



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

RESUMEN

En el proceso de elaboración de aceite de oliva por medio del método de tres fases se obtienen grandes cantidades de agua residual, denominada alpechín, con alto poder contaminante, por su elevada carga orgánica y porque contiene sustancias fitotóxicas, como los compuestos polifenólicos, los cuales son tóxicos para los microorganismos de los tratamientos biológicos. Por otro lado, los polifenoles son potentes antioxidantes naturales, por lo que tienen gran atractivo para las industrias farmacéutica, cosmética y alimentaria, de modo que su recuperación resulta de gran interés.

Para realizar la separación y concentración de los compuestos fenólicos se han seleccionado los procesos no convencionales de separación por membranas debido a que presentan grandes ventajas con respecto a los procesos no convencionales, ya que requieren presiones y temperaturas bajas, lo que conlleva, principalmente, a un ahorro energético. Además, el uso de temperaturas de operación bajas es, sobre todo en el caso de productos sensibles al calor, un aspecto determinante.

En este proyecto se ha realizado, en un primer lugar, el análisis y comparativa de distintos procesos no convencionales de separación por membranas utilizados en bibliografía por diferentes autores para la recuperación de compuestos fenólicos a partir de alpechín. Una vez seleccionada la mejor alternativa desde el punto de vista de la recuperación de los polifenoles y de su pureza en la corriente final obtenida, se ha llevado a cabo el diseño de una planta industrial para la separación y concentración de dichos compuestos, la cual incluye un método no convencional de separación por membranas. El sistema integrado de separación por membranas seleccionado está constituido por una primera etapa de microfiltración (MF), seguida de una nanofiltración (NF) y, finalmente, de una destilación osmótica (OD). Así, se alcanza un rendimiento del 36,58% en cuanto a la recuperación total de polifenoles, un rendimiento del 40,16% para el hidroxitiroso y un rendimiento del 56,05% para el tiroso, los cuales son los polifenoles más abundantes en el alpechín y los que presentan mejores propiedades antioxidantes. Además, se aumenta hasta en un 262% la pureza de los polifenoles con respecto a la corriente de alimentación, por lo que se obtiene una corriente final rica en dichos compuestos. En el presente trabajo, se ha hecho el diseño de una planta industrial basada en dicho sistema integrado de separación por membranas y situada en el polígono industrial El Bovolár, en Alaquás, Valencia, en las instalaciones de la industria de elaboración de aceite de oliva Olisoy. La planta diseñada tiene la capacidad de procesar los 38500 litros de alpechín diarios obtenidos durante la elaboración de aceite de oliva de la planta.

La etapa de MF se lleva a cabo por medio de 8 membranas tubulares M-37-19-25 de la casa comercial Inopor GmbH en paralelo, dando un área total de membrana de 74,24 m². A continuación, el permeado de la MF se alimenta a la etapa de NF, para la que se requiere un total de 103 membranas de arrollamiento en espiral Spira-Cel 3838 de la casa comercial Microdyn-Nadir, contenidas en un total de 52 contenedores de presión y colocadas en una configuración piramidal, dando un área total de membrana de 587,10 m². Por último, el permeado de dicha NF se alimenta a la última etapa de OD, formada por nueve membranas de

fibra hueca Extra-Flow 14x40 de la casa comercial Liqui-Cel colocadas en paralelo, que proporcionan un área total de membrana de 3357 m². El producto final rico y concentrado en polifenoles corresponde al concentrado de la etapa de OD, mientras que el permeado está constituido básicamente por agua y se puede reutilizar el proceso de elaboración de aceite de oliva, con el consiguiente ahorro económico. Las corrientes de rechazo de los procesos de MF y NF son susceptibles de ser reutilizados como fertilizantes o para la producción de biogás en reactores anaerobios. Con este sistema y de acuerdo con el presupuesto y el estudio económico, el coste total de inversión de la planta es de 8 026 801,06 €, los costes de explotación son de 13 384 228,01 €/año, los ingresos son de 1 432 172,16 €/año, obteniéndose un beneficio bruto anual de -11 952 055,85 €/año.

ÍNDICE GENERAL

1. Memoria descriptiva
2. Presupuesto

MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE DE LA MEMORIA DESCRIPTIVA

1. Motivación y justificación.....	1
2. Objetivos.....	3
3. Introducción y antecedentes.....	5
3.1. Proceso de elaboración de aceite de oliva virgen.....	5
3.2. Problemática actual del alpechín e interés industrial de sus polifenoles.....	7
3.3. Tratamiento actual del alpechín.....	9
3.4. La tecnología de membranas como método de separación y concentración.....	10
3.4.1. Principios básicos.....	10
3.4.2. Procesos no convencionales de separación por membranas: la ósmosis directa, la destilación con membranas y la destilación osmótica.....	11
3.4.3. Ensuciamiento y limpieza de membranas.....	14
4. Alternativas para la separación y concentración de polifenoles mediante técnicas no convencionales de separación por membranas y justificación de la alternativa seleccionada.....	17
4.1. Alternativa 1 – Sistema integrado de membranas: Microfiltración, Nanofiltración y Destilación Osmótica.....	17
4.2. Alternativa 2 – Sistema integrado de membranas: Filtración Convencional, Microfiltración, Ósmosis Directa 1, Ultrafiltración y Ósmosis Directa 2.....	18
4.3. Alternativa 3 – Sistema integrado de membranas: Microfiltración y Destilación por Membrana (DCMD).....	19
4.4. Alternativa 4 – Destilación por Membrana (DCMD).....	20
4.5. Alternativa 5 – Destilación Osmótica por Membrana.....	20
4.6. Justificación de la alternativa seleccionada.....	21
5. Normativa.....	25
5.1. Introducción.....	25
5.2. Normativa general.....	25
5.3. Normativa general en la industria de alimentos y en la industria de grasas y aceites comestibles.....	26
5.4. Normativa general referente a vertidos de aguas residuales.....	26

5.4.1. Vertidos de aguas residuales a aguas continentales.....	26
5.4.2. Vertidos de aguas residuales a aguas marinas.....	27
6. Diseño de una planta industrial de separación y concentración de polifenoles.....	29
6.1. Descripción y localización de la planta industrial.....	29
6.2. Características de la corriente de alpechín.....	30
6.3. Diseño de la planta industrial.....	31
6.3.1. Datos de partida y membranas empleadas.....	31
6.3.1.1. Datos de partida para el diseño de la planta.....	31
6.3.1.2. Membranas empleadas.....	32
6.3.1.3. Condiciones de operación y densidades de flujo de permeado para cada etapa.....	32
6.3.2. Diseño de la etapa de microfiltración.....	35
6.3.2.1. Dimensionado de las membranas.....	35
6.3.2.2. Dimensionado de las tuberías.....	39
6.3.2.3. Dimensionado de las bombas.....	41
6.3.2.4. Dimensionado de los depósitos.....	41
6.3.2.5. Instrumentación necesaria.....	42
6.3.3. Diseño de la etapa de nanofiltración.....	42
6.3.3.1. Dimensionado de las membranas.....	43
6.3.3.2. Dimensionado de las tuberías.....	45
6.3.3.3. Dimensionado de las bombas.....	46
6.3.3.4. Dimensionado de los depósitos.....	47
6.3.3.5. Instrumentación necesaria.....	47
6.3.4. Diseño de la etapa de destilación osmótica.....	48
6.3.4.1. Dimensionado de las membranas.....	48
6.3.4.2. Dimensionado de las tuberías.....	51
6.3.4.3. Dimensionado de las bombas.....	53
6.3.4.4. Dimensionado de los depósitos.....	53
6.3.4.5. Instrumentación necesaria.....	53

7. Estudio de viabilidad.....	55
7.1. Viabilidad de mercado.....	55
7.2. Viabilidad técnica.....	55
7.3. Viabilidad financiera.....	56
7.4. Viabilidad medioambiental.....	56
7.5. Viabilidad social.....	56
7.6. Viabilidad legal.....	57
8. Estudio económico.....	59
8.1. Datos de partida.....	59
8.2. Gastos de explotación.....	60
8.2.1. Costes variables.....	60
8.2.2. Costes fijos: Amortización.....	62
8.2.3. Gastos de explotación totales.....	63
8.3. Ingresos de explotación.....	63
8.4. Beneficio.....	63
9. Conclusiones.....	65
10. Bibliografía.....	67

ANEXOS A LA MEMORIA DESCRIPTIVA

Anexo I. Ecuaciones y cálculos.....	71
Anexo II. Catálogos.....	145

CAPÍTULO 1. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

La realización del presente proyecto, que consiste en el diseño de una planta industrial para la separación y concentración de polifenoles a partir de alpechín, viene motivada por la culminación del Grado en Ingeniería Química. La elección de dicho proyecto viene del interés, por parte de la alumna, en el ámbito de los polímeros y la tecnología de membranas y sus aplicaciones. Al finalizar dicho proyecto, se adquieren conocimientos y experiencia para el diseño de equipos e instalaciones y la realización de futuros proyectos profesionales.

Además, el presente proyecto se basa en la ya existente industria de elaboración de aceite de oliva virgen, Olisoy (Alaquás, Valencia), en la que se obtienen hasta 38500 litros de alpechín al día, un residuo oscuro, turbio y altamente contaminante. Éste se caracteriza por su elevado contenido en materia orgánica, difícilmente biodegradable, y por su alto contenido en polifenoles. Estos últimos presentan un carácter fitotóxico y antibacteriano, por lo que dificulta la depuración del alpechín por métodos convencionales. Sin embargo, estos compuestos presentan un importante interés industrial, ya que son de alto valor añadido y son de gran aplicación en numerosas industrias, como la farmacéutica, la cosmética o la alimentaria, debido a su elevado poder antiinflamatorio y antioxidante. Las nuevas técnicas de separación por membranas ofrecen grandes ventajas en el tratamiento del alpechín ya que, a diferencia de los métodos convencionales, permiten el tratamiento y revalorización de este residuo tan abundante en la industria de la elaboración del aceite de oliva virgen, sin la necesidad de aplicar elevadas presiones o temperaturas. Estos métodos no convencionales de separación por membranas son la ósmosis directa, la destilación con membranas y la destilación osmótica.

Por ello, surge el interés por analizar, desarrollar y diseñar una planta industrial basada en la tecnología de membranas, más concretamente, en los métodos no convencionales de separación por membranas, mediante la cual separar y concentrar los polifenoles presentes en el alpechín.

CAPÍTULO 2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente proyecto es el diseño de una planta industrial para la separación y concentración de polifenoles a partir de alpechín, empleando para ello uno o varios procesos no convencionales de separación por membranas.

Para alcanzar este objetivo principal se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- En primer lugar, se lleva a cabo un análisis y comparativa de distintos procesos integrados de separación por membranas para la recuperación de compuestos fenólicos a partir de alpechín.
- Una vez analizadas las distintas alternativas, se procede al diseño de la planta industrial de separación y concentración de polifenoles, basándose en la alternativa óptima. Para ello, se lleva a cabo el dimensionamiento de todos los equipos que componen una planta industrial, como membranas, tuberías, bombas, etc.
- Finalmente, se realiza un estudio económico para evaluar la viabilidad técnica, económica, medioambiental, social y legal del proceso diseñado en el presente proyecto.

CAPÍTULO 3. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

3.1. PROCESO DE ELABORACIÓN DE ACEITE DE OLIVA VIRGEN

Los aceites de oliva vírgenes son aquellos obtenidos únicamente mediante procedimientos mecánicos y se pueden diferenciar en cuatro tipos, dependiendo del grado de acidez que presenten, tal y como muestra la figura 1. Se tiene el aceite de oliva virgen extra, cuyo grado de acidez es inferior a $0,8^\circ$, el aceite de oliva virgen (fino), con una acidez máxima de 2° , el aceite de oliva virgen corriente, con un grado de acidez máximo de $3,3^\circ$ y, por último, el aceite de oliva virgen lampante, que no es apto para uso alimentario y que presenta un grado de acidez mayor que $3,3^\circ$.

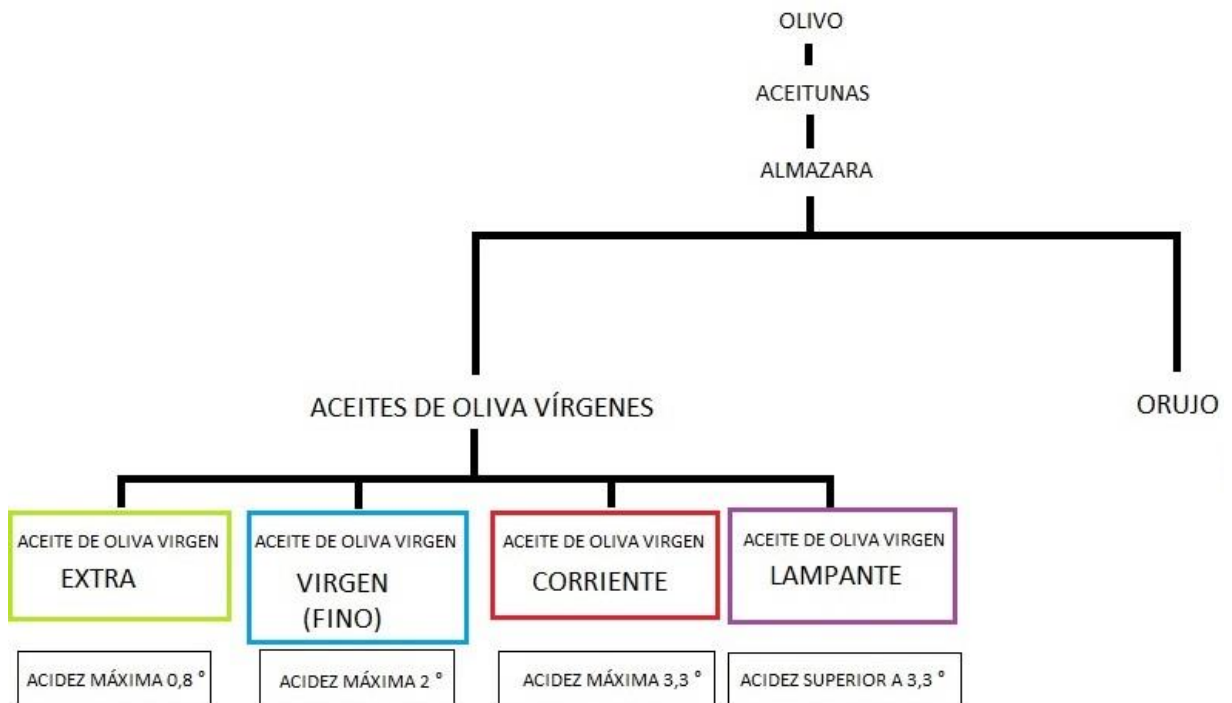


Figura 1. Clasificación de los aceites de oliva vírgenes atendiendo al grado de acidez.

Actualmente, la gran mayoría de la producción mundial de aceite de oliva virgen se lleva a cabo en el área del Mediterráneo. España, Italia y Grecia son los principales países productores de aceite de oliva virgen. Se distinguen dos métodos de obtención de aceite de oliva virgen: el sistema de presión en discontinuo y el sistema de centrifugación en continuo.

En primer lugar, e independientemente del método empleado, se limpian y lavan las aceitunas, dejándolas libres de tierra y hojas. A continuación, se muelen para romper las células que contienen el aceite, obteniéndose así una pasta. Esta pasta se lleva entonces a la etapa de batido, en la que se agita la mezcla, de forma que las gotas de aceite van uniéndose y adquiriendo un mayor tamaño, para facilitar así la posterior separación.

El sistema discontinuo es el método tradicional de elaboración de aceite de oliva virgen. En éste, la pasta se prensa, se filtra y el líquido obtenido se decanta, dando lugar al aceite y al agua de vegetación. Este método está gradualmente cayendo en desuso, ya que requiere una gran cantidad de mano de obra y espacio para los decantadores. No obstante, se sigue empleando en muchos países como Portugal, Italia, Croacia y Malta (Mantzavinos y Kalogerakis, 2005; Roig et al., 2006), en cooperativas pequeñas por la simplicidad y fiabilidad de la maquinaria y por la baja inversión requerida.

El sistema continuo es un método más moderno y automatizado basado en la centrifugación. Este sistema presenta ventajas e inconvenientes con respecto al sistema discontinuo. Requiere menos espacio y está totalmente automatizado, por lo que la mano de obra es menor. Sin embargo, los costes de inversión son mayores y requiere un alto consumo de agua y energía. Existen dos variantes del sistema continuo: la centrifugación de tres fases y la centrifugación de dos fases. Tal y como se puede observar en la figura 2, en la primera se obtienen tres fases: el aceite de oliva, el orujo y el alpechín. El orujo es el residuo sólido que contiene los tejidos vegetales de la oliva, como la pulpa y los huesos, y el alpechín es el residuo líquido compuesto por el agua de vegetación y el agua usada en las distintas etapas de la elaboración del aceite. En el sistema de centrifugación de dos fases se obtienen dos fases: el aceite y el alperujo, siendo este último una mezcla de alpechín y orujo.

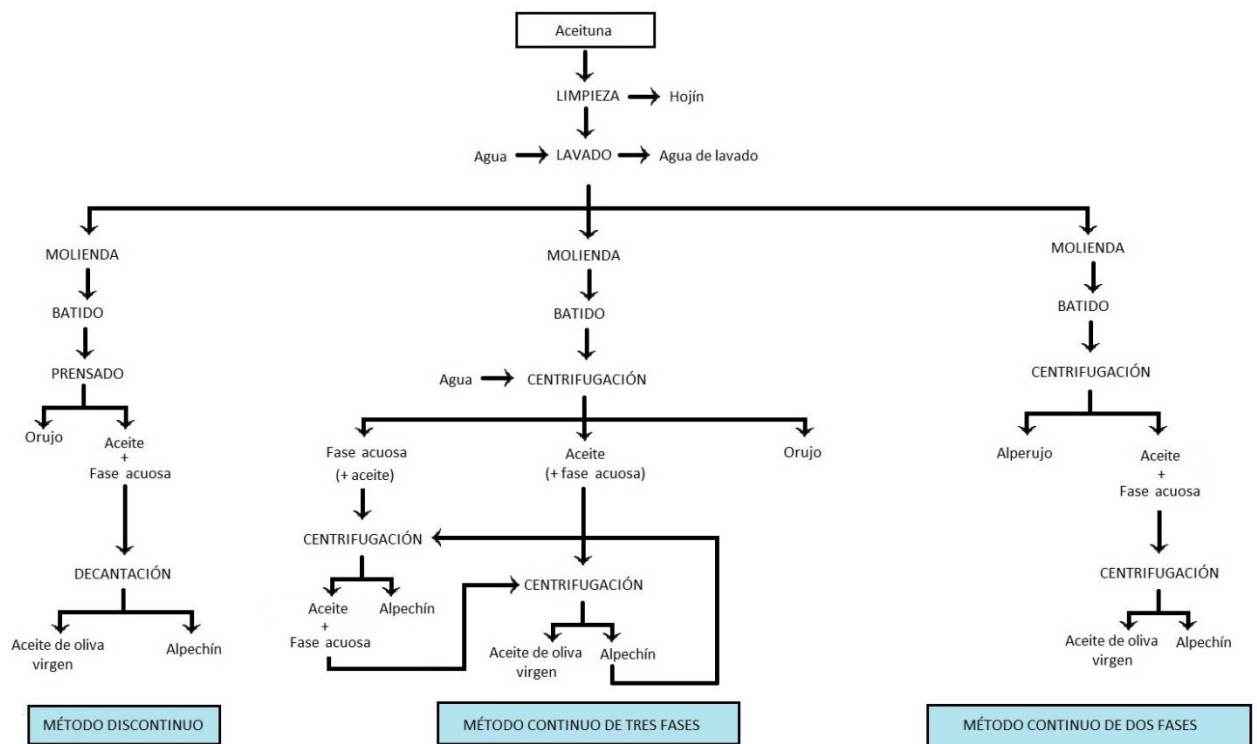


Figura 2. Etapas en la elaboración de aceite de oliva virgen por medio de los distintos procesos.

En este trabajo se toma como punto de partida una industria productora de aceite de oliva virgen basada en el sistema continuo de centrifugación de tres fases, centrándose en la separación y concentración de polifenoles a partir de alpechín.

En la figura 3 se puede observar una distribución en planta típica de una industria productora de aceite de oliva, en la que se puede observar la zona de recepción de la materia prima, la zona de procesado y, finalmente, la zona de almacenamiento del producto acabado.



Figura 3. Distribución en planta del proceso productivo de elaboración de aceite de oliva.

3.2. PROBLEMÁTICA ACTUAL DEL ALPECHÍN E INTERÉS INDUSTRIAL DE SUS POLIFENOLES

El alpechín es un líquido oscuro y turbio, con grasa (0,30 – 23 g/L) y que presenta un mal olor. Está principalmente constituido por agua, materia orgánica (azúcares, proteínas, ácidos y polifenoles) y sales (carbonatos, fosfatos, potasio y sodio), tal y como se puede constatar en la tabla 1. Además, en la tabla 2, se pueden observar los parámetros relacionados con el carácter contaminante del alpechín, como su pH ácido de entre 4 y 5 y su DQO de entre 45 y 130 g/L (Sierra et al., 2000). Actualmente, este residuo presenta un gran impacto ambiental, debido a:

- su elevada carga orgánica difícilmente biodegradable
- el carácter fitotóxico y antibacteriano de su alto contenido fenólico
- la formación de una capa de grasa en la superficie del agua que impide la correcta transferencia de oxígeno, así como el paso de los rayos solares, afectando así a la fauna y a la flora

Tabla 1. Composición promedio del alpechín (adaptada de Martínez Nieto y Garrido Hoyos, 1994).

SUSTANCIAS		MÉTODO DISCONTÍNUO (kg/m ³)	MÉTODO CONTÍNUO (kg/m ³)
ORGÁNICAS	AZÚCARES TOTALES	20-80	5-26
	SUSTANCIAS NITROGENADAS	5-20	1,7-4
	ÁCIDOS ORGÁNICOS	5-10	2-4
	POLIALCOHOLES	10-15	3-5
	PECTINAS, MUCÍLAGOS, TANINOS	10-15	2-5
	POLIFENOLES	10-24	3-8
	GRASAS	0,3-10	5-23
INORGÁNICAS	P-TOTAL	1,10	0,30
	K ⁺	7,20	2,70
	Ca ²⁺	0,70	0,20
	Mg ²⁺	0,40	0,10
	Na ⁺	0,90	0,30
	Fe ³⁺	0,07	0,02
	CO ₃ ²⁻	3,70	1,00
	SO ₄ ²⁻	0,40	0,15
	Cl ⁻	0,30	0,10

Tabla 2. Parámetros relacionados con la capacidad contaminante del alpechín (adaptada de Ros de Ursinos y Padilla, 1992).

PARÁMETRO	MÉTODO DISCONTÍNUO (g/L)	MÉTODO CONTÍNUO (g/L)
pH	4,5-5,0	4,7-5,2
DQO	120-130	45-60
DBO	90-100	35-48
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	1	9
SÓLIDOS TOTALES	120	60
SÓLIDOS MINERALES	15	5
SÓLIDOS VOLÁTILES	105	55
GRASAS	0,5-1,0	3-10

Sin embargo, los polifenoles contenidos en el alpechín presentan también gran cantidad de propiedades beneficiosas para la salud y presentan gran interés tanto para la industria cosmética, como para la farmacéutica y la alimentaria (De Marco et al., 2007). En efecto, se ha demostrado que los polifenoles tienen un elevado poder antioxidante y antiinflamatorio y

recientes estudios aseguran que podrían reducir el riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares y algunos cánceres (Chimi et al., 1990; Tuck y Hayball, 2002).

Los polifenoles son compuestos bioactivos que se encuentran en numerosas especies vegetales como la oliva, la uva, el cacao, etc, y se caracterizan por presentar un grupo fenol. Se conocen más de ocho mil polifenoles distintos, pero los predominantes son los flavonoides, los ácidos y alcoholes fenólicos, los estilbenos y los lignanos. En el aceite de oliva, los polifenoles contribuyen al sabor, al aroma y al color, y los más abundantes son el tirosol y el hidroxitirosol, seguidos del ácido caféico y la oleuropeína. Además, la actividad antioxidante del hidroxitirosol es una de las más elevadas, siendo incluso superior a la de la vitamina E.

3.3. TRATAMIENTO ACTUAL DEL ALPECHÍN

Actualmente, existen numerosas alternativas físicas, químicas y biológicas para el tratamiento y valorización del alpechín.

En la figura 4 se muestra el método más empleado, las balsas de evaporación, que se ven favorecidas por el buen clima característico del área mediterránea (Cegarra et al., 1996; Jarboui et al., 2008, 2010). De esta forma, se va evaporando el alpechín a lo largo del tiempo, reduciendo considerablemente el volumen del residuo y quedando lodos. Sin embargo, estas balsas producen un grave impacto medioambiental y social en las zonas cercanas a su ubicación, debido a los malos olores producidos por la degradación anaerobia y a la proliferación de insectos. Además, a menudo, la capacidad de estas balsas es insuficiente y da lugar a reboses, roturas de las balsas, así como a vertidos clandestinos. Por último, no siempre se pueden reutilizar los lodos restantes y han de ser llevados a vertederos.



Figura 4. Balsas de evaporación de alpechín.

Otra alternativa empleada es la coagulación-floculación, seguida de una flotación y decantación para la reducción de sólidos en suspensión. Como ejemplo de este tratamiento y valorización del alpechín se encuentra la planta depuradora Deveal instalada por Novoltec (Granada, España) en la cooperativa La Misericordia (Torreperogil, Jaén). Su tratamiento se basa en la electrofloculación del alpechín con una flotación posterior. De esta forma, se obtiene un lodo que constituye entre un 1 y un 5% del alpechín tratado, apto para compostaje, y una corriente

de agua, que constituye entre el 95 y el 99% del alpechín tratado, apta para riego o para verter al alcantarillado.

Existen también numerosos estudios sobre el tratamiento biológico tanto aerobio como anaerobio del alpechín. Estos métodos permiten la obtención de fangos, aptos para ser empleados como abono, así como agua apta para riego. Sin embargo, estos tratamientos presentan grandes dificultades, principalmente por la fitotoxicidad de los polifenoles y el elevado contenido en materia orgánica difícilmente biodegradable, requieren potentes y costosas instalaciones de mantenimiento y los tiempos de residencia del alpechín son largos.

Otros estudios se basan en la reducción del contenido orgánico del alpechín mediante técnicas convencionales de separación por membranas, como la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración y la ósmosis inversa (Akdemir y Ozer, 2009; Borsani y Ferrando, 1996; Canepa et al., 1988; Molinari y Drioli, 1988; Paraskeva et al., 2007^a; Stoller, 2008; Stoller y Bravi, 2010; Turano et al., 2002). Sin embargo, estas técnicas se han probado a escala de laboratorio y aún no han sido implantadas a escala industrial.

Debido al alto valor añadido que presentan los polifenoles, han ido apareciendo nuevos trabajos a escala de laboratorio centrados en valorizar el alpechín y basados en separar y concentrar los polifenoles. Por ejemplo, Paraskeva et al. (2007) propone tratar el alpechín mediante un sistema integrado de membranas que incluye una etapa ultrafiltración, seguida de una etapa de nanofiltración, terminando con una etapa opcional de ósmosis inversa. Con dicha secuencia se obtiene un permeado susceptible de ser usado como agua de riego y la etapa de nanofiltración es determinante para la separación de los polifenoles. Otro estudio llevado a cabo por Russo (2007) baraja la opción de recuperar los polifenoles empleando una etapa previa de microfiltración, seguida de dos etapas de ultrafiltración, la primera con una membrana de 6 kDa y la segunda con una membrana de 1 kDa, para terminar con una última etapa de ósmosis inversa. En este caso, el rechazo obtenido en la etapa de ósmosis inversa está concentrado en polifenoles de bajo peso molecular y es útil para la industria cosmética, farmacéutica y alimentaria, mientras que los rechazos de las etapas de microfiltración y ultrafiltración pueden ser empleados como fertilizantes o para la producción de biogás en reactores anaerobios.

3.4. LA TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS COMO MÉTODO DE SEPARACIÓN Y CONCENTRACIÓN

3.4.1. PRINCIPIOS BÁSICOS

En las últimas décadas, la tecnología de membranas para la separación y concentración ha ido cobrando cada vez más fuerza, principalmente debido a que no requiere la adición de productos químicos. En efecto, se fundamenta en la permeabilidad selectiva de uno o más componentes de un líquido a través de una membrana debido a un gradiente de propiedad. La membrana es por tanto una barrera semipermeable selectiva que permite el enriquecimiento o empobrecimiento de una corriente en uno o varios compuestos. La figura 5 presenta un esquema simplificado de un proceso con membranas.

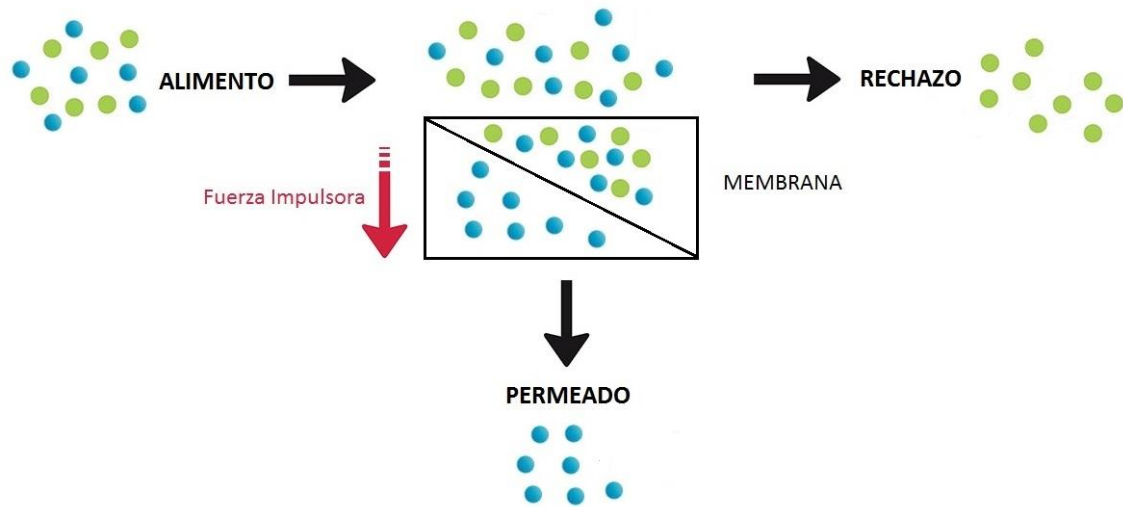


Figura 5. Esquema de un proceso de separación por membrana.

Tal y como se puede observar en la figura 5, la membrana separa el alimento en dos corrientes: una corriente de rechazo, en la que se encuentran los compuestos retenidos por la membrana, y una corriente de permeado, en la que se encuentran los compuestos que logran atravesar la membrana.

El transporte a través de la membrana se debe a la acción de una fuerza impulsora y ésta puede ser un gradiente de presión, de concentración, de potencial eléctrico, de presión parcial o de temperatura.

En la tabla 3 se pueden observar los distintos procesos de separación por membranas clasificados atendiendo al tipo de fuerza impulsora que puede presentarse.

Tabla 3. Clasificación de los procesos de membrana convencionales según la fuerza impulsora.

PROCESO	FUERZA IMPULSORA
Microfiltración Ultrafiltración Nanofiltración Ósmosis Inversa	Gradiente de presión
Diálisis	Gradiente de concentración
Electrodialisis	Gradiente de potencial eléctrico
Permeación de gases Pervaporación	Gradiente de presión parcial

3.4.2. PROCESOS NO CONVENCIONALES DE SEPARACIÓN POR MEMBRANAS: LA ÓSMOSIS DIRECTA, LA DESTILACIÓN CON MEMBRANAS Y LA DESTILACIÓN OSMÓTICA

En los últimos años, las técnicas no convencionales de separación por membranas han ido recibiendo cada vez más interés.

En primer lugar, se tiene el proceso de **ósmosis directa**. Esta técnica se basa en la difusión de agua a través de una membrana semipermeable desde la disolución menos concentrada a la disolución más concentrada debido a un gradiente de presión osmótica (McCutcheon et al., 2005). El objetivo es por tanto la deshidratación de la disolución acuosa menos concentrada y como resultado, la disolución más concentrada se va diluyendo hasta que la presión osmótica de ambos compartimentos se iguala. La ósmosis directa presenta ciertas analogías con respecto a la ósmosis inversa, ya que en ambos casos es el agua la que atraviesa la membrana, quedando los solutos estáticos y retenidos por la membrana. Sin embargo, como se puede observar en la figura 6, en la ósmosis inversa, el flujo de agua se produce en el sentido contrario, es decir, desde la disolución más concentrada a la disolución menos concentrada, gracias a la aplicación de una presión hidráulica elevada en el lado de mayor concentración.

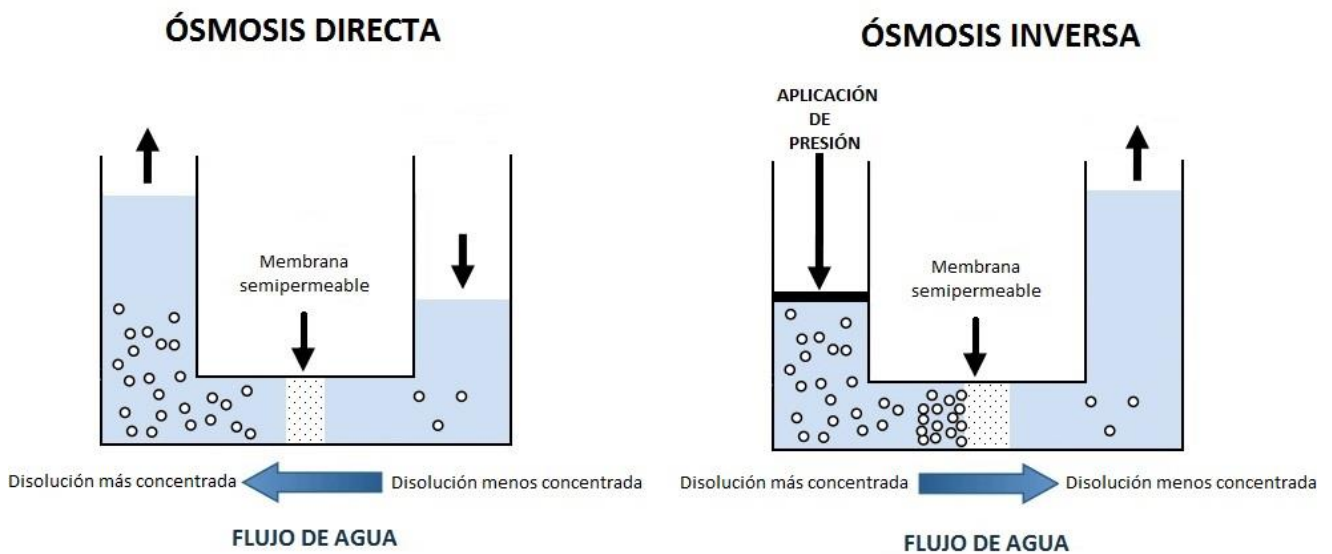


Figura 6. Esquema del proceso de ósmosis directa frente al de ósmosis inversa.

La deposición de los solutos y partículas en la superficie o en los poros de la membrana se conoce como ensuciamiento y puede provocar graves problemas a la hora de operar con membranas. Una de las principales ventajas que presenta la ósmosis directa frente a la ósmosis inversa es que no requiere elevadas presiones, por lo que minimiza los problemas de ensuciamiento, muy propensos en aguas residuales como el alpechín, y permite un ahorro energético, al no requerir presiones elevadas.

En segundo lugar se encuentra la **destilación con membranas**. Se trata de un proceso similar a la destilación convencional, ya que se basa en el equilibrio líquido-vapor y requiere un aporte de calor para que se produzca el cambio de fase del agua líquida a fase vapor. En este caso, la membrana no ofrece selectividad por una especie en particular (Drioli et al., 2006), únicamente separa los dos compartimentos que están a distinta temperatura y es sólo permeable a la fase vapor, por lo que es microporosa pero hidrofóbica. De esta forma, el líquido no puede atravesar la membrana y la interfase líquido-vapor se forma a la entrada de los poros de la membrana. La alimentación es introducida a una temperatura mayor que el permeado, lo que provoca una diferencia de presiones de vapor a ambos lados de la membrana, que a su vez conlleva que el agua (y los solutos volátiles) de la disolución de alimentación se evaporen en la interfase de la membrana, atraviesen la membrana, del lado más caliente al lado menos caliente, y condensen en el permeado. Empleando esta técnica, únicamente atraviesan la membrana los compuestos

volátiles y todos aquellos que no sean volátiles, incapaces de atravesar la membrana, quedan retenidos. Así, el coeficiente de rechazo para compuestos no volátiles puede llegar a alcanzar el 100% (Qaishat et al., 2009; García-Payo et al., 2010; Hou et al., 2010). El objetivo es, por tanto, concentrar la disolución eliminando el agua. Esta técnica presenta la principal ventaja de trabajar a temperaturas de operación bajas (de entre 60 y 90 °C) en comparación con sistemas de destilación tradicionales y a presiones hidrostáticas bajas en comparación con las técnicas de separación basadas en gradientes de presión como la microfiltración, nanofiltración, ultrafiltración o la ósmosis inversa. Sin embargo, se pueden presentar problemas operacionales debido a la formación de depósitos en los poros que dificultan el transporte del vapor a través de la membrana. Existen diferentes configuraciones del proceso de destilación por membrana, como la de Contacto Directo (DCMD), la de Cámara de Aire (AGMD), la de Gas de Barrido (SGMD) o con Vacío (VMD), todas ellas destinadas a crear dicho gradiente de presión de vapor.

