites crudos para adecuarlos a la demanda de los consumidores” [7].

Los componentes más comunes en todos los aceites y que son los que queremos eliminar en los diferentes procesos de refinación son [8]:

1. Todos los aceites contienen en mayor o menor medida fosfátidos o fosfolípidos (también conocidos como lecitinas), que son cadenas hidrocarbonadas, las cuales tienen esterificadas moléculas de ácido fosfórico. Estos fosfolípidos deben ser eliminados en la primera operación de refinación debido a que su presencia en otros procesos ocasiona dificultades más o menos complejas. Además de las dificultades técnicas que pueden originar, si no se eliminan, también ocasionan una menor vida útil de los aceites refinados y provocan la aparición de malos olores ya que favorecen la auto oxidación de las grasas. El contenido de fosfolípidos puede variar entre el 0,3% y el 3,0% dependiendo del tipo de aceite.

2. Los ácidos grasos libres están presentes en todos aceites en mayor o menor cantidad. El aceite está formado en su mayor proporción (98% aproximadamente) por Triacilgliceroles o triglicéridos, una molécula de glicerina unida a tres ácidos grasos libres. Técnicamente en el aceite no debe de haber ácidos grasos libres, sin embargo, la unión entre la glicerina y estos ácidos grasos es muy débil por lo que si el aceite “sufrir” por algún motivo estas uniones se rompen formando un diacilglicerol o diglicérido (una molécula de glicerina y dos ácidos grasos), y un ácido graso libre. Por tanto, el número de ácidos grasos libres nos da una idea de lo que el aceite ha “sufrido” por lo que

es un gran índice para medir la calidad del mismo. En la ilustración 3 se puede observar el proceso de generación de un ácido graso libre.



Ilustración 3 - Esquema del proceso de generación de un ácido graso libre [15]

3. Los metales presentes en los aceites como el sodio (Na), Calcio (Ca), Potasio (K), Hierro (Fe), ... conviene ser eliminados ya que favorecen la auto oxidación de los lípidos insaturados.
4. Los Pigmentos, que son los responsables del color en los aceites, se eliminan por una razón meramente estética. Si la finalidad del aceite no fuese la alimentación, sino el biocombustible, por ejemplo, no nos interesaría eliminar los pigmentos.
5. Los componentes volátiles que dan al aceite olores y sabores no aceptados por los consumidores.
6. Los benzopirenos, que son hidrocarburos aromáticos venenosos para el ser humano por lo que hemos de eliminarlos.
7. Otros contaminantes como pesticidas, insecticidas o herbicidas.
8. Las ceras que afectan a la presentación de los aceites debido a que estas se presentan en forma de sólidos en suspensión, debido a su cristalización a bajas temperaturas.

1.3.1 Procesos de refinación del aceite y de grasas animales

- **Desgomado / Neutralización:**

Entre los distintos procesos de refinación de aceite, el primero que se va a llevar a cabo es el desgomado, cuyo objetivo es eliminar los fosfolípidos y otras impurezas insolubles y metales presentes en el aceite crudo. Es fundamental eliminar estas impurezas y fosfolípidos en la fase inicial ya que pueden afectar a la calidad, la estabilidad y la vida útil del aceite, causando dificultades más o menos relevantes como provocar la presencia de fósforo en el aceite. Los fosfolípidos pueden ser hidratables o no hidratables. Los

fosfolípidos hidratables son aquellos que son más solubles en agua y por lo tanto, mediante la adición de agua generan “barros” los cuales se separan de la fase oleosa fácilmente. De lo contrario, los fosfolípidos no hidratables son aquellos que no son solubles en agua teniendo una composición de sales de calcio y magnesio, causantes de la inmiscibilidad con el agua. Para poder convertirlos en fosfolípidos hidratables y que puedan ser eliminados, se requiere de la adición de ácido fosfórico o cítrico, el cual se encarga de romper las sales. Una vez separadas ambas fases, fase oleosa y acuosa, se procede a la separación mediante un proceso de centrifugación.

El desgomado es una etapa importante en el proceso de refinación de aceites vegetales, que tiene como objetivo remover los fosfolípidos y otras impurezas insolubles presentes en el aceite crudo. Estas impurezas pueden afectar la calidad, la estabilidad y la vida útil del aceite, además de influir en sus propiedades sensoriales y de cocción.

El proceso de desgomado se lleva a cabo de la siguiente manera:

1. Mezcla del aceite crudo: El aceite crudo entra en un intercambiador el cual absorbe calor del aceite ya desgomado previamente, posteriormente pasa a un segundo intercambiador donde se hace pasar vapor para ceder calor al aceite, este aumento de temperatura conlleva una mayor eficiencia en la actuación de los ácidos, para reducir la viscosidad y facilitar la mezcla.
2. Se añade una solución acuosa (agua caliente) al aceite crudo calentado. La solución acuosa contiene ácido cítrico o ácido fosfórico diluido. Estos ácidos actúan como agentes desgomantes, ayudando a romper los enlaces entre los fosfolípidos y las otras impurezas y el aceite.
3. La mezcla de aceite y solución acuosa se agita vigorosamente para permitir que los ácidos interactúen con las impurezas consiguiendo homogeneidad en la mezcla.
4. Una vez se tiene la mezcla madurada, el aceite se introduce en un depósito llamado “madurador” donde se deja reposar durante unos minutos para que el ácido pueda hacer efecto correctamente, simultáneamente unas palas que están dentro del depósito agitan toda la mezcla para mantener su homogeneidad.
5. Teniendo una mezcla ya madurada, se introduce en una centrífuga que se encarga de separar la fase líquida (aceite) de la fase pesada que queremos eliminar (agua, impurezas y fosfolípidos).
6. Secado: el aceite refinado se somete a un proceso de secado para eliminar cualquier humedad residual, introduciéndolo en un depósito a presión llamado “secador”.

7. Retorno al intercambiador: finalmente el aceite ya desgomado se hace pasar por el intercambiador mencionado inicialmente en el cual se cede calor al aceite crudo que se introduce al proceso de desgomado.

En el proceso de desgomado el producto final contiene ácidos grasos libres que están presentes en el aceite, ahora bien, existe la posibilidad de capturar dichos ácidos grasos consiguiendo reducir la acidez del producto. Para poder conseguir esto, es necesaria la adición de una base (sosa caustica) antes de la separación, reaccionando con los ácidos grasos libres mediante un proceso de saponificación dando como resultado jabón y glicerina. La cantidad de sosa se añade en cantidades estequiométricamente correspondientes al grado de acidez que queramos conseguir.

Si realizamos esta acción, el proceso de desgomado se denomina neutralización. En la fase de centrifugación mencionada en el punto 5 anteriormente irán incluidos los jabones resultantes de la aglutinación y captura de los ácidos grasos libres, y también quedará una cantidad de aceite y que el proceso no es perfecto y se arrastra cierta cantidad de triglicéridos.

Esta fase que origina un producto pesado conocido genéricamente como “pastas”, dichas pastas son enviadas a una planta de tratamiento donde se intenta recuperar la porción lipídica para su valorización [7].

El esquema de funcionamiento del proceso de desgomado se refleja en la ilustración 4:

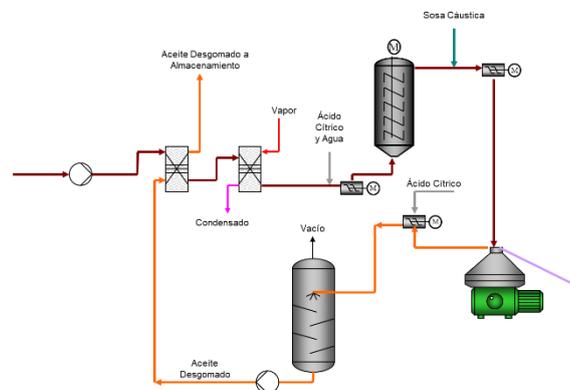


Ilustración 4 - Esquema del proceso de desgomado [Fuente: Planta Industrial]

- **Decoloración:**

El segundo proceso que se le aplica al aceite es el proceso de decoloración, cuyo principal objetivo es eliminar impurezas, pigmentos encargados de aportar color al aceite, trazas de metales, fosfolípidos no eliminados en el desgomado y otras sustancias indeseables. La eliminación de los pigmentos es puramente estética, por lo que es opcional dependiendo de los requerimientos del producto deseado.

Para llevar a cabo la decoloración, se utilizan adsorbentes, que son sustancias capaces de atrapar o adsorber moléculas indeseables presentes en el aceite. Uno de los adsorbentes más comunes utilizados en la industria es la tierra de blanqueo (tierra fuller o tierra de blanqueo activada).

El proceso de decoloración consiste en mezclar la tierra de blanqueo con el aceite atrapando los pigmentos y compuestos no deseados presentes en el aceite, se calienta la mezcla para favorecer la activación de las propiedades adsorbentes de la tierra y posteriormente se agita la mezcla para asegurar una distribución uniforme de la tierra y promover el contacto entre la tierra y las impurezas en el aceite. Finalmente, la mezcla se filtra para separar la tierra de blanqueo y las impurezas adsorbidas del aceite a través de un filtro que contiene unas mallas para posibilitar esta filtración [7].

El esquema de funcionamiento del proceso de decoloración se refleja en la ilustración 5:

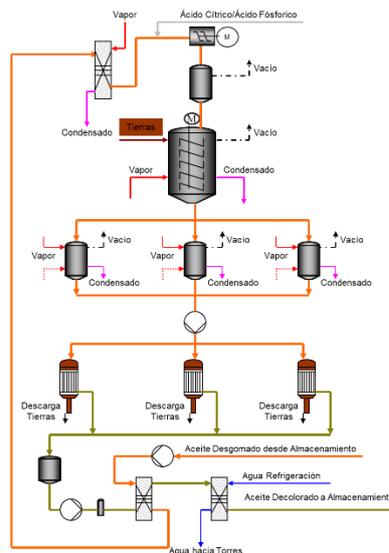


Ilustración 5 - Esquema del proceso de la decoloración [Fuente: Planta Industrial]

- **Desodorización:**

La etapa de Desodorización es crucial en el proceso de refinación de aceite, ya que es la última operación industrial que se lleva a cabo y requiere una atención extrema para obtener un aceite de alta calidad y estabilidad, si no se requiere un aceite tan refinado y con estas características, no haría falta realizar la desodorización.

Durante este proceso se eliminan los compuestos que contribuyen al sabor y olor del aceite, los cuales son principalmente volátiles. Estos compuestos pueden provenir tanto de fuentes naturales como de procesos de extracción o degradación del aceite, y están compuestos

principalmente por aldehídos, cetonas, alcoholes, hidrocarburos de cadena corta y ácidos grasos libres.

Para eliminar estos componentes volátiles, se somete el aceite a una destilación a alta temperatura y baja presión (vacío), utilizando vapor o gas de arrastre [7].

- **Tratamiento de pastas:**

En el proceso de desgomado, cuando se agrega sosa, se produce una reacción de neutralización que ayuda a atrapar los ácidos grasos libres, pero también arrastra una parte de los triglicéridos, los cuales tienen valor comercial y se desean recuperar. Esta mezcla resultante se conoce como pastas, las cuales se someten a un proceso de tratamiento para recuperar la parte de aceite arrastrada. Las pastas están compuestas por agua, jabones (sosa y ácidos grasos libres), aceite (triglicéridos) e impurezas. El proceso de tratamiento de las pastas se refleja en la ilustración 6 [7]:

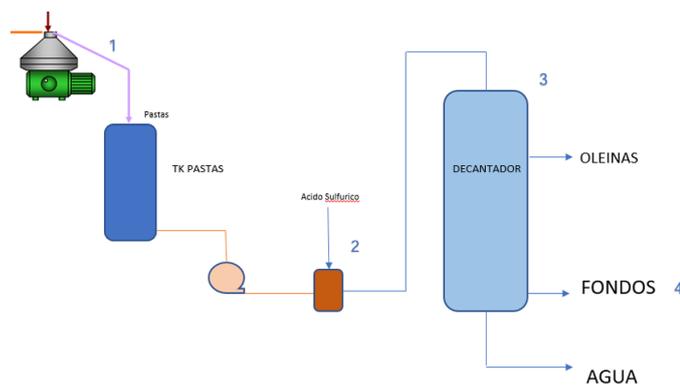


Ilustración 6 - Esquema del proceso de tratamiento de pastas [Fuente: Planta Industrial]

- 1- La fase pesada, también conocida como "pastas", se separa por densidad en la centrifugadora y está compuesta por agua, aceite (triglicéridos), jabones (sosa y ácidos grasos libres) e impurezas. Esta fase pesada se almacena en un tanque y se calienta a unos 90°C para homogeneizar la mezcla y acelerar la reacción con el ácido sulfúrico que se agregará posteriormente.
- 2- En este paso, las pastas se envían a un mezclador donde se agrega ácido sulfúrico diluido con agua. El ácido sulfúrico "romperá" las pastas y las separará en distintas fases.
- 3- Después de salir del mezclador, las pastas junto con el ácido se envían a un tanque llamado decantador, donde se dejan reposar hasta que la mezcla se separa por densidad en tres fases bien definidas. Estas fases son:

- En la parte superior se obtiene una fase oleosa llamada oleínas, que es esencialmente triglicéridos con un nivel muy alto de ácidos grasos libres. Estas oleínas se almacenan en un tanque para su posterior comercialización.
- En la parte intermedia se encuentra una fase acuosa, que se envía a la depuradora para su tratamiento. Esta fase acuosa es la que interesaría para este proyecto, ya que, al ser enviada a la depuradora, va a ser procesada posteriormente por el decanter.
- Por último, en la parte inferior se obtiene una fase conocida como "fondos", que está compuesta por oleína en un 15-25%, agua en un 50% aproximadamente y el resto por impurezas [7]. Dichos porcentajes se reflejan en la ilustración 7:

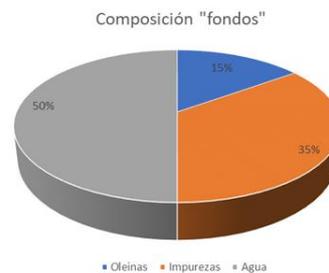


Ilustración 7 - Gráfico de la composición de los "fondos" [Fuente: Elaboración propia]

1.4 Depuración de aguas residuales

Lo primero que habría que tener en cuenta a la hora de realizar este proyecto, es un planteamiento del problema que crea la necesidad de depuración del agua. El primer concepto que habría que tener claro es el de agua residual, se puede definir agua residual como aquella que procede del empleo de un agua natural o de la red en un uso específico. La eliminación del agua residual se conoce como vertido. Snow en 1849 demostró la transmisión del cólera a través de aguas contaminadas por aguas residuales; a partir de este momento se tomó conciencia de que las aguas residuales eran transmisoras de enfermedades y por lo tanto un problema que debía ser solucionado. Las aguas residuales no solo contienen patógenos, sino que también contienen otras muchas sustancias contaminantes.

Entre los distintos componentes contaminantes que contiene el agua residual, hay que destacar la materia orgánica. Estos compuestos son de naturaleza reductora, esto conlleva que consuma oxígeno, y pueden estar presentes de forma coloidal o disuelta. Además, hay elementos de naturaleza inorgánica, que pueden ser de distinta composición, como nitrógeno, fósforo y sustancias tóxicas y peligrosas.

Por lo tanto, teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, el agua residual puede originar problemas medioambientales muy severos debido a su composición, la presencia de

materia orgánica junto con nutrientes puede provocar alteraciones en el microbiota de un sistema, produciendo así eutrofización del medio con presencia de sustancias tóxicas que pueden ser dañinas incluso para los seres humanos, si se utiliza esta agua. Una vez planteada esta problemática, se ve una clara necesidad de depurar las aguas residuales producidas por los distintos procesos de la refinación del aceite [9].

1.4.1 Flujos de influentes a depurar

Mencionados todos los procesos que se ven involucrados en la refinación del aceite y de las grasas animales, hay que tener una foto clara de cuáles son los que realmente nos interesan para su depuración y filtrado. Las corrientes son las siguientes:

- El agua ácida que pertenece a la fase acuosa del tratamiento de pastas, esta agua es tratada previamente ya que se introduce en los reactores que se ocupan de mezclar cal con dicha agua para eliminar el fósforo y neutralizar su pH. Posteriormente es enviada desde los reactores al decanter que se ocupará de separar la cal del agua.
- El fango producido en los SBRs (Sequencing Batch Reactor), que son reactores biológicos secuenciales en los que el agua residual procedente de la decoloración / desodorización se mezcla con un lodo biológico compuesto por organismos aerobios. En este proceso se combina aeración y clarificación, el encargado de suministrar el agua en dosis controladas a los organismos para que estos la depuren es el buffer tank. Los organismos aerobios muertos depositados en el fondo, pasan posteriormente a un espesador de fangos para favorecer a la concentración del fango facilitando su posterior decantación. Posteriormente el fango es enviado al decanter donde finalmente se separa el fango del agua, enviando el fango a una cuba para ser retirado de la fábrica, y el agua se reconduce al buffer tank para ser reutilizado en los SBR posteriormente.

El resto de los procesos como la decoloración y la desodorización que producen también aguas contaminadas, se llevan a un separador de grasas para posteriormente ser enviadas al buffer tank y ya se distribuye según la cantidad deseada en los SBR. El proceso de desgomado o neutralización no se ve tan involucrado ya que es el paso previo al tratamiento de pastas que es del que realmente se extrae el agua a depurar [9].

1.5 Localización de la planta industrial de refinación de aceite

La Planta industrial se sitúa en el Muelle Torre Arenillas del Puerto exterior de Huelva. Dicha planta se encuentra calificada como suelo urbano para uso industrial por el Excmo. Ayuntamiento de Palos de la Frontera. Los núcleos urbanos más próximos son La Rábida a 5 Km y el casco urbano de Huelva

a 10 Km. La planta constituye una unidad independiente, comunicada con la planta de almacenamiento de materias primas (DECAL S.A.) mediante tuberías de acero inoxidable.

La parcela es de uso industrial-portuario, y está comunicada por ferrocarril (Huelva-12 Km), carretera (N-442), aeropuerto (Sevilla-95 Km) y puerto (Huelva-12 Km), siendo esta última vía de comunicación la más interesante para la actividad empresarial que se desea desarrollar. Los accesos son fáciles y amplios, situado a conveniente distancia de cualquier foco de suciedad, contaminación o insalubridad.

Tanto las dimensiones de las instalaciones y equipos, como el diseño en conjunto y la construcción permiten el aseguramiento en todo momento de la calidad del producto final, evitando la contaminación de este incluyendo la cruzada. El producto pasa de una instalación a otra por el interior de tuberías de acero inoxidable, por lo que se siguen flujos unidireccionales y éstos no quedan expuestos a condicionamientos ambientales. En la ilustración 8 se puede observar la ubicación de la planta y sus coordenadas correspondientes:

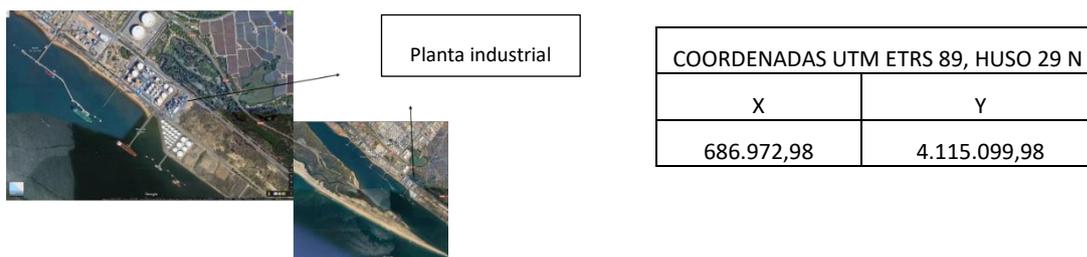


Ilustración 8 - Visualización de la localización de la fábrica (Fuente: Google earth)

La superficie ocupada por todas las instalaciones objeto de este proyecto es de 27.827 m²., de las cuales 21.363 m² se encuentran urbanizados y construidos (Área A de la figura) y 6.560m² se encuentran pendientes de construcción (Área B de la figura), que es donde estará ubicada la instalación. En la ilustración 9 se reflejan ambas áreas:



Ilustración 9 - Visualización de las áreas de operación (Fuente: Google earth)

2 Objetivos

Los objetivos principales de este trabajo fin de grado son:

- Realizar un estudio con el objetivo de implementar un sistema de decantación para optimizar la depuración de residuos en una planta de refinación de aceites y grasas animales. Dicha necesidad de aumentar la capacidad de filtrado se debe a un aumento de la producción que provoca la generación de una mayor cantidad de residuos a filtrar.
- Diseño e implementación óptima de una instalación de un sistema de decantación que sea capaz de depurar las corrientes residuales teniendo en cuenta las cantidades requeridas.

Dicho estudio con lleva una serie de objetivos secundarios como:

- Reutilización de las corrientes depuradas y decantadas en otros procesos de la planta para disminuir el consumo de recursos necesarios para el funcionamiento de la fábrica.
- Obtención de los residuos con la mínima cantidad de agua reduciendo la necesidad de transportar cantidades más pesadas y contribuyendo de esta manera a una reducción del impacto ambiental.
- Obtención de aguas procesadas que se puedan verter en la ría colindante a la planta sin causar ningún impacto nocivo sobre la flora y/o la fauna.

La planificación para lograr dichos objetivos tendrá las siguientes fases:

1. Análisis de la situación actual de la planta
 - a. Consolidación de la información necesaria para analizar los aspectos más relevantes de la planta para el estudio.
 - b. Determinación de la problemática provocada por la ampliación de la producción analizando los posibles puntos de dolor que esta conlleva. Identificando que el problema se ve reflejado en la depuradora, en concreto en la capacidad de filtrado.
2. Propuesta de solución para la problemática identificada
 - a. Análisis del sistema de filtrado actual para estudiar sus condiciones de trabajo.
 - b. Estudio de alternativas equivalentes, pero con mayor rendimiento para el sistema de filtrado.
 - c. Elección de la alternativa más beneficiosa para las necesidades requeridas
3. Diseño de la instalación necesaria para implantar el decanter
 - a. Selección de los componentes necesarios para realizar la instalación que conformará el sistema de decantación.

- b. Dimensionamiento de las líneas necesarias para conducir el fluido en base a la velocidad y caudal requerido en cada una de las líneas.
 - c. Obtención de las potencias necesarias para las bombas encargadas de impulsar el fluido a través de las líneas dimensionadas.
4. Análisis económico de la inversión
- a. Elaboración del presupuesto total del trabajo a través de presupuestos facilitados tanto por el fabricante como por la planta.
 - b. Análisis de viabilidad de la instalación
5. Estimación de las distintas actividades necesarias para llevar la instalación a cabo
- a. Planificación de las actividades necesarias para poder llevar a cabo el trabajo, a través de un diagrama de Gantt.

3 Solución técnica / Resultados

En este apartado se van a reflejar todos los cálculos que son necesarios para conseguir un diseño correcto del sistema de decantación que va a ser implantado.

3.1 Justificación del trabajo

Antes de mencionar cual ha sido la metodología y el análisis que se ha realizado para el trabajo, habría que justificar por qué es más interesante / rentable internalizar la capacidad de filtrado, y no contratar una gestora de residuos externa (ver estudio económico). Antes de implantar la EDAR (estación de depuración de aguas residuales), se analizaron las distintas alternativas de gestión de los residuos. La conclusión una vez realizada el análisis, fue que es más rentable para la fábrica depurar al máximo los residuos generados por la siguiente razón:

- La posibilidad de reutilizar los residuos una vez han sido depurados, por ejemplo, si a través de algunos agentes químicos adicionales se consigue regular el pH del agua y se obtiene agua depurada, dicha agua industrial puede reconducirse a procesos en los que podría intervenir, sin la necesidad de consumir mayores cantidades de agua.

A continuación, en las ilustraciones 10 y 11 se adjuntan distintas vistas de la fábrica visualizada en Autodesk Navisworks Freedom:

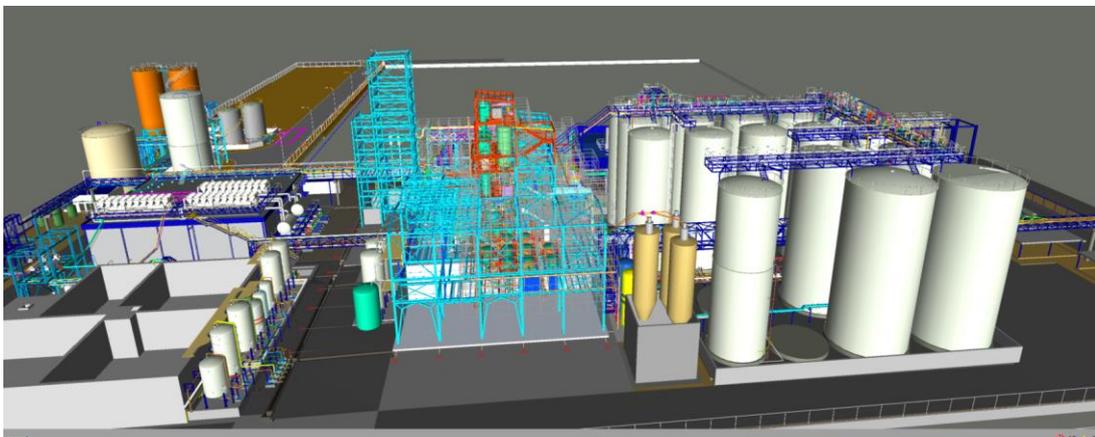


Ilustración 10 – Visualización 1 en 3D de la planta [Fuente: Planta]

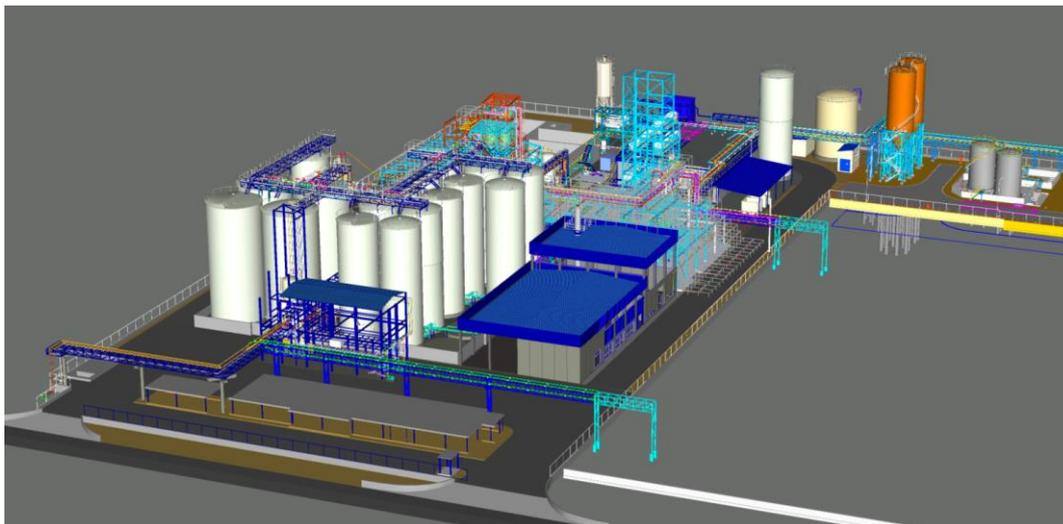


Ilustración 11 - Visualización 2 en 3D de la planta [Fuente: Planta]

3.1.1 Ampliación de la producción de grasas animales

Partimos de la situación de que la planta cuenta con un sistema completo de producción de aceites refinados (tratados) apto para ser utilizado como materia prima en la obtención de biodiesel e Hidro biodiésel (también denominado HVO por sus siglas en inglés, de Hydrotreated Vegetable Oil); todo ello mediante el tratamiento de aceites vegetales de primer uso y residuales; e incluso grasas animales (categoría 3). Se considera una capacidad nominal de 268.400 TM/año de materia prima procesada, con capacidad de producción instalada de hasta 500.000 tn/año; equivalentes a 250.000 TM /año de producto acabado.

Fruto de esta reconversión se consiguen una serie de acuerdos con clientes estratégicos que exigen aumentar la capacidad productiva de la refinería, así como adaptar los servicios periféricos al volumen que se pretende alcanzar. La previsible demanda se basa en acuerdos de suministro con clientes en el ámbito nacional e internacional.

Estos acuerdos exigen aumentos de capacidad productiva, que se plantean hacer de forma escalonada para no invertir sin horizontes consolidados de negocio.

Como consecuencia de esta demanda, se pretende alcanzar capacidad de producción de casi 650.000 tn/año lo que, según se va a poner de manifiesto en el presente informe, conllevará aumento en la producción de residuos y en otros aspectos que hará necesaria la modificación de la Autorización ambiental existente.

Como consecuencia de este incremento, los dos reactores biológicos no serían suficiente para eliminar la DQO requerida, y va a ser necesario disponer de un tercer reactor biológico (SBR3)

El aumento productivo implica también un aumento de generación de residuos, por tanto, la planta de tratamiento de aguas residuales debe verse modificada. Es aquí donde se contemplaba inicialmente instalar un segundo filtro prensa, pero debido a motivos de eficiencia argumentados, se ha decidido instalar un decanter como filtro.

3.2 Estudio de la problemática debido a la demanda

Para aumentar la capacidad de filtrado, se contemplan diversas opciones que se adapten de la mejor manera a las necesidades después de la ampliación de la producción. Hay que tener en consideración que la ampliación de la producción se realiza gradualmente, es por ello por lo que se divide en distintas fases para poder evaluar cual es la producción en cada una de ellas. Para la elección de la máquina encargada de realizar el filtrado, se han realizado cálculos adaptados a cada fase en función de la demanda.

- Fase 1:

Esta fase refleja la situación inicial, en la que la producción aún no había aumentado lo suficiente como para aumentar la capacidad de filtrado. A continuación, en la tabla 1 y tabla 2, se ve cual es la demanda de producción para los procesos con efluente de entrada en el refinado (desgomado, neutralización y tratamiento de pastas)

Demanda de producción anual		
Toneladas entrada desgomado	Toneladas entrada neutralización	Total (Tn)
159.500	64.500	224.000

Tabla 1 - Demanda de producción anual [Fuente: Elaboración propia]

Cantidades de agua del tratamiento de pastas a depurar		
Datos de entrada		Resultados
Vol. Agua ácida (Tn)	DQO (ppm)	Kg DQO eliminada
13.129,46	18.682,91	245.296,48

Tabla 2 - Cantidades de agua del tratamiento de pastas a depurar [Fuente: Elaboración propia]

A estos kg de DQO a eliminar habría que sumarle otros 24.000 kg que se tienen que eliminar debido a aguas residuales producidas en el separador de grasas y otras aguas de proceso.

Una vez reflejadas las cantidades anuales que van a ser producidas, se refleja en la tabla 3 la capacidad de los tanques SBR para comprobar que van a poder almacenar dichas cantidades:

Capacidades SBRs	
Capacidad 1 SBR (KgDQO/día)	Capacidad 2 SBR (KgDQO/día)
884,5	1.769

Tabla 3 - Capacidades SBRs [Fuente: Elaboración propia]

Por último, en la tabla 4 se compara la capacidad que es necesaria debido a la demanda, y la capacidad disponible con los dos SBR, calculando por lo tanto en la tabla 5 el déficit que hay entre ambos resultados:

Capacidad necesaria SBR1 +SBr2 (Kg/año)	Capacidad anual SBR1 +SBr2 (Kg/año)
269.925,81	645.685

Tabla 4 - Capacidad de los SBR disponible vs necesaria (Fase 1) [Fuente: Elaboración propia]

Déficit (kg/año)
-375.759,19

Tabla 5 - Déficit de las diferencias de las capacidades de los SBr (Fase 1) [Fuente: Elaboración propia]

Se puede confirmar que en la fase 1 no va a ser necesario un SBR extra, ya que con los dos SBR que hay instalados la demanda está cubierta con un margen de seguridad considerable.

- Fase 2:

Para la fase 2 la producción aumenta ajustándose a la demanda, por lo tanto, se va a realizar el mismo estudio que se ha realizado en la fase 1 para la nueva demanda. Se calcula en la tabla 6 y en la tabla 7 la demanda anual para cada una de las entradas:

Demanda de producción anual		
Tn entrada desgomado	Tn entrada neutralización	Total (Tn)
538.000	87.000	625.000

Tabla 6 - Demanda de producción anual [Fuente: Elaboración propia]

Cantidades de agua del tratamiento de pastas a depurar		
Datos de entrada		Resultados
Vol. Agua ácida Tn	DQO (ppm)	Kg DQO eliminada
35.623,92	15.864,66	565.161,38

Tabla 7 - Cantidades de agua del tratamiento de pastas a depurar [Fuente: Elaboración propia]

A estos kg de DQO a eliminar habría que sumarle otros 80.497,92kg que se tienen que eliminar debido a aguas residuales producidas en el separador de grasas y otras aguas de proceso.

Se sigue teniendo las mismas capacidades de los SBR como se puede ver en la tabla 8:

Capacidades SBRs	
Capacidad 1 SBR (KgDQO/día)	Capacidad 2 SBR (KgDQO/día)
884,5	1769

Tabla 8 - Capacidades de los SBR [Fuente: Elaboración propia]

Por último, se compara en la tabla 9 la capacidad necesaria con la disponible de los SBR, y en la tabla 10 el déficit correspondiente:

Capacidad necesaria SBR1 +SBr2 (Kg/año)	Capacidad anual SBR1 +SBr2 (Kg/año)
645.659,30	645.685

Tabla 9 - Capacidad de los SBR disponible vs necesaria [Fuente: Elaboración propia]

Déficit (kg/año)
-25,70

Tabla 10 - Déficit de la diferencia de capacidades de los SBR [Fuente: Elaboración propia]

Como se puede comprobar en el resultado del déficit tiene un margen mínimo, esto se traduce en que con la capacidad disponible no es viable soportar el ritmo de producción que está siendo demandado. A través de esta fase se está levantando la necesidad de aumentar el almacenamiento instalando un tercer SBR. Debido a esta situación, el aumento de producción genera un aumento de residuos, lo que conlleva un aumento de la capacidad de filtrado. Es en este punto en el que se empiezan a valorar las distintas opciones de filtrado para la fábrica.

La primera opción es continuar con el mismo mecanismo de filtrado que tenían antes del aumento de la producción, que era un filtro prensa. Se va a hacer un análisis de la eficiencia

de dicho filtro para comprobar si es el mecanismo más adecuado y eficiente para la ampliación de la capacidad de filtrado.

3.2.1 Estudio de las alternativas para aumentar la capacidad de filtrado

Van a estudiarse las alternativas que pueden resolver la problemática expuesta anteriormente. Actualmente en la planta a estudiar se está aplicando el filtro prensa como sistema de filtrado, que se detallará a continuación. Una vez analizadas las condiciones de trabajo del sistema de filtrado actual, se estudiarán alternativas que ofrezcan un mayor rendimiento.

3.2.2 Filtro prensa

¿Qué es un filtro prensa?

Un filtro prensa de membrana es una fina pantalla microscópica a través de la cual se presiona el líquido. Los tamices de membrana tienen poros muy finos que retienen minerales, lo que los hace adecuados para el tratamiento de lodos y la purificación de aguas residuales.

Utilizando un filtro prensa de membrana, los lodos de aguas residuales se deshidratan en dos etapas: filtración mediante una bomba de alimentación en la primera etapa y luego mediante expansión de una membrana flexible en la segunda etapa.

La impermeabilidad de la junta está asegurada por un grupo hidráulico que mantiene un equilibrio entre la regulación de los platos y la presión de la bomba de alimentación durante la filtración. Bajo esta presión, el líquido pasa detrás de la lona y retiene las partículas sólidas. El líquido filtrado se drena a través de un grifo en cada plato o a través de un tubo al final del filtro.

Al concluir el proceso de prensado, las galletas que se han formado entre las lonas se liberan mediante el retroceso del somier móvil y la subsiguiente separación de los platos. Se facilita la automatización de esta maniobra gracias a un sistema de deshilvanado por carretilla [12].

Funcionamiento de un filtro prensa

El principio del Filtro Prensa se basa en la distribución uniforme de la presión necesaria para la filtración dentro del sistema. Este equipo consta de una cabeza móvil que aplica presión entre las placas y otra cabeza fija por donde fluye el líquido fangoso a una presión específica. Entre ambas cabezas se encuentran las cámaras, formadas por placas y marcos, o por placas con cámara incorporada. Las placas están revestidas con tejidos filtrantes que, en los marcos, actúan como

juntas de estanqueidad y, en el centro, crean espacios huecos alimentados con la suspensión a filtrar mediante una bomba.

Un dispositivo de cierre mecánico o hidráulico mantiene las placas comprimidas gracias al cabezal móvil, mientras que a través del cabezal fijo se inyecta a presión el líquido que fluye entre las placas mediante un hueco central, formando un conducto continuo por donde la solución fangosa se filtra en las cámaras, generando el volumen de torta. El agua filtrada atraviesa orificios de drenaje en la parte inferior de las placas y se evacua individualmente en cada una hasta un canal externo de recolección, donde se mantiene un volumen determinado.

A medida que la torta de fango se seca, el caudal de filtrado disminuye hasta alcanzar un mínimo. En este punto, un dispositivo eléctrico detiene la bomba, interrumpiendo el flujo. Despresurizado el sistema, el cilindro de presión se desplaza, aprovechando el espacio libre creado por la apertura, separando las placas hasta que haya aproximadamente 60 mm de separación entre ellas. En este momento, se activa un motor que gira un eje con levas, las cuales actúan sobre las manguetas de las placas filtrantes (levantándolas y soltándolas), facilitando la separación completa de la torta ya seca [12].

A continuación, en la ilustración 12 se muestra el esquema de un filtro prensa:

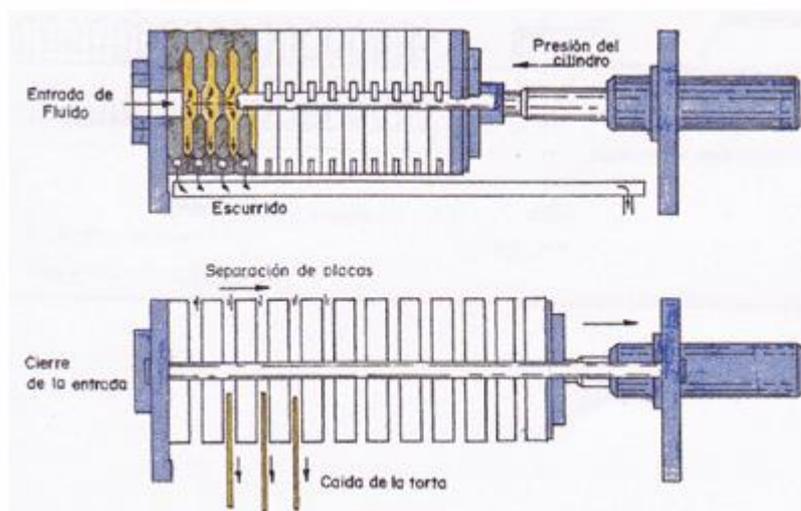


Ilustración 12 - Esquema de un filtro prensa [13]

Rendimiento del filtro prensa implantado

Para poder analizar si el filtro prensa puede ser la alternativa correcta para ampliar la capacidad de filtrado debido a la ampliación de producción de la fábrica, se van a realizar los cálculos necesarios en base a sus condiciones de trabajo, para determinar su rendimiento.

El filtro prensa está conectado a un reactor que va a ser el encargado de almacenar el agua residual o los fangos producidos, donde se produce una reacción que favorece a la posterior filtración. Dicho reactor tiene una capacidad de 15m³ en el caso de que el fluido se agua ácida, y de 10m³ en el caso de que el fluido sean los fangos ya que su reacción produce espumas que limitan más el volumen. El tiempo necesario para que se produzca la reacción por completo es de 15 minutos. Teniendo en cuenta que el caudal de entrada al filtro es de 18 tn/h, la capacidad del reactor, los tiempos de reacción, bombas del circuito necesarias para impulsar el fluido y el tiempo de rascado de las placas para eliminar las tortas formadas y realizar de nuevo el filtrado, se ha calculado el tiempo necesario para realizar un filtrado completo tanto para el agua ácida como para el fango. A continuación, se adjunta la tabla 11 con los cálculos pertinentes:

		CONDICIONES DE TRABAJO FILTRO PRENSA					
		18,00Tn/h	15 MIN	6,67Tn/h	3,80Tn/h	25 MIN	
	DEPOSITO CAL	CAUDAL BOMBA AG. AC AL DEP. CAL	TIEMPO REACCION	CAUDAL BOMBA WILDEN (13bar)	CAUDAL BOMBA SAMOA (6bar)	RASCADO DE PLACAS	
Agua acida	15	50 MIN	15 MIN	135 MIN	-	25 MIN	3,75 h/filtrada
Fangos depuradora	11	37 MIN	15 MIN	-	174 MIN	25 MIN	4,17 h/filtrada

Tabla 11 - Condiciones de trabajo del filtro prensa instalado [Fuente: Elaboración propia]

Una vez calculadas las condiciones de trabajo del filtro prensa, se calculan en la tabla 12 y tabla 13 las filtradas necesarias para aguas ácidas y fangos al día en base a las toneladas diarias producidas. De esta manera se puede comprobar si el filtro es capaz de soportar el aumento de la producción, o si va a ser necesario otro filtro para aumentar la capacidad de filtrado.