Por último, se tiene la **destilación osmótica**, una variante de la destilación con membranas. Es un proceso isoterma patentado al final de los años 90 (Lefebvre, 1988). En este caso, la membrana también es semipermeable e hidrófoba, de forma que únicamente los compuestos volátiles son transportados a través de la membrana. A diferencia de la destilación por membranas, el gradiente de presiones de vapor procede del gradiente de concentraciones entre el alimento y el permeado, debido al uso de una disolución de permeado extractora. Además, la disolución extractora contiene agentes de presión osmótica, como el cloruro de sodio (NaCl) o el sulfato de magnesio (MgSO₄) (Hogan et al., 1998; Courel et al., 2000; Curcio et al., 2010; Mansouri et al., 1998). Esta técnica presenta múltiples ventajas, ya que permite la eliminación selectiva del agua y, por tanto, la concentración de solutos trabajando a presiones y a temperaturas bajas, lo que es ideal para productos sensibles al calor, como aquellos pertenecientes a la industria de alimentos. Debido a las bajas temperaturas empleadas, se eliminan así reacciones de pardeamiento no enzimático y de Maillard, degradaciones por calor, pérdidas de aromas y sabor, típicos en esta industria, y permite un considerable ahorro energético. En la figura 7 se puede observar el mecanismo de la destilación osmótica.

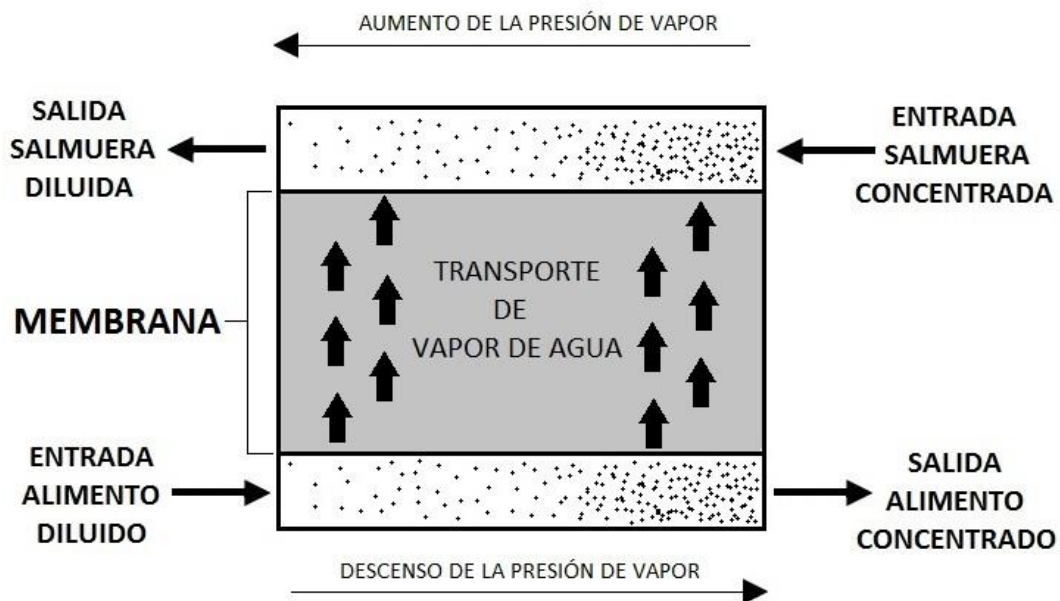


Figura 7. Mecanismo de la destilación osmótica.

3.4.3. ENSUCIAMIENTO Y LIMPIEZA DE MEMBRANAS

La principal limitación que presenta la tecnología de membranas es el ensuciamiento de las membranas. Este problema conlleva una disminución del flujo de permeado y, por tanto, de la productividad del sistema, así como cambios en la selectividad de la membrana, afectando de forma considerable a los resultados del proceso. Algunos estudios han demostrado que el ensuciamiento irreversible en las membranas resulta en un 57% de pérdida de permeabilidad en el tratamiento de alpechín con una membrana de ultrafiltración de polietersulfona de 2 kDa y en un 60% de pérdida de permeabilidad con una membrana de microfiltración de polietileno de 0,4 μm (Gebreyohannes et al., 2013; Galanakis et al., 2010). Las membranas deben, por tanto, ser limpiadas de forma frecuente, lo que conlleva un gasto de mantenimiento elevado.

El ensuciamiento de las membranas puede ocurrir siguiendo diversos mecanismos. En primer lugar, puede producirse la obstrucción de los poros en superficie o en profundidad, debido a la similitud de tamaño del poro y del soluto que atraviesa la membrana. También pueden precipitar moléculas de soluto o adherirse entre sí partículas en suspensión y formar depósitos, tanto en la superficie como en el interior de la membrana o adsorberse moléculas de soluto sobre la superficie de la membrana debido a una afinidad soluto-membrana. Puede ocurrir también que se forme una capa gel debida a la formación de una red macromolecular entre el soluto y el disolvente. En la figura 8, pueden observarse los distintos mecanismos de ensuciamiento mencionados anteriormente.

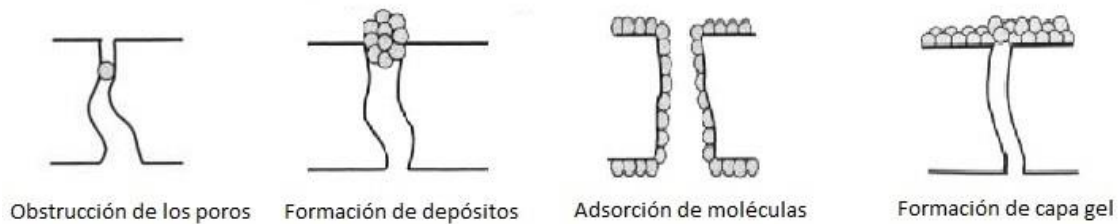


Figura 8. Diferentes mecanismos de ensuciamiento de las membranas.

Por último, puede producirse también la polarización por concentración. Este fenómeno consiste en la acumulación de soluto incapaz de atravesar la membrana, lo que conlleva un aumento de concentración de soluto en la capa límite y, por tanto, una disminución de la eficiencia de la separación y de la densidad de flujo de permeado. Este aumento de la concentración de soluto sobre la superficie de la membrana puede dar lugar a la formación de una capa gel. En la figura 9 se representan los fenómenos de polarización por concentración y formación de una capa gel.

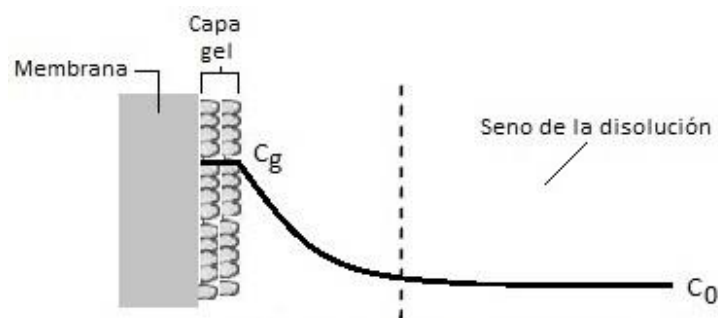


Figura 9. Fenómenos de polarización por concentración y formación de capa gel.

Todo estos mecanismos de ensuciamiento conllevan la disminución del flujo de permeado a lo largo del tiempo, tal y como muestra la figura 10.



Figura 10. Disminución de la densidad de flujo de permeado con el tiempo.

Las instalaciones de limpieza de membranas son, como se ha visto, una parte indispensable del proceso cuando se trabaja con membranas. La frecuencia con la que se lleva a cabo la limpieza es crítica, ya que afectará de forma directa a la vida de la membrana. Existen dos métodos de limpieza de membranas: la limpieza física y la limpieza química. La limpieza física es un método destinado a controlar o evitar el ensuciamiento y no es tan efectivo como la limpieza química. Ejemplos de limpieza física son el backflushing o limpieza invertida (consistente en aplicar una presión transmembrana negativa para hacer circular el líquido en sentido contrario, desde la cámara de permeado a la cámara de rechazo, de forma que se limpian los poros de la membrana), la utilización de pulsos eléctricos o la limpieza con ultrasonidos y presentan la ventaja de no requerir el uso de reactivos, por lo que se reduce considerablemente el volumen de residuos generado, así como el deterioro de la membrana. La limpieza química se basa principalmente en el empleo de reactivos químicos, capaces de eliminar todo tipo de suciedad, tanto orgánica como inorgánica y biológica. Este método es más efectivo pero más agresivo, pudiendo afectar a la vida útil de la membrana.

CAPÍTULO 4. ALTERNATIVAS PARA LA SEPARACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES MEDIANTE TÉCNICAS NO CONVENCIONALES DE SEPARACIÓN POR MEMBRANAS Y JUSTIFICACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Después de una extensa revisión bibliográfica, las alternativas que se han seleccionado y comparado, en términos de grado de recuperación de los polifenoles y pureza de los mismos en la corriente final, se muestran en los siguientes apartados.

4.1. ALTERNATIVA 1 - SISTEMA INTEGRADO DE MEMBRANAS: MICROFILTRACIÓN, NANOFILTRACIÓN Y DESTILACIÓN OSMÓTICA

Esta primera alternativa se basa en el estudio realizado por García-Castello et al., en el año 2010. Este trabajo propone un sistema integrado de membranas en el que, en primer lugar, se microfiltra el alpechín, para separar las partículas más grandes y evitar la obstrucción de las membranas que se emplean a posteriori. El permeado obtenido en esta etapa de microfiltración se nanofiltrar, con el objetivo de separar los polifenoles de azúcares e iones polivalentes, y, por último, el permeado de esta última etapa de nanofiltración se concentra mediante una destilación osmótica. Estas tres etapas trabajan por cargas, tal y como se puede observar en la figura 11. Con este sistema se consigue separar los polifenoles y concentrarlos en la corriente final, obteniendo una disolución de gran interés para las industrias cosmética, farmacéutica y alimentaria.

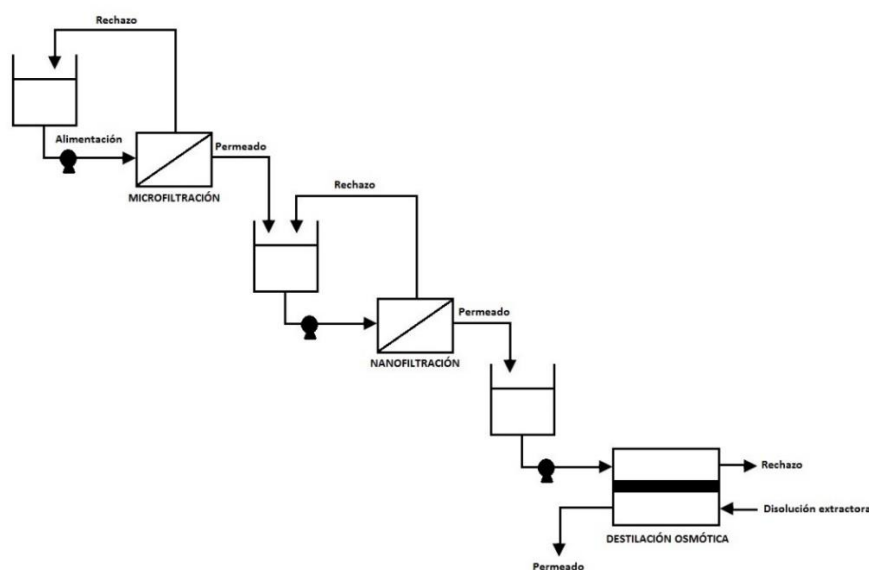


Figura 11. Esquema del sistema integrado de membranas propuesto en la Alternativa 1.

En la tabla 1 del Anexo I se recoge la composición del alpechín que se emplea como alimentación, así como la de la corriente concentrada final obtenida por destilación osmótica.

Además, los volúmenes de las distintas disoluciones obtenidas en cada una de las etapas del proceso se encuentran recogidos en la tabla 9.

De acuerdo con los cálculos del Anexo I, se obtiene un rendimiento del 36,58% en cuanto a la recuperación total de polifenoles, un rendimiento del 40,16% para el hidroxitirosol y un rendimiento del 56,05% para el tirosol. Además, los factores de concentración alcanzan valores de 2,33 para los polifenoles totales, de 2,56 para el hidroxitirosol y de 3,57 para el tirosol. Por último, en el alimento se tiene una pureza de los polifenoles con respecto al resto de solutos del 0,29% (w/w), mientras que en el rechazo de la destilación osmótica se alcanza un 1,05% (w/w) de pureza.

4.2. ALTERNATIVA 2 - SISTEMA INTEGRADO DE MEMBRANAS: FILTRACIÓN CONVENCIONAL, MICROFILTRACIÓN, ÓSMOSIS DIRECTA 1, ULTRAFILTRACIÓN Y ÓSMOSIS DIRECTA 2

Esta segunda alternativa se centra en el estudio llevado a cabo por Gebreyohannes et al., en el año 2015. Este trabajo realiza la separación y concentración de polifenoles a partir de alpechín mediante un proceso integrado que comienza con una filtración convencional, seguida de una etapa de microfiltración, en la que se rechaza la mayor parte de los iones (por formación de complejos con la materia orgánica) y una parte de los sólidos totales (disueltos y en suspensión). A dicha microfiltración le sigue una primera etapa de ósmosis directa. El concentrado obtenido en la ósmosis directa se ultrafiltra para separar los polifenoles de aceites y macromoléculas, y, por último, el permeado de la ultrafiltración se concentra de nuevo con una segunda etapa de ósmosis directa. En la figura 12 se muestra una representación esquemática de dicho proceso. En este caso, también se trabaja en discontinuo, por cargas.

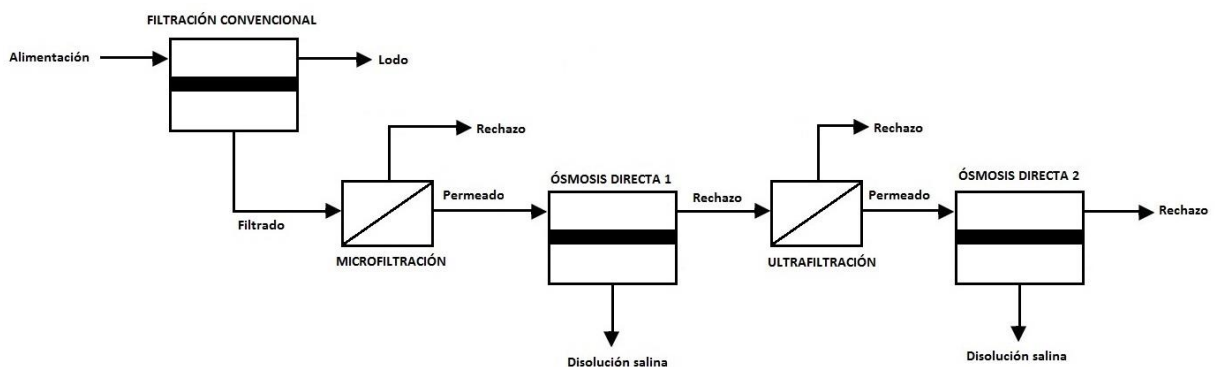


Figura 12. Esquema del sistema integrado de membranas propuesto en la Alternativa 2.

En las tablas 3 y 4 del Anexo I se muestra la composición de las corrientes de alimentación y de rechazo de la destilación osmótica 1.

De acuerdo con los cálculos mostrados en el Anexo I, este sistema integrado de membranas presenta un rendimiento del 20,31% en cuanto a la recuperación de polifenoles totales y un factor de concentración de 2,29.

Además, con los datos que se facilitan en la publicación, únicamente se pueden calcular valores de pureza de los polifenoles en la corriente de alimentación prefiltrada y en la corriente de rechazo de la primera ósmosis directa, y son del 0,83% (w/w) y del 0,69% (w/w), respectivamente. Contrariamente a lo que cabía esperar, la pureza de los polifenoles tras la microfiltración y la destilación osmótica 1 es menor que en el alimento prefiltrado, lo que indica que el rechazo a los polifenoles en la microfiltración deber ser elevado, ya que la destilación osmótica 1 retiene el 98% de estos compuestos.

4.3. ALTERNATIVA 3 - SISTEMA INTEGRADO DE MEMBRANAS: MICROFILTRACIÓN Y DESTILACIÓN POR MEMBRANA (DCMD)

Esta alternativa se basa en la separación y concentración de polifenoles mediante un sistema de membranas constituido por una etapa de microfiltración, seguida de una etapa de destilación por membranas, en concreto, una destilación por membranas de contacto directo (DCMD). Este proceso está propuesto por El-Ababassi et al. (2013) y se puede observar en la figura 13.

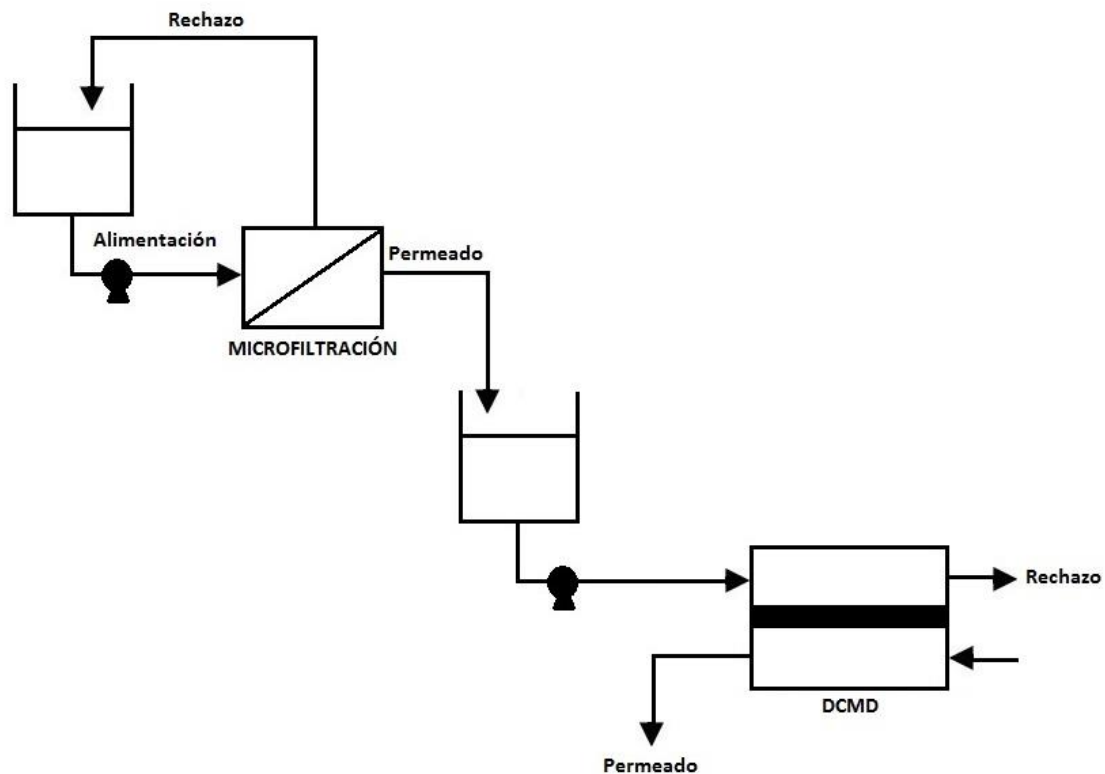


Figura 13. Esquema del sistema integrado propuesto en la Alternativa 3.

En este estudio se obtiene un rendimiento de recuperación de polifenoles totales del 49,56%, de acuerdo con los cálculos del Anexo I.

Además, como era de esperar, se logra separar ligeramente los polifenoles de los compuestos de mayor peso molecular en la etapa de microfiltración, pasando de una pureza con respecto al resto de compuestos de 7,61% (w/w) en el alimento a una pureza de 10,35% (w/w) en el alpechín microfiltrado.

Por último, se alcanza un valor de factor de concentración igual a 2 para los polifenoles totales en todo el sistema, y se logran factores de concentración de 2,04 y 2,81 para el hidroxitirosol y el tirosol, respectivamente, durante la etapa de destilación por membrana. Todos los cálculos realizados se detallan en el Anexo I.

4.4. ALTERNATIVA 4 – DESTILACIÓN POR MEMBRANA (DCMD)

Esta cuarta alternativa se basa en el estudio llevado a cabo por El-Abbasi et al., en el año 2009. El estudio se centra únicamente en la concentración de polifenoles a partir de alpechín y propone una etapa de destilación por membrana, en concreto, una destilación de contacto directo (DCMD). En la figura 14 se muestra un esquema del proceso.

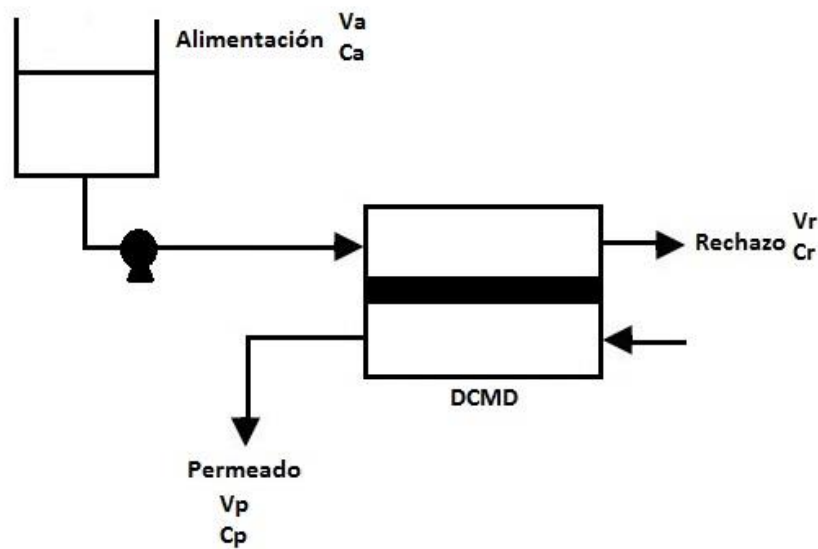


Figura 14. Esquema del proceso propuesto en la Alternativa 4.

De acuerdo con los cálculos mostrados en el Anexo I, se alcanza un rendimiento del 99,76% en la recuperación de polifenoles, pero éstos no se separan del resto de compuestos presentes en el alpechín. Además, se obtiene un factor de concentración de polifenoles de 1,72.

4.5. ALTERNATIVA 5 – DESTILACIÓN OSMÓTICA POR MEMBRANA

Esta última alternativa se basa en el estudio realizado por El-Abbasi et al., en 2013 y se centra en la concentración de polifenoles mediante destilación osmótica por membrana, sin ningún tratamiento previo del alpechín. La destilación osmótica por membrana combina una destilación por membrana y una destilación osmótica en un único proceso (El-Abbasi et al., 2013). La fuerza impulsora de la destilación osmótica por membrana viene de un gradiente de temperatura, característico de la destilación por membrana, y de un gradiente de concentración, característico de la destilación osmótica. De esta forma, el gradiente de propiedad es mayor y, por tanto, la transferencia de vapor a través de la membrana es mayor que en el caso de la destilación por membrana o la destilación osmótica. En la figura 15 se representa un esquema de dicho proceso.

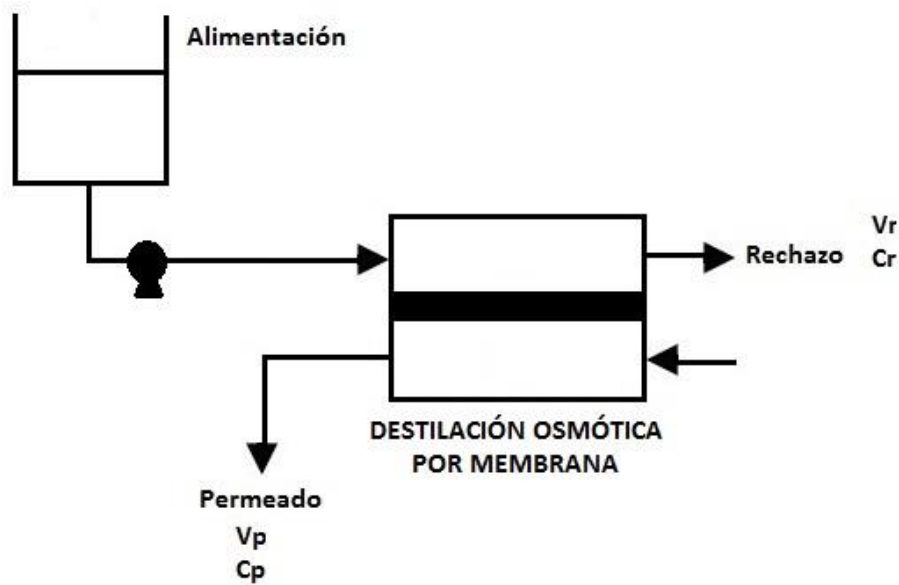


Figura 15. Esquema del proceso propuesto en la Alternativa 5.

En este estudio se emplea una alimentación con una pureza del 5,89% (w/w) de los polifenoles totales respecto al resto de compuestos del alpechín.

Además, se alcanza un rendimiento del 99,52% en la recuperación de los polifenoles (cálculos en el Anexo I). Este resultado es coherente, ya que se trata de una etapa de concentración de polifenoles, por lo que prácticamente no se pierden, pero tampoco se separan del resto de compuestos.

Por último, el factor de concentración alcanzado es de 1,9.

4.6. JUSTIFICACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

En la tabla 4 se pueden comparar los rendimientos en la recuperación de polifenoles totales, en la recuperación de hidroxitirosol y en la recuperación de tirosol de las distintas alternativas.

Tabla 4. Tabla comparativa de rendimientos en la recuperación de polifenoles para los diferentes procesos considerados.

ALTERNATIVA	RENDIMIENTO POLIFENOLES TOTALES (%)	RENDIMIENTO HIDROXITIRO SOL (%)	RENDIMIENTO TIROSOL (%)
1	36,58	40,16	56,05
2	20,31	-	-
3	49,56	-	-
4	99,76	-	-
5	99,52	-	-

Como se puede constatar de la tabla 4, los mayores rendimientos se obtienen en las alternativas 4 y 5, aquellas que únicamente concentran la corriente de alimentación, sin separar los polifenoles de otros compuestos. Este resultado es coherente, ya que la disminución del rendimiento se debe a la pérdida de polifenoles en las etapas en las que estos compuestos se separan de otros presentes en el alpechín. Las alternativas 4 y 5, si bien presentan los mayores rendimientos, se descartan, ya que no incluyen la separación de polifenoles. Las alternativas 1, 2 y 3 sí consideran la separación de polifenoles, por lo que es de esperar que se pierdan polifenoles y, por tanto, presenten rendimientos menores.

En la tabla 5 se recogen los factores de concentración obtenidos con cada una de las alternativas, tanto para los polifenoles totales, como para el hidroxitirosol y el tirosol.

Tabla 5. Tabla comparativa de factores de concentración.

ALTERNATIVA	FACTOR DE CONCENTRACIÓN POLIFENOLES TOTALES	FACTOR DE CONCENTRACIÓN HIDROXITIRO SOL	FACTOR DE CONCENTRACIÓN TIROSOL
1	2,33	2,56	3,57
2	2,29	-	-
3	2,00	2,04	2,81
4	1,72	-	-
5	1,90	-	-

Como se puede observar, los mayores factores de concentración, tanto para polifenoles totales, como para el hidroxitirosol y el tirosol, se obtienen en la alternativa 1.

En la tabla 6 se muestran las purzas de los polifenoles respecto al resto de compuestos en la corriente de alimentación y en la corriente final, así como el aumento de la pureza de polifenoles que se obtiene al final del proceso en cada una de las 5 alternativas analizadas.

Tabla 6. Tabla comparativa de purzas de los polifenoles en las diferentes corrientes y aumento de la pureza en la corriente final respecto a la alimentación.

ALTERNATIVA	PUREZA EN EL ALIMENTO (%)	PUREZA EN LA CORRIENTE FINAL CONCENTRADA OBTENIDA (%)	AUMENTO DE LA PUREZA DE POLIFENOLES RESPECTO A LA ALIMENTACIÓN (%)
1	0,29	1,05	262
2	0,83	-	-
3	7,61	10,35	36
4	27,52	-	-
5	5,89	-	-

La alternativa 1 presenta un rendimiento aceptable en la recuperación de polifenoles y factores de concentración elevados y se aumenta en un 262% la pureza de los polifenoles en el producto final con respecto a la que tenían en el alpechín. Además, incluye tanto la separación como la concentración de polifenoles. En la alternativa 2, durante todo el proceso, se pierde un 90% de los polifenoles que contenía el alimento, lo que supone una pérdida considerable de estos

compuestos. Además, es un proceso complejo, que incluye cuatro etapas diferentes de separación por membranas, lo que encarece considerablemente los costes de inversión y de explotación, convirtiendo esta alternativa en la más cara de todas. Finalmente, la alternativa 3, aunque presenta una pérdida de polifenoles algo menor que la alternativa 1, logra un grado de separación de los polifenoles muy inferior (aumento de la pureza de los polifenoles en el producto final con respecto al alimento del 36%). Por lo tanto, por todos los motivos comentados, la alternativa que se ha seleccionado es la primera. De ahora en adelante, se considerará dicha alternativa para el diseño de la planta.

CAPÍTULO 5. NORMATIVA

5.1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto se centra en el diseño de una planta industrial de separación y concentración de polifenoles a partir del alpechín, dentro de una industria productora de aceite de oliva, por lo que es indispensable acudir a la normativa vigente referente a la industria de los alimentos y, más concretamente, a la normativa de grasas y aceites. También se considera toda la normativa referente a vertidos de aguas residuales, así como a la prevención de riesgos laborales. Por último, se ha considerado también la normativa referente al almacenamiento de productos acabados y a la gestión de residuos.

5.2. NORMATIVA GENERAL

- *Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales* de 8 de noviembre, en la que se desarrolla una política de protección de la salud de los trabajadores mediante la prevención de los riesgos derivados de su trabajo.
- *Directiva 2006/15/CE* de la Comisión Europea de 7 de febrero de 2006 en la que se fija una segunda lista de valores límite de exposición profesional indicativos.
- *Reglamento (CE) 1272/2008* del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre la clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.
- *Fichas de Datos de Seguridad (FDS)* de todos los productos empleados y almacenados en la instalación.
- *Real Decreto 379/2001* de 6 de abril de 2001 por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ-1, MIE-APQ-2, MIE-APQ-3, MIE-APQ-4, MIE-APQ-5, MIE-APQ-6 y MIE-APQ-7.
- *Norma UNE-EN ISO 9001:2008 de Gestión de Calidad*, norma internacional centrada en la administración y mejora de la calidad de los productos o servicios de las empresas.
- *Norma UNE-EN ISO 14001:2004 de Sistemas de Gestión Ambiental (SGA)*, proporciona elementos para ayudar a las empresas a lograr metas ambientales y económicas.
- *Ley 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación* de 1 de julio de 2002 establece un sistema de prevención y control de la contaminación con el objetivo de evitar o, cuanto menos, reducir y controlar la contaminación de la atmósfera, del agua y del suelo.
- *Orden MAM/304/2002* de 8 de febrero de 2002, en la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos, así como la lista europea de residuos (LER).

5.3. NORMATIVA GENERAL EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EN LA INDUSTRIA DE GRASAS Y ACEITES COMESTIBLES

- *Sistemas de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC)*, proceso sistemático de prevención en el que se identifican, evalúan y previenen todos los riesgos de contaminación de productos a nivel físico, químico y biológico de forma que se garantiza la inocuidad de dichos productos.

- *Libro Blanco (2000)* sobre seguridad alimentaria de la Comisión Europea, que traduce la prioridad de garantizar los más elevados niveles de seguridad alimentaria en la UE.

- *Reglamento (CE) 178/2002* del Parlamento Europeo y del Consejo de 28 de enero de 2002, que establece los principios y requisitos generales de la legislación alimentaria, fija procedimientos relativos a la seguridad alimentaria y crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria.

- *Real Decreto 308/1983* de 25 de enero de 1983, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria de Aceites Vegetales Comestibles. En este se fijan las normas de obtención, elaboración, industrialización y comercialización de los aceites comestibles de origen vegetal así como las denominaciones, características y demás requisitos legalmente exigibles a tales productos, cualquiera que sea su procedencia, nacional o de importación.

5.4. NORMATIVA GENERAL REFERENTE A VERTIDOS DE AGUAS RESIDUALES

- *Cuaderno de "Legislación Medioambiental para la Industria. Vertido de Aguas Residuales"* de mayo de 2003, en el que se fija las condiciones de realización y los niveles de calidad de los residuos para la regulación de vertidos, tanto a la red de saneamiento como a las aguas continentales y al mar.

5.4.1. VERTIDOS DE AGUAS RESIDUALES A AGUAS CONTINENTALES

El vertido de aguas residuales al Dominio Público Hidráulico debe cumplir unos límites de cantidades y calidades concretos. Así, únicamente los vertidos que cumplan dichas exigencias serán considerados legales.

- *Artículo 34 de la Orden de 13 de agosto de 1999*, en el que se establecen los requisitos mínimos referidos a concentración o reducción de contaminantes en los tratamientos secundarios, para el vertido a la Cuenca Hidrográfica del Júcar, con el fin de conseguir los objetivos de calidad fijados en los tramos de río. Dichos valores se pueden observar en la tabla 7, así como los requisitos para vertidos en zonas sensibles, en la tabla 8.

Tabla 7. Valores límites de vertidos de la Confederación hidrográfica del Júcar.

PARÁMETRO CARACTERÍSTICO	CONCENTRACIÓN MÁXIMA EN EL EFLUENTE
DBO ₅ a 20 °C sin nitrificación	25 mg/L O ₂
DQO	125 mg/L O ₂
S.S.	35 mg/L (>10000 h-e) 60 mg/L (2000-10000 h-e)

Tabla 8. Valores límites de vertidos en zonas sensibles de la Confederación hidrográfica del Júcar.

PARÁMETRO CARACTERÍSTICO	CONCENTRACIÓN MÁXIMA EN EL EFLUENTE
Fósforo	2 mg/L (10000-100000 h-e) 1 mg/L (>100000 h-e)
Nitrógeno Total	15 mg/L (10000-100000 h-e) 10 mg/L (>100000 h-e)

Además de los límites legales para el vertido a la Cuenca Hidrográfica del Júcar, existen otras exigencias aplicables a todas las cuencas en las que se limita el vertido de determinadas sustancias:

- *Orden de 12 de noviembre de 1987* del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, en la que se establecen las normas de emisión, los objetivos de calidad y los métodos de medición de referencia relativos a determinadas sustancias nocivas o peligrosas contenidas en los vertidos de aguas residuales.

- *Real Decreto 995/2000* de 2 de junio del Ministerio de Medio Ambiente, en el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986 de 11 de abril.

Además, los vertidos de aguas residuales al Dominio Público Hidráulico están gravados con una tasa llamada canon de control de vertidos, que permite financiar el estudio, el control, la mejora y la protección del medio receptor de cada cuenca hidrográfica y es independiente de las tasas que puedan establecer las Comunidades Autónomas o Corporaciones Locales para financiar obras de saneamiento o depuración. El importe de este canon de control de vertidos se calcula como el producto del volumen de vertido autorizado por el precio unitario de control de vertido. Dicho precio unitario se calcula multiplicando el precio básico por metro cúbico por un coeficiente de mayoración o minoración K.

- *Anexo IV del Real Decreto 849/1996*, en el que se establece dicho coeficiente K dependiendo de la naturaleza, las características y el grado de contaminación del vertido.

- *Ley 22/2013 de Presupuestos Generales del Estado*, en la que se fija el precio unitario básico por metro cúbico dependiendo de la naturaleza del agua residual.

5.4.2. VERTIDOS DE AGUAS RESIDUALES A AGUAS MARINAS

- *Orden de 31 de octubre de 1989* del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, que establece los límites máximos de emisión de sustancias como mercurio, tetracloruro de carbono, etc, así como los objetivos de calidad.

- *Real Decreto 734/1988* y *Real Decreto 345/1993* que establecen las concentraciones máximas de sustancias contaminantes en zonas de baño y cría de moluscos.

CAPÍTULO 6. DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DE SEPARACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES

6.1. DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL

En el presente trabajo se realiza el diseño de una planta industrial para la separación y concentración de polifenoles a partir de alpechín, la cual se ubicará dentro de las instalaciones de una industria de elaboración de aceite de oliva virgen en funcionamiento, Olisoy, situada en el polígono industrial El Bovalar en Alaquàs, en la calle Dr. Fleming, 9, en la provincia de Valencia, en la Comunidad Valenciana. En la figura 16 se puede ver la localización de sus instalaciones.



Figura 16. Localización de la empresa Aceites Olisoy S.L.

Olisoy es una empresa familiar cuyos orígenes se remontan a 1916, fecha en que se puso en marcha una fábrica y refinería de aceite en el barrio de Marxalenes de Valencia. La empresa elabora tanto aceite de oliva virgen como refinado y de orujo y también envasa otros tipos de aceite (aceite de girasol, de semillas y de soja). En la actualidad, la empresa tiene una capacidad de producción de 15000 litros/día, así como una capacidad de almacenamiento de alrededor de los 470000 kilos.

El presente proyecto se centra únicamente en la elaboración de aceite de oliva virgen, por lo que el proceso descrito a continuación corresponde al que se lleva a cabo para la elaboración de dicho aceite de oliva. En primer lugar, la empresa efectúa el cultivo de las aceitunas, etapa determinante para las características organolépticas del aceite. A continuación, se hace la recolección (desde finales de noviembre hasta finales de febrero) y el transporte de las aceitunas hasta la almazara. La recepción de las aceitunas se lleva a cabo mediante tolvas de recepción con las que se retienen los gruesos (piedras, ramas, etc). Una vez recolectada, la aceituna se procesa en un periodo inferior a 24 horas para evitar la fermentación del fruto y su deterioro, por lo que la aceituna se lleva rápidamente a una primera etapa de deshojado y lavado, en la que se eliminan hojas, ramas y otras materias vegetales y minerales (como tierra y polvo). A continuación, se efectúa la molienda de las aceitunas. Con esto, se rompe la estructura vegetal de la aceituna y permite que la materia oleosa salga de las vacuolas. Se obtiene así una pasta, con una fase sólida, formada por restos de tejidos vegetales, y una fase líquida, constituida por aceite y agua. Los molinos empleados para la molienda de las aceitunas son molinos metálicos. Después, se bate la pasta continua y lentamente, para unir las gotas de aceite dispersas en la pasta y facilitar su separación. El batido se hace durante un máximo de 90 minutos y a una temperatura máxima de 28 °C, para evitar regustos a orujo, alpechín o quemado. A continuación, se procede a la separación del aceite. En este trabajo, se considera que la separación se lleva a cabo mediante el sistema de centrifugación de 3 fases, por lo que se obtienen finalmente tres fases: el aceite, el alpechín y el orujo. Por último, se procede al almacenamiento del producto acabado para su posterior envasado y comercialización.