CAPACIDAD DIARIA AGUAS ÁCIDAS		
Neutra	62,79	tn/día
Desgomado	38,4	tn/día
Total	101,2	tn/día

Tabla 12 - Capacidad diaria de aguas ácidas en el filtro prensa [Fuente: Elaboración propia]

CAPACIDAD DIARIA FANGOS	
13	tn/día
1,3	filtradas/día fangos

Tabla 13 - Capacidad diaria de fangos en el filtro prensa [Fuente: Elaboración propia]

Teniendo en cuenta el tiempo mencionado anteriormente que requiere cada filtrada se procede a calcular el tiempo total necesario para filtrar en la tabla 14:

TIEMPO DE FILTRADO			
CORRIENTE	FILTRADAS	h/filtrada	Tiempo necesario (h)
AGUAS ÁCIDAS	6,7	3,75	25,125
FANGOS	1,3	4,17	5,421
		TOTAL (h)	30,546

Tabla 14 - Tiempo necesario de filtrado para el filtro prensa [Fuente: Elaboración propia]

Al ser necesarias 30,546 h/día para poder filtrar completamente las aguas ácidas y los fangos, se justifica la necesidad de ampliar la capacidad de filtrado de la fábrica. De esta manera, se empiezan a contemplar distintas alternativas de filtrado para analizar si el filtro prensa sigue siendo la mejor opción para la filtración. Un dato a tener en cuenta para el rendimiento del filtro es que el filtro solo puede trabajar alrededor de 16h al día, ya que las 8h restantes son necesarias para su mantenimiento y limpieza, lo cual es un factor limitante a tener en cuenta a la hora de la ampliación.

3.2.3 Decanter

Principio de operación y principales componentes

Un Decanter (cuya denominación en castellano sería decantador centrífugo) es un equipo rotativo que sirve para la separación de suspensiones de materia sólida y uno o dos líquidos (con densidades diferentes) en fases líquidas y sólidas separadas.

Los componentes esenciales de un decanter incluyen el bowl o rotor (5), el tornillo sinfín, la caja reductora (3), la bancada o bastidor con carcasa (6) y la sección de alimentación y zonas de descarga. El bowl se compone de cuatro partes principales: una brida o tapa en el lado ancho, una sección cilíndrica, una sección cónica y otra brida o tapa en el lado estrecho. Los rodamientos principales (4) y (7), así como los rodamientos para el tornillo sinfín, la polea motriz y el adaptador de la caja reductora, se encuentran en las bridas de ambos extremos.

En la sección cónica se encuentran aberturas para la descarga de sólidos, generalmente revestidas con casquillos o revestimientos reemplazables hechos de materiales resistentes a la abrasión como Stellite o carburo de tungsteno. La brida del lado ancho posee aberturas para la descarga de líquidos.

Algunos decantadores incorporan una descarga de líquido a presión mediante un disco especial denominado paring disc, que funciona como una bomba centrípeta y se sitúa fuera de la brida.

Un tubo de alimentación se introduce en el bowl a lo largo de su eje de rotación, mientras que en la parte inferior del bastidor o bancada hay salidas para las fases líquida y sólida, cada una en un extremo.

Una tapa o carcasa protege las partes giratorias y facilita la recogida de las fases separadas.

En el bastidor se encuentra un motor eléctrico de accionamiento principal (8) que impulsa el bowl mediante una correa de transmisión y, en la mayoría de los casos, otro motor de accionamiento posterior (1) que impulsa el tornillo sinfín a través de la caja de engranajes o caja reductora [14].

En la ilustración 13 se reflejan las distintas partes mencionadas:

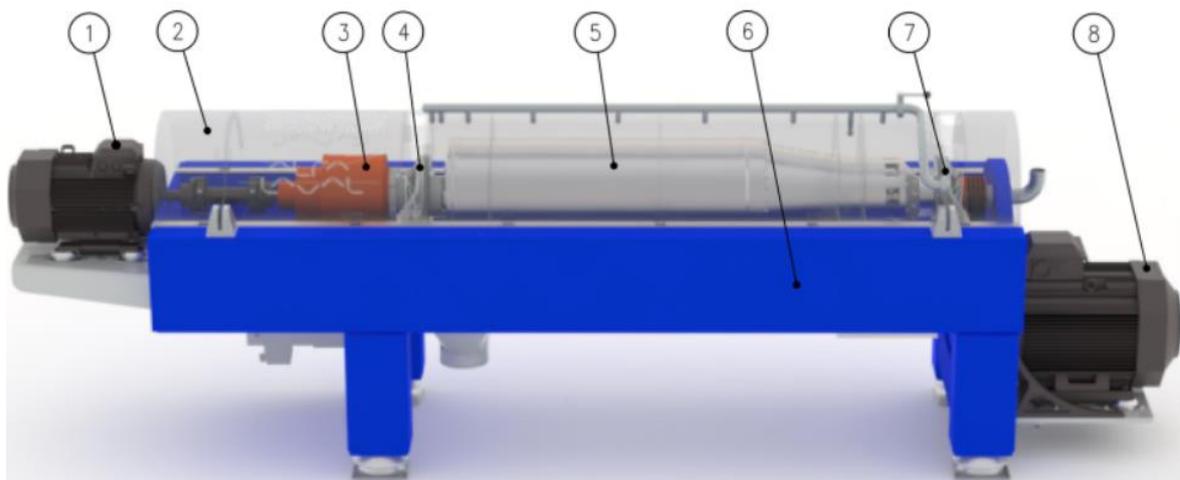


Ilustración 13 - Esquema del Decanter [14]

Proceso del funcionamiento

El fluido a procesar ingresa al bowl a través del tubo de alimentación (2).

La rotación del conjunto genera una fuerza centrífuga que acelera la alimentación en el interior del rotor.

Esta fuerza centrífuga provoca que las partículas más pesadas (los sólidos) se depositen en la pared interior del rotor.

Mientras tanto, el tornillo sinfín (1) gira lentamente en relación con el bowl (velocidad diferencial), transportando así los sólidos hacia el extremo cónico del bowl para salir por las aberturas de descarga de sólidos en el extremo estrecho de la sección cónica.

Los sólidos finalmente se descargan en la zona designada para la salida de sólidos (4).

Por otro lado, el líquido fluye en dirección opuesta. La separación ocurre a lo largo de toda la longitud de la sección cilíndrica del bowl, y el líquido clarificado sale del rotor a través de la brida en el lado ancho, descendiendo por la zona de descarga de líquido (3) ubicada debajo del bastidor [14]. En la ilustración 14 se reflejan las distintas partes mencionadas:

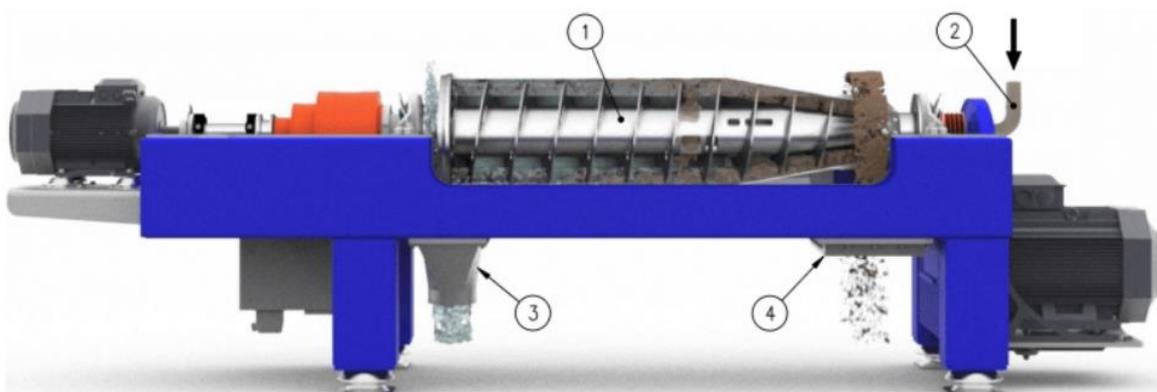


Ilustración 14 - Proceso del Decanter [14]

3.2.4 Justificación de la elección del decanter

Una vez se han planteado las dos alternativas para el filtrado, hay que tener en cuenta los rendimientos que tiene que cada una de ellas. Como se ha mencionado anteriormente, el filtro prensa con sus condiciones de trabajo y tiempos de mantenimiento y limpieza, no es suficientemente eficiente para soportar la capacidad de filtrado requerida debido a la ampliación de la producción. Para analizar si el decanter es la alternativa correcta y capaz de soportar dicha capacidad de filtrado, se va a analizar su rendimiento. El rendimiento de un decanter es de 20 tn/h y se para su funcionamiento durante 2h para su correspondiente limpieza y funcionamiento.

Teniendo en cuenta que se producen 101,2 Tn/día de aguas ácidas y 13 tn/día de fangos sumando un total de 114,2 tn/día, gracias al alto rendimiento del decanter se podría realizar el filtrado completo en un máximo de 6h. Por lo que se puede concluir con que el decanter es suficiente para

soportar la ampliación de producción. Otra ventaja que tiene que el filtrado se realice en un periodo de tiempo tan corto, es que el decanter no va a expuesto a un sobre funcionamiento y por lo tanto su periodo de vida será más largo.

3.3 Elección del decanter

Teniendo en cuenta las condiciones de trabajo requeridas para el decanter se procede a seleccionar el modelo en base a sus características. Se ha seleccionado la marca GEA, en concreto el modelo GEA sludge Decanter pro-5000 ya que es el que más se ajusta a las condiciones de trabajo. A continuación, se reflejan sus características extraídas de la página del fabricante:

Información del producto y del proceso:

- Aplicación: Efluentes industriales
- Subaplicación: Lodo industrial (industria alimentaria)
- Capacidad: $20 \frac{m^3}{h}$
- Carga de sólidos: $700 \frac{KgDS}{h}$
- Concentración de sólidos: 3.5 %DS

Parámetros del producto:

- Valor de pH: 6.5 - 12
- Temperatura del producto: 5 - 59 °C
- Contenido de cloro: 1 - 1000 ppm
- Contenido de ceniza previsto: >40 %
- Índice de volumen de lodo: $<100 \frac{ml}{g}$

Parámetros de proceso:

- Eficiencia de la separación: $\geq 90 \%$
- Sequedad de la torta: 20 - 24 %DS
- Consumo de polímero: $7 - 10 \frac{Kg}{tn DS}$

También es importante mencionar los beneficios más importantes que se pueden obtener con la elección de dicho decanter:

- Diseño de un tanque profundo para lograr una eficiencia máxima en la centrifugación
- Menor consumo de energía (por ejemplo, 0.9 kWh / m³/h).
- La fuerza g se ajusta adecuadamente para lograr una deshidratación óptima.

- El sistema de engranajes de GEA permite la medición automática del par de giro y el control diferencial de la velocidad.
- Se ofrecen dos opciones de control para el decantador, basadas en la velocidad y el par de giro, permitiendo una respuesta continua en condiciones variables del producto.
- La máquina cuenta con una configuración estandarizada que facilita su rápida integración en procesos con pocos ajustes.
- Ofrece un rendimiento elevado y una inversión económica con bajos gastos durante el ciclo de vida.

3.4 Explicación del proceso de depuración de las corrientes involucradas

A continuación, se va a explicar el proceso que va a producirse para la depuración de las aguas ácidas y los fangos producidos, en el que se ve involucrado el decanter siendo este el principal protagonista.

Primero se van a mencionar los principales elementos involucrados en el proceso:

- Silo de cal
- Tolva gravimétrica
- 2 reactores (depósitos de preparación)
- Decanter

A continuación, en la ilustración 15 se refleja un esquema simple de la instalación completa que se va a realizar para poder implantar el decanter, con todos los elementos mencionados anteriormente:

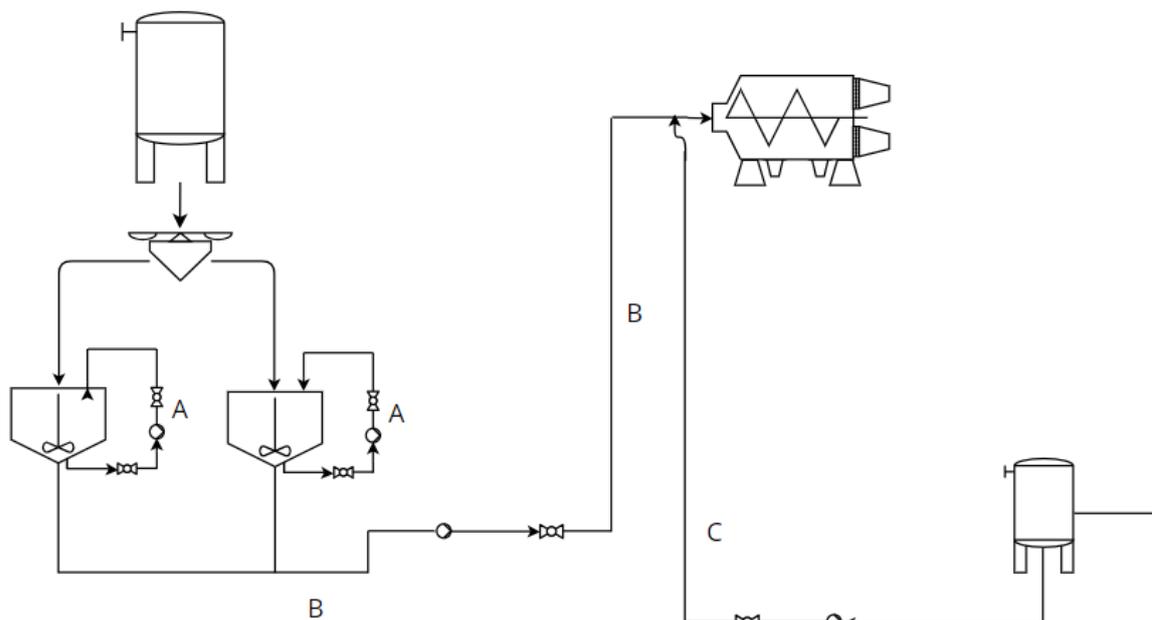


Ilustración 15 - Esquema simple de la instalación del decanter [Fuente: Elaboración propia]

El proceso de almacenamiento se lleva a cabo en un silo vertical cilíndrico diseñado con dimensiones adecuadas para garantizar la autonomía requerida, teniendo un volumen de 121 m^3 y una altura total de 15 m. Este silo está equipado con elementos esenciales para su correcta y

segura operación, tales como un tubo de carga, una escalera con protección, barandillas, boca de hombre de apertura rápida estanca, filtro de mangas, niveles y válvula de sobre presión.

El tratamiento de aguas residuales industriales es importante para posibilitar el avance industrial, resulta indispensable llevar a cabo procesos de descontaminación en las aguas empleadas en las actividades productivas, con el fin de preservar este recurso esencial. La cal hidratada desempeña funciones clave como clarificante, coagulante, neutralizante y precipitante de sustancias contaminantes disueltas. Además, contribuye a la eliminación y estabilización de los metales pesados al propiciar la coagulación y floculación de dichos elementos. En este caso se encarga de eliminar el fósforo y reducir el pH del agua ácida.

El rompebóvedas dosificador desempeña una función crucial al realizar una dosificación volumétrica. La fiabilidad y precisión del rompebóvedas dosificador ZFP Sodimate aseguran una extracción continua y una dosificación precisa del producto. El transporte de la cal hasta la tolva gravimétrica se lleva a cabo mediante un sinfín dosificador. Dicha tolva dispone de un volumen geométrico de 0,6 m³.

La tolva gravimétrica, construida en material inoxidable 304, está equipada con un filtro de mangas y un sistema de pesaje. Este sistema controla la dosificación a través de la pérdida de peso, iniciando el ciclo con la descarga de la cantidad demandada y rellenando la tolva una vez completada la dosificación. La tolva permanece llena, esperando la siguiente descarga.

La descarga se realiza mediante un rompebóvedas ZFP400 doble dosificador, que deposita la cal en uno de los tanques. Estos tanques, destinados a la preparación automática en discontinuo, varían en capacidad según las fórmulas específicas del cliente. Están equipados con un conjunto de válvulas neumáticas para la incorporación de diferentes productos líquidos.

Cada depósito cuenta con un agitador, una boca de hombre con pescante, una torre de lavado de gases, una sonda de temperatura, dos niveles de medición de presión y bridas de conexión para la entrada de los diversos productos. El volumen de los depósitos es de 2,5 m³, una altura de 3,7 m y un diámetro de 3,5 m.

Cabe destacar que se ha contemplado una brida de salida en la parte cilíndrica y otra en la parte superior para poder montar los elementos de control de pH.

Para favorecer la reacción se van a incluir unas líneas con una bomba en cada uno de los reactores que van a reconducir la mezcla desde la base del reactor hasta la parte superior para mejorar la mezcla y conseguir una reacción óptima, dicha línea corresponde a la línea A representada en el esquema anterior. Al mezclar el agua con la cal se va a conseguir obtener agua depurada y restos

de cal que se necesitan retirar, ya que el objetivo de la cal (hidróxido cálcico) es aumentar el pH y eliminar el fósforo del agua ácida. Posteriormente se va a enviar la mezcla obtenida en los reactores, al decanter para que este se encargue de separar la cal del agua de manera que se obtendría agua depurada que será enviada de nuevo al buffer tank para que se pueda reutilizar en los SBR y se mezcle con los microorganismos aerobios.

Por otro lado, interviene otra corriente relevante que es la que se encarga de transportar el fango compuesto por los microorganismos muertos producido en los SBR. Este fango reside en el fondo de dichos depósitos, ya que una vez que dichos microorganismos mueren se depositan por si solos en el fondo. Anteriormente dicha corriente pasaba por un espesador de fangos en el que se depositaban los fangos con el objetivo de que por flotación se quedara una capa de agua limpia en la parte superior que se envía de nuevo al buffer tank, y en la parte inferior se depositan los fangos más concentrados para ser enviados a un silo donde se almacenan. Dichos fangos ya almacenados eran enviados al filtro prensa donde se secaban y se formaban las tortas para ser posteriormente retiradas a una cuba. Gracias a la implantación del decanter, las corrientes una vez ha pasado por el espesador de fangos ya instalado y almacenados en el silo, procede a ser enviada directamente al decanter para que este separe el agua del fango a través de la línea C. El agua será enviada al buffer tank al igual que el agua depurada del agua ácida, y cumpliendo la misma función. Por otro lado, el fango ya secado y separado del agua, será vertido en una cuba que posteriormente se extraerá de la fábrica.

3.5 Dimensionamiento de las líneas de la instalación del decanter

Antes de dimensionar las líneas es importante mencionar que se van a instalar tuberías normales 304 SCH40. La elección de las tuberías no aparece en el documento ya que van incluidas en el montaje de la instalación, aportadas por el montador.

3.5.1 Dimensionamiento de la línea A

Para el dimensionamiento de la línea A, que es la encargada de homogeneizar los reactores (depósitos de preparación), se deben de tener en cuenta los siguientes datos obtenidos en campo.