6.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CORRIENTE DE ALPECHÍN

En el presente trabajo se va a tomar como composición del alpechín la que se encuentra en el estudio realizado por García-Castello et al., en el año 2010. La tabla 9 recoge dicha composición.

Tabla 9. Composición del alpechín (García-Castello et al., 2010).

PARÁMETRO	VALOR MEDIDO
pH	5,03
CARBONO TOTAL (g/L)	20,23
CARBONO ORGÁNICO TOTAL (g/L)	20,19
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN TOTALES (g/L)	17,60
AZÚCARES (° Brix)	5,44
POLIFENOLES DE BAJO PESO MOLECULAR (ppm)	211,80

6.3. DISEÑO DE LA PLANTA INDUSTRIAL

En la figura 17, se muestra un esquema completo del sistema integrado de membranas que se ha diseñado, el cual está basado en la alternativa seleccionada, la cual corresponde al proceso propuesto en el artículo (García-Castello et al., 2010). Como se puede observar, en primer lugar se encuentra una etapa de microfiltración, cuyo permeado se alimenta a la etapa de nanofiltración. A continuación, el permeado de la nanofiltración se alimenta a una última etapa de destilación osmótica, en la cual se obtiene un permeado, principalmente formado por agua, perfectamente reutilizable para otros procesos que se lleven a cabo en la planta, y un rechazo, rico en polifenoles, que es la corriente final obtenida. Los rechazos de la microfiltración y de la nanofiltración pueden, a su vez, ser empleados como fertilizantes o en la producción de biogás en reactores anaerobios (García-Castello et al., 2010).

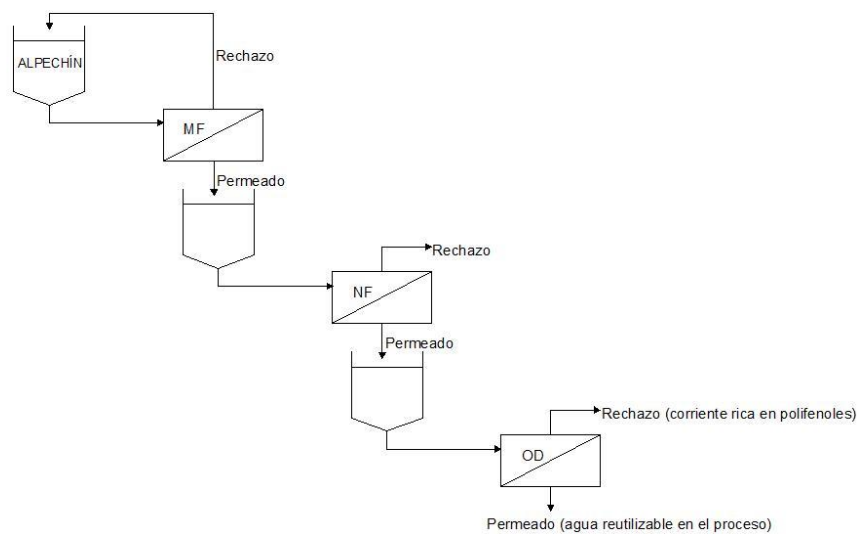


Figura 17. Esquema general del proceso.

6.3.1. DATOS DE PARTIDA Y MEMBRANAS EMPLEADAS

6.3.1.1. DATOS DE PARTIDA PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA

La empresa Olisoy produce distintos tipos de aceite, por lo que se ha supuesto que la mitad de la capacidad de la planta se dedica a la elaboración de aceite de oliva virgen, de forma que se estima que se producen 7500 litros de aceite de oliva virgen al día. Esta producción de aceite de oliva virgen conlleva la formación de 38500 litros de alpechín al día, tal y como se detalla en el Anexo I. Además, se va a considerar que la planta está en funcionamiento durante 8 horas al día y que procesa las aceitunas el mismo día o al día siguiente de la recolección, de manera que la planta únicamente va a trabajar durante 3 meses al año.

6.3.1.2. MEMBRANAS EMPLEADAS

La membrana empleada en el artículo de referencia para la etapa de microfiltración es una membrana tubular cerámica monocanal de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, con un tamaño medio de poro de 200 nm, una porosidad abierta de 40-55% y una superficie de 48 cm², de la casa Inopor (Hermsdorf, Alemania).

Además, para la etapa de nanofiltración, se emplea una membrana de arrollamiento en espiral Spira-Cel 2440 de 2,4 pulgadas de diámetro y 40 pulgadas de longitud, de polietersulfona, con un umbral de corte molecular de 578 Da, de la casa Microdyn-Nadir (Venlo, Países Bajos).

Por último, el módulo de membranas empleado para la destilación osmótica es un módulo de fibra hueca 4 x 13 Extra-Flow con fibras microporosas de polipropileno, de la casa Liqui-Cel, y posee un área de 1,4 m². Las fibras poseen un diámetro externo de 0,3 mm, un espesor de 0,03 mm y presentan un diámetro de poro medio de 30 nm con una porosidad del 40%.

6.3.1.3 CONDICIONES DE OPERACIÓN Y DENSIDADES DE FLUJO DE PERMEADO PARA CADA ETAPA

En el artículo en el que se basa el presente diseño (García-Castello et al., 2010), se extrae información sobre las condiciones de operación óptimas para cada etapa y su proceso de limpieza.

PROCESADO DEL APECHÍN

En primer lugar, la etapa de microfiltración se lleva a cabo a una presión transmembrana de 1 bar ($\pm 0,72$ bar), a una temperatura de 22 °C ($\pm 0,01$ °C), con un caudal de alimentación de 760 L/h y tiene una duración de entre 6 y 7 horas. Para el diseño, se toma un valor de velocidad tangencial de 3 m/s a la entrada de los módulos tubulares de microfiltración, ya que los valores habituales son de entre 2 y 4 m/s. Además, la microfiltración se lleva a cabo por cargas, y se obtiene una densidad de flujo de permeado inicial de 62 L/h·m² y va disminuyendo lentamente hasta alcanzar un valor de 43 L/h·m².

En segundo lugar, la etapa de nanofiltración se lleva a cabo a una presión transmembrana de 8 bares y a una temperatura de 20 °C. Esta nanofiltración también se lleva a cabo en discontinuo. En el artículo no se indica la velocidad tangencial a la que se lleva a cabo esta etapa, pero para el diseño de la planta en este trabajo se ha seleccionado una velocidad tangencial de 0,14 m/s, valor ampliamente usado en las membranas de arrollamiento en espiral para la nanofiltración (Radu et al., 2014). Además, la densidad de flujo de permeado inicial obtenida es de casi 5 L/h·m² y disminuye hasta alcanzar un valor de casi 3 L/h·m².

Por último, la etapa de destilación osmótica emplea una disolución extractora de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ con una concentración del 60% w/w para facilitar y favorecer la separación. Además, el alimento se introduce por la carcasa del módulo con un caudal de 153 mL/min, mientras que la disolución extractora se inserta por el interior de las fibras con un caudal de 446 mL/min. Ambas disoluciones se mantienen a una temperatura de 30°C (± 2 °C) y se aplica una presión transmembrana promedio de 0,43 bares. Además, la densidad de flujo de permeado alcanza un valor de casi 1,1 L/h·m² y disminuye hasta un valor de 0,3 L/h·m².

Para cada uno de los procesos de membranas, los valores promedio de densidad de flujo de permeado que se han tomado como dato de partida para la realización del diseño de la planta se recogen en la tabla 10, en la que también se muestran las condiciones de operación seleccionadas para el procesado del alpechín.

Tabla 10. Condiciones de operación para el procesado del alpechín y densidad de flujo de permeado promedio para cada etapa.

ETAPA	PROCESADO DEL ALPECHÍN		DENSIDAD DE FLUJO DE PERMEADO PROMEDIO (L/h·m ²)
	PRESIÓN (bar)	TEMPERATURA (°C)	
MICROFILTRACIÓN	1	22	50
NANOFILTRACIÓN	8	20	4
DESTILACIÓN OSMÓTICA	0,43	30	0,5

En la tabla 11 se recogen los volúmenes de las diferentes corrientes obtenidas en el sistema integrado completo que se propone en el artículo tomado como referencia, así como los factores de reducción de volumen (FRV) obtenidos (ver Anexo I).

Tabla 11. Volúmenes de las corrientes obtenidas en el proceso integrado de membranas del artículo de referencia (García-Castello et al., 2010) y factor de reducción de volumen (FRV) de cada etapa.

ETAPA	CORRIENTE	VOLUMEN (L)	FRV
MICROFILTRACIÓN	ALIMENTO	7,0	3,500
	PERMEADO	5,0	
	RECHAZO	2,0	
NANOFILTRACIÓN	ALIMENTO	5,0	3,125
	PERMEADO	3,4	
	RECHAZO	1,6	
DESTILACIÓN OSMÓTICA	ALIMENTO	3,4	3,091
	PERMEADO	2,3	
	RECHAZO	1,1	

PROCESO DE LIMPIEZA

De acuerdo con el artículo de referencia (García-Castello et al., 2010), el proceso de limpieza de la membrana de microfiltración está constituido por una primera etapa de aclarado de 30 minutos con agua de red a temperatura ambiente, seguida de una etapa de limpieza química con una disolución de 20 g/L de NaOH a 40°C durante 30 minutos, para terminar con un último aclarado de 30 minutos con agua de red a temperatura ambiente. Aunque no aparece especificado en el artículo, los procesos de limpieza se llevan a cabo con unas presiones transmembranares reducidas, seleccionándose, en el presente trabajo, una presión de 1 bar.

El proceso de limpieza la membrana de nanofiltración consta de una primera etapa de aclarado de 30 minutos con agua de red a temperatura ambiente, seguida de una etapa de limpieza química con una disolución de 1 g/L de NaOH a 40°C durante 30 minutos, y termina con un último aclarado de 30 minutos con agua de red a temperatura ambiente.

En cuanto a la limpieza de la membrana de destilación osmótica, en primer lugar, se limpia tanto la carcasa como las fibras con agua destilada a temperatura ambiente durante 30 minutos. A continuación, la carcasa se limpia con una disolución al 2% de KOH a 40 °C durante una hora, mientras que las fibras se limpian con agua destilada a 40°C durante una hora. Después, se vuelven a aclarar tanto la carcasa como las fibras con agua destilada a temperatura ambiente y durante 30 minutos. A continuación, la carcasa se enjuaga con una disolución del 2% de ácido cítrico a 40 °C y durante una hora, mientras que las fibras se enjuagan de nuevo con agua destilada a 40°C durante una hora. Finalmente, tanto la carcasa como las fibras se vuelven a aclarar durante 30 minutos con agua destilada a temperatura ambiente.

En la tabla 12 se recogen los datos de densidades de flujo de permeado promedio que se obtienen en la planta piloto del artículo de referencia durante la etapa de limpieza (García-Castello et. al).

Tabla 12. Densidades de flujo de permeado promedio del sistema integrado de membranas durante el proceso de limpieza del artículo de referencia.

ETAPA	DENSIDAD DE FLUJO DE PERMEADO PROMEDIO (L/h·m ²)
MICROFILTRACIÓN	106,0
NANOFILTRACIÓN	4,1
DESTILACIÓN OSMÓTICA	-

-: Dato no facilitado.

6.3.2. DISEÑO DE LA ETAPA DE MICROFILTRACIÓN

En primer lugar, se ha considerado que la microfiltración del alpechín se lleva a cabo en discontinuo, es decir, recirculando el rechazo al depósito de alimentación y recolectando, de forma separada, el permeado en un depósito.

6.3.2.1. DIMENSIONADO DE LAS MEMBRANAS

Se ha seleccionado el mismo tipo de membrana que el empleado en el artículo de referencia. Sin embargo, para evitar tener que poner un número elevado de membranas en paralelo, se ha considerado un módulo multicanal de membrana de microfiltración (ver figura 18), eligiendo, de entre los del catálogo del fabricante (Inopor GMBH), aquel que proporciona mayor área. Por ello se ha seleccionado el módulo tubular M37-19-25 de membranas de microfiltración de la casa Inopor GMBH, cuyas características se detallan en la tabla 13. Tal y como se detalla en el Anexo I, el área total de membrana necesaria para procesar el volumen de alpechín durante un tiempo de operación aproximado de 8 horas al día es de 68,75 m². Por lo tanto, de acuerdo con los cálculos realizados en dicho Anexo, es necesario colocar ocho módulos en paralelo.



Figura 18. Fotografía de un módulo tubular multicanal.

Tabla 13. Características del módulo tubular multicanal M37-19-25 de la casa comercial Inopor GMBH.

ESPECIFICACIÓN	MÓDULO M37-19-25
MATERIAL DE LA MEMBRANA	α -Al ₂ O ₃
TAMAÑO MEDIO DEL PORO	200 nm
POROSIDAD ABIERTA	40-55%
LONGITUD	1,2 m
NÚMERO DE TUBOS POR BASTIDOR	37
NÚMERO DE CANALES POR TUBO	19
ÁREA DE MEMBRANA	9,28 m ²

De esta forma, el tiempo de procesado es de 7,41 horas al día (ver Anexo I) y, finalmente, se obtienen, de los 38500 litros de alpechín iniciales, 11000 litros de rechazo y 27500 litros de permeado. Además, las concentraciones de polifenoles de bajo peso molecular en el rechazo y en el permeado son de 311,87 ppm y 170,54 ppm, respectivamente.

Por otro lado, de acuerdo con los resultados obtenidos en el Anexo I y tomando una velocidad tangencial de circulación por las membranas de 3 m/s, valor habitual en módulos tubulares de microfiltración, se obtiene un caudal de alimentación en cada módulo $Q_{a\text{módulo}}$ de $2,029 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ y, por tanto, un caudal de alimentación total Q_a de $0,1623 \text{ m}^3/\text{s}$.

La limpieza de las membranas se realiza del modo indicado en el apartado 5.3.1.3., requiriendo un tiempo total de 1 hora y 30 minutos.

La figura 19 muestra un esquema general de la etapa de microfiltración.

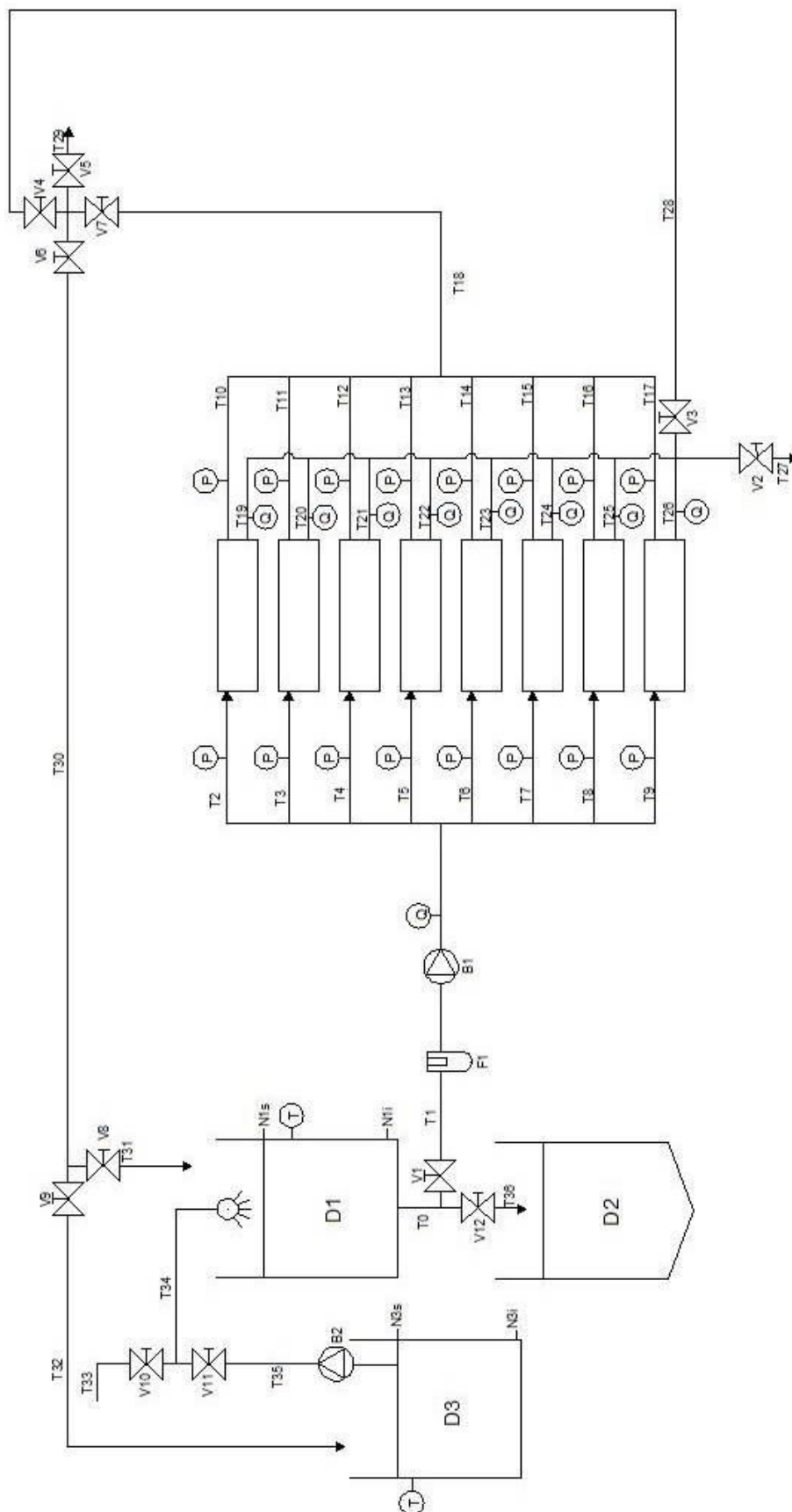


Figura 19. Esquema de la etapa de microfiltración.

Esta etapa cuenta con un depósito D1 de acero inoxidable en el que se almacena el alpechín obtenido de la elaboración de aceite de oliva virgen, provisto de sensores de nivel superior N1s e inferior N1 para evitar problemas de desbordamientos o daños en la bomba B1 colocada a continuación. Abriendo la válvula V1 y cerrando la válvula V12, se hace circular el alpechín por la tubería T1 y se proporciona el caudal y la presión necesarios mediante la bomba B1. La tubería T1 cuenta, por tanto, con un medidor de caudal para comprobar que el caudal de alimentación es el correcto. Además, se dispone de un filtro de cartuchos F1 que impide el paso de partículas grandes y por tanto evita la obstrucción y deterioro de las membranas de microfiltración. A continuación, la tubería T1 se divide en ocho tuberías, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 y T9, que alimentan a los ocho módulos de membranas de microfiltración. Para controlar la caída de presión, evitar roturas en las membranas y conocer la evolución del ensuciamiento de las membranas, se colocan manómetros tanto a la entrada como a la salida de cada módulo. También se dispone de un sensor de temperatura en el tanque de alimentación D1 para comprobar que la temperatura del alpechín y de la disolución de limpieza son las correctas, es decir, $20 \pm 0,01$ °C y 40 °C, respectivamente. Además, se dispone de ocho tuberías, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16 y T17, por las que circulan los rechazos y ocho tuberías T19, T20, T21, T22, T23, T24, T25 y T26 por las que circulan los permeados, estas últimas provistas de medidores de caudal. A continuación, los rechazos de cada módulo se recogen en una misma tubería T18, mientras que los permeados se recogen en la tubería T27. Cuando se procesa el alpechín, el permeado total se hace circular directamente a la siguiente etapa de nanofiltración, por lo que la válvula V2 permanece abierta y la válvula V3 permanece cerrada, y el rechazo total se recircula al tanque de alimentación D1, a través de las tuberías T30 y T31, por lo que las válvulas V6, V7 y V8 permanecen abiertas y las válvulas V4 y V5 permanecen cerradas.

Una vez procesado todo el alpechín, se procede a la limpieza de las membranas. Para ello, se abre la válvula V12 y se cierra la válvula V1, para recuperar y reutilizar el rechazo final en el depósito D2 y vaciar por completo el depósito de alimentación D1. La limpieza de las membranas consta de tres etapas: un aclarado con agua de red, una limpieza química con una disolución a 40 °C de 20 g/L de NaOH y, de nuevo, un aclarado con agua de red. Los dos aclarados se llevan a cabo abriendo la válvula V10 y manteniendo cerrada la válvula V11, y haciendo circular el agua por las membranas. Las corrientes totales de rechazo y de permeado se mezclan en una misma tubería T29 y se trasladan a una etapa de tratamiento de residuos (no diseñada en el presente proyecto), cerrando las válvulas V2 y V6 y abriendo las válvulas V3, V4, V7 y V5. Para la limpieza química, se hace circular por las membranas y la instalación de MF una disolución de 20 g/L de NaOH a una temperatura de 40 °C, abriendo la válvula V11 y cerrando la válvula V10. Para impulsar dicha disolución desde su tanque de almacenamiento D3 hasta el tanque de alimentación D1, se emplea la bomba B2. Además, se dispone de un sistema de camisa intercambiador, tanto en el depósito D1 como en el tanque D3, para mantener la disolución de limpieza a la temperatura deseada. La disolución de limpieza se hace, entonces, circular por el circuito de membranas gracias a la bomba B1 y se recogen las corrientes totales de rechazo y de permeado en las tuberías T30 y T31 para recircularlas al tanque de alimentación D1, de modo que se abren las válvulas V3, V4, V6, V7 y V8, y se cierran las válvulas V2, V5 y V9. Además, se dispone de una boquilla rociadora específica para la limpieza del tanque, de la casa comercial Tank Cleaning Technologies S.L. (Madrid, España),

con la que se crean abanicos de agua de aclarado y de disolución de limpieza que, al impactar, crean una cascada que va recorriendo hacia abajo toda la superficie del depósito D1, de forma que, simultáneamente, se limpia dicho depósito.

Una vez terminada la limpieza química, la disolución de limpieza que queda en el depósito D1 se recircula al tanque de almacenamiento de disolución de limpieza D3 mediante la bomba B1, hasta que el depósito D1 esté prácticamente vacío (hasta alcanzar sensor de nivel inferior N1i). Sin embargo, el circuito queda lleno de disolución de limpieza, por lo que se impulsa con agua y se recircula al depósito D3. Se supone que la cantidad de agua que llega al depósito D3 es igual al volumen muerto de la instalación. De esta forma, se gasta menos detergente, pero, cada vez, hay que reconstituir la concentración de la disolución de limpieza ya que este agua la irá diluyendo. Se considerará que el número máximo de veces que se puede reutilizar el detergente es de 5 veces, ya que si se supera, el detergente arrastra un exceso de suciedad y pierde su capacidad de limpiar.

6.3.2.2. DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS

Las tuberías seleccionadas en el presente proyecto son tuberías de acero inoxidable con soldadura de calidad AISI 316 L (EN 1.4404) de la casa Eduardo Cortina. Estas tuberías se caracterizan por su resistencia a la corrosión y, por tanto, su durabilidad, ya que se forman con una fina capa de óxido transparente en su superficie para hacerlas inertes, su versatilidad, ya que se pueden emplear en gran cantidad de sectores, su capacidad de ser recicladas, ya que el acero inoxidable es 100% reciclable sin perder calidad, y su facilidad de limpieza, lo que permite una higiene total. Además, el bajo contenido en carbono de la aleación 316 L les confiere una mayor resistencia a la corrosión. Dichas tuberías se suministran recocidas y decapadas en longitudes estándares de 6 metros y con los diámetros exteriores y espesores recogidos en el Anexo II.

Además, el cálculo del diámetro de las tuberías se lleva a cabo conociendo la velocidad tangencial necesaria en las tuberías y el caudal que circula por ellas, tal y como se recoge en el Anexo I. Por último, la longitud de las tuberías se ha seleccionado de acuerdo con valores típicos de instalaciones industriales de tecnología de membranas.

En la tabla 14 se recogen los datos de las tuberías presentes en las instalaciones de la etapa de microfiltración.

Tabla 14. Diseño de las tuberías de la etapa de microfiltración.

TUBERÍA	DIÁMETRO INTERIOR CALCULADO (m)	DIÁMETRO EXTERIOR SELECCIONADO (m)	ESPESOR SELECCIONADO (mm)	LONGITUD (m)
T0	0,3712	0,3550	2,0	0,5
T1	0,3712	0,3550	2,0	5,0
T2	0,1312	0,1310	2,0	2,0
T3	0,1312	0,1310	2,0	2,0
T4	0,1312	0,1310	2,0	2,0
T5	0,1312	0,1310	2,0	2,0
T6	0,1312	0,1310	2,0	2,0
T7	0,1312	0,1310	2,0	2,0
T8	0,1312	0,1310	2,0	2,0
T9	0,1312	0,1310	2,0	2,0
T10	0,1308	0,1310	2,0	3,0
T11	0,1308	0,1310	2,0	3,0
T12	0,1308	0,1310	2,0	3,0
T13	0,1308	0,1310	2,0	3,0
T14	0,1308	0,1310	2,0	3,0
T15	0,1308	0,1310	2,0	3,0
T16	0,1308	0,1310	2,0	3,0
T17	0,1308	0,1310	2,0	3,0
T18	0,3700	0,3550	2,0	5,0
T19	0,0105	0,0120	1,0	2,0
T20	0,0105	0,0120	1,0	2,0
T21	0,0105	0,0120	1,0	2,0
T22	0,0105	0,0120	1,0	2,0
T23	0,0105	0,0120	1,0	2,0
T24	0,0105	0,0120	1,0	2,0
T25	0,0105	0,0120	1,0	2,0
T26	0,0105	0,0120	1,0	2,0
T27	0,0296	0,0320	1,5	5,0
T28	0,0431	0,0445	1,0	5,0
T29	0,3712	0,3550	2,0	3,0
T30	0,3700	0,3550	2,0	5,0
T31	0,3700	0,3550	2,0	2,0
T32	0,3712	0,3550	2,0	7,0
T33	0,1136	0,1040	2,0	2,0
T34	0,1136	0,1040	2,0	3,0
T35	0,1136	0,1040	2,0	5,0
T36	0,1764	0,1540	2,0	3,0

6.3.2.3. DIMENSIONADO DE LAS BOMBAS

Las bombas empleadas en el presente proyecto son bombas centrífugas CPKN de la casa comercial KSB ITUR Spain S.A. (Zarauz, España) que operan a velocidad controlada. Las características de dichas bombas se recogen en la tabla 15.

Tabla 15. Características de las bombas centrífugas CPKN KSB.

ESPECIFICACIÓN	BOMBA CPKN KSB
POTENCIA MÁXIMA	3200 kW
VELOCIDAD MÁXIMA DE GIRO	3500 rpm
CAUDAL MÍNIMO/MÁXIMO	1/4800 m ³ /h
ALTURA MÁXIMA	275 m
PRESIÓN MÁXIMA DE IMPULSIÓN	25 bar
TIPO DE IMPULSOR	Radial con una entrada

Para el diseño de las bombas se debe tener en cuenta tanto el caudal que impulsa la bomba, como la presión que debe proporcionar y las pérdidas de carga totales que se producen tanto en las tuberías (pérdidas de carga primarias), como en las válvulas, uniones y codos (pérdidas de carga secundarias). Conocidos estos dos datos y acudiendo a las curvas características de las bombas, se selecciona la bomba que mejor se adecue.

De acuerdo con los cálculos realizados en el Anexo I, la tabla 16 recoge las bombas seleccionadas.

Tabla 16. Bombas seleccionadas para la etapa de microfiltración.

BOMBA	CAUDAL IMPULSADO (m ³ /s)	CARGA PROPORCIONADA (m)	BOMBA KSB SELECCIONADA
B1	0,1623	37,6273	CPKN 200-400
B2	0,0152	5,4161	CPKN 65-160

6.3.2.4. DIMENSIONADO DE LOS DEPÓSITOS

Los depósitos considerados en el diseño de la planta son de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. (Pontevedra, España) y son de acero inoxidable AISI 316.

Para el diseño de los depósitos, se han tenido en cuenta los volúmenes de cada una de las corrientes que se deben almacenar. Además, se considera un 20% de volumen adicional para evitar desbordamientos accidentales.

En la tabla 17 se muestran las capacidades de cada uno de los depósitos, de acuerdo con los resultados obtenidos en el Anexo I.

Tabla 17. Diseño de los depósitos de la etapa de microfiltración.

DEPÓSITO	CAPACIDAD (L)
D1	50000
D2	14000
D3	6000

6.3.2.5. INSTRUMENTACIÓN NECESARIA

Para el correcto funcionamiento de la instalación, se hace uso de instrumentación de control. Se emplean válvulas de mariposa de eje centrado SUFA, ya que la totalidad del cuerpo está recubierta de elastómero y lo protege de una posible corrosión, para las válvulas del circuito de procesado del alpechín, de la casa comercial Saidi, perteneciente al grupo Klinger. Para reparar la limpieza del proceso, se usan válvulas de doble asiento de la casa comercial Krones (Neutraubling, Alemania). Además, todas ellas disponen de un sistema automatizado. En la figura 19 se puede observar la disposición de dichas válvulas, que aseguran la correcta circulación de los fluidos. Para controlar que el proceso se desarrolla adecuadamente, se emplean instrumentos de medida y control que aseguran que la temperatura, la presión, el caudal y los niveles de llenado de los depósitos son los correctos. Son de la casa comercial Sensovant (Valencia, España). En la tabla 18 se muestra un listado de toda la instrumentación necesaria para el correcto funcionamiento de la instalación de microfiltración.

Tabla 18. Instrumentación empleada en el diseño de la microfiltración.

INSTRUMENTACIÓN	CANTIDAD
VÁLVULAS DE MARIPOSA	10
VÁLVULAS DE DOBLE ASIENTO	2
MEDIDORES DE PRESIÓN	16
MEDIDORES DE TEMPERATURA	2
MEDIDORES DE CAUDAL	9
SENSORES DE NIVEL (SUPERIOR E INFERIOR)	4

6.3.3. DISEÑO DE LA ETAPA DE NANOFILTRACIÓN

En primer lugar, se ha considerado que la nanofiltración se lleva a cabo en continuo, siendo esta etapa alimentada por el permeado que se produce en la microfiltración con un caudal de 27500 L/día.

6.3.3.1. DIMENSIONADO DE LAS MEMBRANAS

Tal y como se detalla en el Anexo I, el área total de membrana necesaria para procesar el volumen de permeado de la microfiltración durante un tiempo de operación aproximado de 8 horas al día es de 584,375 m². Se ha seleccionado el mismo tipo de membrana que el empleado en el artículo de referencia. Sin embargo, para evitar tener que poner un número elevado de membranas en paralelo, se ha considerado una membrana de arrollamiento en espiral, de entre las del catálogo del fabricante (Microdyn-Nadir), aquella que dé un área de membrana elevada, con un espaciador de h=44 mil, ya que este espaciador es el más adecuado para la mayoría de las aplicaciones. Por ello se ha seleccionado la membrana Spira-Cel 3838, cuyas características se detallan en la tabla 19.

Tabla 19. Características de la membrana de arrollamiento en espiral Spira-Cel 3838 de la casa comercial Microdyn-Nadir.

PARÁMETRO	VALOR
MATERIAL DE LA MEMBRANA	Polietersulfona
UMBRAL DE CORTE MOLECULAR	578 Da
LONGITUD	38 pulgadas = 0,9652 m
DIÁMETRO DE LA MEMBRANA	3,8 pulgadas = 0,09652 m
ÁREA DE LA MEMBRANA	5,7 m ²
ALTURA DEL ESPACIADOR	44 mil = 1,1176 mm
POROSIDAD DEL ESPACIADOR	0,89

Se ha considerado un proceso por etapas con una configuración piramidal. Por lo tanto, de acuerdo con los cálculos realizados en dicho anexo, es necesario colocar, en una primera etapa, 4 tubos de presión en paralelo, con 10 módulos de nanofiltración en el interior de cada uno. La segunda etapa está constituida por dos tubos de presión, cada uno constituido por 27 módulos de nanofiltración, y la tercera y última etapa, está formada por un tubo de presión con 7 módulos de nanofiltración en su interior.

De esta forma, el tiempo de procesado es de 7,96 horas al día (ver Anexo I) y, finalmente, se obtienen, de los 27500 litros de alimento inicial, 8806,74 litros de rechazo y 18693,26 litros de permeado. Además, el factor de reducción de volumen de esta etapa es de 3,123 y las concentraciones de polifenoles de bajo peso molecular en el rechazo y en el permeado son de 220,10 ppm y 160,32 ppm, respectivamente.

Por otro lado, de acuerdo con los resultados obtenidos en el Anexo I y tomando una velocidad tangencial de circulación por las membranas de 0,14 m/s (Radu et al., 2014), valor habitual en módulos de arrollamiento en espiral de nanofiltración, se obtiene un caudal de alimentación en cada módulo $Q_{a\text{módulo}}$ de 6875 L/día.

La figura 20 muestra un esquema general de la etapa de nanofiltración.

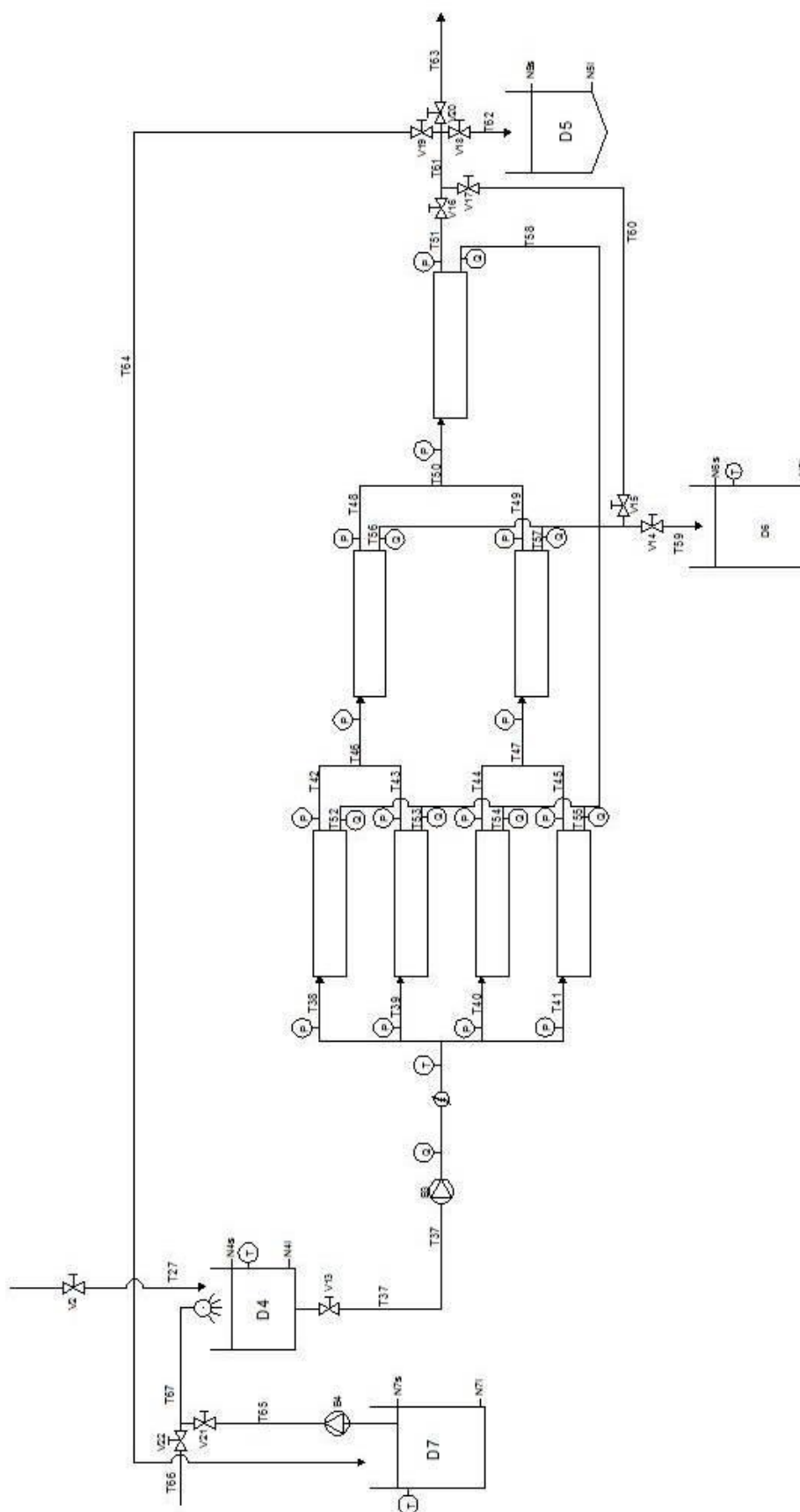


Figura 20. Esquema de la etapa de nanofiltración.

Abriendo las válvulas V2 y V13 y cerrando las válvulas V21 y V22, se hace circular el permeado de la microfiltración del depósito D4 (provisto de un sistema de camisa intercambiadora) por la tubería T37 y se proporciona la presión necesaria para la nanofiltración mediante la bomba B3. La tubería T37 cuenta, por tanto, con un medidor de caudal para comprobar que el caudal de alimentación es el correcto y con un intercambiador de calor que asegura que la temperatura de la alimentación es constante. A continuación, la tubería T37 se divide en 4 tuberías, T38, T39, T40 y T41, que alimentan a los cuatro contenedores de presión de la primera etapa de la nanofiltración. Para controlar la caída de presión, evitar roturas en las membranas y conocer la evolución del ensuciamiento de las membranas, se colocan manómetros tanto a la entrada como a la salida de cada tubo de presión. Las tuberías T52, T53, T54 y T55 recogen los permeados, mientras que las tuberías T42, T43, T44 y T45 recogen los rechazos. Además, el resto de tubos de presión se disponen en distribución piramidal, uniendo los rechazos dos a dos y alimentándolos a la siguiente etapa. En total, se tienen 3 etapas y se recogen los permeados de cada tubo de presión en tuberías provistas de medidores de caudal, mientras que el rechazo final se recoge en la tubería T51. El depósito D6, provisto de una camisa intercambiadora, sensor de temperatura y sensores de nivel, permite el almacenamiento del permeado total, que servirá como alimento a la siguiente etapa de destilación osmótica, mientras que el rechazo final se almacena en el depósito D5 para su posterior reutilización.

Una vez procesada toda la alimentación, se procede a la limpieza de las membranas. Las dos etapas de aclarado se llevan a cabo abriendo las válvulas V22, V13, V15, V16 y V17 para hacer circular el agua de aclarado por las membranas, y cerrando las válvulas V2, V21 y V14. Las corrientes totales de rechazo y de permeado se mezclan en una misma tubería T61 y se trasladan a una etapa de tratamiento de residuos (no diseñada en el presente proyecto), cerrando las válvulas V18 y V19 y abriendo la válvula V20. Para la limpieza química, se hace circular por las membranas y la instalación de NF una disolución de 1 g/L de NaOH a una temperatura de 40 °C, abriendo las válvulas V21 y V13 y cerrando las válvulas V2 y V22. Para impulsar dicha disolución desde su tanque de almacenamiento D6 hasta el sistema de membranas, se emplea la bomba B4. Además, se dispone de un sistema de calefacción y un sensor de temperatura en el tanque D6 para mantener la disolución de limpieza a la temperatura deseada. La disolución de limpieza se hace circular por las membranas y se recogen las corrientes totales de rechazo y de permeado en las tuberías T61 y T64 para recircularlas al tanque de detergente, de modo que se abren las válvulas V15, V16, V17 y V19 y se cierran las válvulas V14, V18 y V20. Para limpiar el depósito D4, se emplea también una boquilla rociadora, de la casa comercial Tank Cleaning Technologies S.L.. Por último, al igual que en el caso de la MF, el resto de disolución de limpieza que queda en las tuberías se impulsa con agua y es necesaria la reconstitución de la concentración de la disolución y se considera que el número máximo de veces que se puede reutilizar el detergente es de 5 veces.

6.3.3.2. DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS

En la tabla 20 se recogen los datos de las tuberías presentes en las instalaciones de la etapa de nanofiltración. Al igual que para la etapa de microfiltración, estas tuberías son de la casa comercial Eduardo Cortina y son de acero inoxidable AISI 316 L.

Tabla 20. Diseño de las tuberías de la etapa de nanofiltración.

TUBERÍA	DIÁMETRO INTERIOR CALCULADO (m)	DIÁMETRO EXTERIOR SELECCIONADO (m)	ESPESOR (mm)	LONGITUD (m)
T37	0,0285	0,0300	1	3,0
T38	0,0143	0,0180	2	2,0
T39	0,0143	0,0180	2	2,0
T40	0,0143	0,0180	2	2,0
T41	0,0143	0,0180	2	2,0
T42	0,0122	0,0140	1	2,0
T43	0,0122	0,0140	1	2,0
T44	0,0122	0,0140	1	2,0
T45	0,0122	0,0140	1	2,0
T46	0,0173	0,0190	1	2,0
T47	0,0173	0,0190	1	2,0
T48	0,0122	0,0140	1	2,0
T49	0,0122	0,0140	1	2,0
T50	0,0173	0,0190	1	2,0
T51	0,0162	0,0180	1	2,0
T52	0,0073	0,0080	1	3,0
T53	0,0073	0,0080	1	3,0
T54	0,0073	0,0080	1	3,0
T55	0,0073	0,0080	1	3,0
T56	0,0123	0,0140	1	3,0
T57	0,0123	0,0140	1	3,0
T58	0,0061	0,0080	1	3,0
T59	0,0235	0,0250	1	3,0
T60	0,0238	0,0250	1	3,0
T61	0,0162	0,0180	1	0,5
T62	0,0162	0,0180	1	0,5
T63	0,0287	0,0300	1	2,0
T64	0,0287	0,0300	1	7,0
T65	0,0287	0,0300	1	3,0
T66	0,0287	0,0300	1	1,0
T67	0,0287	0,0300	1	3,0

6.3.3.3. DIMENSIONADO DE LAS BOMBAS

De acuerdo con los cálculos realizados en el Anexo I, la tabla 21 recoge las bombas seleccionadas. Al igual que para la microfiltración, estas bombas son bombas centrífugas de velocidad controlada CPKN de la casa comercial KSB ITUR Spain S.A..

Tabla 21. Bombas seleccionadas para la etapa de nanofiltración.

BOMBA	CAUDAL IMPULSADO (m ³ /s)	CARGA PROPORCIONADA (m)	BOMBA KSB SELECCIONADA
B3	9,597·10 ⁻⁴	109,8282	CPKN 32-250
B4	9,704·10 ⁻⁴	19,7579	CPKN 25-160

6.3.3.4. DIMENSIONADO DE LOS DEPÓSITOS

En la tabla 22 se muestran las dimensiones de cada uno de los depósitos, de acuerdo con los resultados obtenidos en el Anexo I. Al igual que para la etapa de microfiltración, estos depósitos son de acero inoxidable AISI 316 y son de la casa Industrias Céspedes S.L..

Tabla 22. Diseño de los depósitos de la etapa de nanofiltración.

DEPÓSITO	CAPACIDAD (L)
D4	3000
D5	11000
D6	25000
D7	1000

6.3.3.5. INSTRUMENTACIÓN NECESARIA

En la tabla 23 se muestra un listado de toda la instrumentación necesaria para el correcto funcionamiento de la instalación de nanofiltración.

Tabla 23. Instrumentación empleada en el diseño de la nanofiltración.

INSTRUMENTACIÓN	CANTIDAD
VÁLVULAS DE MARIPOSA	8
VÁLVULAS DE DOBLE ASIENTO	2
MEDIDORES DE PRESIÓN	14
MEDIDORES DE TEMPERATURA	4
MEDIDORES DE CAUDAL	8
SENSORES DE NIVEL (SUPERIOR E INFERIOR)	8

6.3.4. DISEÑO DE LA ETAPA DE DESTILACIÓN OSMÓTICA

En primer lugar, se ha considerado que la destilación osmótica se lleva a cabo en discontinuo, siendo esta etapa alimentada por el permeado que se produce en la nanofiltración con un caudal de 18693,26 L/día.

6.3.4.1. DIMENSIONADO DE LAS MEMBRANAS

Tal y como se detalla en el Anexo I, el área total de membrana necesaria para procesar el volumen de permeado de la nanofiltración durante un tiempo de operación aproximado de 8 horas al día es de 3161,36 m². Se ha seleccionado el mismo tipo de membrana que el empleado en el artículo de referencia. Sin embargo, para evitar tener que poner un número elevado de membranas en paralelo, se ha considerado una membrana de fibra hueca, eligiendo de entre las del catálogo del fabricante (Liqui-Cel), aquella que proporciona mayor área. Por ello se ha seleccionado la membrana Liqui-Cel Extra-Flow 14x40, cuyas características se detallan en la tabla 24. Además, de acuerdo con los cálculos realizados en dicho anexo, es necesario colocar, 9 módulos de fibra hueca en paralelo.

Tabla 24. Características de la membrana de fibra hueca Extra-Flow 14x40 de la casa comercial Liqui-Cel.

PARÁMETRO	VALOR
MATERIAL DE LAS FIBRAS	Polipropileno
MATERIAL DE LA CARACASA	Epoxi
ÁREA DE LA MEMBRANA	373 m ²
MÁXIMA PRESIÓN APLICABLE	4,1 bar

De esta forma, el tiempo de procesado es de 7,53 horas al día (ver Anexo I) y, finalmente, se obtienen, de los 18693,26 litros de alimento inicial, 6047,82 litros de rechazo y 12645,44 litros de permeado. Además, el factor de reducción de volumen de esta etapa es de 3,091 y las concentraciones de polifenoles de bajo peso molecular en el rechazo y en el permeado son de 493,01 ppm y 1,21 ppm, respectivamente.

Por otro lado, de acuerdo con las indicaciones del fabricante, se ha considerado un caudal de alimentación de permeado de NF en cada módulo $Q_{a\text{módulo}}$ de 16 m³/h y un caudal de disolución extractora en cada módulo $Q_{\text{disolución extractora módulo}}$ de 46,64 m³/h.

La figura 21 muestra un esquema general de la etapa de destilación osmótica.

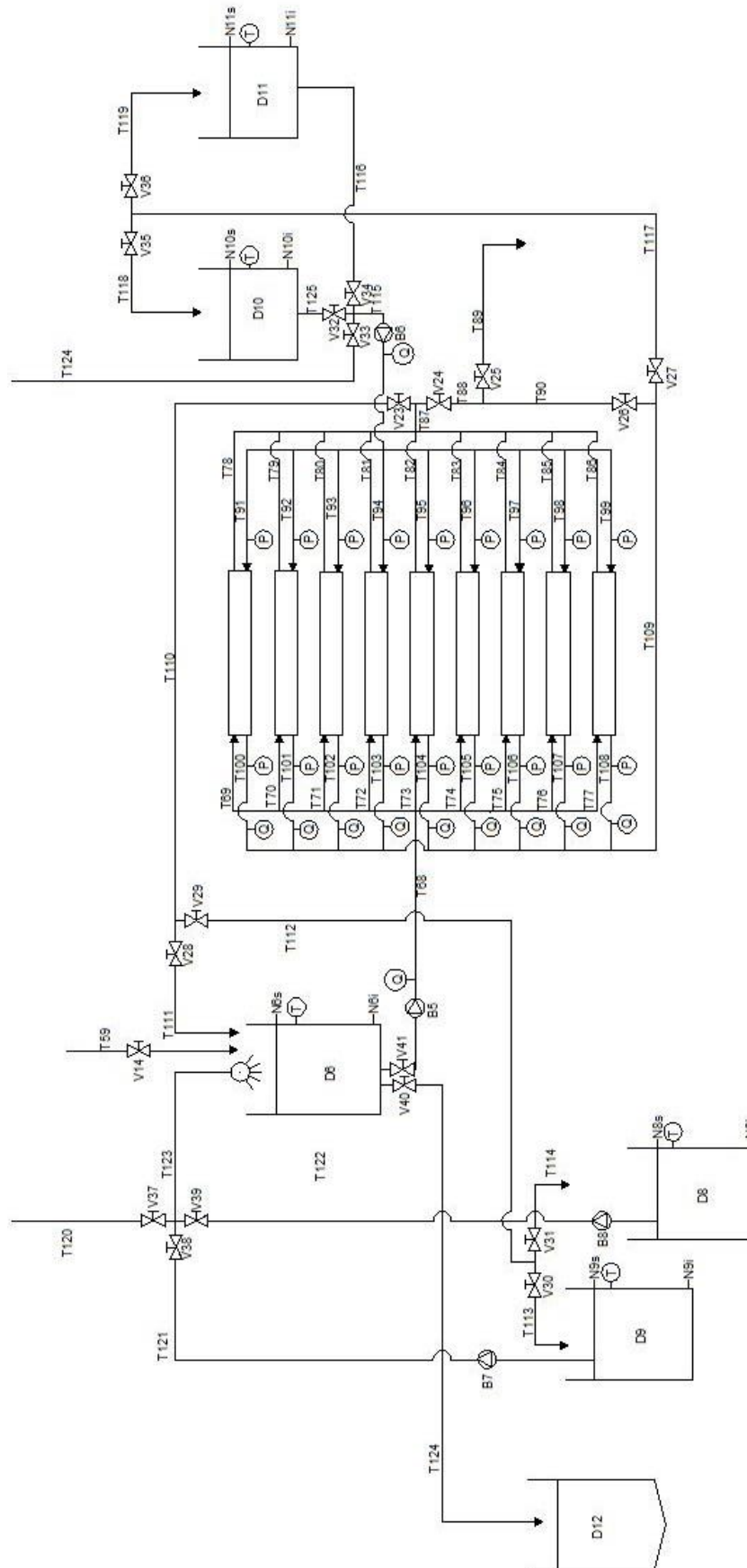


Figura 21. Esquema de la etapa de destilación osmótica.

Abriendo la válvula V41, se hace circular el permeado de la NF del depósito D6 por la tubería T68 y se proporciona el caudal y la presión necesarios para la destilación osmótica mediante la bomba B5. La tubería T68 cuenta, por tanto, con un medidor de caudal para comprobar que el caudal de alimentación es el correcto. A continuación, la tubería T68 se divide en 9 tuberías, T69, T70, T71, T72, T73, T74, T75, T76 y T77, que alimentan la carcasa de cada uno de los nueve módulos de fibra hueca, respectivamente. A continuación, las tuberías T78, T79, T80, T81, T82, T83, T84, T85 y T86 recogen los rechazos de cada módulo y se mezclan en una misma tubería T87. En contracorriente, se hace circular la disolución extractora del depósito D11 por las tuberías T116 y T115 y se proporciona el caudal y la presión necesarios mediante la bomba B6. La tubería T115 cuenta, por tanto, con un medidor de caudal para comprobar que el caudal de disolución extractora es el correcto. A continuación, la tubería T115 se divide en 9 tuberías, T91, T92, T93, T94, T95, T96, T97, T98 y T99, que alimenta el interior de las fibras de cada uno de los nueve módulos, respectivamente. Para controlar la caída de presión, evitar roturas en las membranas y conocer la evolución del ensuciamiento de las membranas, se colocan manómetros tanto a la entrada como a la salida de cada módulo. A continuación, las tuberías T100, T101, T102, T103, T104, T105, T106, T107 y T108, provistas de medidores de caudal, recogen los permeados de cada módulo y se mezclan en una misma tubería T109. Cuando se procesa el permeado de la nanofiltración, el permeado total se recircula al tanque de disolución extractora D11, para su reutilización como disolución extractora, abriendo las válvulas V27 y V36 y cerrando las válvulas V26 y V35, mientras que el rechazo total se recircula al tanque D6, abriendo las válvulas V23 y V28 y cerrando las válvulas V24 y V29. Se considerará que el número máximo de veces que se puede reutilizar dicha disolución es de 2 veces.

Una vez procesado todo el permeado de la NF, se procede a la limpieza, tanto de las carcasas como de las fibras. Para ello, se abre la válvula V40 y se cierra la válvula V41, para recuperar y reutilizar el rechazo final en el depósito D12 y vaciar por completo el depósito D6. La limpieza de las carcasas consta de cinco etapas: un primer aclarado con agua de red, una limpieza química con una disolución de KOH al 2% a 40 °C desde el depósito D8, un nuevo aclarado con agua de red, una limpieza química con una disolución de ácido cítrico al 2% a 40 °C desde el depósito D9 y, de nuevo, un último aclarado con agua de red. La limpieza de las fibras se realiza en contracorriente y consta, también, de cinco etapas: un primer aclarado con agua de red, una limpieza con agua destilada a 40 °C desde el depósito D10, un nuevo aclarado con agua de red, una limpieza con agua destilada a 40 °C desde el depósito D10 y, de nuevo, un último aclarado con agua de red. Cuando se llevan a cabo los aclarados, el permeado y rechazo finales se mezclan y se trasladan, mediante la tubería T89, a una etapa de tratamiento de residuos (no diseñado en el presente proyecto). Cuando se realizan las limpiezas, las disoluciones de limpieza (KOH y ácido cítrico para la limpieza de las carcasas, y agua destilada para la limpieza de las fibras) se hacen circular en circuito cerrado. Para impulsar las disoluciones de limpieza de las carcasas desde sus depósitos hasta el depósito D6, se emplean las bombas B7 y B8. Los depósitos D6, D8, D9, D10 y D11 cuentan, por tanto, con un sistema de camisa intercambiadora que mantiene las disoluciones a la temperatura deseada. Además, se dispone de una boquilla rociadora específica para la limpieza del tanque D6, de la casa comercial Tank Cleaning Technologies S. L..

Una vez terminada cada limpieza química, la disolución de limpieza que queda en el depósito D6 se recircula al tanque de almacenamiento de disolución de limpieza D8 y D9 (dependiendo de si se trata de limpieza con KOH o ácido cítrico) mediante la bomba B5, hasta que el depósito

D6 esté prácticamente vacío (hasta alcanzar sensor de nivel inferior N6i). Sin embargo, el circuito queda lleno de disolución de limpieza, por lo que se impulsa con agua y se recircula al depósito D8 y D9. De esta forma, se gasta menos detergente, pero, cada vez, hay que reconstituir la concentración de la disolución de limpieza ya que este agua la irá diluyendo. Se considerará que el número máximo de veces que se puede reutilizar el detergente es de 5 veces, ya que si se supera, el detergente arrastra un exceso de suciedad y pierde su capacidad de limpiar.

6.3.4.2. DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS

En la tabla 25 se recogen los datos de las tuberías presentes en las instalaciones de la etapa de destilación osmótica. Al igual que para el resto de etapas, estas tuberías son de la casa comercial Eduardo Cortina y son de acero inoxidable AISI 316 L.

Tabla 25. Diseño de las tuberías de la etapa de destilación osmótica.

TUBERÍA	DIÁMETRO INTERIOR CALCULADO (m)	DIÁMETRO EXTERIOR SELECCIONADO (m)	ESPESOR (mm)	LONGITUD (m)
T68	0,1843	0,1540	2,0	3,0
T69	0,0614	0,0635	1,5	2,0
T70	0,0614	0,0635	1,5	2,0
T71	0,0614	0,0635	1,5	2,0
T72	0,0614	0,0635	1,5	2,0
T73	0,0614	0,0635	1,5	2,0
T74	0,0614	0,0635	1,5	2,0
T75	0,0614	0,0635	1,5	2,0
T76	0,0614	0,0635	1,5	2,0
T77	0,0614	0,0635	1,5	2,0
T78	0,0611	0,0635	1,5	3,0
T79	0,0611	0,0635	1,5	3,0
T80	0,0611	0,0635	1,5	3,0
T81	0,0611	0,0635	1,5	3,0
T82	0,0611	0,0635	1,5	3,0
T83	0,0611	0,0635	1,5	3,0
T84	0,0611	0,0635	1,5	3,0
T85	0,0611	0,0635	1,5	3,0
T86	0,0611	0,0635	1,5	3,0
T87	0,1832	0,1540	2,0	1,0
T88	0,1832	0,1540	2,0	1,0
T89	0,3646	0,3550	2,0	3,0
T90	0,3153	0,3060	2,0	3,0
T91	0,1049	0,1040	2,0	2,0

TUBERÍA	DIÁMETRO INTERIOR CALCULADO (m)	DIÁMETRO EXTERIOR SELECCIONADO (m)	ESPESOR (mm)	LONGITUD (m)
T92	0,1049	0,1040	2,0	2,0
T93	0,1049	0,1040	2,0	2,0
T94	0,1049	0,1040	2,0	2,0
T95	0,1049	0,1040	2,0	2,0
T96	0,1049	0,1040	2,0	2,0
T97	0,1049	0,1040	2,0	2,0
T98	0,1049	0,1040	2,0	2,0
T99	0,1049	0,1040	2,0	2,0
T100	0,1051	0,1040	2,0	3,0
T101	0,1051	0,1040	2,0	3,0
T102	0,1051	0,1040	2,0	3,0
T103	0,1051	0,1040	2,0	3,0
T104	0,1051	0,1040	2,0	3,0
T105	0,1051	0,1040	2,0	3,0
T106	0,1051	0,1040	2,0	3,0
T107	0,1051	0,1040	2,0	3,0
T108	0,1051	0,1040	2,0	3,0
T109	0,3153	0,3060	2,0	7,0
T110	0,1832	0,1540	2,0	7,0
T111	0,1832	0,1540	2,0	3,0
T112	0,1832	0,1540	2,0	5,0
T113	0,1832	0,1540	2,0	2,0
T114	0,1832	0,1540	2,0	2,0
T115	0,3146	0,3060	2,0	1,0
T116	0,3146	0,3060	2,0	1,0
T117	0,3153	0,3060	2,0	7,0
T118	0,3153	0,3060	2,0	1,0
T119	0,3153	0,3060	2,0	1,0
T120	0,0493	0,0510	1,0	1,0
T121	0,0493	0,0510	1,0	7,0
T122	0,0493	0,0510	1,0	7,0
T123	0,0493	0,0510	1,0	2,0
T124	0,3146	0,3060	2,0	2,0
T125	0,3146	0,3060	2,0	0,5
T126	0,1308	0,1310	2,0	5,0

6.3.4.3. DIMENSIONADO DE LAS BOMBAS

De acuerdo con los cálculos realizados en el Anexo I, la tabla 26 recoge las bombas seleccionadas. Al igual que para el resto de etapas, estas bombas son bombas centrífugas de velocidad controlada CPKN de la casa comercial KSB ITUR Spain S.A..

Tabla 26. Bombas seleccionadas para la etapa de destilación osmótica.

BOMBA	CAUDAL IMPULSADO (m ³ /s)	CARGA PROPORCIONADA (m)	BOMBA KSB SELECCIONADA
B5	0,0400	13,3683	CPKN 100-200
B6	1,166·10 ⁻¹	11,2899	CPKN 150-250
B7 y B8	2,867·10 ⁻³	7,5549	CPKN 40-160

6.3.4.4. DIMENSIONADO DE LOS DEPÓSITOS

En la tabla 27 se muestran las capacidades de cada uno de los depósitos, de acuerdo con los resultados obtenidos en el Anexo I. Al igual que para el resto de etapas, estos depósitos son de acero inoxidable AISI 316 y son de la casa Industrias Céspedes S.L..

Tabla 27. Diseño de los depósitos de la etapa de destilación osmótica.

DEPÓSITO	CAPACIDAD (L)
D8 y D9	1500
D10 y D11	1000
D12	8000

6.3.4.5. INSTRUMENTACIÓN NECESARIA

En la tabla 28 se muestra un listado de toda la instrumentación necesaria para el correcto funcionamiento de la instalación de destilación osmótica.

Tabla 28. Instrumentación empleada en el diseño de la destilación osmótica.

INSTRUMENTACIÓN	CANTIDAD
VÁLVULAS DE MARIPOSA	16
VÁLVULAS DE DOBLE ASIENTO	3
MEDIDORES DE PRESIÓN	18
MEDIDORES DE TEMPERATURA	5
MEDIDORES DE CAUDAL	11
SENSORES DE NIVEL (SUPERIOR E INFERIOR)	10

CAPÍTULO 7. ESTUDIO DE VIABILIDAD

La puesta en marcha de cualquier proyecto empresarial siempre lleva asociada una inversión, más o menos grande. Para que se trate de una inversión inteligente, es imprescindible basarse en un estudio de viabilidad que contemple todos los aspectos y perspectivas posibles del proyecto y disponga el éxito o el fracaso del proyecto. En el presente trabajo, se evalúa la viabilidad de mercado, técnica, financiera, medioambiental, social y, por supuesto, legal.

7.1. VIABILIDAD DE MERCADO

Para conocer la viabilidad de mercado, es necesario llevar a cabo un estudio de mercado. Éste permite conocer la opinión de los clientes y, por tanto, sus necesidades reales, así como la existencia y puntos débiles de productos existentes en el mercado de la competencia. De esta forma, se pueden realizar previsiones de ventas, así como ajustes en el producto fabricado. Como ya se ha comentado anteriormente, los polifenoles son compuestos de alto valor añadido, ya que se pueden obtener de corrientes residuales, como se ha hecho en el presente proyecto, y presenta un gran interés en numerosas industrias. Además, existen numerosos productos que se comercializan actualmente enriquecidos en polifenoles. Por ejemplo, existen numerosos complementos alimenticios que contienen diferentes compuestos polifenólicos para ayudar a combatir el envejecimiento y los radicales libres, vitaminas para la vista, etc. Por todo ello, se supondrá, sin más dilación, que el proyecto es viable en cuanto al mercado se refiere.

7.2. VIABILIDAD TÉCNICA

La viabilidad técnica se basa en determinar la viabilidad de un proyecto en condiciones de seguridad con la tecnología disponible, verificando numerosos factores como la durabilidad, la operatividad, las necesidades de suministros, etc. En efecto, el estudio de viabilidad técnica responde a las cuestiones: ¿Dónde?, con la que se determina el emplazamiento óptimo de la planta, decisión crítica en el diseño básico de una planta industrial, ¿Cuánto?, con la que se analiza el tamaño de la planta, ¿Con qué?, con la que se determina la disponibilidad y los costes de los suministros de electricidad, agua, materias primas, etc, y, por último, ¿Cómo?, con la que se describe el proceso productivo y se determina la organización humana y jurídica.

En el presente proyecto, se considera que la planta diseñada se instala en una industria de elaboración de aceite de oliva, ya existente, que dispone de espacio suficiente para posibles ampliaciones, suministros de electricidad, agua y materias primas ya presentes y disponibilidad de mano de obra. Además, el sector de tratamiento de aguas residuales mediante tecnología de membranas está ampliamente desarrollado, por lo que se puede consultar bibliografía y documentos científicos para responder a dichas preguntas y confirmar la viabilidad técnica. Por ello, queda demostrada la viabilidad técnica del proyecto.

7.3. VIABILIDAD FINANCIERA

El análisis de la viabilidad financiera pretende determinar cuáles son los recursos económicos propios y ajenos necesarios para la instalación de la planta, cuál es el coste total de explotación de la planta, cuáles son los ingresos de explotación de la planta y, por tanto, el beneficio obtenido, indispensables para llevar a cabo el estudio económico. Este último se puede hallar en el Capítulo 8 de la memoria descriptiva.

El presente proyecto se basa en una planta de separación y concentración mediante un sistema integrado de separación por membranas, que combina técnicas convencionales con técnicas no convencionales. De acuerdo con los cálculos del Anexo I, con el sistema integrado de membranas diseñado, se alcanza un rendimiento del 36,58% en cuanto a la recuperación total de polifenoles y, en particular, un rendimiento de hasta el 40,16% para el hidroxitirosol y se alcanza un 1,05% de pureza (w/w) en el rechazo final. Todo ello, se obtiene con bajos costes de explotación. Además, los compuestos fenólicos son compuestos de elevado valor añadido, de gran interés en numerosas industrias como la industria alimentaria, farmacéutica o cosmética, por lo que se obtienen elevados ingresos. Además, los rechazos de las etapas de MF y NF pueden ser reutilizados como fertilizantes o en la producción de biogás en reactores anaerobios, mientras que el permeado de la destilación osmótica es básicamente agua, perfectamente reutilizable en otras etapas del proceso productivo. Por ello, se concluye que el proyecto es económicamente viable.

7.4. VIABILIDAD MEDIOAMBIENTAL

El análisis de la viabilidad medioambiental consiste en determinar el impacto medioambiental que provoca la implantación de esta nueva planta.

Como ya se ha comentado previamente, la planta diseñada es una ampliación dentro de una industria ya existente de elaboración de aceite de oliva. En esta nueva planta, se separa y concentra una corriente residual de la elaboración de aceite de oliva en compuestos fenólicos, potentes antioxidantes, para su posterior utilización en productos alimenticios, farmacéuticos o cosméticos. Con ello, se consigue tratar y revalorizar el alpechín, prescindir de balsas de evaporación, que a menudo implican la obtención de grandes cantidades de lodos que han de ser llevados a vertederos, disminuir los vertidos de aguas residuales y, además, se disminuye el contenido en polifenoles de estos últimos, lo que es beneficioso para el medio ambiente ya que se rebaja el carácter fitotóxico y antibacteriano y se disminuyen los riesgos de formación de capas de grasas susceptibles de afectar a la fauna y a la flora. Además, los rechazos de la microfiltración y de la nanofiltración pueden emplearse como fertilizantes o en la producción de biogás en reactores anaerobios, de manera que todas las fracciones del alpechín son revalorizadas y no se producen grandes vertidos en la planta. No obstante, sí que aumentarán temporalmente las emisiones de ruido y partículas al medioambiente, únicamente durante la fase de obras. Por ello, se concluye que el proyecto es viable desde el punto de vista medioambiental.

7.5. VIABILIDAD SOCIAL

El análisis de la viabilidad social se basa en determinar en qué medida el proyecto es beneficioso o perjudicial en la calidad de vida de los habitantes de la zona. Por falta de datos, este punto es

difícil de determinar. Sin embargo, cabe destacar que con esta nueva técnica implantada en la planta, se recuperan los polifenoles del agua residual que posteriormente serán empleados como potentes antioxidantes en productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos, aptos para el consumo humano, por lo que se mejora la calidad de vida. Además, con esta nueva planta, se prescinde de balsas de evaporación, por lo que se eliminan problemas de malos olores y proliferación de insectos, lo que afecta de forma positiva a las personas. Por ello, se concluye que el proyecto es viable desde el punto de vista social.

7.6. VIABILIDAD LEGAL

Por último, es indispensable llevar a cabo el análisis de la viabilidad legal con el que se determina si existe algún tipo de impedimento legal que obligue a detener el proyecto. En primer lugar, es imprescindible que la empresa disponga de todas las licencias municipales de edificación así como de los visados técnicos necesarios. Además, la nueva planta ha de cumplir con las normas de seguridad en cuanto a maquinaria, higiene, riesgos laborales, etc. Toda la normativa sobre la que se basa el presente proyecto se encuentra recogida en el Capítulo 5 de la memoria descriptiva. Por ello, se concluye que el proyecto es legalmente viable.

CAPÍTULO 8. ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado se analizan, en primer lugar, los gastos de explotación de la instalación. Para ello, se calcularán tanto los costes variables, debidos al uso de materias primas, electricidad, agua, mano de obra y mantenimiento de los equipos, como los costes fijos, correspondientes a la amortización de la instalación. Además, se tendrán en cuenta los gastos de inversión de la instalación, que se recogen en el documento del Presupuesto. Conocidos los ingresos de explotación, se hallará finalmente el beneficio obtenido.

8.1. DATOS DE PARTIDA

La planta industrial diseñada se centra en la separación y concentración de polifenoles a partir del alpechín procedente de la industria de elaboración de aceite de oliva, luego su producción depende en gran medida del proceso de elaboración de aceite de oliva. Como ya se ha comentado anteriormente, la recolección de las olivas se lleva a cabo de finales de noviembre a finales de febrero. Para evitar la degradación y fermentación de las olivas recolectadas, éstas se procesan en menos de 24 horas, por lo que se supondrá que el proceso de elaboración de aceite de oliva se lleva a cabo al día siguiente de la recolección. Además, la elaboración de aceite de oliva se hace mediante el método continuo de 3 fases, mientras que la primera etapa de microfiltración se lleva a cabo en discontinuo, por lo que los 38 500 litros de alpechín producidos en un día se almacenan en un depósito intermedio D1 para ser procesados por microfiltración al día siguiente. De esta forma, la planta únicamente trabajará durante estos 3 meses del año, es decir, durante 12 semanas al año y 5 días a la semana, luego 60 días al año.

En primer lugar, la microfiltración del alpechín tiene una duración de 7,41 horas. Pasado este tiempo, se procede a la limpieza de las membranas, en la que se dedican 30 minutos para un primer aclarado con agua de red de las membranas, 30 minutos para una limpieza con una disolución de 20 g/L de NaOH a 40 °C y otros 30 minutos para un último aclarado con agua de red, haciendo un total de 1 hora y 30 minutos.

A medida que el alpechín es microfiltrado, el permeado de la microfiltración se traslada de forma continua a la etapa de nanofiltración, ya que esta última trabaja en continuo durante 7,96 horas al día. Esta diferencia de tiempo entre la etapa de MF y la de NF conlleva a la necesidad de emplear un depósito intermedio D4. Además, la limpieza de las membranas de nanofiltración tiene una duración de 1 hora y 30 minutos, en la que se lleva a cabo un primer aclarado con agua de red durante 30 minutos, una limpieza con una disolución de 1 g/L de NaOH a 40 °C durante 30 minutos y un último aclarado con agua de red durante 30 minutos.

Finalmente, la etapa de destilación osmótica opera de forma discontinua, por lo que el permeado de la NF se almacena en un depósito intermedio D6 para ser procesado por destilación osmótica al día siguiente. Esta última tiene una duración de 7,53 horas. Una vez terminada, se procede a la limpieza de las carcasas y de las fibras, con una duración total de 3 horas y 30 minutos. Para ello, se lleva a cabo un aclarado con agua destilada a temperatura ambiente durante 30 minutos, tanto en las carcasas como en las fibras. A continuación, se limpia la carcasa con una disolución al 2% de KOH a 40 °C durante 1 hora y las fibras con agua destilada a 40 °C durante 1 hora. Después, se aclaran las carcasas y las fibras con agua destilada a

temperatura ambiente durante 30 minutos. A continuación, se limpian las carcasas con una disolución al 2% de ácido cítrico a 40 °C durante una hora, mientras que se limpian las fibras con agua destilada a 40 °C durante 1 hora. Finalmente, se vuelven a enjuagar, tanto carcasas como fibras con agua destilada a temperatura ambiente durante 30 minutos.

Finalmente, por cada 38 500 litros de alpechín iniciales con una concentración en polifenoles de 211,8 ppm, se obtienen 6 047,82 litros de disolución enriquecida en polifenoles con una concentración de los mismos de 493,01 ppm.

8.2. GASTOS DE EXPLOTACIÓN

8.2.1 COSTES VARIABLES

- Coste de los productos químicos

Las materias primas necesarias para el funcionamiento de la planta son los reactivos necesarios para la preparación y reconstitución de las disoluciones de limpieza.

La tabla 29 recoge las cantidades de reactivos que se requieren en un año para la preparación y reconstitución de las disoluciones de limpieza, de acuerdo con los cálculos del Anexo I.

Tabla 29. Coste de los productos químicos.

REACTIVO	CONSUMO ANUAL	PRECIO UNITARIO	COSTE ANUAL (€/año)
NaOH Hidróxido de sodio en perlas (Código Panreac 211929.0416)	3 844,97 kg/año	3,97 €/kg ⁽¹⁾	15 264,53
KOH Hidróxido de potasio en lentejas BioChemica (Código Panreac A3871,1000)	722,40 kg/año	35,05 €/kg	25 320,12
Ácido cítrico anhidro puro Grado Farma (Código Panreac 141808.0416)	722,40 kg/año	8,26 €/kg ⁽²⁾	5 967,02
Agua destilada Grado Farma (Código Panreac 141074.1315)	48 007 440 L/año	0,26 €/L ⁽³⁾	12 481 934,40
TOTAL			12 528 486,07

⁽¹⁾ La determinación del precio del paquete de 25 kg de perlas de NaOH se halla suponiendo un 50% de descuento por volumen respecto del precio del paquete de 10 kg que cuesta 79,44 €. En efecto, si el precio se mantuviese, el paquete de 25 kg debería de costar 198,6 €. Sin embargo, se supone que se obtiene un descuento por volumen del 50% por lo que el paquete de 25 kg cuesta 99,3 €, luego el precio unitario es de 3,97 €/kg.

⁽²⁾ La determinación del precio del paquete de 25 kg de ácido cítrico se halla suponiendo un 70% de descuento por volumen respecto del precio del paquete de 5 kg que cuesta 137,62 €. En efecto, si el precio se mantuviese, el paquete de 25 kg debería de costar 688,1 €. Sin embargo, se supone que se obtiene un descuento por volumen del 70% por lo que el paquete de 25 kg cuesta 206,43 €, luego el precio unitario es de 8,97 €/kg.

⁽³⁾ La determinación del precio del litro de agua destilada se halla suponiendo hasta un 95% de descuento por volumen respecto del precio del paquete de 10 L que cuesta 51,43 €. Suponiendo esto, el precio unitario del agua destilada es de 0,26 €/L.

- Coste de reposición de membranas y filtros

También deben tenerse en cuenta los costes por la reposición de equipos desgastados, como las membranas o el filtro de cartuchos. Las membranas orgánicas tienen una vida útil de aproximadamente 5 años, por lo que se reemplazarán 1 de cada 5 años, por lo que el coste anual que se alcanza es del 20%, mientras que las membranas inorgánicas tienen una vida útil de aproximadamente 10 años, por lo que se reemplazarán 1 de cada 10 años, por lo que el coste anual que se alcanza es del 10%. Por otro lado, los filtros de cartuchos suelen sustituirse cada año, con el fin de evitar la proliferación de microorganismos en su interior. En la tabla 30 se recogen, por tanto, los costes debidos a la reposición de membranas y filtros de cartuchos.

Tabla 30. Costes de sustitución de equipos.

EQUIPO A REPONER	CONSUMO ANUAL (ud/año)	PRECIO UNITARIO (€/ud)	COSTE ANUAL (€/año)
MEMBRANAS DE MF	8 x 0,20	7 611,60	12 178,56
MEMBRANAS DE NF	103 x 0,10	540,24	5 564,47
MEMBRANAS DE OD	9 x 0,20	8 484,25	15 271,65
FILTRO DE CARTUCHOS 10 µm	1	3 554,61	3 554,61
TOTAL			36 569,29

⁽¹⁾ Únicamente se reponen las membranas, de manera que se determina el precio de la membrana de MF suponiendo que el 75% del coste del módulo completo (módulo y membrana) corresponde al coste de la membrana. Así, el coste de la membrana de MF es de 7 611,60 €.

- Coste de agua de red y eléctrico

La tabla 31 recoge el volumen de agua de red que se requiere en un año para las etapas de aclarado de las membranas de MF y NF, así como el consumo de energía requerido para el bombeo y agitación, de acuerdo con el Anexo I.

Tabla 31. Coste de agua de red y eléctrico.

NECESIDAD	CONSUMO ANUAL	PRECIO UNITARIO	COSTE ANUAL (€/año)
Agua de red	755,20 m ³ /año	0,48 €/m ³ ⁽¹⁾	362,50
Potencia	45032,6 kW·h/año	0,04 €/kW·h ⁽²⁾	1801,30
TOTAL			2 163,80

⁽¹⁾ El precio unitario del agua de red se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, que establece un precio medio del agua de red de 0,53 \$/m³, que considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 0,48 €/m³.

⁽²⁾ Basándose en el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, el precio de la electricidad es de alrededor de 0,045 \$/kW·h que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es igual a 0,04 €/kW·h.