Longitud total = 10 metros

Válvula manual = 2 unidades

Bomba = 1 unidad

Codos = 4 unidades

En primer lugar, se procede a calcular la sección de tubería necesaria, para lo cual se ha de tener en cuenta que el caudal necesario para homogeneizar el tanque es de 4 tn/h. También se ha de considerar que la velocidad en conducción para el fluido es de 1,5 m/s.

$$Q_{\text{Línea A}} = \rho_{\text{lechada cal}} \cdot A \cdot v$$

Siendo:

$$A \rightarrow \text{sección tubería } A = \pi \frac{D^2}{4} \text{ en m}^2$$

$$\rho_{\text{lechada cal}} \rightarrow \text{densidad del agua en } \frac{\text{tn}}{\text{m}^3}$$

$$v \rightarrow \text{velocidad del fluido en el interior de la tubería en } \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{Línea A}} \rightarrow \text{caudal del fluido en } \frac{\text{tn}}{\text{h}}$$

$$\text{La densidad del agua es de } 1 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_{\text{Línea A}}}{\rho_{\text{agua}} * v}} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4 * 4 \frac{\text{tn}}{\text{h}}}{1,2 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3} * \pi * 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 3.600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}} \rightarrow D = 0,028 \text{ m} = 28 \text{ mm}$$

Si se consulta la tabla 15 que contiene los de valores de tuberías normalizadas que se presenta a continuación, debería seleccionarse un diámetro nominal de 30 mm/1^{1/4}".

Nominal Pipe Size NPS [pulgadas]	Diametro Nominal DN [mm]
1/8	6
1/4	8
3/8	10
1/2	15
3/4	20
1	25
1 1/4	32
1 1/2	40
2	50
2 1/2	65
3	80
3 1/2	90
4	100
4 1/2	115
5	125

Tabla 15 - Dimensiones de las líneas [22]

A partir de esta sección calculada se recalcula el caudal exacto para los próximos cálculos:

$$Q = \rho_{agua} * A * v = 1,2 \frac{tn}{m^3} * \frac{\pi * 0,030^2 m^2}{4} * 1,5 \frac{m}{s} * 3600 \frac{s}{h}$$

$$Q_{Línea A} = 4,58 \frac{tn}{h}$$

Por tanto, se dispone de la sección de tubería necesaria y el caudal que va a circular por ella. Ahora se procede al cálculo de la potencia requerida para la bomba que impulsará dicho fluido.

A continuación, en la ilustración 16 se refleja una imagen del esquema simple de la línea "A" encargada de reconducir el fluido al reactor para facilitar la homogeneización de la mezcla:

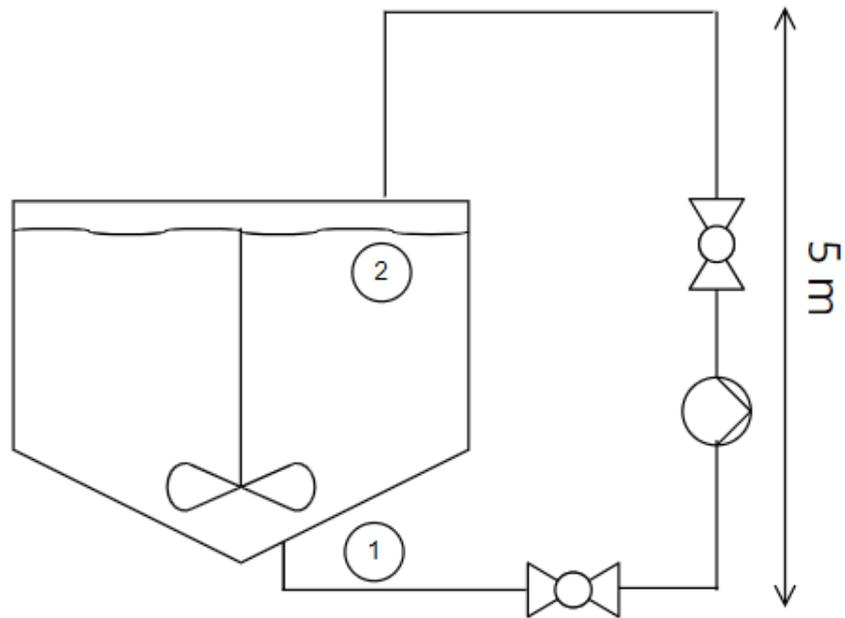


Ilustración 16 - Esquema simple de la línea "A" (línea de recirculación del reactor) [Fuente: Elaboración propia]

Para calcular la potencia necesaria que la bomba debe aportar al fluido, se aplica la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{v_1^2}{2 * g} + Z_1 + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{v_2^2}{2 * g} + Z_2$$

Siendo:

P_1 → presión en el punto 1 en bar

P_2 → presión en el punto 2 en bar

Z_1 → cota del punto 1 en metros

Z_2 → cota del punto 2 en metros

v_1 → velocidad del fluido en el punto 1 en $\frac{m}{s}$

v_2 → velocidad del fluido en el punto 2 en $\frac{m}{s}$

ρ → densidad del fluido a impulsar

g → gravedad, $9'81 \frac{m}{s^2}$

h_A → energía aportada al fluido por la bomba

h_R → energía removida del fluido por una turbina o similar

h_L → energía perdida en el sistema debido al rozamiento

Aplicando dicha ecuación en el caso a estudiar se obtiene lo siguiente:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{v_1^2}{2 * g} + Z_1 + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{v_2^2}{2 * g} + Z_2$$

$Z_1 = 0$ → nivel 0 de referencia

$h_R = 0$ → debido a que no se le extrae ninguna energía al fluido

$\frac{P_2}{\rho * g} = 0$ ya que el tanque es atmosférico, $P_2 = P$ atmosférica

$\frac{v_2}{2 * g} = 0$ ya que el fluido en el punto 2 es estático

$\frac{P_1}{\rho * g} = 0$ ya que se considera el caso más favorable partiendo del depósito vacío

Por lo tanto, la ecuación en este caso quedaría como:

$$\frac{v_1^2}{2 * g} + h_A - h_L = Z_2$$

Despejando la energía aportada al fluido por la bomba (h_A), se obtiene:

$$h_A = Z_2 - \frac{v_1^2}{2 * g} + h_L$$

Se requiere conocer el valor de las pérdidas por fricción (h_L). Para ello, se procede al cálculo inicial de las pérdidas por fricción en la tubería, seguido del cálculo de las pérdidas por fricción en los codos y válvulas. Antes de realizar estos cálculos, es necesario determinar si se encuentra en un régimen laminar o turbulento. Para ello, se calcula el número de Reynolds, el cual está definido por la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

Siendo:

Re → número de Reynolds

ρ → densidad del fluido a impulsar, $1,2 \frac{tn}{m^3}$

v → velocidad del fluido en la conducción, $1,5 \frac{m}{s}$

D → diámetro de tubería, $D = 30 \text{ mm}$ (calculado anteriormente)

μ → viscosidad dinámica del fluido, en el caso de la lechada de cal (a T° ambiente):

$$\mu = 1 * 10^{-3} Pa * s \quad \text{*valor aportado por la planta}$$

Por tanto:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu} = \frac{1200 \frac{Kg}{m^3} * 1,5 \frac{m}{s} * 0,03 \text{ m}}{3 * 10^{-3} * Pa * s} \rightarrow Re = 18000 \rightarrow \text{Régimen turbulento}$$

En la ilustración 17, se refleja el tipo de flujo según Reynolds :

■ $Re < 2100$	Flujo Laminar.
■ $2100 \leq Re < 4000$	Flujo de Transición
■ $Re \geq 4000$	Flujo Turbulento

Ilustración 17 - Régimen del flujo en función del número de Reynolds [16]

Por lo tanto, se procede a calcular el factor de fricción, f , correspondiente al número de Reynolds calculado, a través de la ecuación

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,71 D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Siendo:

f → factor de fricción

ε → coeficiente de rugosidad del acero inoxidable 304L, $\varepsilon = 0,015 \text{ mm}$

Re → número de Reynolds

Sustituyendo se obtiene:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{0,015 \text{ mm}}{\frac{30 \text{ mm}}{3,71}} + \frac{5,74}{18000^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,027$$

Una vez se ha calculado el factor de fricción se procede a calcular las pérdidas primarias y secundarias producidas tanto en las tuberías como en las válvulas y los codos. Inicialmente se comienza calculando las pérdidas en la tubería:

$$h_{\text{tubería}} = \frac{4 * f * L}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

siendo:

f → el factor de fricción

L → la longitud de la tubería

D → el diámetro de la tubería

v → la velocidad del fluido durante la conducción

g → la gravedad, $9,81 \frac{m}{s^2}$

$h_{\text{tubería}}$ → pérdidas por rozamiento en la conducción en metros

$$h_{\text{tubería}} = \frac{4 * f * L}{D} * \frac{v^2}{2 * g} = \frac{4 * 0,027 * 10m}{0,04m} * \frac{1,5^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{\text{tubería}} = 3,1 \text{ m}$$

A continuación, se procede a calcular las pérdidas producidas en las válvulas y en los codos:

$$h_{\text{válvulas y codos}} = \frac{4 * f * L_e}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

siendo:

$f \rightarrow$ el factor de fricción

$L_e \rightarrow$ la longitud de la tubería

$D \rightarrow$ el diámetro de la tubería

$v \rightarrow$ la velocidad del fluido durante la conducción

$g \rightarrow$ la gravedad, $9,81 \frac{m}{s^2}$

$h_{válvulas y codos} \rightarrow$ pérdidas por rozamiento en válvulas y codos en metros

Teniendo en cuenta que:

- Longitud equivalente de un codo $\rightarrow L_e = 30 * D$
- Longitud equivalente de una válvula de bola $\rightarrow L_e = 150 * D$

$$h_{válvulas y codos} = \frac{4 * 0,027 * (4 * 30 + 150 * 2) * D}{D} * \frac{1,5^2}{2 * 9,81}$$

$$h_{válvulas y codos} = 5,2 \text{ m}$$

Por lo tanto, las pérdidas totales son:

$$h_L = h_{tubería} + h_{válvulas y codos} = 3,1 \text{ m} + 5,2 \text{ m} = 8,3 \text{ m}$$

Una vez han sido calculadas las pérdidas por rozamiento, se calcula la energía que se necesita aportar al fluido a través de la bomba:

$$h_A = Z_2 - \frac{v_1^2}{2 * g} + h_L$$

$$h_A = 5 \text{ m} - \frac{(1,5 \frac{m}{s})^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} + 8,3 \text{ m}$$

$$h_A = 13,19 \text{ m}$$

Por lo tanto, la potencia que va a ser necesaria para aplicar al fluido es la siguiente:

$$P_A = \rho * g * h_A * Q$$

P_A → potencia a aportar al fluido en Wattios

ρ → densidad del fluido a impulsar (lechada de cal)

h_A → energía a aportar al fluido en metros

Q → caudal del fluido en $\frac{m^3}{s}$

$$P_A = 1200 \frac{Kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 13,19 m * 4,58 \frac{m^3}{h} * \frac{1h}{3600 s}$$

$$P_A = 197,54W = 0,197 kW$$

Suponiendo que la bomba tiene un rendimiento aproximado de un 70% para tener un margen de seguridad y no llevarla al límite de sus condiciones de trabajo (dicho rendimiento se aplicará en todas las líneas), la potencia requerida será:

$$P_R = \frac{197,54 W}{0,7} \rightarrow P_R = 282,2 W = 0,2822 kW$$

Una vez ha sido calculada la potencia requerida en el motor ya se puede considerar la línea A dimensionada. A continuación, se muestra en la tabla 16 el resumen con los valores calculados sobre la línea:

SECCIÓN	30 mm / 1 ^{1/4} "
CAUDAL	4,58 $\frac{tn}{h}$
POTENCIA REQUERIDA	282,2 W

Tabla 16 - Resultados de la línea A

3.5.2 Dimensionamiento línea B

Para el dimensionamiento de la línea B, que es la encargada de conducir el fluido compuesto por la lechada de cal desde los reactores hasta el decanter para depurar el fluido:

Longitud total = 31 metros

Válvula = 1 unidad

Bomba = 1 unidad

Codos = 7 unidades

Uniones en "T" = 1 unidad

En primer lugar, se procede a calcular la sección de tubería necesaria, para lo cual se ha de tener en cuenta que el caudal máximo que opera el decanter es de 20 tn/h, por lo que se dimensionará la línea para dicho caudal máximo, a pesar de que no se va a usar ese caudal para no apurar al máximo, y se operará con un caudal de seguridad de 10 tn/h También se ha de considerar que la velocidad en conducción para el fluido (lechada de cal) es de 2,5m/s:

$$Q_{\text{Línea A}} = \rho_{\text{lechada cal}} \cdot A \cdot v$$

Siendo:

$$A \rightarrow \text{sección tubería } A = \pi \frac{D^2}{4} \text{ en m}^2$$

$$\rho_{\text{lechada cal}} \rightarrow \text{densidad de la lechada de cal en } \frac{\text{tn}}{\text{m}^3}$$

$$v \rightarrow \text{velocidad del fluido en el interior de la tubería en } \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{Línea B}} \rightarrow \text{caudal del fluido en } \frac{\text{tn}}{\text{h}}$$

La densidad de la lechada de cal a 20°C es de $1,2 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3}$

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_{\text{Línea B}}}{\rho_{\text{lechada cal}} * v}} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4 * 4 \frac{\text{tn}}{\text{h}}}{1,2 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3} * \pi * 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 3.600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}} \rightarrow D = 0,04855 \text{ m} = 48,55\text{mm}$$

Si se consulta la tabla de valores de tuberías normalizadas reflejada anteriormente, debería seleccionarse un diámetro nominal de 50 mm/ 2".

A partir de esta sección calculada se recalcula el caudal exacto para los próximos cálculos:

$$Q = \rho_{lechada\ cal} * A * v = 1,2 \frac{tn}{m^3} * \frac{\pi * 0,050^2 m^2}{4} * 2,5 \frac{m}{s} * 3600 \frac{s}{h}$$

$$Q_{línea\ B} = 21,2 \frac{tn}{h}$$

*Este caudal no va a ser utilizado ya que el decanter opera a un máximo de 20 tn/h

Por tanto, se dispone de la sección de tubería necesaria y el caudal que va a circular por ella. Ahora se procede al cálculo de la potencia requerida para la bomba que impulsará dicho fluido.

A continuación, en la ilustración 18 se refleja una imagen del esquema simple de la línea "A" encargada de reconducir el fluido al reactor para facilitar la homogeneización de la mezcla:

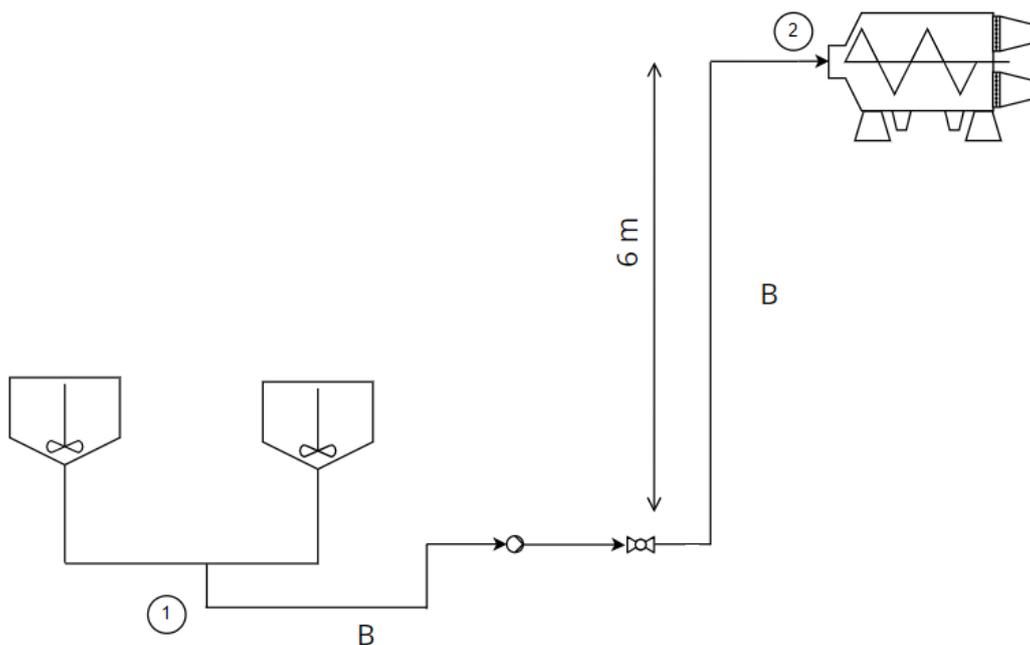


Ilustración 18 - Esquema simple de la línea "B" (línea de circulación al decanter) [Fuente: Elaboración propia]

Para calcular la potencia necesaria que la bomba debe aportar al fluido, se aplica la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{v_1^2}{2 * g} + Z_1 + h_B - h_R - h_L = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{v_2^2}{2 * g} + Z_2$$

Siendo:

P_1 → presión en el punto 1 en bar

P_2 → presión en el punto 2 en bar

Z_1 → cota del punto 1 en metros

Z_2 → cota del punto 2 en metros

v_1 → velocidad del fluido en el punto 1 en $\frac{m}{s}$

v_2 → velocidad del fluido en el punto 2 en $\frac{m}{s}$

ρ → densidad del fluido a impulsar

g → gravedad, $9,81 \frac{m}{s^2}$

h_B → energía aportada al fluido por la bomba

h_R → energía removida del fluido por una turbina o similar

h_L → energía perdida en el sistema debido al rozamiento

Aplicando dicha ecuación en el caso a estudiar se obtiene lo siguiente:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{v_1^2}{2 * g} + Z_1 + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{v_2^2}{2 * g} + Z_2$$

$Z_1 = 0$ → nivel 0 de referencia

$h_R = 0$ → debido a que no se le extrae ninguna energía al fluido

$\frac{P_2}{\rho * g} = 0$ ya que el tanque es atmosférico, $P_2 = P$ atmosférica

$\frac{v_2^2}{2 * g} = 0$ ya que el fluido en el punto 2 es estático

$\frac{P_1}{\rho * g} = 0$ ya que se considera el caso más favorable partiendo del depósito vacío

Por lo tanto, la ecuación en este caso quedaría como:

$$\frac{v_1^2}{2 * g} + h_B - h_L = Z_2$$

Despejando la energía aportada al fluido por la bomba (h_B), se obtiene:

$$h_B = Z_2 - \frac{v_1^2}{2 * g} + h_L$$

Al igual que en la línea A se necesita calcular las pérdidas por fricción que se producen en la conducción, por lo que se debe calcular para la línea B tanto el número de Reynold como el factor de fricción. Se procede a realizar los mismos cálculos que se han realizado para la línea A:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

Siendo:

Re → número de Reynolds

ρ → densidad del fluido a impulsar, $1,2 \frac{tn}{m^3}$

v → velocidad del fluido en la conducción, $2,5 \frac{m}{s}$

D → diámetro de tubería, $D = 50 \text{ mm}$ (calculado anteriormente)

μ → viscosidad dinámica del fluido, en el caso de la lechada de cal (a T° ambiente):

$$\mu = 1 * 10^{-3} Pa * s \quad * \text{valor aportado por la planta}$$

Por tanto:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu} = \frac{1200 \frac{Kg}{m^3} * 2,5 \frac{m}{s} * 0,05 m}{3 * 10^{-3} * Pa * s} \rightarrow Re = 50000 \rightarrow \text{Régimen turbulento}$$

Por lo tanto, se procede a calcular el factor de fricción, f , correspondiente al número de Reynolds calculado, a través de la ecuación:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,71 D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Siendo:

f → factor de fricción

$\varepsilon \rightarrow$ coeficiente de rugosidad del acero inoxidable 304L, $\varepsilon = 0,015\text{mm}$

Re \rightarrow número de Reynolds

Sustituyendo se obtiene:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{0,015 \text{ mm}}{\frac{50 \text{ mm}}{3,71}} + \frac{5,74}{50000^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,031$$

Una vez se ha calculado el factor de fricción se procede a calcular las pérdidas primarias y secundarias producidas tanto en las tuberías como en las válvulas y los codos. Inicialmente se comienza calculando las pérdidas en la tubería:

$$h_{\text{tubería}} = \frac{4 * f * L}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

siendo:

$f \rightarrow$ el factor de fricción

$L \rightarrow$ la longitud de la tubería

$D \rightarrow$ el diámetro de la tubería

$v \rightarrow$ la velocidad del fluido durante la conducción

$g \rightarrow$ la gravedad, $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$h_{\text{tubería}} \rightarrow$ pérdidas por rozamiento en la conducción en metros

$$h_{\text{tubería}} = \frac{4 * f * L}{D} * \frac{v^2}{2 * g} = \frac{4 * 0,031 * 31\text{m}}{0,04\text{m}} * \frac{2,5^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{\text{tubería}} = 24,5 \text{ m}$$