- Coste de la mano de obra

La puesta en marcha y funcionamiento de la planta de separación y concentración de polifenoles a partir de alpechín requiere la incorporación de 3 empleados nuevos: un técnico de laboratorio, que lleva a cabo la toma de muestras y su análisis, un técnico industrial, responsable de mantenimiento y encargado de gestionar los quipos, planificar el mantenimiento, supervisar y controlar el correcto funcionamiento de la maquinaria, realizar informes técnicos e implantar y controlar las mejores aplicable al proceso productivo, y, por último, un técnico de

mantenimiento, cuya función es mantener y reparar la maquinaria industrial, optimizar los equipos y llevar a cabo las tareas de mantenimiento preventivo/correctivo. En la tabla 32 se recoge el cálculo del coste de mano de obra.

Tabla 32. Coste de la mano de obra.

PERSONAL	HONORARIOS (8 h/día; 40 h/semana) (€/mes)	COSTE ANUAL ⁽⁴⁾ (€/año)
TÉCNICO DE LABORATORIO	1 200 ⁽¹⁾	3 600
TÉCNICO INDUSTRIAL	2 100 ⁽²⁾	6 300
OPERARIO DE MANTENIMIENTO	1 500 ⁽³⁾	4 500
TOTAL		14 400

⁽¹⁾ Precio basado en un salario de técnico de laboratorio mínimo de 17 000€/año, equivalentes a unos 1 200 €/mes (http://www.sepe.es/contenidos/observatorio/perfiles/pdf/Tecnicos_de_laboratorio_en_quimica_industrial.pdf)

⁽²⁾ Precio basado en un salario de ingeniero técnico máximo de 30 000€/año, equivalentes a unos 2 100 €/mes (http://www.pagepersonnel.es/productsApp_pp_es/Estudios%20Remuneracion/er_ingenieros.pdf)

⁽³⁾ Precio basado en un salario de formación profesional grado medio máximo de 22 000€/año, equivalentes a unos 1 500 €/mes (http://www.pagepersonnel.es/productsApp_pp_es/Estudios%20Remuneracion/er_ingenieros.pdf)

⁽⁴⁾ El coste anual se determina simplemente multiplicando por el número de meses que trabajan al año, es decir, multiplicando por 3.

- Coste de supervisiones operativas y asistencia administrativa

También, hay que considerar un coste relacionado con la supervisión y la asistencia administrativa de la planta. Éste depende de muchos factores como la complejidad y calidad del producto fabricado. Sin embargo, de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, este coste suele ser de alrededor de un 15% del coste de la mano de obra, luego el coste de dichas supervisiones y asistencia administrativa es de 2 160 €.

- Coste del mantenimiento y suministros operativos

Además, hay que tener en cuenta el mantenimiento de las instalaciones. Éste está acordado previamente con los fabricantes de los equipos mediante un contrato de mantenimiento firmado por ambas partes. Se basa en el mantenimiento y reparación de los equipos, que constituye, de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, alrededor de un 7% del presupuesto de ejecución material, por lo que asciende hasta los 375 210,40 €.

Además, hay que incluir un gasto relacionado con los suministros operativos como pueden ser productos químicos para la toma de muestras o testeos. Este gasto supone, de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, un 15% del coste total del mantenimiento, por lo que es de 56 281,56 €.

8.2.2. COSTES FIJOS: AMORTIZACIÓN

El coste fijo de la instalación corresponde a la amortización de la planta diseñada. Su cálculo se basa en el presupuesto total de ejecución por contrata que, de acuerdo con el presupuesto, asciende hasta 6 378 576,81 €. Tomando un plazo de amortización típico de las instalaciones de

membranas de 15 años y aplicando el método de amortización lineal, se determina que el coste de la amortización es de 425 238,45 €/año.

8.2.3. GASTOS DE EXPLOTACIÓN TOTALES

Finalmente, los gastos de explotación corresponden a la suma de los costes fijos y los costes variables. La tabla 33 recoge el cálculo de los gastos de explotación.

Tabla 33. Gastos de explotación totales.

TIPO DE COSTE	CONCEPTO	COSTE ANUAL (€/año)
COSTES VARIABLES	Materias primas	12 528 486,07
	Reposición de membranas y filtros	36 569,29
	Agua y electricidad	2 163,80
	Mano de obra	14 400,00
	Supervisiones y asistencia administrativa	2 160,00
	Mantenimiento y suministros	375 210,40
COSTES FIJOS	Amortización	425 238,45
TOTAL		13 384 228,01

8.3. INGRESOS DE EXPLOTACIÓN

Los ingresos de explotación se basan principalmente en los ingresos por ventas del producto. Para ello, se determina la cantidad mínima de ventas anuales y el precio de venta.

De acuerdo con los cálculos del anexo I, se obtiene un caudal de rechazo de la destilación osmótica igual a 6047,82 L/día. Este rechazo está principalmente constituido por polifenoles y tiene una concentración de 493,01 ppm, donde más del 50% es hidroxitirosol, con una concentración de 276 ppm. Así, se obtienen 1 669 198,32 mg de hidroxitirosol al día.

Para el cálculo de los ingresos, se toma como base el complemento alimenticio Hidroxinua25. Cada perla de Hidroxinua25 está compuesta por 25 mg de hidroxitirosol (contenidos en 170 mg de extracto de aceituna) y 107 mg de aceite de cártamo. Cada envase de 90 perlas tiene un precio de 32,50 €. Se supone que el 99% de este precio corresponde al precio del hidroxitirosol, de manera que el precio del hidroxitirosol es de 32,2 €/envase, es decir, 0,0143 €/mg de hidroxitirosol. Con la producción de 1 669 198,32 mg de hidroxitirosol al día, se obtienen 23 869,54 € al día que, trabajando 60 días al año, constituye unos ingresos anuales de 1 432 172,16 € al año.

8.4. BENEFICIO

El beneficio bruto anual se determina como la diferencia entre los ingresos anuales y el coste de explotación total, y es de -11 952 055,85 €/año. El beneficio neto anual se calcula como el beneficio bruto descontando los impuestos que se deben pagar por los ingresos obtenidos que se toman de aproximadamente el 27% de los ingresos obtenidos, es decir, 386 686,48 €. Así pues, el beneficio neto anual es de -12 338 742,33 €/año.

Así pues, el periodo de recuperación de la inversión se calcula como el cociente entre el coste de inversión total y el beneficio neto. En este caso, como se producen pérdidas anuales muy significativas, no existe la posibilidad de recuperar la inversión efectuada. Dichas pérdidas se deben a que los ingresos obtenidos por las ventas de hidroxitirosol son muy inferiores a los costes de explotación con los que se trabaja. Por lo tanto, el proceso de obtención de polifenoles mediante el proceso diseñado no resulta rentable.

CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES

En el presente proyecto se ha llevado a cabo el diseño de una planta industrial para la separación y concentración de polifenoles a partir de alpechín, empleando un sistema integrado de membranas e incluyendo una destilación osmótica, método no convencional de separación por membranas.

- El diseño se ha realizado para una producción diaria de 38500 litros de alpechín, que corresponde con la producción de la empresa Olisoy, situada en el polígono industrial El Bovalar, en Alaquás, Valencia. Esta corriente tiene una concentración de 211,8 ppm y una pureza de polifenoles con respecto al resto de solutos del 0,29 % (w/w).
- El proceso integrado de membranas que se ha seleccionado consiste en una primera etapa de microfiltración, cuyo permeado se alimenta a la siguiente etapa de nanofiltración, cuyo permeado se alimenta a la última etapa de destilación osmótica.
- La membrana de microfiltración requiere un área de 68,75 m², la membrana de nanofiltración requiere un área de 584,375 m² para procesar el permeado de la microfiltración y, por último, la membrana de destilación osmótica requiere un área de 3161,36 m² para procesar el permeado de la nanofiltración.
- Finalmente, con este proceso integrado se obtiene un caudal de 6047,82 litros al día de corriente final, enriquecida en polifenoles (493,01 ppm), que presenta un aumento de pureza de polifenoles del 262% (pureza de la corriente final del 1,05% y con numerosas aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética).
- Además, las corrientes de rechazo de la microfiltración y de la nanofiltración pueden ser empleados como fertilizantes o en la producción de biogás en reactores anaerobios.
- De acuerdo con el presupuesto, el coste total de inversión de la planta es de 8 026 801,06 €, mientras que los costes totales de explotación alcanzan los 13 384 228,01 € anuales.
- De acuerdo con los cálculos del estudio económico, los ingresos por ventas son de 1 432 172,16 € anuales. Así pues, se producen pérdidas anuales muy significativas que a su vez impiden la recuperación de la inversión efectuada.
- Por último, se toma como base para la realización del proyecto la viabilidad de mercado, técnica, financiera (si bien en el presente proyecto se dan pérdidas), medioambiental, social y legal.

CAPÍTULO 10. BIBLIOGRAFÍA

- Akdemir, E.O., Ozer, A., 2009. Investigation of two ultrafiltration membranes for treatment of olive mill wastewaters. *Desalination* 249, 660-666.
- Borsani, R., Ferrando, B., 1996. Ultrafiltration plant for olive vegetation waters by polymeric membrane batteries. *Desalination* 108, 281-286.
- Canepa, P., Marignetti, N., Rognoni, U., Calgari, S., 1988. Olive mill wastewater treatment by combined membrane processes. *Water Research* 22, 1491-1494.
- Cegarra, J., Paredes, C., Roig, A., Bernal, M. P., Garcia, D., 1996. Use of olive mil wastewater compost for crop production. *International Biodeterioration and Biodegradation* 38, 193-203.
- Chimi, H., Rahmani, M., Cillard, J., Cillard, P., 1990. Autooxidation des huiles d'olive: Rôle des composés phénoliques, *Rev. Franç. Corps Gras* 37, 363-367.
- Courel, M., Dornier, M., Rios, G. M. M., Reynes, 2000. Modelling of water transport in osmotic distillation using asymmetric membrane, *J. Membr. Sci.* 173, 107-122.
- Curcio, E., Di Profio, G., Drioli, E., 2010. Membrane distillation and osmotic distillation, in: *Comprehensive Membrane Science and Engineering*, Elsevier.
- De Marco, E., Savarese, M., Paduano, A., Sacchi, R., 2007. Characterization and fractionation of phenolic compounds extracted from olive mil wastewaters. *Food Chemistry* 104, 858-867.
- Drioli, E., Criscuoli, A., Curcio, E., 2006. *Membrane Contactors: Fundamentals, Applications and Potentialities*. Elsevier, Amsterdam.
- El-Abbassi, A., Hafidi, A., Khayet, M., García-Payo, M. C., 2013. *Desalination* 323, 31-38.
- El-Abbassi, A., Hafidi, A., Khayet, M., García-Payo, M. C., Khayet, M., 2009. *Desalination* 245, 670-674.
- Galanakis, C. M., Tornberg, E., Gekas, V., 2010. Clarification of high-added value products from olive mill wastewater, *J. Food Eng.* 99, 190-197.
- García-Castello, E., Cassano, A., Criscuoli, A., Conidi, C., Drioli, E., 2010. Recovery and concentration of polyphenols from olive mil wastewaters by integrated membrane system, *Water Research* 44, 3883-3892.
- García-Payo, M. C., Essalhi, M., Khayet, M., García-Fernández, L., Charfi, K., Arafat, H., 2010. Water desalination by membrane distillation using PVDF-HFP hollow fiber membranes, *Membr. Water Treat.* 2, 215-230.
- Gebreyohannes, A. Y., Curcio, E., Peorio, T., Mazzei, R., Di Profio, G., Drioli, E., Giorno, L., 2015. *Separation and Purification Technology* 147, 292-302.
- Gebreyohannes, A. Y., Mazzei, R., Curcio, E., Peorio, T., Drioli, E., Giorno, L., 2013. Study on the in situ enzymatic self-cleansing of microfiltration membrane for valorization of olive mill wastewater, *Ind. Eng. Chem. Res.* 52, 10396-10405.

- Hogan, P. A., Canning, R. P., Peterson, P. A., Johnson, R. A., Michaels, A. S., 1998. A new option: osmotic distillation, *Chem. Eng. Prog.* 94, 490-61.
- Jarboui, R., Chtourou, M., Azri, C., A., Gharsallah, N., Ammar, E., 2010. Time-dependent evolution of olive mill wastewater sludge organic and inorganic components and resident microbiota in multi-pond evaporation system. *Bioresource Technology* 101, 5749-5758.
- Jarboui, R., Sellami, F., Kharrouibi, A., Gharsallah, N., Ammar, E., 2008. Olive mill wastewater stabilization in open-air ponds: impact on clay-sandy soil. *Bioresource Technology* 99, 7699-7708.
- Lefebvre, M. S. M., 1988. Method of performing osmotic distillation, United States Patent 4,781-837.
- Mansouri, J., Fane, A.G., 1998. Membrane development for processing of oily feeds in IMD, osmotic distillation: developments in technology and modelling, in: *Proceedings of the Workshop on "Membrane Distillation, Osmotic Distillation and Membrane Contactors"*, CNRIRMERC, 2-4 July, Cetraro, Italy.
- Mantzavinos, D., Kalogerakis, N., 2005. Treatment of olive mil effluents. Parte I. Organic matter degradation by chemical and biological processes – an overview. *Environmental International* 31, 289-295.
- McCutcheon, J. R.; McGinnis, R. L.; Elimelech, M., 2005. A novel ammonia—carbon dioxide forward (direct) osmosis desalination process. *Desalination* 174: 1–11.
- Molinari, R., Drioli, E., 1988. Processi integrati di ultrafiltrazione e osmosi inversa del trattamento delle acque da frantoi oleari. *Acqua-Aria* 5, 579-588.
- Paraskeva, C.A., Papadakis, V.G., Kanellopoulou, D.G., Koutsoukos, P.G., Angelopoulos, K.C., 2007a. Membrane filtration of olive mill wastewater (OMW) and OMW fractions exploitation. *Water Environment Research* 79, 421-429.
- Qtaishat, M., Khayet, M., Matsuura, T., 2009. Novel porous composite hydrophobic/hydrophilic polysulfone membranes for desalination by direct contact membrane distillation, *J. Membr. Sci.* 341, 139-148.
- Radu, A. I., van Steen, M. S. H., Vrouwenvelder, J. S., van Loosdrecht, M. C. M., Picioreanu, C., 2014. *Water Research* 64, 160-175.
- Roig, A., Cayuela, M. L. Sánchez-Monedero, M. A., 2006. An overview on olive mil wastes and their valorization methods. *Waste Management* 26, 960-969.
- Russo, C., 2007. A new membrane process for the selective fractionation and total recovery of polyphenols, water and organic substances from vegetation waters (VW). *Journal of Membrane Science* 288, 239-246.
- Sierra, J., Martí, E., Montserrat, G., Cruañas, R., Garau, M. A., 2000.
- Stoller, M., 2008. Technical optimization of a dual ultrafiltration and nanofiltration pilot plant in batch operation by means of the critical flux theory: a case study. *Chemical Engineering and Processing* 47, 1165-1170.
- Stoller, M., Bravi, M., 2010. Critical flux analyses on differently pretreated olive vegetation waste water streams: some case studies. *Desalination* 250, 578-582.

Tuck, K. L., Hayball, P. J., 2002. Major phenolic compounds in olive oil: metabolism and health effects, *J. Butr. Biochem.* 13, 636-644.

Turano, E., Curcio, S., De Paola, M.G., Calabrò, V., Iorio, G., 2002. An integrated centrifugation-ultrafiltration system in the treatment of olive mill wastewater. *Journal of Membrane Science* 209, 519-531.

Haynes, W. M., *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press.

Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., 1991. *Planta Design and Economics for Chemical Engineers*, McGraw Hill Higher Education, Nueva York.

<http://hera.ugr.es/tesisugr/16712183.pdf>

<http://www.agua.imdea.org/investigacion/proyectos-de-investigacion/tecnologia-de-membranas>

http://www.elpais.com/diario/2006/01/30/andalucia/1138576938_850215.html

<http://www.inopor.com/en/products/membranes.html>

<http://www.panreac.com>

<http://www.ugr.es/~aulavirtualpfc/q/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf>

ANEXO I. ECUACIONES Y CÁLCULOS

ANEXO I. ECUACIONES Y CÁLCULOS

1. ECUACIONES Y CÁLCULOS PARA LAS ALTERNATIVAS DE SEPARACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES MEDIANTE TÉCNICAS NO CONVENCIONALES DE SEPARACIÓN POR MEMBRANAS

Para llevar a cabo la comparación de las distintas alternativas, se calcula el rendimiento en la recuperación de polifenoles, el factor de concentración de dichos compuestos y la pureza de los polifenoles respecto al resto de solutos.

El rendimiento se calcula mediante la ecuación (1):

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{masa de polifenoles en la corriente final}}{\text{masa de polifenoles en la corriente inicial}} \cdot 100 \quad (1)$$

El factor de concentración FC se halla mediante la ecuación (2):

$$\text{FC} = \frac{\text{concentración de compuesto en la corriente final}}{\text{concentración de compuesto en la corriente inicial}} \quad (2)$$

La pureza de los polifenoles en cada corriente representa el porcentaje polifenoles en dicha corriente respecto a los solutos totales, y se calcula siguiendo la ecuación (3):

$$\text{Pureza} = \frac{\text{cantidad de polifenoles}}{\text{cantidad de solutos totales}} \cdot 100 \quad (3)$$

1.1. ALTERNATIVA 1 – Sistema integrado de membranas: Microfiltración, Nanofiltración y Destilación Osmótica

La tabla 1 que se muestra a continuación recoge la composición tanto de la corriente de alimento como la de rechazo de la destilación osmótica. Algunos datos de la tabla 1 se obtienen al realizar los correspondientes balances de materia para las corrientes de alimentación, rechazo y permeado.

Tabla 1. Composición de la corriente de alimentación y de la corriente de rechazo de la destilación osmótica para la Alternativa 1.

COMPUESTO	ALIMENTACIÓN	RECHAZO DESTILACIÓN OSMÓTICA
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN TOTALES (SST) (g/kg)	17,60	0,00
AZÚCARES (° Brix)	5,44	4,64
POLIFENOLES TOTALES (ppm)	211,80	493,01
HIDROXITIRO SOL (ppm)	108,00	276,00
TIROSOL (ppm)	15,00	53,50

Además, los volúmenes de la corriente de alimento y de la corriente de rechazo de la destilación osmótica se encuentran en la tabla 2.

Tabla 2. Volúmenes de las disoluciones correspondientes al sistema integrado de membranas de la Alternativa 1.

CORRIENTE	VOLUMEN (L)
ALIMENTACIÓN	7,0
RECHAZO DESTILACIÓN OSMÓTICA	1,1

Con los datos de las tablas 1 y 2 se ha determinado el rendimiento en la recuperación de los compuestos fenólicos:

- POLIFENOLES TOTALES:

$$\text{Rendimiento} = \frac{493,01 \text{ ppm} \cdot 1,1 \text{ L}}{211,80 \text{ ppm} \cdot 7 \text{ L}} \cdot 100 = 36,58\%$$

$$\text{FC} = \frac{493,01 \text{ ppm}}{211,80 \text{ ppm}} = 2,33$$

- HIDROXITIRO SOL:

$$\text{Rendimiento} = \frac{276,00 \text{ ppm} \cdot 1,1 \text{ L}}{108,00 \text{ ppm} \cdot 7 \text{ L}} \cdot 100 = 40,16\%$$

$$\text{FC} = \frac{276,00 \text{ ppm}}{108,00 \text{ ppm}} = 2,56$$

- TIROSOL:

$$\text{Rendimiento} = \frac{53,5 \text{ ppm} \cdot 1,1 \text{ L}}{15 \text{ ppm} \cdot 7 \text{ L}} \cdot 100 = 56,05\%$$

$$\text{FC} = \frac{53,5 \text{ ppm}}{15 \text{ ppm}} = 3,57$$

Teniendo en cuenta que 1 ° Brix equivale a 1g de azúcar por 100 g de disolución, se calcula la pureza de los polifenoles tanto en la corriente de alimento como en la corriente de rechazo de la destilación osmótica.

$$\text{Pureza}_{\text{Alimento}} = \frac{211,80 \cdot 10^{-3} \text{g} \frac{\text{polifenoles}}{\text{kg}}}{17,60 \text{g} \frac{\text{SST}}{\text{kg}} + 54,40 \text{g} \frac{\text{azúcares}}{\text{kg}} + 211,80 \cdot 10^{-3} \text{g} \frac{\text{polifenoles}}{\text{kg}}} \cdot 100 = 0,29\%$$

$$\text{Pureza}_{\text{Rechazo Final}} = \frac{493,01 \cdot 10^{-3} \text{g} \frac{\text{polifenoles}}{\text{kg}}}{0,00 \text{g} \frac{\text{SST}}{\text{kg}} + 46,40 \text{g} \frac{\text{azúcares}}{\text{kg}} + 493,01 \cdot 10^{-3} \text{g} \frac{\text{polifenoles}}{\text{kg}}} \cdot 100 = 1,05\%$$

1.2. ALTERNATIVA 2 – Sistema integrado de membranas: Filtración Convencional, Microfiltración, Ósmosis Directa 1, Ultrafiltración y Ósmosis Directa 2

En la tabla 3 se recoge la composición de la corriente de alimentación una vez sometida a la filtración convencional.

Tabla 3. Composición de la corriente de alimentación después de haber sido sometida a la filtración convencional para la Alternativa 2 (adaptada de Gebreyohannes et al., 2015).

COMPUESTO	CONCENTRACIÓN
Ca ²⁺ (ppm)	560
Mg ²⁺ (ppm)	160
K ⁺ (ppm)	390
Mn ²⁺ (ppm)	99
Fe ²⁺ (ppm)	40
Cu ²⁺ (ppm)	300
Zn ²⁺ (ppm)	34
PECTINAS (ppm)	300
SÓLIDOS TOTALES (ST) (mg/kg)	100 000
POLIFENOLES TOTALES (ppm)	830

Conocida la composición de la alimentación prefiltrada, se calcula la pureza de los polifenoles presentes en dicha corriente, mediante la ecuación (3):

$$\text{Pureza}_{\text{Alimento}} = \frac{830 \text{mg} \frac{\text{polifenoles}}{\text{kg}}}{100\,000 \text{mg} \frac{\text{ST}}{\text{kg}}}$$

$$\text{Pureza}_{\text{Alimento}} = 0,83\%$$

- ETAPAS DE FILTRACIÓN CONVENCIONAL Y MICROFILTRACIÓN:

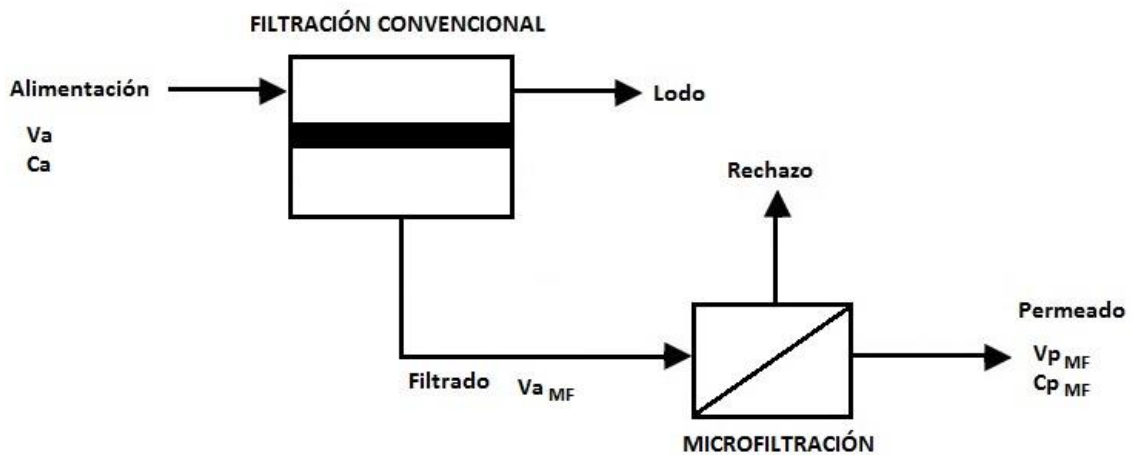


Figura 1. Etapas de filtración convencional y microfiltración para la Alternativa 2.

El volumen de permeado de la microfiltración $V_{p_{MF}}$ coincide con el volumen de alimento de la primera etapa de ósmosis directa y es igual a 500 mL. Además, se conoce que la recuperación de la microfiltración es del 92%, de modo que el volumen de alimentación de la etapa de microfiltración es:

$$V_{a_{MF}} = \frac{V_{p_{MF}}}{0,92} = 543,48 \text{ MI}$$

- ETAPA DE ÓSMOSIS DIRECTA 1:

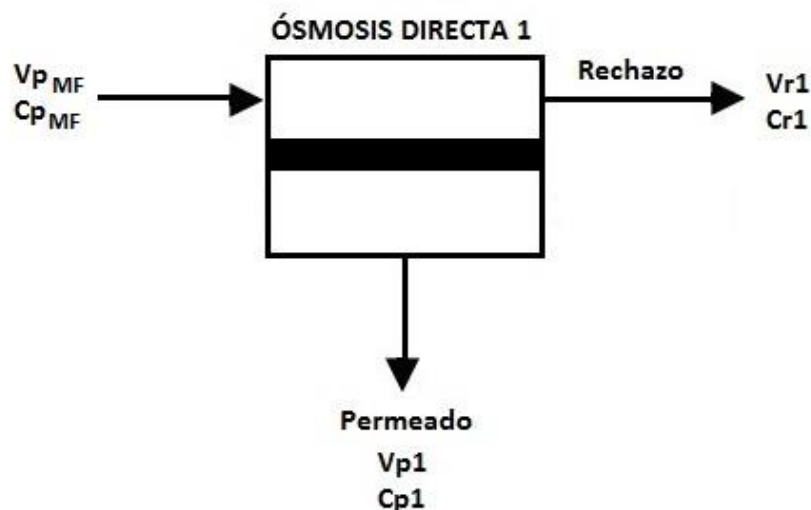


Figura 2. Etapa de ósmosis directa 1 para la Alternativa 2.

Esta primera etapa de ósmosis directa resulta en una reducción de volumen de un 71%, por lo que el volumen de rechazo obtenido es el siguiente:

$$V_{r1} = (1 - 0,71) \cdot V_{p_{MF}} = 157,61 \text{ mL}$$

Con un balance de materia se halla el volumen de permeado generado:

$$V_{p1} = V_{p_{MF}} - V_{r1} = 385,87 \text{ mL}$$

Además, cuando se trabaja en concentración por cargas, la concentración final en el rechazo se calcula mediante la ecuación (4):

$$C_f = C_i \cdot \left(\frac{V_f}{V_i}\right)^{-R} \quad (4)$$

Donde C_f es la concentración final en el rechazo, C_i la concentración inicial en el alimento, V_f el volumen final de rechazo, V_i el volumen inicial de alimento y R el coeficiente de rechazo (que se calcula con la ecuación (5)).

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_i} \quad (5)$$

Donde C_p es la concentración en el permeado.

El coeficiente de rechazo alcanzado en esta etapa para los polifenoles es del 98%, por lo que, mediante la ecuación (4), se calcula la concentración final de estos compuestos en el rechazo:

$$C_{r1} = C_{p_{MF}} \cdot \left(\frac{V_{r1}}{V_{p_{MF}}}\right)^{-R} = 1850,17 \text{ ppm}$$

Por último, mediante un balance de materia, se determina la concentración final del permeado:

$$C_{p1} = \frac{V_{p_{MF}} \cdot C_{p_{MF}} - V_{r1} \cdot C_{r1}}{V_{p1}} = 18,94 \text{ ppm}$$

En la tabla 4 se recogen los datos de la composición de la corriente de rechazo de la primera etapa de ósmosis directa.

Tabla 4. Composición de la corriente de rechazo de la ósmosis directa 1 para la Alternativa 2 (adaptada de Gebreyohannes et al., 2015).

COMPUESTO	CONCENTRACIÓN
Ca ²⁺ (ppm)	71,00
Mg ²⁺ (ppm)	97,00
K ⁺ (ppm)	710,00
Mn ²⁺ (ppm)	0,5,
Fe ²⁺ (ppm)	n.d.
Cu ²⁺ (ppm)	5,00
Zn ²⁺ (ppm)	n.d.
PECTINAS (ppm)	-
SÓLIDOS TOTALES (ST) (mg/kg)	270 000,00
POLIFENOLES TOTALES (ppm)	1850,17

n.d.: no detectable

De modo que la pureza de los polifenoles en la corriente de rechazo de la primera etapa de ósmosis directa se calcula con la ecuación (3):

$$\text{Pureza}_{\text{Rechazo Ósmosis Directa 1}} = \frac{1850,17 \text{ mg} \frac{\text{polifenoles}}{\text{kg}}}{270\,000 \text{ mg} \frac{\text{ST}}{\text{kg}}}$$

$$\text{Pureza}_{\text{Rechazo Ósmosis Directa 1}} = 0,69\%$$

Curiosamente se observa que la pureza de los polifenoles en la corriente obtenida tras esta etapa es menor que en la corriente de alimentación prefiltrada, lo que indica que, dado que el rechazo a los polifenoles en la destilación osmótica es muy elevada (98%), se han producido pérdidas considerables de compuestos fenólicos en la etapa de microfiltración.

- ETAPA DE ULTRAFILTRACIÓN:

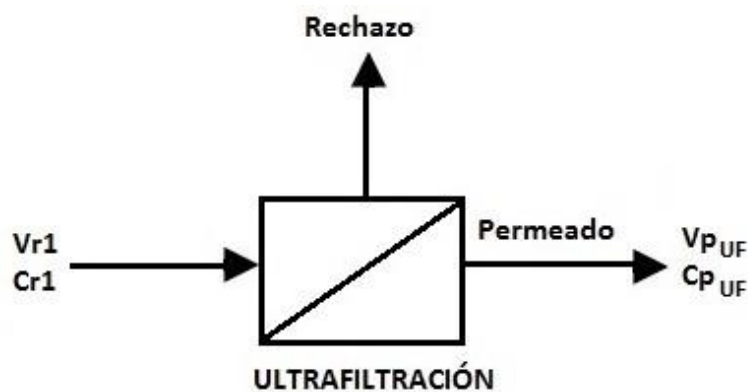


Figura 3. Etapa de ultrafiltración para la Alternativa 2.

En la etapa de ultrafiltración se trabaja con un parámetro de productividad que se define con la ecuación (6):

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Densidad de flujo de permeado } J_p}{\text{Presión transmembranal} \cdot \text{Caudal de alimento}} \quad (6)$$

Luego, conocida la productividad promedio, se puede hallar la densidad de flujo de permeado a la que se trabaja:

$$J_p = \overline{\text{Productividad}} \cdot \text{Presión transmembranal} \cdot \text{Caudal de alimento} \quad (7)$$

En este estudio, la productividad promedio es de $0,0125 \text{ m}^{-2} \cdot \text{atm}^{-1}$, la presión transmembranal es de 3 atm y el caudal de alimento es de 100 L/h, por lo que, según la ecuación (7):

$$J_p = 3,75 \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

Además, conocida la densidad de flujo de permeado, se halla el caudal de permeado mediante la ecuación (8):

$$Q_{p_{UF}} = J_p \cdot A_{\text{membrana}} \quad (8)$$

El área de la membrana de ultrafiltración es de $50,24 \text{ cm}^2$, luego:

$$Q_{p_{UF}} = 0,01884 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Además, la etapa de ultrafiltración dura 240 minutos, por lo que el volumen de permeado se calcula del siguiente modo:

$$V_{p_{UF}} = Q_{p_{UF}} \cdot t = 75,36 \text{ mL}$$

- ETAPA DE ÓSMOSIS DIRECTA 2:

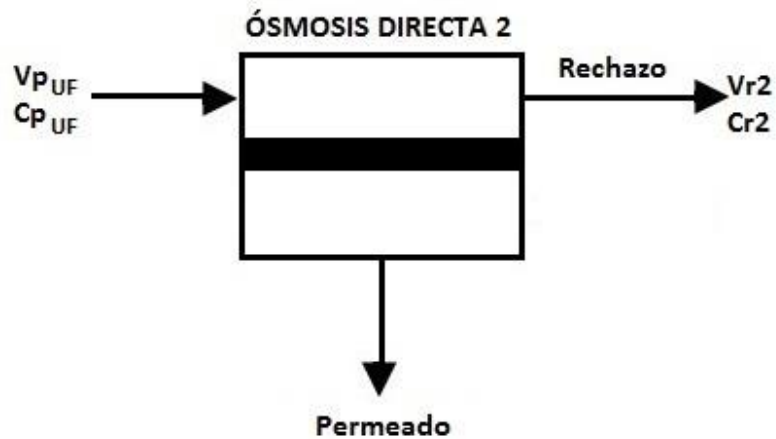


Figura 4. Etapa de ósmosis directa 2 para la Alternativa 2.

En esta segunda etapa de ósmosis directa (figura 4) se alcanza una recuperación del 64%, por lo que:

$$V_{r2} = 0,64 \cdot V_{p_{UF}} = 48,23 \text{ mL}$$

Además, en el estudio se especifica que, al final del ensayo, la concentración total de polifenoles en el rechazo de la segunda etapa de ósmosis directa es de 1900 ppm.

De esta forma, el rendimiento en la recuperación de polifenoles totales y el factor de concentración de polifenoles totales serán:

$$\text{Rendimiento} = \frac{1900 \text{ ppm} \cdot 48,23 \text{ mL}}{830 \text{ ppm} \cdot 543,48 \text{ mL}} \cdot 100 = 20,31\%$$

$$FC = \frac{1900}{830} = 2,29$$

No se proporcionan datos en el artículo para determinar la pureza de los polifenoles en esta corriente final.

1.3. ALTERNATIVA 3 – Sistema integrado de membranas: Microfiltración y Destilación por Membranas (DCMD)

- ETAPA DE MICROFILTRACIÓN:

En la figura 5 se puede observar la etapa de microfiltración.

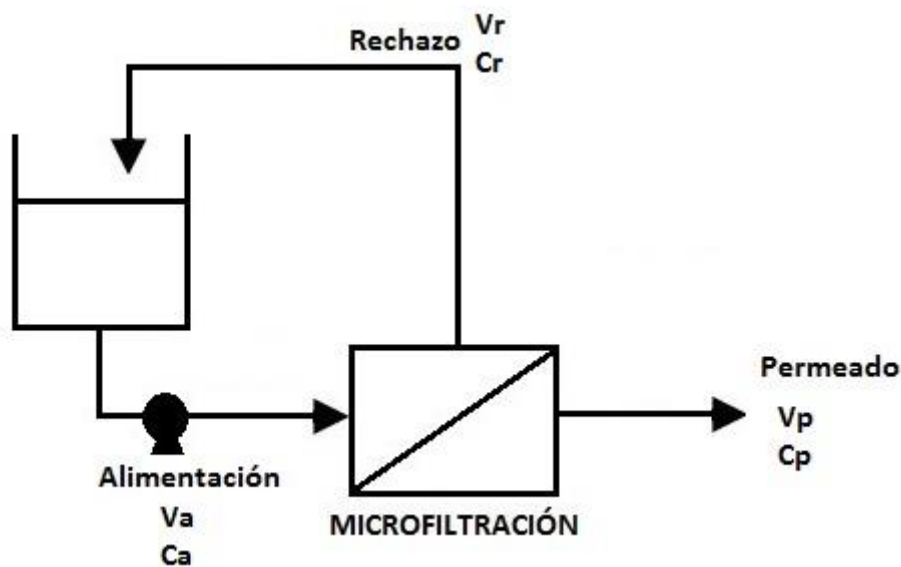


Figura 5. Etapa de microfiltración para la Alternativa 3.

En la tabla 5 se muestra la composición de la corriente de alimentación, así como del permeado de la microfiltración.

Tabla 5. Composición de la alimentación y del permeado de la microfiltración para la Alternativa 3 (adaptada de E. El-Ababassi et al., 2013).

COMPUESTO	ALIMENTACIÓN	PERMEADO MF
SÓLIDOS TOTALES (ST) (g/L)	109,0	76,3
FENOLES TOTALES (g/L)	8,3	7,9

El equipo de microfiltración empleado en el artículo consta de un depósito 500 mL de capacidad y se llena con alpechín, por lo que:

$$V_a = 500 \text{ mL}$$

Además, de la tabla 5 se determina que:

$$C_a = 8,3 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

De la ecuación (3) se calcula la pureza de los polifenoles respecto al resto de compuestos tanto en la corriente de alimentación como en el permeado de la microfiltración:

$$\text{Pureza}_{\text{Alimento}} = \frac{8,3 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{ polifenoles}}{109 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{ ST}} = 7,61\%$$

$$\text{Pureza}_{\text{Permeado MF}} = \frac{7,9 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{ polifenoles}}{76,3 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{ ST}} = 10,35\%$$

- ETAPA DE DESTILACIÓN POR MEMBRANA (DCMD):

En la figura 6 se puede observar la etapa de destilación por membrana.

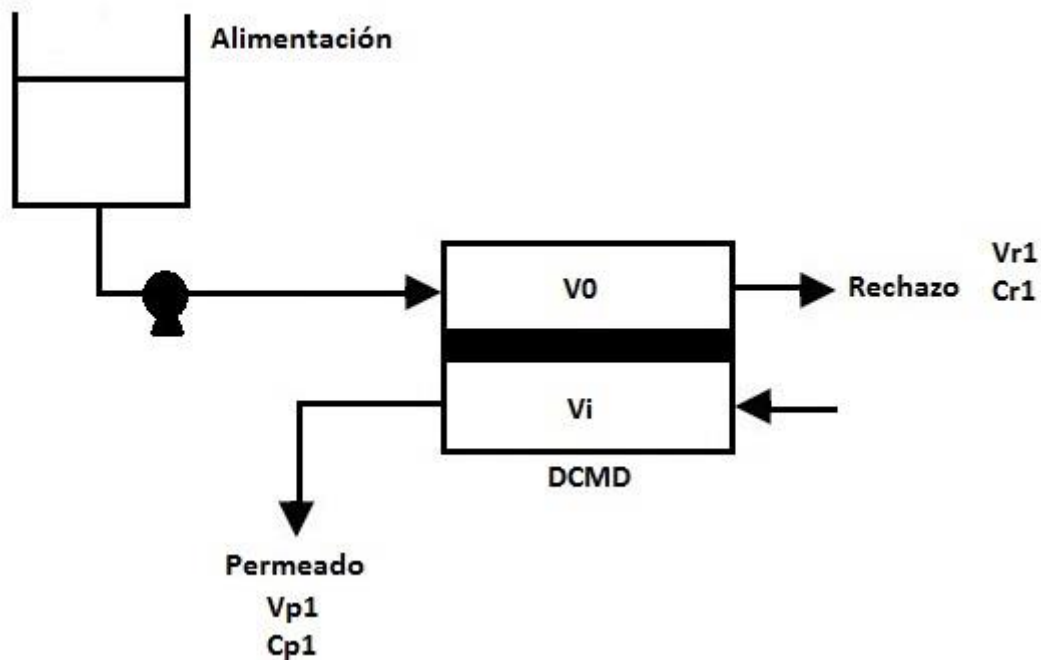


Figura 6. Etapa de destilación por membrana (DCMD) para la Alternativa 3.

En la tabla 6 se recoge la composición de la corriente de rechazo de la etapa de destilación por membrana.

Tabla 6. Composición de la corriente de rechazo de la DCMD para la Alternativa 3.

COMPUESTO	CONCENTRACIÓN (g/L)
3,4-Dihidroxifenilglicol	0,147
Ácido gálico	0,638
Hidroxitirosol	8,155
P-Dihidroxifenil acético	2,531
Tirosol	2,661
Oleuropéina	0,897
Ácido ferúlico	1,586

La concentración de fenoles totales en el rechazo de la destilación es por tanto la suma de la concentración de los distintos fenoles, luego:

$$Cr1 = 16,615 \frac{g}{L}$$

Además, se tiene la evolución de la densidad de flujo de permeado J_p con el tiempo, por lo que se selecciona un valor promedio:

$$\bar{J}_p = 1,8 \frac{L}{m^2 \cdot h}$$

De acuerdo con la ecuación (8), la densidad de flujo de permeado J_p es igual al cociente entre el caudal de permeado Q_{p1} y el área de la membrana A . Esta última es igual a $2,75 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ por lo que:

$$Q_{p1} = 0,00495 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

La duración de la etapa de destilación es de 76 h, por lo que

$$V_{p1} = 0,3762 \text{ L} = 376,2 \text{ mL}$$

Además, el volumen inicial V_i en el compartimento de permeado es de 250 mL, por lo que, el volumen de permeado generado es:

$$V_p = V_{p1} - V_i = 126,2 \text{ mL}$$

Conocido el volumen de alimento inicial $V_0 = 250 \text{ mL}$, el volumen de permeado V_p y realizando un balance, se halla el volumen de rechazo V_{r1} :

$$V_{r1} = V_0 - V_p = 123,8 \text{ mL}$$

El rendimiento referente a la recuperación de polifenoles totales es, según la ecuación (1):

$$\text{Rendimiento} = \frac{C_{r1} \cdot V_{r1}}{C_a \cdot V_a} = 49,56\%$$

Además, el factor de concentración de todo el sistema referente a polifenoles totales es:

$$FC = \frac{C_{r1}}{C_a} = 2,00$$

En la tabla 7 se muestran las concentraciones de hidroxitirosol y tirosol en la corriente de alimentación y de rechazo de la destilación.

Tabla 7. Composición de la corriente de alimento y de rechazo de la DCMD para la Alternativa 3.

COMPUESTO	CONCENTRACIÓN EN ALIMENTO DCMD (g/L)	CONCENTRACIÓN EN RECHAZO DCMD (g/L)
HIDROXITIRO SOL	4,006	8,155
TIROSOL	0,948	2,661

Los factores de concentración referentes a hidroxitirosol y tirosol, únicamente para la etapa de destilación, son:

$$FC_{\text{Hidroxitirosol}} = \frac{8,155}{4,006} = 2,04$$

$$FC_{\text{Tirosol}} = \frac{2,661}{0,948} = 2,81$$

1.4. ALTERNATIVA 4 – Destilación por Membranas (DCMD)

En la tabla 8 se recoge la composición del alpechín empleado como alimentación.

Tabla 8. Composición de la corriente de alimentación para la Alternativa 4 (adaptada de El-Abbassi et al., 2009).

COMPUESTO	CONCENTRACIÓN (g/L)
POLIFENOLES TOTALES	4,1
AZÚCARES	4,3
ACEITE	6,5

La pureza de los polifenoles en la corriente de alimento es, por tanto:

$$\text{Pureza}_{\text{Alimento}} = \frac{4,1 \frac{\text{g polifenoles}}{\text{L}}}{4,3 \frac{\text{g azúcar}}{\text{L}} + 6,5 \frac{\text{g aceite}}{\text{L}} + 4,1 \frac{\text{g polifenoles}}{\text{L}}} = 27,52\%$$

Además, pasadas 9 h de ensayo, se alcanza un factor de concentración de polifenoles totales de 1,72, por lo que, según la ecuación (2):

$$C_r = 1,72 \cdot C_a = 7,052 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Se considera también un nuevo parámetro, el coeficiente de separación α , y se define como:

$$\alpha = 1 - \frac{C_p}{C_a}$$

Luego, conocido el coeficiente de separación final que es igual a 0,99, se halla la concentración final de polifenoles totales en el permeado:

$$C_p = (1 - \alpha) \cdot C_a = 0,041 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Como se desconocen los volúmenes con los que se trabaja, se supone un volumen de alimento de 1L, luego:

$$V_a = 1 \text{ L}$$

Mediante los balances de materia presentados a continuación, se determinan los volúmenes tanto de permeado, como de rechazo:

$$V_a = V_p + V_r$$

$$V_a \cdot C_a = V_p \cdot C_p + V_r \cdot C_r$$

Finalmente, se tiene:

$$V_p = 0,42 \text{ L}$$

$$V_r = 0,58 \text{ L}$$

El rendimiento referente a la recuperación de polifenoles totales es, por tanto:

$$\text{Rendimiento} = \frac{V_r \cdot C_r}{V_a \cdot C_a} = 99,76\%$$

Como es de esperar, el rendimiento es elevado, ya que se trata de un proceso de concentración únicamente, por lo que prácticamente no se pierden polifenoles, pero éstos tampoco se separan del resto de componentes del alpechín.

1.5. ALTERNATIVA 5 – Destilación Osmótica por Membrana

En la tabla 9 se recoge la composición de la corriente de alimentación.

Tabla 9. Composición del alpechín para la alternativa 5 (adaptada de El-Abbassi et al., 2013).

COMPUESTO	CONCENTRACIÓN (g/L)
POLIFENOLES TOTALES	5,3
SÓLIDOS TOTALES (ST)	90

La pureza de los polifenoles en el alimento, según la ecuación (3), es:

$$\text{Pureza}_{\text{Alimento}} = \frac{5,3 \frac{\text{g polifenoles}}{\text{L}}}{90 \frac{\text{g ST}}{\text{L}}} = 5,89\%$$

Además, el factor de concentración final alcanza un valor de 1,9, de manera que, mediante la ecuación (2), se halla la concentración de polifenoles totales en el rechazo Cr:

$$C_r = 1,9 \cdot C_a = 10,07 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

El coeficiente de separación final es próximo al 99%, luego:

$$C_p = (1 - \alpha) \cdot C_a = 0,053 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Además, a lo largo de toda la experiencia, se va midiendo la densidad de flujo de permeado y toma un valor promedio de $2,5 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. El área de la membrana es igual a $2,7510^{-3} \text{ m}^2$, de manera que el caudal de permeado Qp es:

$$Q_p = \bar{J}_p \cdot A_{\text{membrana}} = 0,006875 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

La duración total del experimento es de 30 horas por lo que el volumen de permeado Vp es:

$$V_p = Q_p \cdot t = 0,20625 \text{ L} = 206,25 \text{ mL}$$

Mediante los balances de materia presentados a continuación, se determinan los volúmenes tanto de alimento, como de rechazo:

$$V_a = V_p + V_r$$

$$V_a \cdot C_a = V_p \cdot C_p + V_r \cdot C_r$$

Finalmente, se tiene:

$$V_a = 433,13 \text{ mL}$$

$$V_r = 226,88 \text{ mL}$$

El rendimiento en la recuperación de polifenoles es, por tanto:

$$\text{Rendimiento} = \frac{C_r \cdot V_r}{C_a \cdot V_a} = 99,52\%$$

2. ECUACIONES Y CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA INDUSTRIAL

2.1. CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN DE LA PLANTA OLISOY S.L.

La empresa Olisoy tiene una capacidad de producción de 15000 litros de aceite al día. Sin embargo, produce distintos tipos de aceite, por lo que se va a suponer que la mitad de su producción es de aceite de oliva virgen. Así, Olisoy produce 7500 litros de aceite de oliva virgen al día. Además, la densidad del aceite de oliva virgen es de 0,918 kg/L, luego la producción en masa de aceite virgen al día es:

$$\text{Producción de aceite} = 7500 \frac{\text{L}}{\text{día}} \cdot 0,918 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 6885 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

La tabla 10 recoge la cantidad de productos obtenidos en la elaboración de aceite de oliva virgen mediante el proceso de 3 fases a partir de una tonelada de aceitunas:

Tabla 10. Productos obtenidos en la elaboración de aceite de oliva mediante el método continuo de tres fases (adaptada de MMA-CAR/PL, 2000).

SISTEMA	ENTRADA	SALIDA		
	Aceitunas	Aceite	Orujo	Alpechín
CONTINUO DE 3 FASES	1 Tm	200 kg	550 kg	1100 kg

En este caso, se tienen 6885 kilogramos de aceite al día, correspondientes a 34,425 toneladas de aceitunas al día. Así, se toma como punto de partida el procesamiento de 35 toneladas de aceitunas al día, que darán lugar a 7000 kilogramos de aceite de oliva, 19250 kilogramos de orujo y 38500 kilogramos de alpechín al día, tal y como se puede observar en la tabla 11.

Tabla 11. Productos obtenidos en la elaboración de aceite de oliva mediante el método continuo de tres fases en la empresa Olisoy.

SISTEMA	ENTRADA	SALIDA		
	Aceitunas	Aceite	Orujo	Alpechín
CONTINUO DE 3 FASES	35 Tm	7000 kg	19250 kg	38500 kg

El alpechín está mayoritariamente formado por agua, por lo que se considera que su densidad es próxima a la del agua y, por tanto, de aproximadamente 1 kg/L, luego:

$$\text{Caudal de alpechín a tratar} = 38500 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

2.2. DISEÑO DE LA ETAPA DE MICROFILTRACIÓN

2.2.1. DIMENSIONADO DE LAS MEMBRANAS

En el artículo de García-Castello et al., en el que se basa el presente proyecto, se trabaja a pequeña escala y se procesa, en discontinuo, un volumen de alimento de 7 litros. En la tabla 11 de la memoria descriptiva se recogen los volúmenes de las corrientes de permeado y de rechazo obtenidas en la microfiltración.

Se define el parámetro de Factor de Reducción de Volumen (FRV) mediante la ecuación 9:

$$FRV = \frac{V_a}{V_r} = \frac{Q_a}{Q_r} \quad (9)$$

Donde V_a es el volumen de alimento, V_r el volumen de rechazo, Q_a es el caudal de alimento y Q_r el caudal de rechazo.

En este caso, se alcanza un factor de reducción de volumen de 3,5, valor que se toma como punto de partida para el diseño de la planta.

En el caso de la planta industrial, se producen 38500 litros de alpechín al día con los que se llena el depósito de alimentación de la etapa de microfiltración, por lo que el volumen del alimento V_a es de 38500 litros. Conocido el factor de reducción de volumen, se halla el volumen de rechazo V_r mediante la ecuación (9):

$$V_r = \frac{V_a}{FRV} = 11000 \text{ L}$$

Mediante un balance de materia total, se determina el volumen de permeado V_p obtenido:

$$V_p = V_a - V_r = 27500 \text{ L}$$

El volumen de permeado V_p producido en un día es de 27500 L, por lo que se toma un caudal de permeado Q_p de 27500 L/día, que, considerando 8 horas al día de procesado, es igual a 3437,5 L/h. Además, del artículo se toma un valor promedio de la densidad de flujo de permeado \bar{J}_p de 50 L/h·m², por lo que, mediante la ecuación (8), se determina el área total de membrana necesaria para procesar dicho caudal de alpechín:

$$A_{\text{total}} = \frac{Q_p}{\bar{J}_p} = 68,75 \text{ m}^2$$

El módulo tubular de membranas de microfiltración seleccionado es el módulo M37-19-25 de 1,2 metros de longitud, que proporciona un área de membrana total $A_{\text{módulo}}$ de 9,28 m², de modo que se determina el número de módulos $N_{\text{módulos}}$ que se han de colocar en paralelo:

$$N_{\text{módulos}} = \frac{A_{\text{total}}}{A_{\text{módulo}}} \approx 7,41$$

Tomando el valor inmediatamente superior, se tiene que $N_{\text{módulos}} = 8$, luego:

$$A_{\text{total}} = N_{\text{módulo}} \cdot A_{\text{módulo}} = 74,24 \text{ m}^2$$

Recalculando el caudal de permeado obtenido Q_p , se tiene:

$$Q_p = \bar{J}_p \cdot A_{\text{total}} = 3712 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

El caudal de permeado total obtenido es de 3437,5 L/h, luego el tiempo de procesado es:

$$\text{Tiempo} = \frac{3437,5 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot 8 \frac{\text{h}}{\text{día}}}{3712 \frac{\text{L}}{\text{h}}} = 7,41 \frac{\text{h}}{\text{día}}$$

Además, el módulo tubular de membranas de microfiltración M37-19-25 seleccionado dispone de 37 tubos por módulo y 19 canales por tubo, luego el número de canales $N_{\text{canales}} = 703$. El área activa para la filtración (área lateral) de cada canal será, por tanto:

$$A_{\text{lateral canal}} = \frac{A_{\text{módulo}}}{N_{\text{canales}}} \approx 0,132 \text{ m}^2$$

Además, como se conoce la longitud de los canales, que coincide con la longitud del módulo (1,2 m), se determina el radio del canal r_{canal} :

$$A_{\text{lateral canal}} = 2 \cdot \pi \cdot r_{\text{canal}} \cdot L$$

$$r_{\text{canal}} = \frac{A_{\text{lateral canal}}}{2 \cdot \pi \cdot L} \approx 0,00175 \text{ m}$$

La velocidad tangencial habitual en un módulo tubular de microfiltración es de entre 2 y 4 m/s, por lo que se toma un valor de velocidad tangencial $v_{\text{tangencial}}$ de 3 m/s. Conocida la velocidad tangencial adecuada, se determina el caudal de alimento que entra a cada canal Q_{canal} :

$$Q_{\text{canal}} = v_{\text{tangencial}} \cdot S_t$$

Donde S_t es la sección transversal de un canal y es igual a $\pi \cdot r_{\text{canal}}^2$, luego:

$$Q_{\text{canal}} = v_{\text{tangencial}} \cdot \pi \cdot r_{\text{canal}}^2 \approx 2,886 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El caudal de alimento de un módulo $Q_{\text{módulo}}$ es por tanto:

$$Q_{\text{módulo}} = Q_{\text{canal}} \cdot N_{\text{canales}} = 2,029 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Luego, el caudal de alimento total Q_a es:

$$Q_a = Q_{\text{módulo}} \cdot N_{\text{módulos}} = 0,1623 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

2.2.2. DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS

Se conoce que la velocidad recomendada de circulación de fluidos con densidad similar al agua a través de tuberías de acero es de entre 1 y 3 m/s. Para los procesos de limpieza de instalaciones dicha velocidad debe ser de al menos 1,5 m/s, por lo que esta es la velocidad que se ha seleccionado para el cálculo de todas las tuberías.

El diseño de las tuberías se basa en la velocidad tangencial necesaria a través de las tuberías y el caudal que circula por ellas, de modo que, mediante la ecuación (10), se determina el diámetro necesario.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_{\text{tangencial}}}} \quad (10)$$

La figura 19 de la memoria descriptiva muestra un esquema completo de la etapa de microfiltración y su sistema de aclarado y limpieza.

PROCESADO DEL ALPECHÍN

▪ **Tuberías T0 y T1**

El caudal que circula por estas tuberías es Q_a (calculado en el apartado 2.2.1. y requerido para el correcto funcionamiento de la membrana) y es igual a $0,1623 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de T0 y T1 ha de ser de $0,3712 \text{ m}$. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de $0,3550 \text{ m}$ con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior igual a $0,3510 \text{ m}$), con la que se obtiene una velocidad tangencial de $1,68 \text{ m/s}$.

▪ **Tuberías T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 y T9**

El caudal que circula por estas tuberías es $Q_{a_{\text{módulo}}}$ (calculado en el apartado 2.2.1. y requerido para el correcto funcionamiento de la membrana) y es igual a $2,029 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de las tuberías ha de ser de $0,1312 \text{ m}$. Se selecciona por tanto un diámetro exterior de tubería de $0,1310 \text{ m}$ con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior de $0,1270 \text{ m}$), con el que se obtiene una velocidad tangencial de $1,61 \text{ m/s}$.

▪ **Tuberías T19, T20, T21, T22, T23, T24, T25 y T26**

El caudal que circula por estas tuberías es $Q_{p_{\text{módulo}}}$ (calculado en el apartado 2.2.1.) y es igual a $1,289 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de las tuberías ha de ser de $0,0105 \text{ m}$. Se selecciona por tanto un diámetro exterior de tubería de $0,0120 \text{ m}$ con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior de $0,0100 \text{ m}$), con el que se obtiene una velocidad tangencial de $1,64 \text{ m/s}$.

▪ **Tuberías T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16 y T17**

El caudal que circula por estas tuberías es $Q_{r_{\text{módulo}}}$ y se calcula mediante un balance de materia total:

$$Q_{r_{\text{módulo}}} = Q_{a_{\text{módulo}}} - Q_{p_{\text{módulo}}} = 2,016 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con este caudal, el diámetro interior de las tuberías ha de ser de $0,1308 \text{ m}$, por lo que se selecciona un diámetro exterior de tubería de $0,1310 \text{ m}$ con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior de $0,1270 \text{ m}$), con el que se obtiene una velocidad tangencial de $1,59 \text{ m/s}$.

▪ **Tuberías T18, T30 y T31**

Estas tuberías recogen las corrientes de rechazo de las 8 membranas, por lo que:

$$Q = 8 \cdot Q_{r_{\text{módulo}}} = 0,1613 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con este caudal, el diámetro interior de las tuberías ha de ser de 0,3700 m, por lo que se selecciona un diámetro exterior de tubería de 0,3550 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior de 0,3510 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,67 m/s.

- **Tubería T27**

Esta tubería recoge las corrientes de permeado de las 8 membranas, por lo que:

$$Q = 8 \cdot Q_{p_{\text{módulo}}} = 1,031 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con este caudal, el diámetro interior de la tubería ha de ser de 0,0296 m, por lo que se selecciona un diámetro exterior de tubería de 0,0320 m con un espesor de 1,5 mm (que resulta en un diámetro interior de 0,0290 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,56 m/s.

PROCESOS DE ACLARADO CON AGUA Y LIMPIEZA QUÍMICA

En este apartado se considera que la disolución de limpieza de NaOH posee más o menos la misma permeabilidad a través de la membrana que el agua, por lo que se habla indistintamente de aclarado con agua y limpieza química.

- **Tubería T36**

A través de esta tubería se lleva a cabo el drenaje del rechazo final que se encuentra en el depósito D1 hasta el depósito D2. El volumen de rechazo final es de 11000 litros y se decide que el tiempo de vaciado del depósito D1 tenga una duración de 5 minutos, por lo que el caudal que circula por la tubería T36 es de:

$$Q = \frac{11000 \text{ L}}{5 \text{ min}} = 2200 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 3,667 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se obtiene que el diámetro interior de la tubería ha de ser de 0,1764 m. Se selecciona, por tanto, un diámetro exterior de 0,1540 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior de 0,1500 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 2,08 m/s.

- **Tuberías T0 y T1**

Se considera que el caudal de alimentación de agua de aclarado y de disolución de limpieza Q_{limpieza} es el mismo que Q_a , luego:

$$Q_{\text{limpieza}} = 0,1623 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Además, el diámetro interior de estas tuberías ya está definido para el procesado del alpechín y es de 0,3510 m, de manera que se obtiene una velocidad tangencial de 1,68 m/s.

- **Tuberías T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 y T9**

El caudal que circula por estas tuberías $Q_{\text{limpieza,módulo}}$ es igual a $2,029 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$. Además, el diámetro interior de estas tuberías ya está definido para el procesado del alpechín y es de 0,1270 m, de manera que se obtiene una velocidad tangencial de 1,61 m/s.

- **Tuberías T19, T20, T21, T22, T23, T24, T25 y T26**

Del artículo de referencia se extrae que la permeabilidad hidráulica de la membrana es alrededor de 106 L/m²·h·bar. En el proceso de aclarado y limpieza, se trabaja a una presión transmembrana de 1 bar, por lo que la densidad de flujo de permeado para el agua de aclarado y la disolución de limpieza es de 106 L/m²·h. Conocida la densidad de flujo de permeado y el área del módulo, se determina el caudal de permeado que se obtiene de cada módulo durante el proceso de limpieza $Q_{p\text{limpieza,módulo}}$:

$$Q_{p\text{limpieza,módulo}} = J_p \cdot A_{\text{módulo}} = 983,68 \frac{\text{L}}{\text{h}} \approx 2,732 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El caudal que transportan estas tuberías durante el proceso de limpieza es por tanto $Q_{p\text{limpieza,módulo}}$ y el diámetro interior de las tuberías ya está definido en 0,0100 m, por lo que se obtiene una velocidad tangencial de 3,48 m/s.

- **Tuberías T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16 y T17**

El caudal de rechazo que se obtiene de cada módulo durante el proceso de limpieza $Q_{r\text{limpieza,módulo}}$ es:

$$Q_{r\text{limpieza,módulo}} = Q_{a\text{limpieza,módulo}} - Q_{p\text{limpieza,módulo}} = 2,002 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Además, el diámetro interior de estas tuberías ya está definido para el procesado del alpechín y es de 0,1270 m, de manera que se obtiene una velocidad tangencial de 1,58 m/s.

- **Tubería T18**

Esta tubería recoge el caudal de rechazo total de las 8 membranas, por lo que:

$$Q = Q_{r\text{limpieza,módulo}} \cdot N_{\text{módulos}} = 1,602 \cdot 10^{-1} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Además, el diámetro interior de esta tubería ya está definido para el procesado del alpechín y es de 0,3510 m, de manera que se obtiene una velocidad tangencial de 1,66 m/s.

- **Tubería T28**

Esta tubería recoge el caudal de permeado total de las 8 membranas, por lo que:

$$Q = Q_{p\text{limpieza,módulo}} \cdot N_{\text{módulos}} = 2,186 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se obtiene que el diámetro interior de la tubería ha de ser de 0,0431 m. Como lo que se busca es tener una velocidad tangencial mayor de 1,5 m/s, se selecciona un diámetro exterior de 0,0445 m con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior de 0,0425 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,54 m/s.

- **Tubería T29**

Esta tubería recoge la suma del caudal de permeado total y el caudal de rechazo total durante el proceso de limpieza, luego:

$$Q = Q_{P_{\text{limpieza,módulo}}} \cdot N_{\text{módulos}} + Q_{R_{\text{limpieza,módulo}}} \cdot N_{\text{módulos}} = 0,1623 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se obtiene que el diámetro interior de la tubería ha de ser de 0,3712 m. Como lo que se busca es tener una velocidad tangencial mayor de 1,5 m/s, se selecciona un diámetro exterior de 0,3550 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior de 0,3510 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,68 m/s.

- **Tuberías T30 y T31**

Estas tuberías recogen la suma del caudal de permeado total y el caudal de rechazo total durante el proceso de limpieza química, luego:

$$Q = Q_{P_{\text{limpieza,módulo}}} \cdot N_{\text{módulos}} + Q_{R_{\text{limpieza,módulo}}} \cdot N_{\text{módulos}} = 0,1623 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Además, el diámetro interior de estas tuberías ya está definido para el procesado del alpechín y es de 0,3510 m, de manera que se obtiene una velocidad tangencial de 1,68 m/s.

- **Tuberías T33, T34 y T35**

Estas tuberías sirven para el llenado del depósito D1, tanto de agua de red para el aclarado, como de disolución de limpieza para la limpieza química. De acuerdo con los cálculos del apartado 3.1.4., el volumen de disolución de limpieza y de agua de red con el que se debe llenar el depósito D1 es de 4546,6 litros. Además, se decide que el tiempo de llenado tenga una duración de 5 minutos, por lo que el caudal que circula por estas tuberías es de:

$$Q = \frac{4546,6 \text{ L}}{5 \text{ min}} = 909,32 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 0,0152 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se obtiene que el diámetro interior de la tubería ha de ser de 0,1136 m. Como lo que se busca es tener una velocidad tangencial mayor de 1,5 m/s, se selecciona un diámetro exterior de 0,1040 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior de 0,1000 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,94 m/s.

- **Tubería T32**

Esta tubería sirve para recircular al depósito D3 el resto de disolución de limpieza que queda en el depósito D1. Se decide que el caudal que circula por esta tubería sea igual a Q_a (0,1623 m³/s), por lo que el diámetro interior de T32 ha de ser de 0,3712 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,3550 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,3510 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,68 m/s.

2.2.3. DIMENSIONADO DE LAS BOMBAS

En esta primera etapa de microfiltración, se cuenta con dos bombas: la bomba B1, que bombea el alpechín, la disolución de limpieza química y el agua de aclarado desde el depósito de alimentación D1 hasta el sistema de membranas y permite su circulación por todo el sistema, y la bomba B2, que bombea la disolución de limpieza química desde su depósito de almacenamiento D3 hasta el depósito de alimentación D1.

Para llevar a cabo la selección de las bombas más adecuadas, se debe considerar tanto el caudal que deben impulsar, como la altura H_B que deben proporcionar. Para conocer esta última, se aplica la ecuación (11) de Bernoulli.

$$\frac{p_A}{\rho \cdot g} + z_A + \frac{v_A^2}{2 \cdot g} + H_B = \frac{p_I}{\rho \cdot g} + z_I + \frac{v_I^2}{2 \cdot g} + h_{p\acute{e}rdidas} \quad (11)$$

Donde p_A y p_I (Pa) son las presiones en los puntos de aspiración e impulsión respectivamente, ρ (kg/m^3) es la densidad del fluido, z_A y z_I (m) son las elevaciones de los puntos de aspiración e impulsión respectivamente, v_A y v_I (m/s) son las velocidades medias del fluido en los puntos de aspiración e impulsión respectivamente, H_B (m) es la altura que debe proporcionar la bomba, $h_{p\acute{e}rdidas}$ (m) es la suma de todas las pérdidas de carga que se producen en las tuberías de la instalación y g es la aceleración de la gravedad y es igual a $9,81 \text{ m/s}^2$.

Como se trabaja con velocidades pequeñas, el término cinético puede despreciarse, por lo que se obtiene la ecuación simplificada (12):

$$H_B = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} + z_I - z_A + h_{p\acute{e}rdidas} \quad (12)$$

Donde Δp es la diferencia de presión entre la salida de la bomba (punto de impulsión) p_I y el punto de aspiración p_A .

Además, las pérdidas de carga $h_{p\acute{e}rdidas}$ se calculan como la suma de las pérdidas de carga primarias $h_{p\acute{e}rdidas,primarias}$, que se producen a lo largo de las tuberías por la fricción entre el fluido y la tubería, y las pérdidas de carga secundarias $h_{p\acute{e}rdidas,secundarias}$, que tienen lugar en las válvulas, uniones en T y codos de 90° , de manera que se tiene la ecuación (13):

$$h_{p\acute{e}rdidas} = h_{p\acute{e}rdidas,primarias} + h_{p\acute{e}rdidas,secundarias} \quad (13)$$

▪ Bomba B1

La bomba B1 se emplea para bombear tanto el alpechín como la disolución de limpieza y el agua de aclarado hasta el sistema de membranas y para impulsar dichas corrientes por todo el circuito. Como se puede observar en la tabla 12, en cuanto a pérdidas de carga, el caso más desfavorable se produce cuando se bombea el agua de aclarado, por lo que el diseño de la bomba B1 se detallará considerando que se está llevando a cabo el aclarado con agua de red.

Tabla 12. Resultados del diseño de la bomba B1 para las tres opciones.

DISOLUCIÓN BOMBEADA	H_B (m)
ALPECHÍN	12,1962
DISLUCIÓN DE LIMPIEZA	34,7151
AGUA DE ACLARADO	37,6273

CÁLCULO DE LA ALTURA H_B QUE DEBE PROPORCIONAR LA BOMBA B1

Para el aclarado, la bomba B1 se emplea para impulsar el agua de red desde el depósito D1 hasta el sistema de tratamiento de residuos (no diseñado en el presente proyecto). Para el diseño, se considerará que la elevación del punto de aspiración z_A corresponde a una cota de 0 m, mientras que la elevación del punto de impulsión z_I coincide con la longitud del tramo vertical de la tubería T18 y es de 3 m, por lo que la diferencia $z_I - z_A$ es igual a 3 m.

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS PARA LA BOMBA B1

El cálculo de las pérdidas de carga debidas a la fricción dentro una tubería se basa en la ecuación de Darcy-Weisbach (14):

$$h_{\text{primarias}} = \frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \quad (14)$$

Donde L (m) es la longitud de la tubería, Q (m³/s) es el caudal que circula por la tubería, g es la aceleración de la gravedad y es igual a 9,81 m/s², D (m) es el diámetro de la tubería y f es el factor de fricción y se determina haciendo uso del Ábaco de Moody (figura 7). Este último permite hallar el valor del factor de fricción f en función del número de Reynolds Re y la rugosidad relativa ϵ_r , siendo esta última igual al cociente entre la rugosidad absoluta ϵ y el diámetro de la tubería D. Por ello, es imprescindible determinar previamente el número de Reynolds Re mediante la ecuación (15) siguiente:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (15)$$

Donde ρ (kg/m³) es la densidad del fluido, v (m/s) es la velocidad del fluido por el interior del conducto, D (m) es el diámetro de la tubería y μ (kg/m·s) es la viscosidad dinámica del fluido.

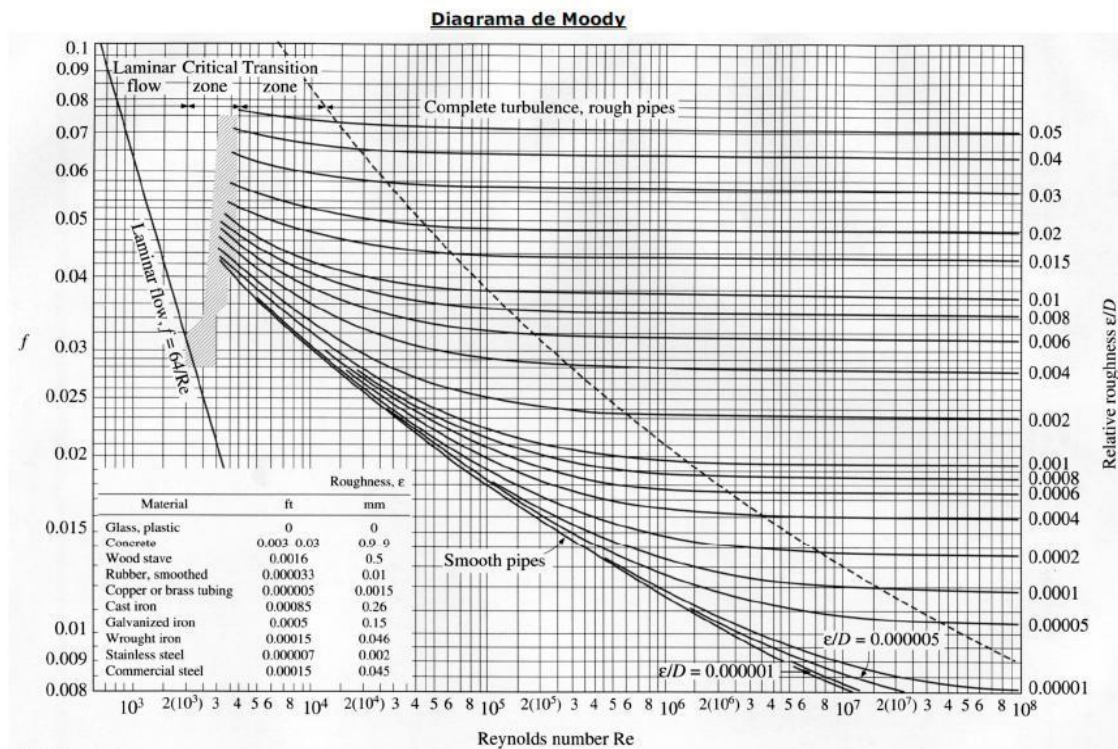


Figura 7. Diagrama de Moody: Factor de fricción (f) en función del número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa (ϵ_r).

La bomba B1 se emplea, por tanto, para el bombeo de agua de red desde el depósito de alimentación D1 hasta el sistema de membranas y para su circulación por todo el circuito. Esta agua se encuentra a temperatura ambiente, es decir, a 25 °C. Además, el proceso de aclarado se lleva a cabo con una presión transmembrana TMP de 1 bar. Esta última se define como la diferencia de presión entre el lado del rechazo y el lado del permeado, de acuerdo con la ecuación (16):

$$TMP = p_r - p_p \quad (16)$$

Donde p_r es la presión en el lado del rechazo y se calcula como el promedio entre la presión a la entrada p_e y a la salida p_s (ecuación (17)), y p_p la presión en el lado del permeado y es igual a la presión atmosférica (1 atm=1,013 bar).

$$p_r = \frac{p_e + p_s}{2} \quad (17)$$

En este caso, se desprecian las pérdidas de carga en el interior de las membranas, por lo que la presión transmembrana TMP facilitada es un valor promedio y se trabaja con unas presiones de entrada y de salida iguales y, por tanto:

$$p_e = p_s = p_r = TMP + p_p$$

Así, la presión absoluta a la que se lleva a cabo la limpieza química es:

$$p_e = 1 \text{ bar} + 1,013 \text{ bar} = 2,013 \text{ bar}$$

Las condiciones de operación del aclarado son, por tanto, las que se indican en la tabla 13.

Tabla 13. Condiciones de operación del aclarado en la etapa de microfiltración.

TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (K)	PRESIÓN (bar)	PRESIÓN (MPa)
25	298,15	2,013	0,2013

En la tabla 14 se recogen los valores de densidad en función de la temperatura y de la presión.

Tabla 14. Densidad del agua en función de la temperatura y de la presión (adaptada de CRC Handbook of Chemistry and Physics).

TEMPERATURA (K)	PRESIÓN (MPa)	
	0,1	1,0
273,16	999,84	1000,3
300,00	996,56 kg/m ³	996,96 kg/m ³

Llevando a cabo una doble interpolación en la tabla 14, se determina que la densidad del agua de red en las condiciones del aclarado (298,15 K y 0,2013 MPa) es de 996,84 kg/m³. Además, el efecto de la presión sobre la viscosidad de un líquido es despreciable, por lo que se determina la viscosidad del agua de red a 25 °C y es igual a 0,000891 kg/m·s. En la tabla 15 se recogen, por tanto, las propiedades físicas del agua de aclarado.

Tabla 15. Propiedades físicas del agua de aclarado en la microfiltración.

TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (bar)	DENSIDAD (kg/m ³)	VISCOSIDAD DINÁMICA (kg/m·s)
25	2,013	996,84	0,000891

En la tabla 16 se recoge el cálculo del número de Reynolds para todas las tuberías involucradas en el bombeo de agua de aclarado con la bomba B1.

Tabla 16. Cálculo del número de Reynolds (Re) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B1.

TUBERÍAS	VELOCIDAD (m/s)	DIÁMETRO INTERNO (m)	NÚMERO DE REYNOLDS	RÉGIMEN
T0 y T1	1,68	0,3510	659727	Turbulento
T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 y T9	1,61	0,1270	228759	Turbulento
T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16 y T17	1,58	0,1270	224496	Turbulento
T19, T20, T21, T22, T23, T24, T25 y T26	3,48	0,0100	38934	Turbulento
T18	1,66	0,3510	651873	Turbulento
T28	1,54	0,0425	73225	Turbulento
T29	1,68	0,3510	659727	Turbulento

Además, un valor típico de rugosidad absoluta del acero inoxidable 316 L es de 0,0024 mm.

En la tabla 17, se recoge el cálculo de la rugosidad relativa de cada tubería.

Tabla 17. Cálculo de la rugosidad relativa (ϵ_r) de las tuberías del circuito alimentado por la bomba B1.

TUBERÍAS	RUGOSIDAD ABSOLUTA (mm)	DIÁMETRO (mm)	RUGOSIDAD RELATIVA
T0 y T1	0,0024	351,0	0,000007
T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 y T9	0,0024	127,0	0,000019
T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16 y T17	0,0024	127,0	0,000019
T19, T20, T21, T22, T23, T24, T25 y T26	0,0024	10,0	0,000240
T18	0,0024	351,0	0,000007
T28	0,0024	42,5	0,000056
T29	0,0024	351,0	0,000007

Conocidos el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se determina el factor de fricción con el diagrama de Moody. En la tabla 18 se recogen los factores de fricción obtenidos para las distintas tuberías.

Tabla 18. Cálculo del factor de fricción (f) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B1.

TUBERÍAS	NÚMERO DE REYNOLDS	RUGOSIDAD RELATIVA	f
T0 y T1	659727	0,000007	0,0120
T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 y T9	228759	0,000019	0,0145
T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16 y T17	224496	0,000019	0,0146
T19, T20, T21, T22, T23, T24, T25 y T26	38934	0,000240	0,0220
T18	651873	0,000007	0,0121
T28	73225	0,000056	0,0182
T29	659727	0,000007	0,0120

Conocidos los factores de fricción y mediante la ecuación (14), se determinan las pérdidas de carga primarias. Dichos valores se recogen en la tabla 19.

Tabla 19. Cálculo de las pérdidas de carga primarias para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B1.