A continuación, se procede a calcular las pérdidas producidas en las válvulas, codos y uniones en “Te”:

$$h_{válvulas\ y\ codos} = \frac{4 * f * L_e}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

siendo:

f → el factor de fricción

L_e → la longitud de la tubería

D → el diámetro de la tubería

v → la velocidad del fluido durante la conducción

g → la gravedad, $9,81 \frac{m}{s^2}$

$h_{válvulas\ y\ codos}$ → pérdidas por rozamiento en válvulas y codos en metros

Teniendo en cuenta que:

- Longitud equivalente de un codo → $L_e = 30 * D$
- Longitud equivalente de una válvula de bola → $L_e = 150 * D$
- Longitud equivalente de una unión en “Te” → $L_e = 20 * D$

$$h_{válvulas\ y\ codos} = \frac{4 * 0,031 * (7 * 30 + 1 * 150 + 1 * 20) * D}{D} * \frac{2,5^2}{2 * 9,81}$$

$$h_{válvulas\ y\ codos} = 15\ m$$

Por lo tanto, las pérdidas totales son:

$$h_L = h_{tubería} + h_{válvulas\ y\ codos} = 24,5\ m + 15\ m = 39,5\ m$$

Una vez han sido calculadas las pérdidas por rozamiento, se calcula la energía que se necesita aportar al fluido a través de la bomba:

$$h_B = Z_2 - \frac{v_1^2}{2 * g} + h_L$$

$$h_B = 6 \text{ m} - \frac{(2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 39,5 \text{ m} = 45,18 \text{ m}$$

Por lo tanto, la potencia que va a ser necesaria para aplicar al fluido es la siguiente:

$$P_B = \rho * g * h_B * Q$$

P_B → potencia a aportar al fluido en Wattios

ρ → densidad del fluido a impulsar (lechada cal)

h_B → energía a aportar al fluido en metros

Q → caudal del fluido en $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$P_B = 1200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 45,18 \text{ m} * 20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$P_B = 2954,772 \text{ W} = 2,95 \text{ kW}$$

Suponiendo que la bomba tiene un rendimiento aproximado de un 70%, la potencia requerida será:

$$P_R = \frac{2954,772 \text{ W}}{0,7} \rightarrow P_R = 4221,1 \text{ W} = 4,22 \text{ kW}$$

Una vez ha sido calculada la potencia requerida en el motor ya se puede considerar la línea A dimensionada. A continuación, se muestra en la tabla 17 el resumen con los valores calculados sobre la línea:

SECCIÓN	50 mm / 2"
CAUDAL	20 $\frac{\text{tn}}{\text{h}}$
POTENCIA REQUERIDA	4,22 kW

Tabla 17 - Resultados línea B

3.5.3 Dimensionamiento línea C

Para el dimensionamiento de la línea C, que es la encargada de conducir el fluido compuesto por los fangos desde el depósito donde se almacenan una vez han pasado por el espesador de fangos, hasta el decanter para separar los fangos del agua depurada:

Longitud total = 9 metros

Válvula = 1 unidad

Bomba = 1 unidad

Codos = 3 unidades

Inicialmente sucede lo mismo que en la línea B, para lo cual se ha de tener en cuenta que el caudal máximo que el caudal máximo al que opera el decanter es de 20 tn/h, por lo que se dimensionará la línea para dicho caudal máximo. También se ha de considerar que la velocidad en conducción para el fluido, en este caso fangos, es de 1 m/s:

$$Q_{\text{Línea C}} = \rho_{\text{fangos}} \cdot A \cdot v$$

Siendo:

$$A \rightarrow \text{sección tubería } A = \pi \frac{D^2}{4} \text{ en m}^2$$

$$\rho_{\text{fangos}} \rightarrow \text{densidad de la lechada de cal en } \frac{\text{tn}}{\text{m}^3}$$

$$v \rightarrow \text{velocidad del fluido en el interior de la tubería en } \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{Línea C}} \rightarrow \text{caudal del fluido en } \frac{\text{tn}}{\text{h}}$$

$$\text{La densidad de los fangos es de } 0,91 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_{\text{Línea C}}}{\rho_{\text{lechada cal}} * v}} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4 * 20 \frac{\text{tn}}{\text{h}}}{0,91 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3} * \pi * 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 3.600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}} \rightarrow D = 0,088 \text{ m} = 88\text{mm}$$

Si se consulta la tabla de valores de tuberías normalizadas reflejada anteriormente, debería seleccionarse un diámetro nominal de 90 mm/ 3 ^{1/2}" .

A partir de esta sección calculada se recalcula el caudal exacto para los próximos cálculos:

$$Q = \rho_{agua} * A * v = 0,91 \frac{tn}{m^3} * \frac{\pi * 0,090^2 m^2}{4} * 1 \frac{m}{s} * 3600 \frac{s}{h}$$

$$Q_{Línea C} = 20,8 \frac{tn}{h}$$

*Dicho caudal no va a aplicarse ya que el decanter opera a u máximo de 20 tn/h

Por tanto, se dispone de la sección de tubería necesaria y el caudal que va a circular por ella.

Ahora se procede al cálculo de la potencia requerida para la bomba que impulsará dicho fluido.

A continuación, en la ilustración 19 se refleja una imagen del esquema simple de la línea "C" encargada de reconducir el fluido al reactor para facilitar la homogeneización de la mezcla:

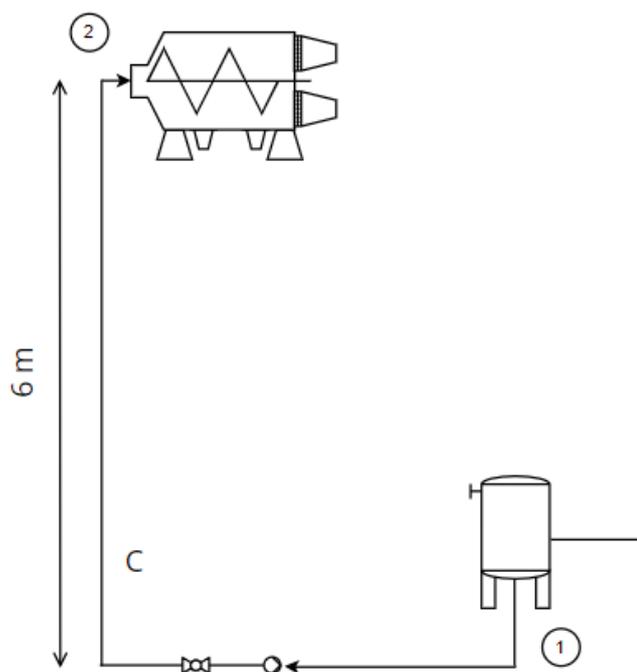


Ilustración 19 - Esquema simple de la línea "C" (línea de circulación al decanter de los fangos) [Fuente: Elaboración propia]

Para calcular la potencia necesaria que la bomba debe aportar al fluido, se aplica la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{v_1^2}{2 * g} + Z_1 + h_B - h_R - h_L = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{v_2^2}{2 * g} + Z_2$$

Siendo:

P_1 → presión en el punto 1 en bar

P_2 → presión en el punto 2 en bar

Z_1 → cota del punto 1 en metros

Z_2 → cota del punto 2 en metros

v_1 → velocidad del fluido en el punto 1 en $\frac{m}{s}$

v_2 → velocidad del fluido en el punto 2 en $\frac{m}{s}$

ρ → densidad del fluido a impulsar

g → gravedad, $9'81 \frac{m}{s^2}$

h_B → energía aportada al fluido por la bomba

h_R → energía removida del fluido por una turbina o similar

h_L → energía perdida en el sistema debido al rozamiento

Aplicando dicha ecuación en el caso a estudiar se obtiene lo siguiente:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{v_1^2}{2 * g} + Z_1 + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{v_2^2}{2 * g} + Z_2$$

$Z_1 = 0$ → nivel 0 de referencia

$h_R = 0$ → debido a que no se le extrae ninguna energía al fluido

$\frac{P_2}{\rho * g} = 0$ ya que el tanque es atmosférico, $P_2 = P$ atmosférica

$\frac{v_2^2}{2 * g} = 0$ ya que el fluido en decanter es estático

$\frac{v_1^2}{2 * g} = 0$ ya que el fluido en el depósito de fangos es estático

$\frac{P_1}{\rho * g} = 0$ ya que se considera el caso más favorable partiendo del depósito vacío

Por lo tanto, la ecuación en este caso quedaría como:

$$h_c - h_L = Z_2$$

Despejando la energía aportada al fluido por la bomba (h_B), se obtiene:

$$h_C = Z_2 + h_L$$

Al igual que en la línea A se necesita calcular las pérdidas por fricción que se producen en la conducción, por lo que se debe calcular para la línea B tanto el número de Reynold como el factor de fricción. Se procede a realizar los mismos cálculos que se han realizado para la línea A:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

Siendo:

Re → número de Reynolds

ρ → densidad del fluido a impulsar, $0,91 \frac{tn}{m^3}$

v → velocidad del fluido en la conducción, $1 \frac{m}{s}$

D → diámetro de tubería, $D = 90 \text{ mm}$ (calculado anteriormente)

μ → viscosidad dinámica del fluido, en el caso de los fangos:

$$\mu = 37 * 10^{-3} Pa * s \quad \text{*valor aportado por la planta}$$

Por tanto:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu} = \frac{910 \frac{Kg}{m^3} * 1 \frac{m}{s} * 0,09 m}{37 * 10^{-3} * Pa * s} \rightarrow Re = 2213,5 \rightarrow \text{Régimen transitorio}$$

Por lo tanto, se procede a calcular el factor de fricción, f , correspondiente al número de Reynolds calculado, a través de la ecuación:

$$f = \frac{1}{[1,81 * \log Re - 1,5]^2}$$

Siendo:

f → factor de fricción

Re → número de Reynolds

Sustituyendo se obtiene:

$$f = \frac{1}{[1,81 * \log 2213,5 - 1,5]^2}$$

$$f = 0,048$$

Una vez se ha calculado el factor de fricción se procede a calcular las pérdidas primarias y secundarias producidas tanto en las tuberías como en las válvulas y los codos. Inicialmente se comienza calculando las pérdidas en la tubería:

$$h_{tubería} = \frac{4 * f * L}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

siendo:

f → el factor de fricción

L → la longitud de la tubería

D → el diámetro de la tubería

v → la velocidad del fluido durante la conducción

g → la gravedad, $9,81 \frac{m}{s^2}$

$h_{tubería}$ → pérdidas por rozamiento en la conducción en metros

$$h_{tubería} = \frac{4 * f * L}{D} * \frac{v^2}{2 * g} = \frac{4 * 0,048 * 9m}{0,04m} * \frac{1^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{tubería} = 0,98 m$$

A continuación, se procede a calcular las pérdidas producidas en las válvulas, codos y uniones en "Te":

$$h_{válvulas y codos} = \frac{4 * f * L_e}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

siendo:

f → el factor de fricción

L_e → la longitud de la tubería

D → el diámetro de la tubería

v → la velocidad del fluido durante la conducción

g → la gravedad, $9,81 \frac{m}{s^2}$

$h_{válvulas y codos}$ → pérdidas por rozamiento en válvulas y codos en metros

Teniendo en cuenta que:

- Longitud equivalente de un codo → $L_e = 30 * D$
- Longitud equivalente de una válvula de bola → $L_e = 150 * D$

$$h_{válvulas y codos} = \frac{4 * 0,048 * (3 * 30 + 1 * 150) * D}{D} * \frac{1^2}{2 * 9,81}$$

$$h_{válvulas y codos} = 2,35 \text{ m}$$

Por lo tanto, las pérdidas totales son:

$$h_L = h_{tubería} + h_{válvulas y codos} = 0,98 \text{ m} + 2,35 \text{ m} = 3,33 \text{ m}$$

Una vez han sido calculadas las pérdidas por rozamiento, se calcula la energía que se necesita aportar al fluido a través de la bomba:

$$h_C = Z_2 + h_L$$

$$h_C = 6 \text{ m} + 3,33 \text{ m} = 9,33 \text{ m}$$

Por lo tanto, la potencia que va a ser necesaria para aplicar al fluido es la siguiente:

$$P_C = \rho * g * h_C * Q$$

P_C → potencia a aportar al fluido en Wattios

ρ → densidad del fluido a impulsar (fangos)

h_c → energía a aportar al fluido en metros

Q → caudal del fluido en $\frac{m^3}{s}$

$$P_B = 910 \frac{Kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 9,33 m * 20 \frac{m^3}{h} * \frac{1h}{3600 s}$$

$$P_A = 462,72 W = 0,462 kW$$

Suponiendo que la bomba tiene un rendimiento aproximado de un 70%, la potencia requerida será:

$$P_R = \frac{462,72 W}{0,7} \rightarrow P_R = 661 W = 0,661 kW$$

Una vez ha sido calculada la potencia requerida en el motor ya se puede considerar la línea A dimensionada. A continuación, se muestra en la tabla 18 el resumen con los valores calculados sobre la línea:

SECCIÓN	90 mm / 3 ^{1/2} "
CAUDAL	20 $\frac{tn}{h}$
POTENCIA REQUERIDA	0,661 kW

Tabla 18 - Resultados de la línea C

3.7 Selección de codos y uniones en "T"

Realizando un resumen sobre el diseño isométrico, se requieren cuatro codos de 90° de 1 ½" para la línea A, además de 7 codos de 90° y una unión en forma de "T" de 2 pulgadas para la línea B y 3 codos más de 90° para la línea C. La elección de estas conexiones se basa en el catálogo de la empresa "Hastinik". En cuanto a los codos, se han optado por aquellos de 90° fabricados en AISI 304L, diseñados para soldar a tope y en tamaños DN40 y DN50. A continuación, se presenta en la tabla 19 el catálogo que sirvió de referencia para estas selecciones y en la ilustración 20 el tipo de codo seleccionado:

Diámetro nominal		Diámetro D mm	Radio R=F mm	Espesor T mm	Peso Kg
DN	Pulg.				
15	1/2"	21,3	27	1,6/2	0,03/0,04
20	3/4"	26,9	28	1,6/2	0,05/0,06
25	1"	33,7	38	1,6/2	0,08/0,09
32	1 1/4"	42,4	47	1,6/2	0,12/0,15
40	1 1/2"	48,3	57	1,6/2	0,17/0,21
50	2"	60,3	76	1,6/2	0,29/0,35
65	2 1/2"	76,1	95	1,6/2	0,44/0,55
80	3"	88,9	114	2/3	0,78/1,10
100	4"	114,3	152	2/3	1,35/1,9

Tabla 19 - Dimensiones de los codos AISI 304L de la empresa "Hastinik" [17]



Ilustración 20 - Cotas y características de los codos [17]

Para las uniones en forma de "T", se ha consultado el mismo catálogo y se han elegido aquellas de tamaño DN50, fabricadas en AISI 304L y listas para soldar a tope. A continuación, se presenta en la tabla 20 el catálogo de donde se han realizado estas selecciones y en la ilustración 21 el tipo de unión seleccionada:

Diámetro nominal		D mm	F mm	Peso T=2 Kg	Peso T=3 Kg	Peso T=4 Kg
DN	Pulg.					
15	1/2"	21,3	25,5	0,055		
20	3/4"	26,9	28,5	0,079		
25	1"	33,7	38	0,137	0,215	
32	1 1/4"	42,4	47,5	0,233	0,344	
40	1 1/2"	48,3	57	0,307	0,463	
50	2"	60,3	63,5	0,408	0,612	
65	2 1/2"	76,1	76	0,603	0,941	
80	3"	88,9	85,5	0,860	1,263	
100	4"	114,3	105	1,268	1,981	

Tabla 20 - Tabla de dimensiones de las uniones en "Te" AISI 304L de la empresa "Hastinik"

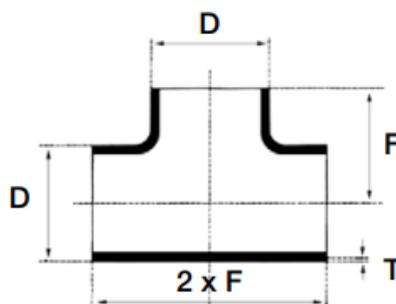


Ilustración 21 - Costas y características de las uniones en "Te"

3.8 Selección de las bombas

Para la elección de las bombas en las distintas líneas se han estudiado distintos proveedores analizando si estos disponían de bombas que cumpliesen las condiciones requeridas según los cálculos realizados. Finalmente se ha decidido implantar bombas de la empresa francesa pompes grossclaude, eligiendo distintas bombas de su catálogo en función de las características de cada línea. En concreto se ha decido implantar bombas volumétricas de pistón, ya que son bombas ideadas para fluidos viscosos con sólidos en suspensión, lo cual se adapta perfectamente a los fluidos a impulsar.

El modelo seleccionado dentro del catálogo es el "Disco bombas nutante #M". Las bombas volumétricas de pistones excéntricos pertenecientes a la serie M han sido meticulosamente diseñadas para abarcar una amplia variedad de aplicaciones en diversos sectores como la industria química, financiera y agroalimentaria, especialmente cuando se trata de productos viscosos.

Los beneficios que aporta dicha bomba son:

- Funcionamiento 100% reversible y autónomo.
- Larga vida útil y baja velocidad de rotación, lograda gracias a una velocidad de rotación reducida.
- Adaptabilidad a partículas no rígidas, gracias a la incorporación de una rueda de compensación.

A continuación, en la ilustración 22 se adjunta una foto de la bomba seleccionada:

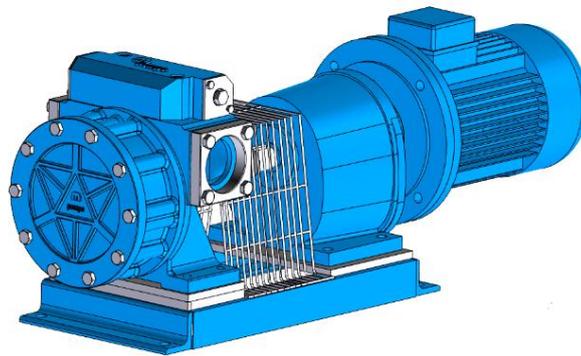


Ilustración 22 - Bomba volumétrica de pistones [18]

Para poder seleccionar las bombas para las líneas dimensionadas teniendo en cuenta los diámetros, caudales y potencias, hay que tener en cuenta la tabla de los tipos de bomba según las condiciones reflejada a continuación en la ilustración 23:

Tipo	Orificios E/S (mm)	Tubo	min-1 max	Caudal max (m ³ /h)	Despl. volumétrico
M25	25	1"	320	1,9	0,10
M35	36	1" ¼	320	4	0,21
M55	52	2"	320	8	0,44
M65	62	2" ½	310	15	0,94
M85	84	3"	280	29	1,80
M100	100	4"	260	40	2,60
T100	100	3"-4"	340	50	2,52
T130	130	4"-5"	340	108	5,40
T160	160	6"	340	160	7,80

Ilustración 23 - Características de los tipos de bombas [18]

También hay que tener en cuenta según el caudal y potencias necesarios el modelo que debe ser seleccionado. A continuación, en la ilustración 24 se refleja la tabla que contiene dichas características:

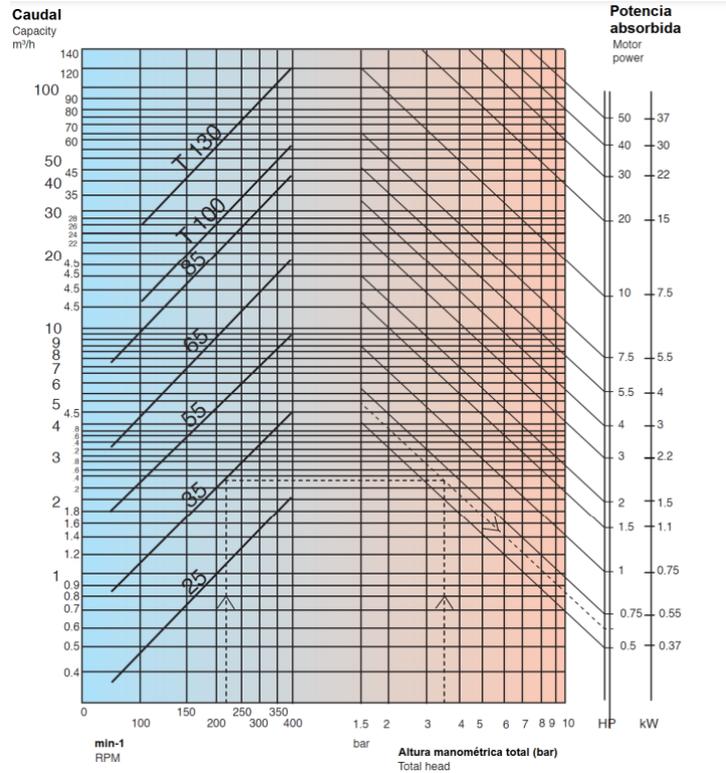


Ilustración 24 - Tabla de caudales y potencias de los modelos de las bombas [18]

Teniendo en cuenta ambas tablas se selecciona la bomba correspondiente a cada línea:

- Línea A: Bomba serie M55
- Línea B: Bomba en serie M85
- Línea C: Bomba en serie M100

De esta manera ya están seleccionadas las bombas encargadas de impulsar los fluidos a lo largo de las conducciones dimensionadas.

3.9 Selección de las válvulas

Es necesario seleccionar las válvulas que van a ser instaladas para controlar el flujo del fluido en la conducción. Se van a colocar válvulas de bola de la empresa PEKOS, ya que ese tipo de válvulas son las que menor pérdida de carga presenta y son inoxidables ya que van a estar expuestas a un pH extremos, y también los asientos de las válvulas van a ser de teflón. Observando la tabla 21 con el catálogo de las válvulas de bola con el estándar DIN se encuentran los siguientes tamaños:

DN	D	L			E				F	G	H	ISO 5211
		F1 (1)	F4(2)	F5(3)	PN10	PN16	PN25	PN40				
15	15	130	115	-	-	95	-	95	51	108	185	F05/1
20	20	150	120	-	-	105	-	105	53	110	185	F05/1
25	25	160	125	-	-	115	-	115	59	116	185	F05/2
32	32	180	130	-	-	140	-	140	64	120	185	F05/2
40	40	200	140	-	-	150	-	150	75	145	293	F07
50	50	230	150	-	-	165	-	165	83	153	293	F07
65	65	290	170	-	-	185	-	185	96	166	293	F07
80	80	310	180	-	-	200	-	200	114	207	450	F10
100	100	350	190	-	-	220	-	235	128	222	450	F10
125	125	400	-	325	-	250	-	270	157	266	740	F12
150	150	480	-	350	-	285	-	300	176	285	740	F12
200	201	600	-	400	340	340	360	375	245	362	750	F14
250	252	-	-	450	395	405	425	450	285	-	-	F14
300	303	-	-	500	445	460	485	515	329	-	-	F14

Tabla 21 - Dimensiones de las válvulas de bola de PEKOS [19]

A partir de dicha tabla se puede comenzar a seleccionar las válvulas, se dispone de tres líneas A, B y C con un diámetro de 1 ½", 2" y 3 ½" respectivamente. Por lo tanto, ya se sabe que se tienen que seleccionar las válvulas DN32 para la línea A, la DN50 para la línea B, y DN100 para la línea C. Se va a seleccionar las válvulas de tipo PN16, ya que comercialmente son es el mínimo que se monta para dichos diámetros.

3.10 Selección de la tornillería y bridas

Se utilizarán bridas atornilladas para la conexión entre las tuberías y diversos elementos de las líneas. Es necesario emplear bridas para conectar las líneas con los tanques, las válvulas con las líneas, las bombas con las líneas y la línea de alimentación al decanter.

En la elección de estas bridas, se consultó el catálogo de la empresa "DNBrida". Dado que todas las tuberías operan a presión ambiente, se optó por bridas PN16, que son las de menor capacidad. Debido a que todas las líneas comparten las mismas condiciones de presión y temperatura, se seleccionarán las mismas bridas cambiando únicamente sus dimensiones.

Posteriormente, se consultó el catálogo y se eligió el modelo "Brida plana DIN-2502 PN-16". De este modelo, se seleccionaron los tamaños DN32, DN50 y DN100. Todas las bridas fijan con 4 tornillos M16. Todos estos detalles se presentan en la tabla 22 extraída del catálogo y en la ilustración 25.

Dimensiones en milímetros

DN	Tubo		Brida					Tornillos			Peso (kg) (7,85kg/dm ³)	
	d1		d5		D	b	k	Cantidad	Rosca	d2		
	ISO	DIN	ISO	DIN							ISO	DIN
10	17.2	14	17.7	14.5	90	14	60	4	M12	14	0.605	0.613
15	21.3	20	22	20.5	95	14	65	4	M12	14	0.669	0.675
20	26.9	25	27.5	25.5	105	16	75	4	M12	14	0,936	0.749
25	33.7	30	34.5	30.5	115	16	85	4	M12	14	1,11	1.14
32	42.4	38	43.5	38.5	140	16	100	4	M16	18	1.62	1.66
40	48.3	44.5	49.5	45	150	16	110	4	M16	18	1.86	1.89
50	60.3	57	61.5	57.5	165	18	125	4	M16	18	2.47	2.51
65	76.1		77.5		185	18	145	4	M16	18	3,16 a	
80	88.9		90.5		200	20	160	8	M16	18	3,6	
100	114.3	108	116	108.5	220	20	180	8	M16	18	4.2	

Tabla 22 - Dimensiones de las bridas del catálogo de la empresa DNBrida [20]

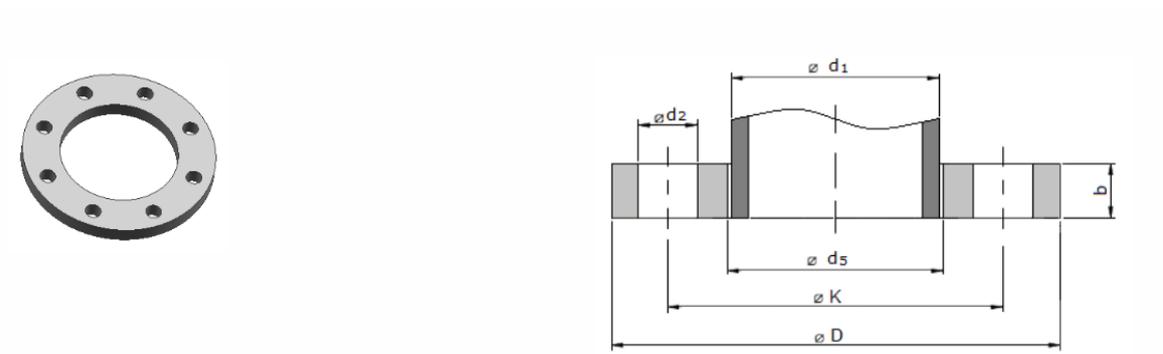


Ilustración 25 - Imágenes de la brida seleccionada del catálogo de la empresa DNBrida [20]

Para la elección de la tornillería, se ha recurrido al catálogo de la empresa "Baselga Lizaga, S.A.". A partir de dicho catálogo se van a seleccionar los tornillos de cabeza hexagonal totalmente roscado M16. La tabla 23 presenta los tornillos seleccionados del catálogo:

DIN 933 **Tornillo de cabeza hexagonal totalmente roscado**

ISO 4017 EN 24017

d	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M10	M12
P	0,5	0,7	0,8	1	1	1,25	1,5	1,75
k	2	2,8	3,5	4	4,8	5,3	6,4	7,5
s	5,5	7	8	10	11	13	17/16*	19/18*
L	(4-30)	(5-70)	(6-80)	(6-80)	(7-100)	(8-120)	(8-150)	(10-150)
d	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
P	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5
k	8,8	1	11,5	12,5	14	15	17	18,7
s	22/21*	24	27	30	32/34*	36	41	46
L	(10-150)	(12-150)	(16-200)	(16-200)	(16-200)	(16-200)	(22-200)	(35-200)
d	M33	M36	M39	M42	M45	M48	M52	
P	3,5	4	4	4,5	4,5	5	5	
k	21	22,5	25	26	28	30	33	
s	50	55	60	65	70	75	80	
L	(35-200)	(35-200)	(35-200)	(40-200)	(40-200)	(40-200)	(50-200)	
	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	12.9
							A2	A4

* Tamaño según norma ISO.

Tabla 23 - Dimensiones de tornillos de cabeza hexagonal [21]

3.11 Resumen de los resultados obtenidos

Partiendo del sistema de decantación que se aplicaba en la planta, siendo este un filtro prensa que ofrecía un rendimiento de la capacidad de filtrado insuficiente ante un aumento de generación de residuos, se ha diseñado y planteado una solución técnica en la que se implanta un decanter como alternativa de sistema de decantación ofreciendo un mayor rendimiento y cubriendo la capacidad de filtrado requerida. Para dicha implantación, se han realizado una serie de cálculos necesarios para poder dimensionar el diseño realizado.

Se va a reflejar un resumen de los resultados obtenidos tras haber dimensionado las líneas necesarias para la instalación. Para poder realizar dichos cálculos se han fijado unos caudales y unas velocidades del fluido, partiendo de dichos valores se ha aplicado el principio de Bernoulli y ecuaciones adicionales para poder obtener el diámetro de las tuberías a instalar, las alturas manométricas y la potencia real de las bombas necesarias para impulsar el fluido.

A continuación, se adjunta la tabla 24 con los resultados consolidados de cada línea dimensionada:

Línea	Caudal (m ³ /h)	Diámetro	Potencia real (kW)	Régimen
A	4,58	1 1/4"	0,2822	Turbulento
B	20	2"	4,22	Turbulento
C	20	3 1/2"	0,661	Transitorio

Tabla 24 - Resultados de las líneas seleccionadas consolidados

Para la obtención de dichos resultados, se han tenido en cuenta varios factores que son fundamentales para poder ajustarse al diseño de la instalación. Se han realizado esquemas del diseño completo, y de cada una de las líneas a dimensionar por separado para evaluarlas individualmente. Para la realización de dicho dimensionamiento, se han tenido en cuenta las pérdidas de energía tanto primarias como secundarias producidas por el contacto del fluido con la conducción, y por cambios en la conducción como la presencia de válvulas, uniones en Te y codos. También ha sido de vital importancia ajustar la ecuación de Bernoulli a cada una de las líneas, teniendo en cuenta las alturas, presiones y velocidades de los puntos a evaluar. Una vez aplicados dichos cálculos, se han calculado las potencias teóricas de las bombas que han sido necesarias para impulsar el fluido a lo largo de la conducción, y posteriormente se ha supuesto un rendimiento de las bombas de un 70% para ofrecer un escenario más realista en el que no se lleven al límite las condiciones de trabajo de las bombas. A continuación, en la ilustración 26 se refleja la instalación con las líneas que han sido dimensionadas.

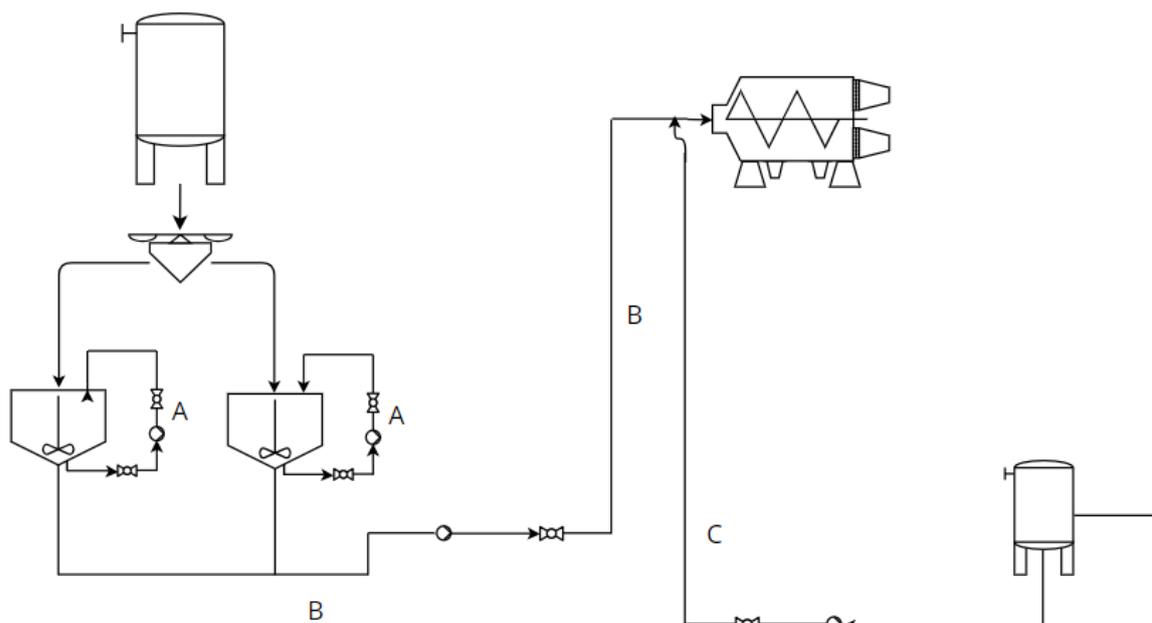


Ilustración 26 - Esquema del diseño del decanter [Fuente Elaboración propia]

Tras el correcto dimensionamiento de las líneas, se han seleccionado todos los componentes necesarios para la instalación de las conducciones. Se han seleccionado los siguientes componentes:

- Bombas volumétricas de pistón excéntrico de la serie M de la empresa pompes grossclaude, que se ajustan perfectamente a las potencias calculadas en el dimensionamiento, seleccionadas a través del catálogo del proveedor.

- Codos de 90º y uniones en Te de la empresa Hastinik, acudiendo a los catálogos aportados por la empresa y reflejados en este documento.
- Válvula de bola de la empresa PEKOS, en el que acudiendo al catálogo se han seleccionado válvulas que se ajustasen a los diámetros calculados de cada una de las líneas.
- La tornillería como las bridas necesarias para la instalación son de la empresa DNBrida y extraídas del catálogo aportado por la empresa, para la correcta instalación de las válvulas y de las conducciones

Por lo que como conclusión a los resultados obtenidos y una vez implantada la instalación diseñada, se puede afirmar que se ha conseguido aportar una solución técnica a un problema de rendimiento en el sistema de decantación de una planta industrial dedicada a la refinación de aceites y grasas animales. A continuación, se va a reflejar cual ha sido la aportación de la solución, se parte de un escenario inicial en el que el rendimiento del sistema de decantación no era capaz de filtrar las cantidades de aguas residuales generadas, necesitando más de 30h en un día para poder cubrir dicha necesidad. Y a través de la solución, se llega a un escenario final en el que se implanta un decanter con un rendimiento de 20 tn/h en el que incluso aplicando un caudal de solo 10 tn/h, se podría cubrir la necesidad de filtrado en un máximo de 12h permitiendo incluso un futuro aumento de la producción.

4 Estudio económico

A continuación, se va a realizar un estudio del presupuesto total (excluyendo las tuberías) que va a conllevar la realización de dicho proyecto. El estudio se ha realizado a través de presupuestos facilitados por el fabricante. El presupuesto lo de las tuberías es aportado por el montador ad-hoc al diseño planteado, por lo que habría que sumar dicho presupuesto al presupuesto planteado.

A continuación, se refleja el presupuesto total de la instalación desglosado en diferentes bloques:

PRESUPUESTO INSTALACIÓN DE LOS ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS AL DECANTER		
Unidades	Descripción	Precio
1	Equipo rompedor dosificador ZDM DDMR 120 L=5m	
1	Conjunto plataforma y silo 121 m3 . Incluyendo: - Estructura perimetral a depósitos y acceso a dosificador silo con barandilla perimetral, escalera de zancas y suelo tramex - Filtro de mangas - 2 niveles - válvula sobrepresión	
1	Sistema de pesaje	
1	Tolva de 3 m3 en inoxidable 304 con filtro de mangas	
1	Cuba de preparación de 25 m3 en material PRFV. Incluyendo cada una: - Agitador - 1 Detector de nivel capacitivo - 2 Detectores de presión con celda de medición cerámica , incluyendo display Pliscom. - 1 Sonda temperatura - 2 sprays 360 para limpieza interior depósito - 1 torre de lavado de gases de 2 cámaras con cuadro de válvulas	
1	Cuadro eléctrico de potencia y un cuadro eléctrico de señales	
4	Bomba volumétrica de pistones	
TOTAL EQUIPOS		373.325,00 €
1	Transporte	
1	Supervisión montaje técnico	
1	Puesta en marcha en obra por un técnico	
TOTAL INSTALACIÓN ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS AL DECANTER		407.915,00 €
PRESUPUESTO DEL DECANTER		
1	GEA sludge Decanter pro 5000 2	121.121,00 €
1	Gabinete compacto de control	Incl.
1	Certificado: Prueba de fábrica con líquido	Incl.
1	Sistema de lubricación: engrase automático	Incl.
1	Sensor de vibraciones	Incl.
1	Sensor de rodamientos	Incl.
1	Juego de herramientas	Incl.
1	Juego de piezas de repuesto	Incl.

1	Válvula compuerta deslizante 1.4301 de accionamiento neumático con conexión de brida	Incl.
1	Tolva de sólidos	Incl.
1	Tolva de líquido	Incl.
TOTAL INSTALACIÓN DECANTER		121.121,00 €
PRESUPUESTO MONTAJE MECÁNICO		
	Montaje de equipos	8.960,10 €
	Montaje tuberías	184.432,83 €
	Montaje instrumentos en línea	4.604,07 €
TOTAL MONTAJE MECÁNICO		197.997,00 €
PRESUPUESTO TOTAL DE LA INSTALACIÓN		727.033,00 €

Es fundamental mencionar lo importante que es a nivel económico disponer de sistemas de decantación y depuración en una planta industrial, ya que al conseguir recircular corrientes que eran residuales, pero han sido depuradas / decantadas, se está disminuyendo considerablemente el consumo de recursos, lo cual conlleva un ahorro importante de dinero. También es muy importante conseguir eliminar al máximo el porcentaje de agua que contienen los residuos sólidos como la cal y el fango, ya que los sólidos retirados de las corrientes residuales van a ser retirados de la planta y posteriormente gestionados por una gestora externa de residuos. El precio de las gestoras de residuos varía en función del volumen de residuos a retirar, reflejando precios que varían desde 80 €/m³ hasta 120 €/m³ según el tipo de residuo, en el caso de que el residuo contenga aguas ácidas el precio aumentaría. Por eso es muy importante conseguir generar sólidos lo más secos posibles sin que contengan agua que aumente considerablemente su peso, ya que con estos niveles de producción se están tratando toneladas de producto.

5 Planificación del trabajo

Para poder realizar una planificación del proyecto, se ha comenzado realizando un listado de las actividades que van a ser necesarias para poder llevar a cabo la puesta en marcha del sistema de decantación diseñado.

Como se puede observar en la ilustración 30, se ha realizado un diagrama de Gantt en el que se realiza un análisis del tiempo que va a requerir cada actividad, y cuál es la relación entre estas.

En primer lugar, se va a realizar el acondicionamiento del terreno y la compra de los equipos necesarios para la instalación. Como se puede apreciar, el acondicionamiento conlleva un total de dos meses. Una vez acondicionado el terreno, se procede a instalar los distintos equipos comprados, las tuberías que los conectan y los elementos de las líneas, como pueden ser las válvulas y las bombas hidráulicas. Todo esto conlleva un tiempo de mes y medio según el diagrama.

Por último, se van a realizar una serie de pruebas en planta para comprobar que la instalación realizada funciona correctamente. Se puede observar que la instalación completa del sistema de decantación en la planta es de 4 meses.

TAREAS	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4
Compra de equipos																
Excavaciones y rellenos																
Picado pavimento																
Excavaciones																
Relleno y compactado																
Cimentaciones																
H-Limp																
Losa																
Pedestales																
Encof / Hormigón / Pernos																
Red de tierras																
Viales																
Drenajes																
Impermeabilización y sellado																
Instalación de silo de cal																
Instalación de tolva gravimétrica																
Instalaciones de re reactores																
Instalaciones de decanter																
Instalación de tuberías																
Instalación de válvulas																
Instalación de bombas hidráulicas																
Pruebas de puesta en marcha																
Control de seguridad y salud																

Ilustración 27 - Diagrama de Gantt [Elaboración propia]

7 Conclusiones

El desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado ha permitido profundizar en la problemática asociada con la refinación de aceites y grasas animales y la necesidad imperante de optimizar los procesos de depuración de residuos generados en esta actividad. A través de un enfoque integral, se ha diseñado e implementado un sistema de decantación que responde eficazmente a los desafíos identificados, mejorando significativamente la eficiencia y la sostenibilidad de las operaciones de la planta.