TUBERÍAS	L (m)	Q (m ³ /s)	D (m)	f	h _{primarias} (m)
T0 y T1	5,5	0,1623000	0,3510	0,0120	0,0270
T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 y T9	16,0	0,0202900	0,1270	0,0145	0,2389
T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16 y T17	24,0	0,0200200	0,1270	0,0146	0,3512
T19, T20, T21, T22, T23, T24, T25 y T26	16,0	0,0002732	0,0100	0,0220	21,7083
T18	5,0	0,1602000	0,3510	0,0121	0,0241
T28	5,0	0,0021860	0,0425	0,0182	0,2591
T29	3,0	0,1623000	0,351	0,0120	0,0147
TOTAL					22,6233

⁽¹⁾ El valor de longitud L de las tuberías T0 y T1 viene de la suma de las longitudes de las tuberías T0 y T1, ya que poseen el mismo diámetro, el mismo factor de fricción y por ellas circula el mismo caudal. Para el resto de tuberías se procede de forma análoga.

PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS PARA LA BOMBA B1

Las pérdidas de carga secundarias provienen de fricciones que se producen en las válvulas, en las uniones, en los codos y en los instrumentos de medida. Sin embargo, estas últimas se desprecian ya que no suelen ser elevadas, de modo que se tiene la ecuación (18):

$$h_{\text{secundarias}} = h_{\text{válvulas}} + h_{\text{uniones}} + h_{\text{codos}} \quad (18)$$

Tanto las pérdidas de carga en las válvulas como en las uniones y los codos se calculan mediante la ecuación (19):

$$h_{\text{válvulas}} = h_{\text{uniones}} = h_{\text{codos}} = \frac{K \cdot v^2}{2 \cdot g} \quad (19)$$

Donde v (m/s) es la velocidad a la que circula el fluido, g es la aceleración de la gravedad y es igual a 9,81 m/s² y K es una constante tabulada que depende del elemento del que se trate.

En la tabla 20 se recogen los datos de las válvulas, uniones y codos que se tienen, los valores de sus coeficientes K, así como los resultados de las pérdidas de carga secundarias producidas.

Tabla 20. Cálculo de las pérdidas de carga secundarias para la bomba B1.

ELEMENTO	CANTIDAD	K	VELOCIDAD ⁽¹⁾ (m/s)	h _{secundarias} (m)
Válvulas de mariposa	5	0,1308	1,5	0,0750
Uniones en T	22	0,3000	1,5	0,7569
Codos de 90°	11	0,7500	1,5	0,9461
TOTAL				1,7780

⁽¹⁾ Se considera que la velocidad media a través de las válvulas, las uniones y los codos es de 1,5 m/s, ya que el diseño se ha hecho para que la velocidad a través de las tuberías y por tanto de dichos elementos sea de aproximadamente 1,5 m/s.

TÉRMINO DE PRESIÓN PARA LA BOMBA B1

La bomba B1 debe proporcionar una presión transmembranar TMP de 1 bar ($\pm 0,72$ bar), de manera que la diferencia de presión Δp es de 1 bar (10^5 Pa).

Para terminar, a partir de la ecuación (12), se determina el valor de la altura H_B que debe proporcionar la bomba B1:

$$H_B = 37,6273 \text{ m}$$

SELECCIÓN DE LA BOMBA B1 ADECUADA

La bomba B1 debe impulsar un caudal de $0,1623 \text{ m}^3/\text{s}$ ($584,28 \text{ m}^3/\text{h}$) y la altura total que debe proporcionar es de $37,6273 \text{ m}$, por lo que, con la ayuda del catálogo (figura 8), se determina el modelo de bomba más adecuada. La bomba B1 seleccionada es, por tanto, la bomba CPKN 200-400.

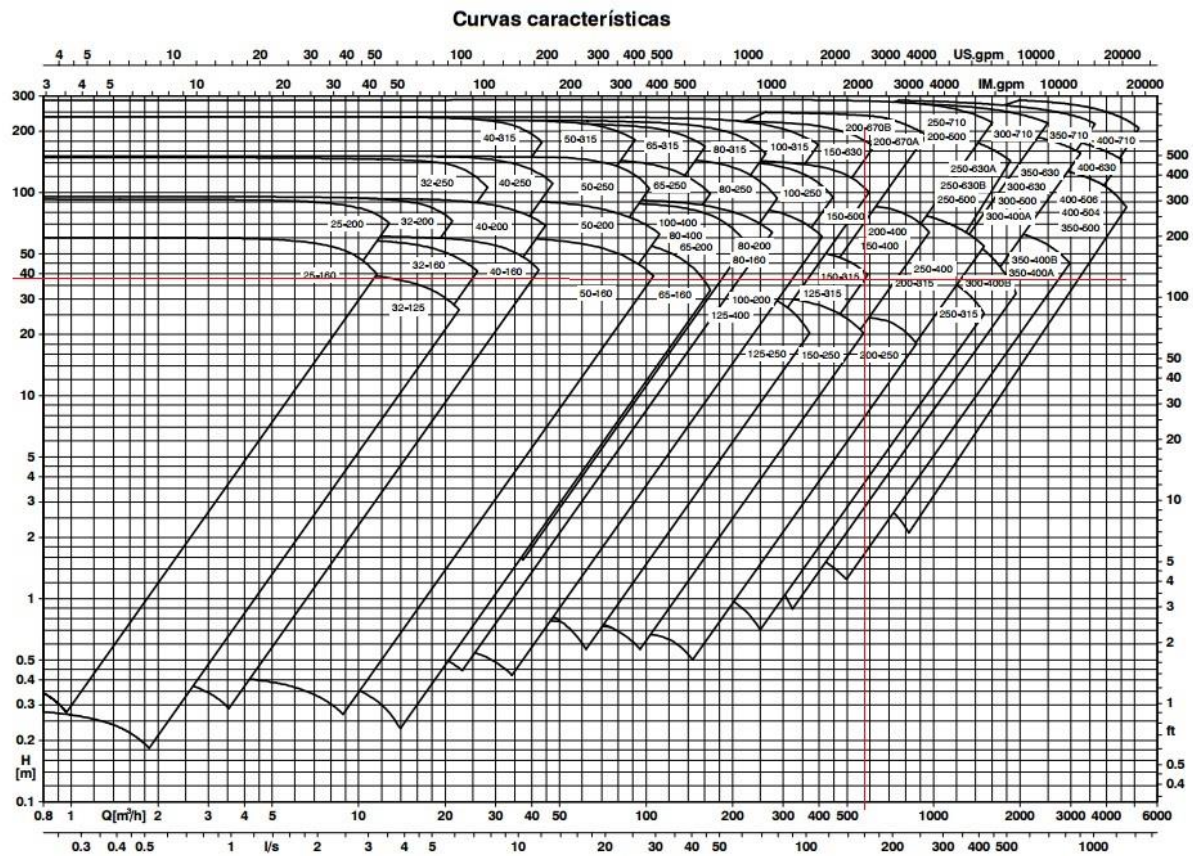


Figura 8. Curvas características de las bombas centrífugas CPKN de KSB.

- **Bomba B2**

Para seleccionar esta segunda bomba, se opera de forma análoga a lo que se ha realizado con la bomba B1.

CÁLCULO DE LA ALTURA H_B QUE DEBE PROPORCIONAR LA BOMBA B2

La bomba B2 se emplea únicamente para impulsar la disolución de NaOH desde su depósito D3 hasta el depósito D1. Además, para el diseño, se considerará que la elevación del punto de aspiración z_A corresponde a una cota de 0 m, mientras que la elevación del punto de impulsión z_I coincide con la longitud de la tubería T35 y es de 5 m. Además, se desprecia el efecto de la disminución de la altura del líquido del depósito D3, por lo que la diferencia $z_I - z_A$ es igual a 5 m.

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS PARA LA BOMBA B2

La bomba B2 se emplea para el bombeo de la disolución de NaOH, desde su depósito de almacenamiento D3 hasta el depósito D1, a una temperatura de 40 °C. Además, esta disolución se encuentra a presión atmosférica, por lo que su presión es de 1,013 bar (0,1013 MPa).

Las condiciones de operación del llenado del depósito D1 son, por tanto, las que se indican en la tabla 21.

Tabla 21. Condiciones de operación de la disolución en la etapa de llenado del depósito D1.

TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (K)	PRESIÓN (bar)	PRESIÓN (MPa)
40	313,15	1,013	0,1013

En la tabla 22 se recogen los valores de densidad en función de la temperatura y de la presión.

Tabla 22. Densidad del agua en función de la temperatura y de la presión (adaptada de CRC Handbook of Chemistry and Physics).

TEMPERATURA (K)	PRESIÓN (MPa)	
	0,1	1,0
300,00	996,56 kg/m ³	996,96 kg/m ³
325,00	987,19 kg/m ³	987,58 kg/m ³

Llevando a cabo una doble interpolación en la tabla 22, se determina que la densidad de la disolución de limpieza en dichas condiciones de operación (313,15 K y 0,1013 MPa) es de 991,63 kg/m³. Además, el efecto de la presión sobre la viscosidad de un líquido es despreciable, por lo que se determina la viscosidad de la disolución de limpieza a 40 °C y es igual a 0,000653 kg/m·s. En la tabla 23 se recogen, por tanto, las propiedades físicas de la disolución de limpieza durante el proceso de llenado del depósito D1.

Tabla 23. Propiedades físicas de la disolución de limpieza en el llenado del depósito D1.

TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (bar)	DENSIDAD (kg/m ³)	VISCOSIDAD DINÁMICA (kg/m·s)
40	1,013	991,63	0,000653

En la tabla 24 se recoge el cálculo del número de Reynolds para las tuberías involucradas en el llenado del depósito D1 con la bomba B2.

Tabla 24. Cálculo del número de Reynolds (Re) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B2.

TUBERÍAS	VELOCIDAD (m/s)	DIÁMETRO (m)	NÚMERO DE REYNOLDS	RÉGIMEN
T34 y T35	1,94	0,1000	294604	Turbulento

En la tabla 25 se recoge el cálculo de la rugosidad relativa de las tuberías.

Tabla 25. Cálculo de la rugosidad relativa (ϵ_r) de las tuberías del circuito alimentado por la bomba B2.

TUBERÍAS	RUGOSIDAD ABSOLUTA (mm)	DIÁMETRO (mm)	RUGOSIDAD RELATIVA
T34 y T35	0,0024	100,0	0,000024

Conocidos el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se determina el factor de fricción con el diagrama de Moody. En la tabla 26 se recogen los factores de fricción obtenidos para las tuberías.

Tabla 26. Cálculo del factor de fricción (f) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B2.

TUBERÍAS	NÚMERO DE REYNOLDS	RUGOSIDAD RELATIVA	FACTOR DE FRICCIÓN
T34 y T35	294604	0,000024	0,0150

En la tabla 27 se recogen los resultados obtenidos de las pérdidas de carga primarias.

Tabla 27. Cálculo de las pérdidas de carga primarias para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B2.

TUBERÍAS	L (m)	Q (m ³ /s)	D (m)	f	$h_{\text{primarias}}$ (m)
T34 y T35 ⁽¹⁾	8,0	0,0152 ⁽²⁾	0,1000	0,0150	0,2291
TOTAL					0,2291

⁽¹⁾ El valor de longitud L de las tuberías T34 y T35 viene de la suma de las longitudes de las tuberías T34 y T35, ya que poseen el mismo diámetro, el mismo factor de fricción y por ellas circula el mismo caudal. Para el resto de tuberías se procede de forma análoga.

PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS PARA LA BOMBA B2

En la tabla 28 se recogen los datos de las válvulas, uniones y codos que se tienen, los valores de sus coeficientes K, así como los resultados de las pérdidas de carga producidas.

Tabla 28. Cálculo de las pérdidas de carga secundarias para la bomba B2.

ELEMENTO	CANTIDA D	K	VELOCIDAD ⁽¹⁾ (m/s)	h _{secundarias} (m)
Válvulas de doble asiento	1	0,1308	1,5	0,0150
Codos en 90°	2	0,7500	1,5	0,1720
TOTAL				0,1870

⁽¹⁾ Se considera que la velocidad media a través de las válvulas, las uniones y los codos es de 1,5 m/s, ya que el diseño se ha hecho para que la velocidad a través de las tuberías y por tanto de dichos elementos sea de aproximadamente 1,5 m/s.

TÉRMINO DE PRESIÓN PARA LA BOMBA B2

La bomba B2 no debe proporcionar ninguna presión, de manera que la diferencia de presión Δp es de 0 Pa.

Para terminar, a partir de la ecuación (12), se determina el valor de la altura H_B que debe proporcionar la bomba B2:

$$H_B = 5,4161 \text{ m}$$

SELECCIÓN DE LA BOMBA B2 ADECUADA

La bomba B2 debe impulsar la disolución de limpieza desde el depósito D3 al depósito D1. Como ya se ha detallado en el apartado 2.2.2., la bomba B2 debe impulsar un caudal de 0,0152 m³/s (54,72 m³/h) y la altura es de 5,4161 m, por lo que, con la ayuda del catálogo (figura 8), se determina que el modelo de bomba más adecuada es la CPKN 65-160.

2.2.4. DIMENSIONADO DE LOS DEPÓSITOS

El diseño de los depósitos se basa en los volúmenes de las corrientes que se almacenan. Además, se debe añadir un 20% de capacidad adicional al depósito para evitar posibles desbordamientos.

▪ **Depósito D1**

El depósito D1 almacena el alpechín producido en un día, para ser procesado mediante el sistema integrado de membranas al día siguiente, de modo que el volumen que debe almacenar es de 38500 litros. Considerando un 20% de volumen adicional, el depósito D1 debe tener una capacidad de 46200 litros. Se selecciona por tanto un depósito con capacidad de 50000 litros.

- **Depósito D2**

El depósito D2 almacena el rechazo final obtenido tras las 7, 41 horas de microfiltración del alpechín, por lo que debe almacenar un volumen de rechazo de 11000 litros. Considerando un 20% de volumen adicional, el depósito D2 debe almacenar 13200 litros, de modo que se selecciona un depósito con capacidad de 14000 litros.

- **Depósito D3**

El depósito D3 almacena la disolución de limpieza de NaOH. Como la limpieza química trabaja a recirculación, es decir, en circuito cerrado, el volumen de disolución de limpieza que debe haber en el depósito D1 ha de ser superior al volumen muerto de la instalación, para que éste no se vacíe y provoque daños en la bomba B1. Se escoge, por tanto, que el volumen de disolución de limpieza que debe haber en el depósito D1 es igual al doble del volumen muerto de la instalación. El volumen que el depósito D3 debe almacenar es, por tanto, el doble del volumen muerto de la instalación. En la figura 9 se muestra un esquema simplificado del circuito alimentado por la bomba B1 para la determinación del volumen muerto:

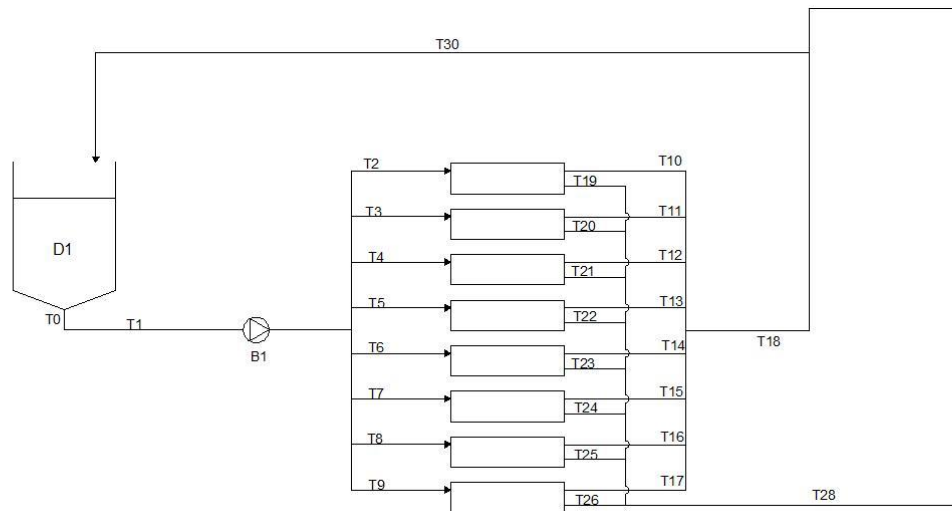


Figura 9. Esquema del circuito de bombeo de la bomba B1.

En la tabla 29 se recogen los resultados obtenidos para el cálculo del volumen muerto.

Tabla 29. Cálculo del volumen muerto de la instalación alimentada por la bomba B1.

TUBERÍAS	DIÁMETRO (m)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (m ³)
T0, T1, T18, T30 y T31 ⁽¹⁾	0,3510	17,5	1,6933
T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16 y T17	0,1270	40,0	0,5067
T19, T20, T21, T22, T23, T24, T25 y T26	0,0100	16,0	0,0013
T28	0,0425	5,0	0,0071
TOTAL			2,2084

⁽¹⁾ El valor de longitud de las tuberías T0, T1, T18, T30, T32 y T35 viene de la suma de las longitudes de las tuberías T34, T0 y T1, ya que poseen el mismo diámetro. Para el resto de tuberías se procede de forma análoga.

Además, hay que considerar el volumen muerto que se tiene en el interior de las membranas. Para ello, se tienen 8 módulos de membranas de sección transversal $St_{\text{módulo}}$ igual a:

$$St_{\text{módulo}} = St_{\text{canal}} \cdot N_{\text{canales}}$$

Donde St_{canal} es la sección transversal de cada canal y es igual a $\pi \cdot r^2 = 9,62 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$, luego:

$$St_{\text{módulo}} = 6,76 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Conocida la superficie transversal de cada módulo, se determina el volumen interno de cada módulo y es igual a:

$$V_{\text{muerto}_{\text{módulo}}} = St_{\text{módulo}} \cdot L_{\text{módulo}}$$

Donde $L_{\text{módulo}}$ es la longitud del módulo y es igual a 1,2 m, luego:

$$V_{\text{muerto}_{\text{módulo}}} = 8,112 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Por tanto, el volumen muerto en el interior de los 8 módulos es:

$$V_{\text{muerto}_{\text{membranas}}} = V_{\text{muerto}_{\text{módulo}}} \cdot N_{\text{módulos}} = 6,490 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

Finalmente, el volumen muerto de la totalidad de la instalación es igual a $2,2733 \text{ m}^3$, que corresponden a un volumen en litros de 2273,3 litros. El volumen que debe almacenar el depósito D3 es, por tanto, igual a 4546,6 litros. Considerando un 20% de volumen adicional, el depósito D3 debe tener una capacidad de 5455,92 litros. Se selecciona por tanto un depósito con capacidad de 6000 litros.

2.3. DISEÑO DE LA ETAPA DE NANOFILTRACIÓN

2.3.1. DIMENSIONADO DE LAS MEMBRANAS

El caudal de la corriente de alimentación de la nanofiltración Q_a corresponde al caudal de permeado de la etapa de microfiltración anterior, de modo que:

$$Q_a = 27\,500 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Además, el factor de reducción de volumen alcanzado en la nanofiltración es de 3,125, de manera que, mediante la ecuación (9), se halla el caudal de rechazo Q_r que se obtiene y es igual a 8800 L/día, y, mediante un balance de materia total, se determina el caudal de permeado Q_p que se obtiene y es igual a 18700 L/día, que, considerando 8 horas al día de procesado, es igual a 2337,5 L/h.

Del artículo de referencia, se toma un valor promedio de la densidad de flujo de permeado \bar{J}_p de 4 L/h·m², por lo que, mediante la ecuación (8), se determina el área total de membrana necesaria para procesar dicho caudal de permeado de la MF:

$$A_{\text{total}} = \frac{Q_p}{\bar{J}_p} = 584,375 \text{ m}^2$$

El módulo de arrollamiento en espiral de nanofiltración seleccionado es el módulo Spira-Cel 3838 con un espaciador de 44 mil ($1,1176 \cdot 10^{-3}$ m), que proporciona un área de membrana total $A_{\text{módulo}}$ de 5,7 m², de modo que se determina el número de módulos $N_{\text{módulos}}$ que se deberían colocar en paralelo:

$$N_{\text{módulos}} = \frac{A_{\text{total}}}{A_{\text{módulo}}} \approx 102,52$$

Tomando el valor inmediatamente superior, se tiene que $N_{\text{módulos}} = 103$, luego:

$$A_{\text{total}} = N_{\text{módulo}} \cdot A_{\text{módulo}} = 587,10 \text{ m}^2$$

Recalculando el caudal de permeado obtenido Q_p , se tiene:

$$Q_p = \bar{J}_p \cdot A_{\text{total}} = 2348,4 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

El caudal de permeado total obtenido es de 2337,5 L/h, luego el tiempo de procesado es:

$$\text{Tiempo} = \frac{2337,5 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot 8 \frac{\text{h}}{\text{día}}}{2348,4 \frac{\text{L}}{\text{h}}} = 7,96 \frac{\text{h}}{\text{día}}$$

Dicho módulo posee un diámetro de 3,8 pulgadas (0,09652 m) y una longitud L de 38 pulgadas (0,9652 m). Además, se considera una porosidad del espaciador ϵ de 0,89. Desplegándolo, tal y como se puede observar en la figura 10, se obtienen dos partes de membrana de un área de $A_{\text{módulo}}/2$ separadas por un espacio que corresponde a la altura del espaciador $h = 44$ mil:

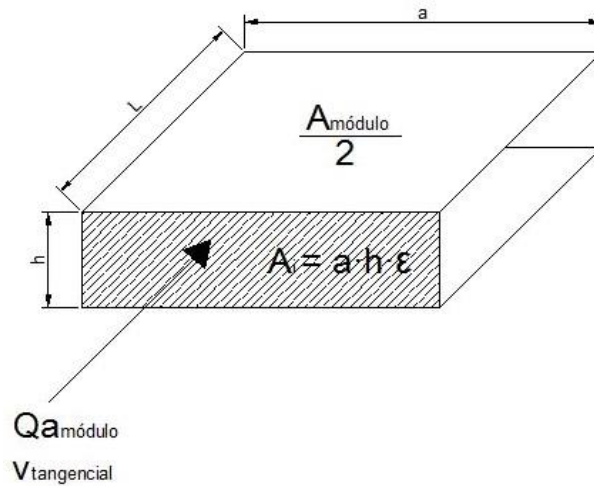


Figura 10. Esquema de un módulo de arrollamiento en espiral desenrollado.

De acuerdo con la figura 10, se tiene que:

$$\frac{A_{\text{módulo}}}{2} = a \cdot L$$

Luego, despejando:

$$a = \frac{A_{\text{módulo}}}{2 \cdot L} = 2,953 \text{ m}$$

De modo que el caudal que entra a cada módulo \$Qa_{\text{módulo}}\$ es igual a:

$$Qa_{\text{módulo}} = v_{\text{tangencial}} \cdot Ai = v_{\text{tangencial}} \cdot a \cdot h \cdot \epsilon$$

Donde \$v_{\text{tangencial}}\$ es la velocidad tangencial típica de un módulo de arrollamiento en espiral de nanofiltración y está comprendida entre 0,06 m/s y 0,20 m/s (Radu et al., 2014). En este caso, se toma un valor promedio de 0,14 m/s. Además, \$h\$ es la altura del espaciador y es igual a \$1,1176 \cdot 10^{-3}\$ m y \$\epsilon\$ es la porosidad del espaciador y es de 0,89.

Así, se tiene:

$$Qa_{\text{módulo}} = 4,112 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Trabajando 7,96 horas al día:

$$Qa_{\text{módulo}} = 11\,783,35 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

El número de módulos \$N_{\text{paralelo}}\$ a colocar en paralelo es, por tanto:

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{Qa}{Qa_{\text{módulo}}} \approx 2,33$$

Se debería por tanto colocar 3 módulos en paralelo. Sin embargo, lo correcto es trabajar con números pares para diseñar un proceso por etapas con una configuración piramidal e ir uniendo los rechazos dos a dos, por lo que se colocan 4 módulos en paralelo, de modo que:

$$N_{\text{paralelo}} = 4$$

$$Q_{a\text{módulo}} = \frac{Q_a}{N_{\text{paralelo}}} = 6875 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Y se recalcula la velocidad tangencial para comprobar que sigue comprendida entre los valores correctos (0,06 m/s – 0,20 m/s):

$$v_{\text{tangencial}} = \frac{Q_{a\text{módulo}}}{a \cdot h \cdot \varepsilon} = 0,0817 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Dicha velocidad tangencial está comprendida dentro del intervalo adecuado para módulos con configuración en espiral.

Se tiene, por tanto, un esquema general del proceso como el representado en la figura 11.

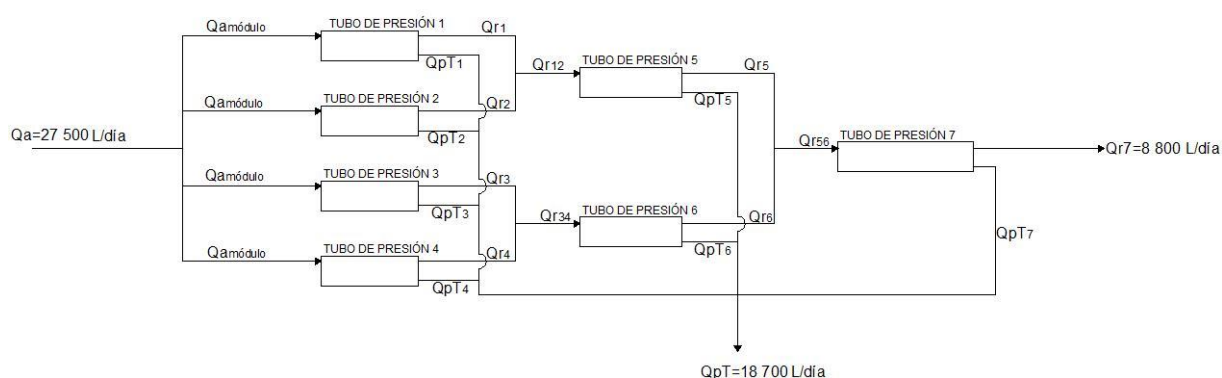


Figura 11. Esquema general del proceso de nanofiltración.

El límite máximo de módulos que se pueden colocar en serie dentro de un mismo tubo de presión se define por la necesidad de tener suficiente velocidad tangencial en el último módulo de la serie, es decir, que la velocidad tangencial a la entrada del último módulo ha de ser superior o igual a 0,06 m/s. Sabido esto, el diseño se hace forzando a que la velocidad tangencial a la salida del último módulo en serie (Q_{r1}) sea igual a 0,06 m/s, de manera que a su entrada será obligatoriamente estrictamente superior a 0,06 m/s.

Así, se tiene que:

$$Q_{r1} = v_{\text{tangencial}} \cdot a \cdot h \cdot \varepsilon$$

Donde $v_{\text{tangencial}}$ es ahora mínima y es de 0,06 m/s, y se procesa durante 7,96 horas al día.

Luego, se tiene que:

$$Q_{r1} = 5050,18 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Mediante un balance de materia total en el tubo de presión 1, se tiene que:

$$Q_{pT1} = Q_{a\text{módulo}} - Q_{r1} = 1824,82 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Sabiendo que la densidad de flujo de permeado promedio \bar{J}_p es de $4 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$, se determina el caudal de permeado que se produce en cada módulo $Q_{p\text{módulo}}$:

$$Q_{p\text{módulo}} = \bar{J}_p \cdot A_{\text{módulo}} = 22,8 \frac{\text{L}}{\text{h}} = 181,488 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Suponiendo que los caudales de permeado que se obtienen en cada módulo en serie son iguales, se halla el número de módulos en serie a colocar N_{serie} :

$$N_{\text{serie}} = \frac{Q_{pT1}}{Q_{p\text{módulo}}} \approx 10,05$$

Se colocan por tanto 10 módulos en serie, luego:

$$N_{\text{serie}} = 10$$

$$Q_{pT1} = N_{\text{serie}} \cdot Q_{p\text{módulo}} = 1814,88 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$Q_{r1} = Q_{a\text{módulo}} - Q_{pT1} = 5060,12 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Recalculando la velocidad tangencial a la salida del último módulo de la serie y comprobando que se encuentra dentro de los límites correctos:

$$v_{\text{tangencial}} = \frac{Q_{r1}}{a \cdot h \cdot \varepsilon} \approx 0,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El factor de reducción de volumen de la primera etapa FRV1 es, por tanto:

$$FRV1 = \frac{Q_{a\text{módulo}}}{Q_{r1}} \approx 1,359$$

Además, como los módulos en paralelo se comportan idénticamente, se tiene que:

$$Q_{r12} = Q_{r34} = 2 \cdot Q_{r1} = 10120,24 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Para la segunda etapa, se procede de forma análoga. Se calcula el mínimo caudal de Q_{r5} que asegure una velocidad tangencial de $0,06 \text{ m/s}$, el caudal de permeado total Q_{pT5} que sale del tubo de permeado 5 y, conocido el caudal de permeado que se obtiene de cada módulo, se halla el número de módulos en serie a colocar:

$$Q_{r5} = v_{\text{tangencial}} \cdot a \cdot h \cdot \varepsilon = 5050,18 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$Q_{pT5} = Q_{r12} - Q_{r5} = 5070,06 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$N_{\text{serie}} = \frac{Q_{pT5}}{Q_{p\text{módulo}}} \approx 27,94$$

Se colocan por tanto 28 módulos en serie, luego:

$$N_{\text{serie}} = 28$$

$$Q_{pT5} = N_{\text{serie}} \cdot Q_{p\text{módulo}} = 5081,66 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$Q_{r5} = Q_{r12} - Q_{pT5} = 5038,58 \frac{L}{\text{día}}$$

Comprobando la velocidad tangencial:

$$v_{\text{tangencial}} = \frac{Q_{r5}}{a \cdot h \cdot \varepsilon} \approx 0,06 \frac{m}{s}$$

$$Q_{r56} = 2 \cdot Q_{r5} = 10077,16 \frac{L}{\text{día}}$$

$$FRV2 = \frac{Q_{r12}}{Q_{r5}} \approx 2,009$$

Para la tercera etapa, se sabe que el caudal final de rechazo Q_{r7} es igual a 8800 L/día, por lo que:

$$Q_{pT7} = Q_{r56} - Q_{r7} = 1277,16 \frac{L}{\text{día}}$$

Y operando de forma análoga, los resultados son los siguientes:

$$N_{\text{serie}} = 7$$

$$Q_{pT7} = 1270,42 \frac{L}{\text{día}}$$

$$Q_{r7} = Q_{r56} - Q_{pT7} = 8806,74 \frac{L}{\text{día}}$$

$$FRV3 = \frac{Q_{r56}}{Q_{r7}} \approx 1,144$$

El factor de reducción de volumen total FRV es por tanto:

$$FRV = FRV1 \cdot FRV2 \cdot FRV3 = \frac{Q_a}{Q_{r7}} \approx 3,123$$

Finalmente, el caudal de permeado total Q_{pT} que se obtiene es:

$$Q_{pT} = Q_a - Q_{r7} = 18693,26 \frac{L}{\text{día}}$$

2.3.2. DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS

El cálculo de las tuberías de la etapa de nanofiltración se lleva a cabo de forma análoga al diseño de las tuberías de microfiltración, es decir, empleando la ecuación (10).

La figura 20 de la memoria descriptiva muestra un esquema completo de la etapa de nanofiltración y su sistema de aclarado y limpieza.

PROCESADO DEL PERMEADO DE LA MICROFILTRACIÓN

- **Tubería T37**

El caudal que circula por esta tubería es Q_a (apartado 2.3.1.) y es igual a 27500 L/día, que, considerando 7,96 horas al día, es igual a $9,597 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de T37 ha de ser de 0,0285 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0300 m

con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0280 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,56 m/s.

- **Tuberías T38, T39, T40 y T41**

El caudal que circula por estas tuberías es $Q_{a\text{módulo}}$ (calculado en el apartado 2.3.1.) y es igual a 6875 L/día, que considerando 7,96 horas al día, es igual a $2,399 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,0143 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0180 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0140 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,56 m/s.

- **Tuberías T52, T53, T54 y T55**

El caudal que circula por estas tuberías es Q_{pT1} (calculado en el apartado 2.3.1.) y es igual a 1814,88 L/día, que considerando 7,96 horas al día, es igual a $6,333 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,0073 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0080 m con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0060 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 2,24 m/s.

- **Tuberías T42, T43, T44 y T45**

El caudal que circula por estas tuberías es Q_{r1} (calculado en el apartado 2.3.1.) y es igual a 5060,12 L/día, que considerando 7,96 horas al día, es igual a $1,766 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,0122 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0140 m con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0120 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,56 m/s.

- **Tuberías T46 y T47**

El caudal que circula por estas tuberías es Q_{r12} (calculado en el apartado 2.3.1.) y es igual a 10120,24 L/día, que considerando 7,96 horas al día, es igual a $3,532 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,0173 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0190 m con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0170 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,56 m/s.

- **Tuberías T56 y T57**

El caudal que circula por estas tuberías es Q_{pT5} (calculado en el apartado 2.3.1.) y es igual a 5081,66 L/día, que considerando 7,96 horas al día, es igual a $1,773 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,0123 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0140 m con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0120 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,57 m/s.

- **Tuberías T48 y T49**

El caudal que circula por estas tuberías es Q_{r5} (calculado en el apartado 2.3.1.) y es igual a 5038,58 L/día, que considerando 7,96 horas al día, es igual a $1,758 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,0122 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0140 m con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0120 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,55 m/s.

- **Tubería T50**

El caudal que circula por esta tubería es Q_{r56} (calculado en el apartado 2.3.1.) y es igual a 10077,16 L/día, que considerando 7,96 horas al día, es igual a $3,517 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,0173 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0190 m con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0170 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,55 m/s.

- **Tubería T58**

El caudal que circula por esta tubería es Q_{pT7} (calculado en el apartado 2.3.1.) y es igual a 1270,42 L/día, que considerando 7,96 horas al día, es igual a $4,433 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,0061 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0080 m con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0060 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,57 m/s.

- **Tuberías T51, T61 y T62**

El caudal que circula por estas tuberías es Q_{r7} (calculado en el apartado 2.3.1.) y es igual a 8806,74 L/día, que considerando 7,96 horas al día, es igual a $3,073 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,0162 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0180 m con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0160 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,53 m/s.

- **Tubería T59**

El caudal que circula por esta tubería es Q_{pT} (calculado en el apartado 2.3.1.) y es igual a 18693,26 L/día, que considerando 7,96 horas al día, es igual a $6,523 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,0235 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0250 m con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0230 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,57 m/s.

PROCESOS DE ACLARADO CON AGUA Y LIMPIEZA QUÍMICA

Del artículo de referencia se extrae que la permeabilidad hidráulica de la membrana es alrededor de $4,1 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}$. En el proceso de aclarado y limpieza, se trabaja a una presión transmembrana de 1 bar, por lo que la densidad de flujo de permeado para el agua de aclarado y la disolución de limpieza es de $4,1 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$. Esta densidad de flujo de permeado es ligeramente mayor que la que se obtiene para el permeado de la microfiltración (que es de $4 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$), por lo que los caudales de rechazo serán menores y, por tanto, puede ocurrir que la velocidad tangencial en alguna de las tuberías por las que circula el rechazo sea inferior a 1,5 m/s, definida como la velocidad tangencial mínima durante el proceso de limpieza.

En este caso, la tubería crítica es la tubería T51, por lo que se calcula el caudal mínimo que debe circular por ella, para asegurar una velocidad tangencial de 1,5 m/s. A partir de ahí, se va calculando el resto de tuberías.

- **Tubería T51**

El diámetro interior de esta tubería ya está definido para el procesado del permeado de la MF y es de 0,016 m. Conocida la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se halla el caudal mínimo de rechazo durante el proceso de limpieza $Q_{rT7_{limpieza}}$:

$$Q_{rT7_{limpieza}} = 3,016 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

- **Tubería T58**

La densidad de flujo de permeado para el agua de aclarado y la disolución de limpieza es de 4,1 L/m²·h. Conocida la densidad de flujo de permeado y el área del módulo, se determina el caudal de permeado que se obtiene de cada módulo durante el proceso de limpieza $Q_{p_{limpieza,módulo}}$:

$$Q_{p_{limpieza,módulo}} = J_p \cdot A_{módulo} = 23,37 \frac{L}{h} \approx 6,492 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

El tubo de presión 7 está constituido por 7 módulos de membrana en serie, por lo que el caudal de permeado total que se obtiene del tubo de presión durante el proceso de limpieza $Q_{pT7_{limpieza}}$ es:

$$Q_{pT7_{limpieza}} = 7 \cdot Q_{p_{limpieza,módulo}} = 4,544 \cdot 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

Además, el diámetro interior de esta tubería ya está definido para el procesado del permeado de la MF y es de 0,006 m, por lo que se obtiene una velocidad tangencial de 1,61 m/s.

- **Tubería T50**

El caudal de alimento al tubo de presión 7 $Q_{aT7_{limpieza}}$ se calcula como:

$$Q_{aT7_{limpieza}} = Q_{pT7_{limpieza}} + Q_{rT7_{limpieza}} = 3,470 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Además, el diámetro interior de esta tubería ya está definido para el procesado del alpechín y es de 0,017 m, por lo que se obtiene una velocidad tangencial de 1,53 m/s.

- **Tuberías T48 y T49**

El caudal $Q_{rT5_{limpieza}}$ que circula por estas tuberías es:

$$Q_{rT5_{limpieza}} = \frac{Q_{aT7_{limpieza}}}{2} = 1,735 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Además, el diámetro interior de esta tubería ya está definido para el procesado del permeado de la MF y es de 0,012 m, por lo que se obtiene una velocidad tangencial de 1,53 m/s.

- **Tuberías T56 y T57**

El tubo de presión 5 está constituido por 28 módulos de membrana en serie, por lo que el caudal de permeado total que se obtiene del tubo de presión durante el proceso de limpieza $Q_{pT5_{limpieza}}$ es:

$$Q_{pT5_{limpieza}} = 28 \cdot Q_{p_{limpieza,módulo}} = 1,818 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Además, el diámetro interior de esta tubería ya está definido para el procesado del permeado de la MF y es de 0,012 m, por lo que se obtiene una velocidad tangencial de 1,61 m/s.