La selección del decanter GEA sludge Decanter pro-5000 como solución tecnológica ha sido respaldada por un exhaustivo análisis de las corrientes de residuos generados por los distintos procesos de refinación que se realizan en la planta, lo que ha permitido comprender mejor las características y volúmenes de los mismos. Este análisis ha sido crucial para dimensionar adecuadamente el sistema y asegurar su capacidad para manejar las cargas de residuos previstas. La implementación del decanter no solo ha demostrado ser viable desde el punto de vista técnico y económico, sino que también ha ofrecido beneficios ambientales tangibles, tales como la reducción en la generación de residuos y la posibilidad de reutilizar parte del agua tratada en algunos de los procesos mencionados. A pesar de que el decanter tiene una capacidad de $20 \frac{m^3}{h}$, se va a conducir una corriente de $10 \frac{m^3}{h}$ para no llevar al límite las condiciones de trabajo del decanter, ya que con dicho caudal ya se soluciona la problemática y se obtiene un rendimiento óptimo, de manera que se alarga el ciclo de vida del decanter.

Los resultados obtenidos subrayan la importancia de adoptar enfoques sostenibles y tecnologías avanzadas en la industria de refinación de aceites y grasas animales. El éxito del proyecto reafirma la viabilidad de integrar soluciones de tratamiento de residuos que no solo cumplen con la legislación ambiental vigente, sino que también contribuyen a la eficiencia operativa y la sostenibilidad a largo plazo de las plantas.

Sin embargo, el trabajo también ha identificado áreas de mejora y posibilidades de investigación futura. Entre ellas, se destaca la exploración de tecnologías complementarias que permitan optimizar aún más el tratamiento de los residuos y la recuperación de subproductos valiosos.

El coste total del proyecto calculado supone un total de 727.033,00 €, teniendo en cuenta todas las actividades necesarias para su realización y todo el equipo necesario para la instalación. Por otro lado, la duración total del proyecto con todas las actividades que este conlleva es de 4 meses.

En conclusión, este Trabajo de Fin de Grado no solo ha contribuido a resolver un problema específico de una planta de refinación, sino que también ha aportado conocimientos valiosos que pueden ser aplicados en contextos similares, fomentando prácticas más sostenibles y responsables en la industria. La implementación exitosa del sistema de decantación destaca el potencial de integrar soluciones innovadoras y sostenibles en los procesos industriales, marcando un paso importante hacia la minimización del impacto ambiental de la refinación de aceites y grasas animales.

8 Bibliografía

[1] United Nations. (s. f.). *Sostenibilidad | Naciones Unidas*.

Disponible en: <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/sostenibilidad>

[2] Gamez, M. J. (2022, 24 mayo). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. Desarrollo Sostenible.

Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

[3] *¿Qué son los biocombustibles avanzados? Tipos y principales ventajas | Repsol*. (2024, 15 febrero). REPSOL.

Disponible en: <https://www.repsol.com/es/tecnologia-digitalizacion/technology-lab/reduccion-emisiones/biocombustibles/index.cshtml>

[4] *Repsol inicia las obras de construcción de la primera planta de biocombustibles avanzados de España en su refinería de Cartagena*. (2022, 7 marzo). REPSOL.

Disponible en: <https://www.repsol.com/es/sala-prensa/notas-prensa/2022/repsol-inicia-obras-construccion-primera-planta-biocombustibles-avanzados-de-espana-en-refineria-cartagena/index.cshtml>

[5] *Días, C., Días, C., & Días, C. (2022, 13 diciembre). España, el hidrógeno verde y los biocombustibles: su gran oportunidad*. Cinco Días.

Disponible en:

https://cincodias.elpais.com/cincodias/2022/12/12/opinion/1670856888_095746.html

[6] *Statista. (2023, 28 noviembre). Distribución por país de la producción mundial de biocombustible en 2022*.

Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/635731/produccion-global-de-biocombustibles-distribuida-proporcionalmente-por-paises/>

[7] Constante, G. E. (2012). *Los aceites y grasas. refinación y otros procesos de transformación industrial (Primera Edición ed.)*. Antonio Madrid Vicente, Editor

<https://www.rosamarchal.es/2013/03/17/que-es-la-acidez-de-un-aceite/>

[8] *¿Qué es la “acidez” de un aceite? (2013b, marzo 17)*.

Disponible en: <https://www.rosamarchal.es/2013/03/17/que-es-la-acidez-de-un-aceite/>

[9] *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes*. (s. f.). Google Books.

Disponible en:

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ukWBiJ8V1yEC&oi=fnd&pg=PA1&dq=necesidad+de+depurar+aguas+residuales&ots=yTAetb-UO&sig=x4cEnQ5gNhPIU4LiS4GceCc1Hbo#v=onepage&q&f=false>

[10] Keating, D. (2018, 26 junio). *Biocombustibles: ¿buenos o malos para el medio ambiente?* *dw.com*.

Disponible en: <https://www.dw.com/es/biocombustibles-buenos-o-malos-para-el-medio-ambiente/a-44396078>

[11] *BOE.es - Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado*. (s. f.).

Disponible en: <https://www.boe.es/>

[12] *Filtro de prensa | Hidrometálica*. (s. f.).

Disponible en: <https://www.hidrometalica.com/filtro-de-prensa/>

[13] Chamorro, J. (2016, 7 noviembre). *Depuración para principiantes IX-4:*

Deshidratación de fangos. Filtros prensa. iAgua.

Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/jorge-chamorro/depuracion-principiantes-ix-4-deshidratacion-fangos-filtros-prensa>

[14] *Principio de operación Decanter Centrífugo*. (s. f.). Alfa Laval.

Disponible en: <https://www.alfalaval.es/info/spain/servicio/principio-de-operacion-decanter-centrifugo/>

[15] ¿Qué es la “acidez” de un aceite? (2013, 17 marzo).

<https://www.rosamarchal.es/2013/03/17/que-es-la-acidez-de-un-aceite/>

[16] El número de Reynolds. (s. f.).

Disponible en: <https://yesenialopez323.blogspot.com/2016/>

[17] Hastinik, S.A. (2015). *Aceros inoxidables y aleaciones Especiales. Catálogo General.* (s. f.).

Disponible en: http://www.grupohastinik.com/wp-content/uploads/2018/06/Catalogo_Hastinik_General-02-15.pdf

[18] Pompes Grosclaude S.A. (2017). *Bombas Serie M. Catálogo.* (s. f.). (s. f.).

Disponible en: <https://www.pompes-grosclaude.com/wp-content/uploads/2017/08/brochure-M-es.pdf>

[19] PEKOS VALVES. (2019). *Ball Valves DIN.* (s. f.).

Disponible en: <https://www.pekos.es/downloads/pekos-din.pdf>

[20] *Brida Plana DIN-2502 PN-16 :: DN Brida.* (s. f.).

Disponible en: <https://www.dnbrida.com/brida-plana-din-2502-pn16.php>

[21] *Tornillo DIN 933 / ISO 4017 - Baselga Lizaga.* (s. f.).

Disponible en: <https://www.baselgalizaga.com/2-mi-tornillo.html>

[22] *Equivalencias entre las principales maneras de medir canalizaciones, NPS, DN.* (s. f.).

Disponible en: <https://www.depuradoras.es/blog/169-equivalencias-entre-las-principales-maneras-de-medir-canalizaciones-nps-dn>

9 Anexo

9.1 Anexo 1. P&ID de la Planta de tratamiento de aguas residuales

A continuación, se refleja un P&ID facilitado por la planta, en el que se refleja la planta de tratamiento de aguas residuales con la posible ampliación de la capacidad de filtrado a través de un filtro prensa adicional. Dicha alternativa se reemplaza en este trabajo sustituyendo ambos filtros prensa por un único decanter, ya que su rendimiento es mayor.

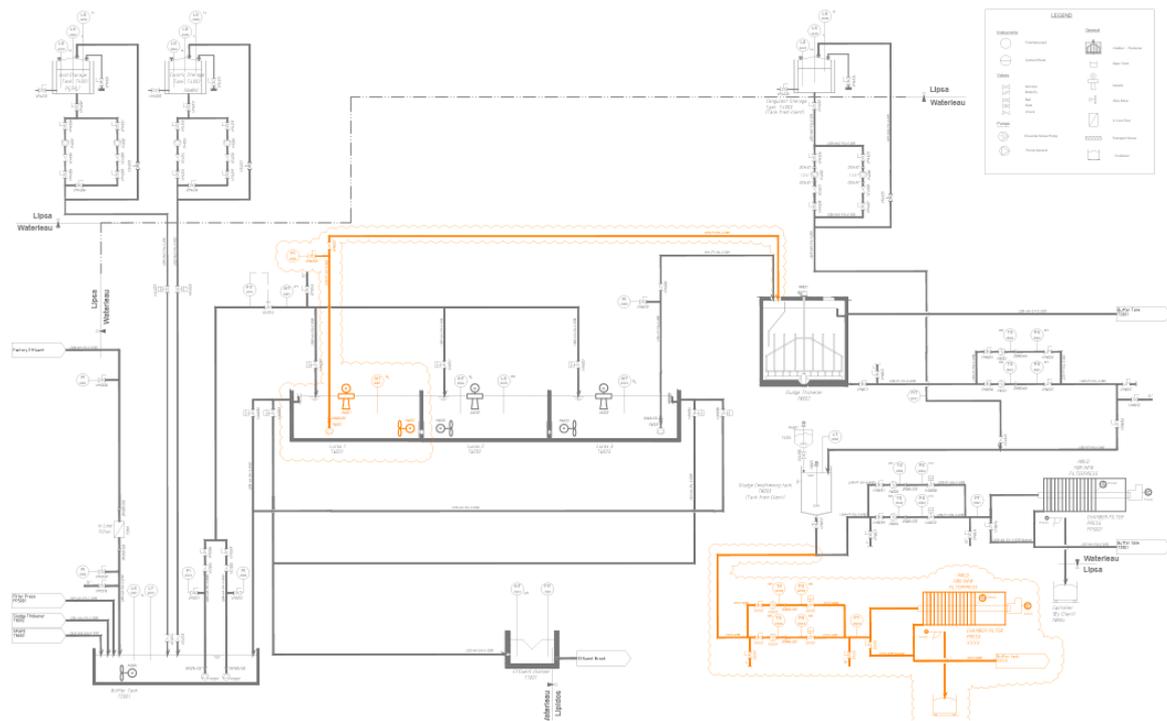


Ilustración 28 - P&ID de la planta de tratamiento de agua residuales

9.2 Anexo 2. Índice de tablas

Tabla 1 - Demanda de producción anual [Fuente: Elaboración propia]	20
Tabla 2 - Cantidades de agua del tratamiento de pastas a depurar [Fuente: Elaboración propia] .	20
Tabla 3 - Capacidades SBRs [Fuente: Elaboración propia]	21
Tabla 4 - Capacidad de los SBR disponible vs necesaria (Fase 1) [Fuente: Elaboración propia]	21
Tabla 5 - Déficit de las diferencias de las capacidades de los SBr (Fase 1) [Fuente: Elaboración propia]	21
Tabla 6 - Demanda de producción anual [Fuente: Elaboración propia]	21
Tabla 7 - Cantidades de agua del tratamiento de pastas a depurar [Fuente: Elaboración propia] .	22
Tabla 8 - Capacidades de los SBR [Fuente: Elaboración propia]	22
Tabla 9 - Capacidad de los SBR disponible vs necesaria [Fuente: Elaboración propia]	22
Tabla 10 - Déficit de la diferencia de capacidades de los SBR [Fuente: Elaboración propia]	22
Tabla 11 - Condiciones de trabajo del filtro prensa instalado [Fuente: Elaboración propia]	25
Tabla 12 - Capacidad diaria de aguas ácidas en el filtro prensa [Fuente: Elaboración propia]	26
Tabla 13 - Capacidad diaria de fangos en el filtro prensa [Fuente: Elaboración propia]	26
Tabla 14 - Tiempo necesario de filtrado para el filtro prensa [Fuente: Elaboración propia]	26
Tabla 15 - Dimensiones de las líneas [22]	35
Tabla 16 - Resultados de la línea A.....	41
Tabla 17 - Resultados línea B	48
Tabla 18 - Resultados de la línea C.....	55
Tabla 19 - Dimensiones de los codos AISI 304L de la empresa "Hastinik" [17]	56
Tabla 20 - Tabla de dimensiones de las uniones en "Te" AISI 304L de la empresa "Hastinik"	57
Tabla 21 - Dimensiones de las válvulas de bola de PEKOS [19]	60
Tabla 22 - Dimensiones de las bridas del catálogo de la empresa DNBrida [20]	61
Tabla 23 - Dimensiones de tornillos de cabeza hexagonal [21]	62
Tabla 24 - Resultados de las líneas seleccionadas consolidados	62

9.3 Anexo 3. Índice de ilustraciones

Ilustración 1 - Objetivos de desarrollo sostenible [2]	5
Ilustración 2 - Distribución porcentual de la producción mundial de biocombustibles [6]	7
Ilustración 3 - Esquema del proceso de generación de un ácido graso libre [15]	8
Ilustración 4 - Esquema del proceso de desgomado [Fuente: Planta Industrial]	10
Ilustración 5 - Esquema del proceso de la decoloración [Fuente: Planta Industrial].....	11
Ilustración 6 - Esquema del proceso de tratamiento de pastas [Fuente: Planta Industrial].....	12
Ilustración 7 - Gráfico de la composición de los "fondos" [Fuente: Elaboración propia]	13
Ilustración 8 - Visualización de la localización de la fábrica	15
Ilustración 9 - Visualización de las áreas de operación	15
Ilustración 10 - Visualización 3D de la planta [Fuente: Planta Industrial]¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 11 - Esquema de un filtro prensa [13].....	24
Ilustración 12 - Esquema del Decanter [14]	27
Ilustración 13 - Proceso del Decanter [14].....	28
Ilustración 14 - Esquema simple de la instalación del decante [Elaboración propia].....	31
Ilustración 15 - Esquema simple de la línea "A" (línea de recirculación del reactor) [Elaboración propia]	36
Ilustración 16 - Régimen del flujo en función del número de Reynolds [16].....	38
Ilustración 17 - Esquema simple de la línea "B" (línea de circulación al decanter) [Elaboración propia]	43
Ilustración 18 - Esquema simple de la línea "C" (línea de circulación al decanter de los fangos) [Elaboración propia].....	50
Ilustración 19 - Costas y características de los codos [17]	56
Ilustración 20 - Costas y características de las uniones en "Te"	57
Ilustración 21 - Bomba volumétrica de pistones [18]	58
Ilustración 22 - Características de los tipos de bombas [18].....	58
Ilustración 23 - Tabla de caudales y potencias de los modelos de las bombas [18].....	59

Ilustración 24 - Imágenes de la brida seleccionada del catálogo de la empresa DN Brida [20]	61
Ilustración 25 - Diagrama de Gantt [Elaboración propia]	67
Ilustración 26 - P&ID de la planta de tratamiento de agua residuales	73
Ilustración 27 - Silo de cal.....	79
Ilustración 28 - Tolva gravimétrica y rompe bóvedas	80
Ilustración 29 - Depósito de almacenamiento (Reactor)	81
Ilustración 30 - Decanter	82

9.4 Anexo 4. Normativa aplicable

- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.
- Orden de 29 de julio de 1993, que desarrolla el Real Decreto 825/1993.
- Real Decreto 697/1995, de 28 de abril, que desarrolla el Reglamento de Registro de Establecimientos Industriales de la Ley 21/1992.
- Real Decreto A1823/1998, de 28 de agosto, sobre Composición y Funcionamiento de la Comisión para la Competitividad industrial, desarrollando la Ley 21/1992.
- Normativas sobre Biocarburantes y Biolíquidos: El Real Decreto 376/2022, emitido el 17 de mayo de 2022, regula los criterios de sostenibilidad y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para biocarburantes, biolíquidos y combustibles de biomasa. También establece el sistema de garantías de origen para gases renovables. Este decreto incluye disposiciones sobre la sostenibilidad de los biocarburantes, considerando la calidad, el origen *de las materias primas y la evaluación ambiental de los cultivos*.
- Normativas sobre Aceites de Oliva y Orujo de Oliva: El Real Decreto 760/2021, publicado el 31 de agosto de 2021, aprueba la norma de calidad para los aceites de oliva y orujo de oliva. Esta normativa establece estándares de calidad para estos productos².
- Balance de Masa y Emisiones: El Real Decreto 205/2021 regula los objetivos de venta o consumo de biocarburantes para los años 2021 y 2022. Además, limita el uso de biocarburantes producidos a partir de cereales y otros cultivos, que no pueden superar el 7% del consumo final de energía en transporte en 2022
- Con la progresiva eliminación de la exención al impuesto de hidrocarburos en 2013, el consumo de biocombustible en España se impulsa exclusivamente por mandato.
- En 2016, el Real Decreto 1085/2015 eliminó los objetivos específicos para biodiesel y bioetanol, incrementando ligeramente los objetivos de consumo para el periodo 2016-2020.

- El Real Decreto 1597/2011 incorporó las disposiciones de sostenibilidad relacionadas con el doble valor de algunos biocarburantes a la ley nacional. Sin embargo, a principios de 2013, el Gobierno español introdujo un periodo de carencia indefinido en su implementación, el cual concluyó el 1 de enero de 2016 (Resolución de 29 de abril de 2015 de la Secretaría de Estado de Energía), entrando en un período transitorio. Según el Proyecto de Real Decreto sobre GEI de combustibles y energía en el transporte, que modifica el Real Decreto 1597/2011 y está publicado para consulta pública, la fecha final de implementación sería el 1 de enero de 2018. Los sujetos obligados deberán acreditar el cumplimiento de la sostenibilidad, verificado por la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) bajo el Sistema Nacional.
- La Resolución de 2 de abril de 2014 de la Secretaría de Estado de Energía emitió una lista de materias primas aptas para el doble cómputo, incluyendo aceites usados de origen animal o vegetal y algunas grasas animales. El Proyecto de Real Decreto sobre GEI de combustibles y energía en el transporte, que modifica el Real Decreto 1597/2011, introduce un nuevo grupo que incluye algas, bacterias, FORSU, residuos industriales, residuos agroforestales y otros materiales celulósicos y lignocelulósicos, así como combustibles renovables líquidos y gaseosos de origen no renovable.
- El 5 de octubre de 2015, la Directiva 1513/2015 oficializó un límite del 7% (contenido energético) para los biocombustibles producidos a partir de alimentos, limitando así el consumo de biocombustibles de primera generación o convencionales, dentro del objetivo más amplio del 10% para biocombustibles indicado por el RED para 2020. Adicionalmente, se estableció un objetivo nacional no vinculante del 0,5%. Según el Proyecto de Real Decreto sobre GEI de combustibles y energía en el transporte, que modifica el Real Decreto 1597/2011, el objetivo de biocombustibles avanzados en España sería del 0,1%.

9.5 Anexo 5. Elementos del sistema de decantación



2112-1-238-4 LIPSA EDARI

SILO DE ALMACENAMIENTO

Incluyendo:

SILO 121 m3

Volumen geométrico	120,7 m3
Diámetro	4.000 mm
Altura brida salida	2.000 mm
Altura cónica	3.341 mm
Altura cilíndrica	8.500 mm
Altura barandilla	1.100 mm
Altura total	14.941 mm

Salida con brida PN10 DN200

Cono regular a 60°

Boca de inspección Ø 500 abatible de cierre estanco.

Barandilla superior con rodapié y escalera de gato acceso techo

Tubo de carga 3" con curva superior reforzada

1 Ud Tubería de carga a silos DN 100 en A°C° con record guillemint de aluminio incluido.

1 Ud Barandilla según estándar enviado Inox 304 con rodapié incluido, la barandilla mediante atornillada al silo, desmontable.

- 1 Ud Escalera de gato (Inox 304):

El silo de acuerdo con la altura total dispondrá de una escalera vertical con jaula de protección un tramo o en dos tramos con plataforma descansillo. Se ha previsto que los montantes de la escalera y los peldaños queden incorporados al silo mediante clips soldados al silo y atornillados a la escalera. De esta manera, se deposita en el interior del silo a fin de facilitar el transporte

- 4 Ud Orejetas de izado en techo silo.
- 1 Ud Paso de hombre Dn 500 estándar en INOX AISI 316 con la tubuladura incorporada para colocar una válvula presión /depresión VCP
- 2 Ud Tubuladuras para niveles de paletes.
- Estructura de sujeción en cuatro ménsulas, conjunto atornillado. Altura 2.200 mm desde boca a la plataforma.
- Estructura de sujeción en 4 pilares, conjunto atornillado. Altura 3.000 mm desde plataforma
- Placas sujeción células de carga incluidas, la instalación de las células se realizará en la zona inferior del silo y estructura de sujeción silo/plataforma mm mediante tetones en la zona inferior del silo Utilicell Modelo 460. La estructura de sujeción se entrega montada, pero si por el transporte desmontadas

ELEMENTOS SILO DE ALMACENAMIENTO

FILTRO DE MANGAS

Limpieza	por aire comprimido
Superficie filtrante total	24,5 m ²
Elemento filtrante	7 cartuchos de poliéster de 265 gr/m ²
Material cuerpo	Inox 430
Alimentación	multitensión 24/230 VDC/VAC
Detector conexión manguera llenado	

2 DETECTOR DE NIVEL

Tipo	Paletas rotativas
Señal de salida	contacto libre de tensión
Diámetro palas	125 mm
Motor	24 VAC 50 Hz 3,8 W IP65

VALVULA CONTROL SOBREPRESION-DEPRESION

Presión de apertura	0,05 bar en sobrepresión; -0,02 bar en depresión
Ubicación	techo silo / vertical
Material	cuerpo en A°C° pintado, cubierta en plástico

SISTEMA DE PESAJE

Células de carga con soporte antivuelco.
 Material células inox 304 con protección IP68, soportes A°C°
 Caja suma para cuatro células en material ABS y protección IP68
 Indicador modelo DAT 500 con tensión 24 VDC, 8 W y pantalla visualización de 6 dígitos

PLATAFORMA

- Materiales Estructura de suportación en perfiles laminados en caliente en calidad S 275jr.

Fabricación conjunto plataforma según plano :

Incluye;

- Altura	3.000 mm
- Ancho	5.200 mm
- Largo	11.200 mm

Barandilla Perimetral fabricada en Inox 304. Según estándar enviado.

Escalera de zancas en Ac° en calidad S 275jr, con barandilla en inox 304 y Peldaños PRFV 30X30(38X38 EJES)Canto 30 color gris con arena antideslizante calidad isoftálica

Piso en Tramex PRFV 30X30 (38X38 EJES) Canto 30 color gris con arena antideslizante calidad isoftálica

Se han contemplado las uniones atornillas en calidad según normativa.



Ilustración 29 - Silo de cal

EQUIPO ROMPEBOVEDAS - DOSIFICADOR ZDM400

El rompebóvedas dosificador realiza una dosificación volumétrica. La fiabilidad y precisión del Rompebóvedas dosificador ZDM Sodimate aseguran una extracción continua y una correcta dosificación del producto. La dosificación se regula mediante un variador de frecuencia que actúa sobre el sinfin dosificador.

Caudal: 3000 Kg/h (50 Hz) Densidad aparente: 0,45 Kg/L (estimada a confirmar por el cliente)

REGISTRO DE AISLAMIENTO PN10 DN200

- 1 Registro de aislamiento PN10 DN200
- 2 Ángulos de cierre
- 2 Tajaderas manuales de aislamiento

ROMPEBOVEDAS ZDM400

- 2 Medias bridas giratorias para orientación del dosificador
- 1 Cuerpo del rompebóvedas, Ø400 mm
- 1 Registro de acceso con ventana transparente en policarbonato
- 1 Salida a conducto dosificador, con brida motor
- 1 Turbina rompebóvedas con álabes metálicos flexibles
- 1 Alimentador admisión dosificador
- 1 Motorreductor de 1,1 Kw, 230/400 VAC, 50/60 Hz, 1500 r.p.m.,IP55

DOSIFICADOR-DISTRIBUIDOR DDMR 120 S.C.F-AB, L= 5 m

- 1 Conducto de dosificación tubular
- 1 Sinfin de espiral sin eje con casquillo de acoplamiento a eje motor.
- 1 Boca de descarga tipo GU Ø 200 mm con detector anti-apelmazamiento
- 1 Motorreductor de 1,1 Kw, 230/400 VAC, 50/60 Hz, 1500 r.p.m.,IP55.

- 1 Soporte sinfin orientable y de altura ajustable, en A°Cº galvanizado, par fijación a suelo.

Material

Acero al carbono S235JR

PINTURA

Clase de protección C5 (ambiente marino o corrosivo) según EN ISO .

Color: RAL 7045.

Capa acabado de resina poliéster en polvo Interpon D1036 o D2525 Espesor 60 µ. Color: RAL 7045.



Ilustración 30 - Tolva gravimétrica y rompe bóvedas

2 DEPOSITO DE PREPARACIÓN

DEPÓSITO

Tipo vertical cilíndrica cerrada con fondo KLOOPER y techo planos, tapa inspección estanca, refuerzo y brida anclaje para agitador, y palas deflectoras antivortex

Descripción	
Formato:	Cilíndrico Vertical
Volumen (m3):	28,48
Diámetro (mm):	3500
Altura total (mm):	3700
Altura de descarga inferior(mm):	500
Tipo de tapa:	Plana
Tipo de fondo:	Klopper
Knuckle:	5,5
Espesor de barrera química (mm):	3
Espesor refuerzo mecánico tapa (mm):	11,5
Espesor refuerzo mecánico fondo (mm):	9,3
Espesor refuerzo mecánico cilindro (mm):	7,8
Código de diseño:	Espesores según EN13121
Presión de diseño (atm):	Atmosférica
Temperatura de diseño (°C):	90° C, Máximo
Producto a contener	Mezcla aguas ácidas + hidrox. Cálcico
Materiales	
Barrera química:	Doble de Swancor 907 con fibra de vidrio
Refuerzo mecánico:	Resina Swancor 907 con fibra de vidrio
Accesorios	
	4 Deflectores grandes de longitud 2220 mm
	5 Patas metálicas de altura 500 mm
	1 Soporte agitador metalico de Ø3500 mm
	1 Boca roscada PP Ø550 mm
	1 Tubuladura DN300 PN10

Tubuladuras y bridas entradas a depósito :

agua ácida	4"-AGA-7002-TF01
Fangos	4"-FG-7006-SS03
Cloruro férrico	2"-CF-7042-PE01
Agua bruta	2"-CW-7059-SS03
Preparado para Decanter	2"-DEC-7043-SS03
Preparado para Decanter / Agua	2 1/2"-DEC-7055-SS03
Agua caliente	1"-AGC-7061-SS03

Refuerzo soporte agitador (1 unidad)

Incluye dos spays de limpieza 360° para limpieza tanques con agua caliente.

Sonda de temperatura PT100



Ilustración 31 - Depósito de almacenamiento (Reactor)



Ilustración 32 - Decanter

9.6 Anexo 6. Impacto ambiental debido al consumo de biocombustibles

El impacto ambiental es una consideración importante cuando se trata de biocombustibles. Estos combustibles están elaborados a partir de materia orgánica, lo que significa que tienen el potencial de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la sostenibilidad. Sin embargo, el proceso de creación de biocombustibles también puede tener impactos ambientales negativos. Por ejemplo, la tierra utilizada para cultivar biocombustibles puede desplazar hábitats vitales y dañar los ecosistemas. Además, la producción y el transporte de biocombustibles pueden generar contaminación del aire, el agua y el suelo. En general, es vital que se considere cuidadosamente el impacto ambiental de los biocombustibles antes de que se produzca una adopción generalizada.

- Puntos positivos de utilizar biocombustibles:
 - La economía sostenible de biocombustibles de Brasil es un ejemplo de un programa exitoso destinado a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que era la intención original.
 - Para abordar el cambio climático, Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea han implementado políticas y estándares para promover el uso de biocombustibles. Este apoyo gubernamental tiene como objetivo impulsar la adopción de alternativas energéticas sostenibles.
- Puntos a mejorar tras consumir biocombustibles

La demanda de producción de biocombustibles ha provocado el desplazamiento de cultivos, lo que ha llevado a los agricultores a pasar de cultivos alimentarios a cultivos combustibles. ¿El resultado? Deforestación y escasez generalizada de alimentos, particularmente en América Latina y el Sudeste Asiático.

El aumento de las emisiones de carbono y el cambio indirecto del uso de la tierra es un fenómeno bien conocido. El problema se debe a la tala de bosques para cultivar biocombustibles y al cambio de campos de alimentos por cultivos de biocombustibles. Este proceso es responsable del aumento de las emisiones de carbono.

La conexión con la deforestación y las altas emisiones de gases de efecto invernadero ha causado controversia en torno al uso de aceite de palma en la producción de biodiesel en regiones como el Sudeste Asiático, América Latina y África.

En medio de objeciones y preocupaciones visibles, ciertos gobiernos como el de Brasil y Estados Unidos están comprometidos a impulsar el crecimiento de los biocombustibles a pesar de la controversia sobre la legislación. [10]

9.7 Anexo 7. Necesidad de depurar el agua y el fango producidos en los provenientes de refinación

En el contexto de la implantación que se va a realizar en la fábrica de refinación de aceite, es esencial implementar una estación de depuración dedicada. Dicha estación será crucial debido a la naturaleza de las operaciones de la fábrica y los productos que se generan, específicamente en relación con la producción de aguas residuales y fangos.

La necesidad de depurar tanto el agua residual como los fangos se deriva de la importancia de mitigar los impactos ambientales asociados con estos subproductos. En el caso del agua residual, la depuración es esencial para eliminar contaminantes y compuestos no deseados que pudieran afectar adversamente los cuerpos de agua circundantes. La implementación de procesos de depuración contribuirá significativamente a la reducción de la carga de contaminantes en el agua, asegurando así que los vertidos cumplan con las normativas ambientales y minimizando los riesgos para los ecosistemas acuáticos locales.

En cuanto a los fangos generados, la depuración busca reducir o eliminar componentes indeseados y contaminantes presentes en estos residuos. Al hacerlo, se logra minimizar los riesgos ambientales asociados con la disposición de fangos, asegurando que su tratamiento sea ambientalmente responsable. Esto no solo contribuye a la preservación de la calidad del suelo, sino que también disminuye los posibles efectos adversos en la flora y fauna locales.

En resumen, la implementación de una estación de depuración en la fábrica de refinación de aceite se justifica para abordar de manera proactiva los impactos ambientales relacionados con las aguas residuales y los fangos, asegurando así que las operaciones sean sostenibles y cumplan con las normativas medioambientales. [9]

9.8 Anexo 8. Tipos de biocombustibles

Para la obtención de biocombustibles, la biomasa es material de origen orgánico, ya sea vegetal o animal, que se transforma mediante procesos mecánicos, termoquímicos y biológicos. Por tanto, en función del origen de la materia prima de los biocombustibles y del proceso de obtención de los biocombustibles, se clasifican en:

- Biocombustibles de primera generación: Compuestos por combustibles obtenidos de cultivos. Los biocombustibles de primera generación son un combustible de transición y un puente hacia los combustibles duales avanzados. Su uso se irá restringiendo progresivamente, pero al mismo tiempo cumplen con los estándares de sostenibilidad y reducción de la huella de carbono marcados por la Directiva Europea de Energías Renovables, y toda su cadena de valor está certificada y auditada. Ejemplos de estos biocombustibles son los biocombustibles elaborados a partir de aceites vegetales, como el bioetanol y el biodiesel.
- Biocombustibles avanzados o de segunda generación: Estos biocombustibles proceden de residuos orgánicos que no se utilizan para alimentación ni compiten con la alimentación, la industria agroalimentaria y forestal, los aceites de cocina usados y la fracción orgánica de los residuos municipales. El aprovechamiento de estos residuos facilita la reutilización de recursos y reduce el número de veces que los residuos llegan a los vertederos. En este caso, los ejemplos incluyen el diésel renovable (HVO), el combustible de aviación sostenible (SAF), el biogás y el biometano.
- Biocombustibles de tercera generación: Estos combustibles se derivan de algas y plantas acuáticas y contienen al menos un 50% de aceites naturales. La producción de este biocombustible aún no ha alcanzado escala comercial.
- Biocombustibles de cuarta generación: Los biocombustibles de cuarta generación van un paso más allá y buscan modificar genéticamente microorganismos para aumentar la eficiencia de captura y almacenamiento de dióxido de carbono. [3]

9.9 Anexo 9. Manual de instrucciones del decanter

4	Datos técnicos	
4.1	Condiciones ambientales	38
4.2	Carga de la bancada	39
4.3	Datos del motor	39
4.4	Plano acotado.....	40

4.1 Condiciones ambientales

De forma estándar, el decantador está previsto para el servicio en naves cerradas. El polvo no debería superar los valores normales en entornos industriales.

Si el decantador funciona en entornos que difieran de los valores indicados, deberá tenerse en cuenta esta circunstancia en el diseño constructivo.

Las temperaturas ambiente y del producto permitidas en función del pedido se indican en la hoja de datos del decantador preparada según la norma EN 12547.

Muestra incompleta de la hoja de datos según EN 12547

Centrífuga			Observaciones
Tipo			
N.º de máquina			
Número de revoluciones nominal admisible del tambor	min ⁻¹		
Densidad admisible de la materia sólida	kg/dm ³		máx.
Caudal admisible	m ³ /h		mín/máx.
Temperatura adm. del producto alimentado	°C		mín/máx.
Rango admisible de presión de la carcasa	bar (g)		mín/máx.
Rango admisible de velocidad de servicio	min ⁻¹		mín/máx.
Volumen de llenado del tambor	l		aprox.
Tiempo de detención del tambor	mín.		aprox.
Velocidad de vibración admisible Valor límite 1 Valor límite 2	mm/s RMS		Consultar el punto de medición en fábrica / consultar el plano acotado.
Velocidad de giro diferencial	min ⁻¹		
Factor de decantación	%		
Temperatura ambiente	°C		mín/máx.
Advertencia «Temperatura de los cojinetes tambor»	°C		
Desconexión «Temperatura de los cojinetes tambor»	°C		
Punto de conmutación «Activar alimentación»	%		
Punto de conmutación «Desactivar decantador»	%		
Nivel de intensidad sonora	dB (A)		DIN EN ISO 3746
Nivel de potencia sonora	mW		DIN EN ISO 3746
Zona Ex de la centrífuga			
Marca Ex			RL 2014/34/EU
Inertización necesaria			sí / no
Datos de proceso			
Uso conforme a lo prescrito, producto alimentado			
Presión de alimentación	bar		mín/máx.
Presión de descarga	bar		mín/máx.

4.2 Carga de la bancada

La carga de la bancada depende de la clase de accionamiento y de los motores utilizados.

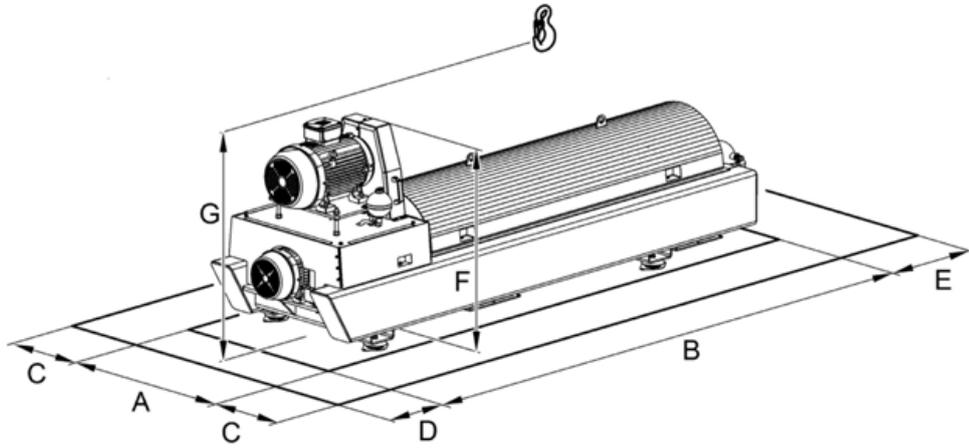
Tenga en cuenta el plano acotado específico del proyecto.

4.3 Datos del motor

Tener en cuenta la placa de características del motor y la información del fabricante.

4.4 Plano acotado

Solo para su información, no lo use como documentación de planificación.
Tenga en cuenta el plano acotado específico del proyecto.

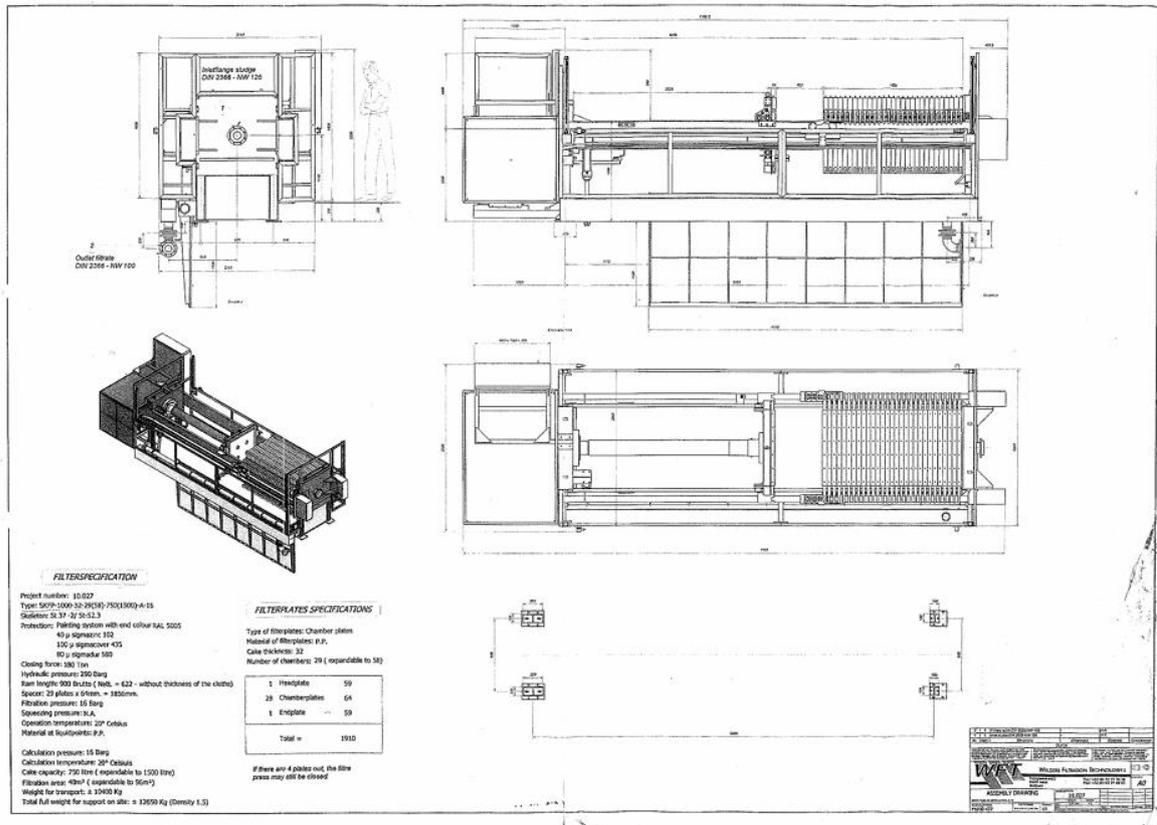


8442004

Fig. 17

A		1030
B		3800
C		500
D	[mm]	>700
E		>1000
F		1400
G		>1600

9.10 Anexo 10. Plano filtro prensa



9.11 Anexo 11. Planificación del proyecto

TAREAS	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4
Compra de equipos																
Excavaciones y rellenos																
Picado pavimento																
Excavaciones																
Relleno y compactado																
Cimentaciones																
H-Limp																
Losa																
Pedestales																
Encof / Hormigón / Pernos																
Red de tierras																
Viales																
Drenajes																
Impermeabilización y sellado																
Instalación de silo de cal																
Instalación de tolva gravimétrica																
Instalaciones de re reactores																
Instalaciones de decanter																
Instalación de tuberías																
Instalación de válvulas																
Instalación de bombas hidráulicas																
Pruebas de puesta en marcha																
Control de seguridad y salud																