- **Tuberías T46 y T47**

El caudal de alimento al tubo de presión 5 $Q_{aT5_{limpieza}}$ se calcula como:

$$Q_{aT5_{limpieza}} = Q_{pT5_{limpieza}} + Q_{rT5_{limpieza}} = 3,553 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Además, el diámetro interior de esta tubería ya está definido para el procesado del permeado de la MF y es de 0,017 m, por lo que se obtiene una velocidad tangencial de 1,57 m/s.

- **Tuberías T42, T43, T44 y T45**

El caudal $Q_{rT1_{limpieza}}$ que circula por estas tuberías es:

$$Q_{rT1_{limpieza}} = \frac{Q_{aT5_{limpieza}}}{2} = 1,777 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Además, el diámetro interior de esta tubería ya está definido para el procesado del permeado de la MF y es de 0,012 m, por lo que se obtiene una velocidad tangencial de 1,57 m/s.

- **Tuberías T52, T53, T45 y T55**

El tubo de presión 1 está constituido por 10 módulos de membrana en serie, por lo que el caudal de permeado total que se obtiene del tubo de presión durante el proceso de limpieza $Q_{pT1_{limpieza}}$ es:

$$Q_{pT1_{limpieza}} = 10 \cdot Q_{p_{limpieza,módulo}} = 6,492 \cdot 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

Además, el diámetro interior de esta tubería ya está definido para el procesado del permeado de la MF y es de 0,006 m, por lo que se obtiene una velocidad tangencial de 2,30 m/s.

- **Tuberías T38, T39, T40 y T41**

El caudal de alimento al tubo de presión 1 $Q_{aT1_{limpieza}}$ se calcula como:

$$Q_{aT1_{limpieza}} = Q_{pT1_{limpieza}} + Q_{rT1_{limpieza}} = 2,426 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Además, el diámetro interior de esta tubería ya está definido para el procesado del permeado de la MF y es de 0,014 m, por lo que se obtiene una velocidad tangencial de 1,58 m/s.

- **Tubería T37**

El caudal de alimento durante el proceso de limpieza $Q_{a_{limpieza}}$ es:

$$Q_{a_{limpieza}} = 4 \cdot Q_{aT1_{limpieza}} = 9,704 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Además, el diámetro interior de esta tubería ya está definido para el procesado del permeado de la MF y es de 0,028 m, por lo que se obtiene una velocidad tangencial de 1,58 m/s.

- **Tubería T59**

Esta tubería recoge las corrientes de permeado de las 103 membranas, por lo que:

$$Q_{pT} = 103 \cdot Q_{p_{limpieza,módulo}} = 6,687 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Además, el diámetro interior de esta tubería ya está definido para el procesado del permeado de la MF y es de 0,023 m, por lo que se obtiene una velocidad tangencial de 1,61 m/s.

- **Tubería T60**

Esta tubería recoge las corrientes de permeado de las 103 membranas, luego su caudal es igual a $6,687 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. Además, se dese una velocidad tangencial de 1,5 m/s, luego el diámetro interior de la tubería ha de ser de 0,0283 m. Se selecciona, por tanto, una tubería de diámetro exterior de 0,025 m con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior de 0,023 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,6 m/s.

- **Tubería T61**

Esta tubería recoge tanto la corriente final de rechazo $Q_{rT7_{\text{limpieza}}}$ como la corriente total de permeado de las 103 membranas Q_{pT} , luego:

$$Q = Q_{rT7_{\text{limpieza}}} + Q_{pT} = 9,704 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Además, el diámetro interior de esta tubería ya está definido para el procesado del permeado de la MF y es de 0,016 m, por lo que se obtiene una velocidad tangencial de 4,83 m/s.

- **Tuberías T63, T64, T65, T66 y T67**

El caudal que circula por estas tuberías es el mismo que el que circula por la tubería T61, es decir:

$$Q = 9,704 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El diámetro interior de estas tuberías ha de ser, por tanto, de 0,0287 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,030 m con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,028 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,58 m/s.

2.3.3. DIMENSIONADO DE LAS BOMBAS

En esta segunda etapa de nanofiltración se cuenta con dos bombas: la bomba B3, que proporciona la presión necesaria en la nanofiltración, y la bomba B4, que bombea la disolución de limpieza química desde el depósito D6 hasta el sistema de membranas durante el proceso de limpieza.

- **BOMBA B3**

CÁLCULO DE LA ALTURA H_B QUE DEBE PROPORCIONAR LA BOMBA B3

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS PARA LA BOMBA B3

De acuerdo con el artículo tomado como referencia, la nanofiltración del permeado de la microfiltración se lleva a cabo a una temperatura de 20 °C y a una presión transmembrana de 8 bar. De acuerdo con la ecuación (17) y despreciando las pérdidas de carga que se producen en el interior de las membranas, se determina que la presión absoluta a la que se lleva a cabo la nanofiltración del permeado de la microfiltración es:

$$p_e = 8 \text{ bar} + 1,013 \text{ bar} = 9,013 \text{ bar}$$

Las condiciones de operación de la nanofiltración son, por tanto, las que se indican en la tabla 30.

Tabla 30. Condiciones de operación de la nanofiltración.

TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (K)	PRESIÓN (bar)	PRESIÓN (MPa)
20	293,15	9,013	0,9013

En la tabla 14, se recogen los valores de densidad del agua en función de la temperatura y de la presión. Se ha supuesto que el permeado de la microfiltración tiene propiedades físicas análogas a las del agua.

Llevando a cabo una doble interpolación en la tabla 14, se determina que la densidad del permeado de la microfiltración en las condiciones de operación de la nanofiltración (293,15 K y 0,9013 MPa) es de 997,77 kg/m³. Además, el efecto de la presión sobre la viscosidad de un líquido es despreciable, por lo que se determina la viscosidad del permeado de la microfiltración a 20 °C y es igual a 0,001003 kg/m·s. En la tabla 31 se recogen, por tanto, las propiedades físicas del permeado de la microfiltración en las condiciones de operación de la nanofiltración.

Tabla 31. Propiedades físicas del permeado de la microfiltración en la nanofiltración.

TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (bar)	DENSIDAD (kg/m ³)	Viscosidad dinámica (kg/m·s)
20	9,013	997,77	0,001003

En la tabla 32 se recoge el cálculo del número de Reynolds para todas las tuberías involucradas en el bombeo de permeado de la microfiltración con la bomba B3.

Tabla 32. Cálculo del número de Reynolds (Re) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B3.

TUBERÍAS	VELOCIDAD (m/s)	DIÁMETRO (m)	NÚMERO DE REYNOLDS	RÉGIMEN
T37	1,56	0,0280	43452	Turbulento
T38, T39, T40 y T41	1,56	0,0140	21726	Turbulento
T42, T43, T44 y T45	1,56	0,0120	18622	Turbulento
T46 y T47	1,56	0,0170	26382	Turbulento
T48 y T49	1,55	0,0120	18503	Turbulento
T50	1,55	0,0170	26213	Turbulento
T51, T61 y T62	1,53	0,0160	24352	Turbulento
T52, T53, T54 y T55	2,24	0,0060	13370	Turbulento
T56 y T57	1,57	0,0120	18742	Turbulento
T58	1,57	0,0060	9371	Turbulento
T59	1,57	0,0230	35922	Turbulento

En la tabla 33 se recoge el cálculo de la rugosidad relativa de cada tubería.

Tabla 33. Cálculo de la rugosidad relativa (ϵ_r) de las tuberías del circuito alimentado por la bomba B3.

TUBERÍAS	RUGOSIDAD ABSOLUTA (mm)	DIÁMETRO (mm)	RUGOSIDAD RELATIVA
T37	0,0024	28,0	0,000086
T38, T39, T40 y T41	0,0024	14,0	0,000171
T42, T43, T44 y T45	0,0024	12,0	0,000200
T46 y T47	0,0024	17,0	0,000141
T48 y T49	0,0024	12,0	0,000200
T50	0,0024	17,0	0,000141
T51, T61 y T62	0,0024	16,0	0,000150
T52, T53, T54 y T55	0,0024	6,0	0,000400
T56 y T57	0,0024	12,0	0,000200
T58	0,0024	6,0	0,000400
T59	0,0024	23,0	0,000104

En la tabla 34 se recogen los factores de fricción obtenidos para las distintas tuberías, mediante el diagrama de Moody.

Tabla 34. Cálculo del factor de fricción (f) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B3.

TUBERÍAS	NÚMERO DE REYNOLDS	RUGOSIDAD RELATIVA	FACTOR DE FRICCIÓN
T37	43452	0,000086	0,0220
T38, T39, T40 y T41	21726	0,000171	0,0250
T42, T43, T44 y T45	18622	0,000200	0,0270
T46 y T47	26382	0,000141	0,0240
T48 y T49	18503	0,000200	0,0271
T50	26213	0,000141	0,0241
T51, T61 y T62	24352	0,000150	0,0250
T52, T53, T54 y T55	13370	0,000400	0,0300
T56 y T57	18742	0,000200	0,0272
T58	9371	0,000400	0,0310
T59	35922	0,000104	0,0225

En la tabla 35 se recogen los resultados obtenidos de las pérdidas de carga primarias.

Tabla 35. Cálculo de las pérdidas de carga primarias para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B3.

TUBERÍAS	L (m)	Q (m ³ /s)	D (m)	f	h _{primarias} (m)
T37	3,0	9,597·10 ⁻⁴	0,0280	0,0220	0,2918
T38, T39, T40 y T41 ⁽¹⁾	8,0	2,399·10 ⁻⁴	0,0140	0,0250	1,7684
T42, T43, T44 y T45	8,0	1,766·10 ⁻⁴	0,0120	0,0270	2,2369
T46 y T47	4,0	3,532·10 ⁻⁴	0,0170	0,0240	0,6969
T48 y T49	4,0	1,758·10 ⁻⁴	0,0120	0,0271	1,1125
T50	2,0	3,517·10 ⁻⁴	0,0170	0,0241	0,3470
T51, T61 y T62	3,0	3,073·10 ⁻⁴	0,0160	0,0250	0,5581
T52, T53, T54 y T55	12,0	6,333·10 ⁻⁵	0,0060	0,0300	15,3422
T56 y T57	6,0	1,773·10 ⁻⁴	0,0120	0,0272	1,7035
T58	3,0	4,433·10 ⁻⁵	0,0060	0,0310	1,9420
T59	3,0	6,523·10 ⁻⁴	0,0230	0,0225	0,3687
TOTAL					26,3680

⁽¹⁾ El valor de longitud L de las tuberías T38, T39, T40 y T41 viene de la suma de las longitudes de las tuberías T38, T39, T40 y T41, ya que poseen el mismo diámetro, el mismo factor de fricción y por ellas circula el mismo caudal. Para el resto de tuberías se procede de forma análoga.

PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS PARA LA BOMBA B3

En la tabla 36 se recogen los datos de las válvulas, uniones y codos que se tienen, los valores de sus coeficientes K, así como los resultados de las pérdidas de carga secundarias producidas.

Tabla 36. Cálculo de las pérdidas de carga secundarias para la bomba B3.

ELEMENTO	CANTIDAD	K	VELOCIDAD ⁽¹⁾ (m/s)	h _{secundarias} (m)
Válvulas de mariposa	4	0,1308	1,5	0,0600
Uniones en T	11	0,3000	1,5	0,3784
Codos en 90°	15	0,7500	1,5	1,2901
TOTAL				1,7285

⁽¹⁾ Se considera que la velocidad media a través de las válvulas, las uniones y los codos es de 1,5 m/s, ya que el diseño se ha hecho para que la velocidad a través de las tuberías y por tanto de dichos elementos sea de aproximadamente 1,5 m/s.

TÉRMINO DE PRESIÓN PARA LA BOMBA B3

La bomba B3 debe proporcionar una presión transmembrana TMP de 8 bar, de manera que la diferencia de presión Δp es de 8 bar ($8 \cdot 10^5$ Pa).

Para terminar, a partir de la ecuación (12), se determina el valor de la altura H_B que debe proporcionar la bomba B3:

$$H_B = 109,8282 \text{ m}$$

SELECCIÓN DE LA BOMBA B3 ADECUADA

La bomba B3 se emplea para proporcionar a la alimentación (permeado de la microfiltración) la presión transmembrana de 8 bar necesaria para la nanofiltración. El permeado de la microfiltración ya llega a la nanofiltración con el suficiente caudal (27500 L/día, que considerando 7,41 horas al día de microfiltración, es igual a 3711,20 L/h) y el caudal con el que se alimenta la nanofiltración es de 27500 L/día, que considerando 7,96 horas al día, es igual a 3454,77 L/h. Debido a esta diferencia de tiempos, se acumula un volumen de permeado en el tanque intermedio D4 V_{D4} a una velocidad Q_{D4} :

$$Q_{D4} = 3711,20 \frac{\text{L}}{\text{h}} - 3454,77 \frac{\text{L}}{\text{h}} = 256,43 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Pasadas las 7,41 horas de la etapa de microfiltración, el volumen de permeado que se acumula V_{D4} es igual a:

$$V_{D4} = Q_{D4} \cdot 7,41 \text{ h} = 1900,15 \text{ L}$$

La bomba B3 no proporcionará ningún caudal, sólo presión, durante las primeras 7,41 horas. Pasado este periodo, el volumen de permeado acumulado V_{D4} deberá ser impulsado con un caudal de $9,597 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ($3,45 \text{ m}^3/\text{h}$) por la bomba B3 y la altura que debe proporcionar es de 109,8282 m, por lo que, con la ayuda del catálogo (figura 8), se determina que el modelo de bomba más adecuado es el CPKN 32-250.

▪ **BOMBA B4**

CÁLCULO DE LA ALTURA H_B QUE DEBE PROPORCIONAR LA BOMBA B4

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS PARA LA BOMBA B4

La bomba B4 se emplea en el proceso de limpieza de las membranas de nanofiltración y trabaja en circuito cerrado, por lo que la elevación del punto de aspiración z_A y de impulsión z_I coinciden, por lo que la ecuación de Bernoulli se simplifica y toma la siguiente forma:

$$H_B = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} + h_{\text{pérdidas}}$$

Además, este proceso se lleva a cabo en las mismas condiciones de operación que la limpieza de las membranas de microfiltración, es decir, a una temperatura de 40 °C y a una presión transmembrana de 1 bar. De acuerdo con la ecuación (17), la presión absoluta de la disolución de limpieza es, por tanto, de 2,013 bar.

Las condiciones de operación de la limpieza química son, por tanto, las que se indican en la tabla 37.

Tabla 37. Condiciones de operación de la limpieza química en la etapa de nanofiltración.

TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (K)	PRESIÓN (bar)	PRESIÓN (MPa)
40	313,15	2,013	0,2013

En la tabla 22, se recogen los valores de densidad en función de la temperatura y de la presión.

Llevando a cabo una doble interpolación en la tabla 22, se determina que la densidad de la disolución de limpieza en las condiciones de la limpieza (313,15 K y 0,2013 MPa) es de 991,68 kg/m³. Además, el efecto de la presión sobre la viscosidad de un líquido es despreciable, por lo que se determina la viscosidad de la disolución de limpieza a 40 °C y es igual a 0,000653 kg/m·s. En la tabla 38 se recogen, por tanto, las propiedades físicas de la disolución de limpieza en dichas condiciones.

Tabla 38. Propiedades físicas de la disolución de limpieza en la nanofiltración.

TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (bar)	DENSIDAD (kg/m ³)	VISCOSIDAD DINÁMICA (kg/m·s)
40	2,013	991,68	0,000653

En la tabla 39 se recoge el cálculo del número de Reynolds para todas las tuberías involucradas en el bombeo de disolución de limpieza con la bomba B4.

Tabla 39. Cálculo del número de Reynolds (Re) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B4.

TUBERÍAS	VELOCIDAD (m/s)	DIÁMETRO (m)	NÚMERO DE REYNOLDS	RÉGIMEN
T37	1,58	0,0280	67185	Turbulento
T38, T39, T40 y T41	1,58	0,0140	33593	Turbulento
T42, T43, T44 y T45	1,57	0,0120	28611	Turbulento
T46 y T47	1,57	0,0170	40533	Turbulento
T48 y T49	1,53	0,0120	27882	Turbulento
T50	1,53	0,0170	39500	Turbulento
T51	1,50	0,0160	36448	Turbulento
T61	4,83	0,0160	117361	Turbulento
T64, T65 y T67	1,58	0,0280	67185	Turbulento

En la tabla 40 se recoge el cálculo de la rugosidad relativa de cada tubería.

Tabla 40. Cálculo de la rugosidad relativa (ϵ_r) de las tuberías del circuito alimentado por la bomba B4.

TUBERÍAS	RUGOSIDAD ABSOLUTA (mm)	DIÁMETRO (mm)	RUGOSIDAD RELATIVA
T37	0,0024	28,0	0,000086
T38, T39, T40 y T41	0,0024	14,0	0,000171
T42, T43, T44 y T45	0,0024	12,0	0,000200
T46 y T47	0,0024	17,0	0,000141
T48 y T49	0,0024	12,0	0,000200
T50	0,0024	17,0	0,000141
T51	0,0024	16,0	0,000150
T61	0,0024	16,0	0,000150
T64, T65 y T67	0,0024	28,0	0,000086

En la tabla 41 se recogen los factores de fricción obtenidos para las distintas tuberías, mediante el diagrama de Moody.

Tabla 41. Cálculo del factor de fricción (f) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B4.

TUBERÍAS	NÚMERO DE REYNOLDS	RUGOSIDAD RELATIVA	FACTOR DE FRICCIÓN
T37	67185	0,000086	0,0195
T38, T39, T40 y T41	33593	0,000171	0,0230
T42, T43, T44 y T45	28611	0,000200	0,0240
T46 y T47	40533	0,000141	0,0220
T48 y T49	27882	0,000200	0,0239
T50	39500	0,000141	0,0221
T51	36448	0,000150	0,0225
T61	117361	0,000150	0,0185
T64, T65 y T67	67185	0,000086	0,0195

En la tabla 42 se recogen los resultados obtenidos de las pérdidas de carga primarias.

Tabla 42. Cálculo de las pérdidas de carga primarias para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B4.

TUBERÍAS	L ⁽¹⁾ (m)	Q (m ³ /s)	D (m)	f	h _{primarias} (m)
T37	3,0	9,704·10 ⁻⁴	0,028	0,0195	0,2645
T38, T39, T40 y T41	8,0	2,426·10 ⁻⁴	0,014	0,0230	1,6637
T42, T43, T44 y T45	8,0	1,777·10 ⁻⁴	0,012	0,0240	2,0132
T46 y T47	4,0	3,553·10 ⁻⁴	0,017	0,0220	0,6465
T48 y T49	4,0	1,735·10 ⁻⁴	0,012	0,0239	0,9556
T50	2,0	3,470·10 ⁻⁴	0,017	0,0221	0,3097
T51	2,0	3,016·10 ⁻⁴	0,016	0,0225	0,3225
T61	0,5	9,704·10 ⁻⁴	0,016	0,0185	0,6864
T64, T65 y T67	13,0	9,704·10 ⁻⁴	0,028	0,0195	1,1461
TOTAL					8,0082

⁽¹⁾ El valor de longitud L de las tuberías T38, T39, T40 y T41 viene de la suma de las longitudes de las T38, T39, T40 y T41, ya que poseen el mismo diámetro, el mismo factor de fricción y por ellas circula el mismo caudal. Para el resto de tuberías se procede de forma análoga.

PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS PARA LA BOMBA B4

En la tabla 43 se recogen los datos de las válvulas, uniones y codos que se tienen, los valores de sus coeficientes K, así como los resultados de las pérdidas de carga producidas.

Tabla 43. Cálculo de las pérdidas de carga secundarias para la bomba B4.

ELEMENTO	CANTIDAD	K	VELOCIDAD ⁽¹⁾ (m/s)	h _{secundarias} (m)
Válvulas (de mariposa y de doble asiento)	4	0,1308	1,5	0,0600
Uniones en T	6	0,3000	1,5	0,2064
Codos en 90°	14	0,7500	1,5	1,2041
TOTAL				1,4705

⁽¹⁾ Se considera que la velocidad media a través de las válvulas, las uniones y los codos es de 1,5 m/s, ya que el diseño se ha hecho para que la velocidad a través de las tuberías y por tanto de dichos elementos sea de aproximadamente 1,5 m/s.

TÉRMINO DE PRESIÓN PARA LA BOMBA B4

La bomba B4 debe proporcionar una presión transmembrana TMP de 1 bar, de manera que la diferencia de presión Δp es de 1 bar (10⁵ Pa).

Para terminar, a partir de la ecuación (12), se determina el valor de la altura H_B que debe proporcionar la bomba B4:

$$H_B = 19,7579 \text{ m}$$

SELECCIÓN DE LA BOMBA B4 ADECUADA

La bomba B4 debe impulsar un caudal de $9,704 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ($3,49 \text{ m}^3/\text{h}$) y la altura es de 19,7579 m, por lo que, con la ayuda del catálogo (figura 8), se determina que el modelo de bomba más adecuado es la CPKN 25-160.

2.3.4. DIMENSIONADO DE LOS DEPÓSITOS

▪ **Depósito D4**

El depósito D4 recoge el permeado que se obtiene en la etapa de microfiltración, de modo que cuando el volumen del líquido en su interior llega hasta el sensor de nivel mínimo, N4i, comienza a funcionar la bomba B4 y a alimentarse el permeado a las membranas de nanofiltración. Como ya se ha calculado en el apartado 3.2.3., el volumen de permeado V_{D4} que se acumula en la diferencia de tiempo entre la duración de la microfiltración y la duración de la nanofiltración es igual a 1900,15 L. Considerando un 20% de volumen adicional, el depósito D4 debe tener una capacidad de 2280,18 litros. Se selecciona por tanto un depósito con capacidad de 3000 litros.

▪ **Depósito D6**

Se ha diseñado este depósito D6 para que pueda almacenar todo el permeado producido en un día, de modo que el volumen que debe almacenar es de 18693,26 litros. Considerando un 20% de volumen adicional, el depósito D6 debe tener una capacidad de 22431,912 litros. Se selecciona por tanto un depósito con capacidad de 25000 litros.

▪ **Depósito D5**

El depósito D5 almacena el rechazo total obtenido en un día, de modo que el volumen que debe almacenar es de 8806,74 litros. Considerando un 20% de volumen adicional, el depósito D5 debe tener una capacidad de 10568,088 litros. Se selecciona por tanto un depósito con capacidad de 11000 litros.

▪ **Depósito D7**

El depósito D7 almacena la disolución de limpieza de NaOH y debe tener una capacidad igual al doble del volumen muerto de la instalación, para que, al trabajar en recirculación, no quede vacío y, por tanto, no se dañe la bomba B4.

En la tabla 44 se recogen los resultados obtenidos para el cálculo del volumen muerto.

Tabla 44. Cálculo del volumen muerto de la instalación alimentada por la bomba B4.

TUBERÍAS	DIÁMETRO (m)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (m ³)
T64, T65, T67 y T37 ⁽¹⁾	0,0280	16,0	0,0099
T38, T39, T40 y T41	0,0140	8,0	0,0012
T42, T43, T44, T45, T48, T49, T56 y T57	0,0120	18,0	0,0020
T46, T47 y T50	0,0170	6,0	0,0014
T51 y T61	0,0160	2,5	0,0005
T52, T53, T54, T55 y T58	0,0060	15,0	0,0004
TOTAL			0,0154

⁽¹⁾ El valor de longitud L de las tuberías T64, T65, T67 y T37 viene de la suma de las longitudes de las tuberías T64, T65, T67 y T37, ya que poseen el mismo diámetro. Para el resto de tuberías se procede de forma análoga.

Además, hay que considerar el volumen muerto que se tiene en el interior de las membranas. Para ello, se tienen un total de 103 membranas de sección transversal A_i igual a $2,937 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ (ver apartado 2.3.1). Además, conocida la longitud L de cada membrana (que es igual a 0,9652 m), se determina el volumen total muerto contenido en las 103 membranas, y es igual a:

$$V_{\text{muerto}_{\text{membranas}}} = 103 \cdot A_i \cdot L = 0,2920 \text{ m}^3$$

Finalmente, el volumen muerto de la totalidad de la instalación es igual a $0,3074 \text{ m}^3$, que corresponden a un volumen en litros de 307,4 litros. El volumen que debe almacenar el depósito D7 es, por tanto, el doble y es igual a 614,8 litros. Considerando un 20% de volumen adicional, el depósito D7 debe tener una capacidad de 737,76 litros. Se selecciona por tanto un depósito con capacidad de 1000 litros.

2.4. DISEÑO DE LA ETAPA DE DESTILACIÓN OSMÓTICA

2.4.1. DIMENSIONADO DE LAS MEMBRANAS

El caudal de la corriente de alimentación de la destilación osmótica Q_a corresponde al caudal de permeado de la etapa de nanofiltración anterior y es igual a 18693,26 L/día, mediante la ecuación (9), se halla el caudal de rechazo Q_r que se obtiene y es igual a 6047,82 L/día, y, mediante un balance de materia total, se determina el caudal de permeado Q_p que se obtiene y es igual a 12645,44 L/día. Considerando 8 horas al día de procesado, Q_p es igual a 1580,68 L/h. Además, del artículo, se toma un valor promedio de la densidad de flujo de permeado \bar{J}_p de $0,5 \text{ L/h} \cdot \text{m}^2$, por lo que, mediante la ecuación (8), se determina el área total de membrana necesaria para procesar dicho caudal de alimento:

$$A_{\text{total}} = \frac{Q_p}{\bar{J}_p} = 3161,36 \text{ m}^2$$

El módulo de fibra hueca seleccionado es el módulo Extra-Flow 14x40, que proporciona un área de membrana total $A_{\text{módulo}}$ de 373 m^2 , de modo que se determina el número de módulos $N_{\text{módulos}}$ que se han de colocar en paralelo:

$$N_{\text{módulos}} = \frac{A_{\text{total}}}{A_{\text{módulo}}} \approx 8,48$$

Tomando el valor inmediatamente superior, se tiene que $N_{\text{módulos}} = 9$, luego:

$$A_{\text{total}} = N_{\text{módulo}} \cdot A_{\text{módulo}} = 3357 \text{ m}^2$$

Recalculando el caudal de permeado obtenido Q_p , se tiene:

$$Q_p = \bar{J}_p \cdot A_{\text{total}} = 1678,5 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

El caudal de permeado total obtenido es de $1580,68 \text{ L/h}$, luego el tiempo de procesado es:

$$\text{Tiempo} = \frac{1580,68 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot 8 \frac{\text{h}}{\text{día}}}{1678,5 \frac{\text{L}}{\text{h}}} = 7,53 \frac{\text{h}}{\text{día}}$$

De acuerdo con el catálogo del fabricante (ver Anexo II), en el cual se recomienda un caudal de entrada de entre 16 y $125 \text{ m}^3/\text{h}$, se selecciona un caudal de entrada a cada módulo $Q_{\text{a módulo}}$ de $16 \text{ m}^3/\text{h}$. Además, en el artículo de referencia se trabaja con una proporción caudal de disolución extractora/caudal de alimentación igual a $2,915$, por lo que, en el presente proyecto, se aplica la misma proporción, de manera que se trabaja con un caudal de disolución extractora de entrada a cada módulo $Q_{\text{disolución extractora módulo}}$ igual a $46,64 \text{ m}^3/\text{h}$.

2.4.2. DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS

El cálculo de las tuberías de la etapa de destilación osmótica se lleva a cabo de forma análoga al diseño de las tuberías de microfiltración, es decir, empleando la ecuación (10).

La figura 21 de la memoria descriptiva muestra un esquema completo de la etapa de destilación osmótica y su sistema de aclarado y limpieza.

PROCESADO DEL PERMEADO DE LA NANOFILTRACIÓN

- **Tuberías T69, T70, T71, T72, T73, T74, T75, T76 y T77**

El caudal que circula por estas tuberías es $Q_{\text{a módulo}}$ (apartado 2.4.1.) y es igual a $16 \text{ m}^3/\text{h}$ ($4,444 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$), por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de $0,0614 \text{ m}$. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de $0,0635 \text{ m}$ con un espesor de $1,5 \text{ mm}$ (que resulta en un diámetro interior igual a $0,0605 \text{ m}$), con la que se obtiene una velocidad tangencial de $1,55 \text{ m/s}$.

- **Tubería T68**

El caudal que circula por esta tubería Q_a es igual a:

$$Q_a = 9 \cdot Q_{\text{a módulo}} = 0,040 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Conocido este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se determina que el diámetro interior de esta tubería ha de ser de 0,1843 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,1540 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0150 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 2,26 m/s.

- **Tuberías T91, T92, T93, T94, T95, T96, T97, T98 y T99**

El caudal que circula por estas tuberías es $Q_{\text{disolución extractora módulo}}$ (apartado 2.4.1.) y es igual a 46,64 m³/h (1,296·10⁻² m³/s), por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,1049 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0104 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0100 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,65 m/s.

- **Tuberías T115 y T116**

El caudal $Q_{\text{disolución extractora}}$ que circula por estas tuberías es igual a:

$$Q_{\text{disolución extractora}} = 9 \cdot Q_{\text{disolución extractora módulo}} = 1,166 \cdot 10^{-1} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Conocido este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se determina que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,3146 m. Se selecciona por tanto unas tuberías de diámetro exterior de 0,3060 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,3020 m), con las que se obtienen una velocidad tangencial de 1,63 m/s.

- **Tuberías T100, T101, T102, T103, T104, T105, T106, T107 y T108**

La densidad de flujo de permeado \bar{J}_p de 0,5 L/h·m², por lo que, el caudal de permeado que se obtiene de cada módulo $Q_{p \text{ módulo}}$ es:

$$Q_{p \text{ módulo}} = \bar{J}_p \cdot A_{\text{módulo}} = 186,5 \frac{\text{L}}{\text{h}} = 5,181 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El caudal Q que circula por estas tuberías es igual a:

$$Q = Q_{\text{disolución extractora módulo}} + Q_{p \text{ módulo}} = 1,301 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Conocido este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se determina que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,1051 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,1040 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,1000 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,66 m/s.

- **Tuberías T109, T117 y T119**

Estas tuberías recogen el caudal total de disolución extractora y permeado, luego:

$$Q = 9 \cdot (Q_{\text{disolución extractora módulo}} + Q_{p \text{ módulo}}) = 1,171 \cdot 10^{-1} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Conocido este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se determina que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,3153 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,3060 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,3040 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,61 m/s.

- **Tuberías T78, T79, T80, T81, T82, T83, T84, T85 y T86**

Haciendo un balance en cada módulo, se tiene:

$$Q_{r\text{módulo}} = Q_{a\text{módulo}} - Q_{p\text{módulo}} = 4,392 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Conocido este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se determina que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,0611 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0635 m con un espesor de 1,5 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0605 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,53 m/s.

- **Tuberías T87, T110 y T111**

El caudal total de rechazo Q_r que circula por esta tubería es igual a:

$$Q_r = 9 \cdot Q_{r\text{módulo}} = 3,953 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Conocido este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se determina que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,1832 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,1540 m con un espesor de 2,0 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,1500 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 2,24 m/s.

PROCESOS DE ACLARADO CON AGUA Y LIMPIEZA QUÍMICA

- **Tubería T124**

A través de esta tubería se lleva a cabo el drenaje del rechazo final que se encuentra en el depósito D8 hasta el depósito D13. El volumen de rechazo final es de 6047,82 litros y se decide que el tiempo de vaciado del depósito D8 tenga una duración de 5 minutos, por lo que el caudal que circula por la tubería T124 es de:

$$Q = \frac{6047,82 \text{ L}}{5 \text{ min}} = 1209,564 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 2,016 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se obtiene que el diámetro interior de la tubería ha de ser de 0,1308 m. Se selecciona, por tanto, un diámetro exterior de 0,1310 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior de 0,1270 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,59 m/s.

- **Tuberías T69, T70, T71, T72, T73, T74, T75, T76 y T77**

El caudal de agua de aclarado y disolución de limpieza que circula por estas tuberías es $Q_{\text{limpieza_carcasa_módulo}}$ y es igual a $Q_{a\text{módulo}}$ ($16 \text{ m}^3/\text{h} = 4,444 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$), por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,0614 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0635 m con un espesor de 1,5 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0605 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,55 m/s.

- **Tubería T68**

El caudal de agua de aclarado y disolución de limpieza que circula por esta tubería $Q_{\text{limpieza_carcasa}}$ y es igual a Q_a ($0,040 \text{ m}^3/\text{s}$). Conocido este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se determina que el diámetro interior de esta tubería ha de ser de 0,1843

m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,1540 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0150 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 2,26 m/s.

- **Tuberías T91, T92, T93, T94, T95, T96, T97, T98 y T99**

El caudal de agua de aclarado y agua de limpieza que circula por estas tuberías es $Q_{\text{limpieza_fibras}_{\text{módulo}}}$ y es igual a $Q_{\text{disolución extractora}_{\text{módulo}}}$ ($46,64 \text{ m}^3/\text{h} = 1,296 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$), por lo que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,1049 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0104 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0100 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,65 m/s.

- **Tuberías T115, T116 , T124 y T125**

El caudal de agua de aclarado y agua de limpieza $Q_{\text{limpieza_fibras}}$ que circula por estas tuberías es igual a $Q_{\text{disolución extractora}}$ ($1,166 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3/\text{s}$). Conocido este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se determina que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,3146 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,3060 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,3020 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,63 m/s.

- **Tuberías T100, T101, T102, T103, T104, T105, T106, T107 y T108**

Se desconoce el valor de la permeabilidad hidráulica, por lo que no se puede comprobar los valores de velocidad tangencial ni reajustar los caudales para el caso de la limpieza. Se supondrá, por tanto, que la densidad de flujo de permeado durante el proceso de limpieza es igual que la densidad de flujo durante el procesado del permeado de la nanofiltración ($0,5 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$), por lo que, el caudal de permeado que se obtiene de cada módulo $Q_{p_{\text{limpieza,módulo}}}$ durante el proceso de limpieza es:

$$Q_{p_{\text{limpieza,módulo}}} = \bar{J}_p \cdot A_{\text{módulo}} = 186,5 \frac{\text{L}}{\text{h}} = 5,181 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El caudal Q que circula por estas tuberías es igual a:

$$Q = Q_{\text{limpieza_fibras}_{\text{módulo}}} + Q_{p_{\text{limpieza,módulo}}} = 1,301 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Conocido este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se determina que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,1051 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,1040 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,1000 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,66 m/s.

- **Tuberías T90, T109, T117, T118 y T119**

Estas tuberías recogen el caudal total de agua de aclarado y permeado, luego:

$$Q = 9 \cdot (Q_{\text{limpieza_fibras}_{\text{módulo}}} + Q_{p_{\text{limpieza,módulo}}}) = 1,171 \cdot 10^{-1} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Conocido este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se determina que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,3153 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,3060 m con un espesor de 2 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,3040 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,61 m/s.

- **Tuberías T78, T79, T80, T81, T82, T83, T84, T85 y T86**

Haciendo un balance en cada módulo, se tiene:

$$Q_{r_{limpieza,módulo}} = Q_{limpieza_carcasa,módulo} - Q_{p_{limpieza,módulo}} = 4,392 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Conocido este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se determina que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,0611 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,0635 m con un espesor de 1,5 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,0605 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,53 m/s.

- **Tuberías T87, T88, T110, T111, T112, T113 y T114**

El caudal total de rechazo $Q_{r_{limpieza}}$ que circula por esta tubería es igual a:

$$Q_{r_{limpieza}} = 9 \cdot Q_{r_{limpieza,módulo}} = 3,953 \cdot 10^{-2} \frac{m^3}{s}$$

Conocido este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se determina que el diámetro interior de estas tuberías ha de ser de 0,1832 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,1540 m con un espesor de 2,0 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,1500 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 2,24 m/s.

- **Tubería T89**

El caudal Q que circula por esta tubería es:

$$Q = Q_{r_{limpieza}} + 9 \cdot (Q_{aclaclarado_{fibras,módulo}} + Q_{p_{limpieza,módulo}}) = 1,566 \cdot 10^{-1} \frac{m^3}{s}$$

Conocido este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se determina que el diámetro interior de esta tubería ha de ser de 0,3646 m. Se selecciona por tanto una tubería de diámetro exterior de 0,3550 m con un espesor de 2,0 mm (que resulta en un diámetro interior igual a 0,3510 m), con la que se obtiene una velocidad tangencial de 1,62 m/s.

- **Tuberías T120, T121, T122 y T123**

Estas tuberías sirven para el llenado del depósito D6, tanto de agua de aclarado como de disoluciones de limpieza. De acuerdo con los cálculos del apartado siguiente 2.4.4., el volumen de disolución de limpieza y de agua de red con el que se debe llenar el depósito D6 es de 860 litros. Además, se decide que el tiempo de llenado tenga una duración de 5 minutos, por lo que el caudal que circula por estas tuberías es de:

$$Q = \frac{860 \text{ L}}{5 \text{ min}} = 172 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 2,867 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Con este caudal y la velocidad tangencial deseada de 1,5 m/s, se obtiene que el diámetro interior de las tuberías ha de ser de 0,0493 m. Como lo que se busca es tener una velocidad tangencial mayor de 1,5 m/s, se selecciona un diámetro exterior de 0,0510 m con un espesor de 1 mm (que resulta en un diámetro interior de 0,0490 m), con el que se obtiene una velocidad tangencial de 1,52 m/s.

2.4.3. DIMENSIONADO DE LAS BOMBAS

En esta tercera etapa de destilación osmótica, se cuenta con cuatro bombas: la bomba B5, que bombea tanto el permeado de la nanofiltración como las disoluciones de limpieza y el agua de aclarado desde el depósito D6 hasta el sistema de membranas (por la carcasa de las membranas) y los impulsa por todo el circuito, la bomba B6, que bombea tanto la disolución extractora como el agua de limpieza y el agua de aclarado hasta el sistema de membranas (por las fibras de las membranas) y las impulsa por todo el circuito en contracorriente, y, finalmente, las bombas B7 y B8 que bombean las disoluciones de limpieza química desde sus depósitos de almacenamiento, D9 y D10 respectivamente, hasta el depósito D6.

▪ BOMBA B5

La bomba B5 se emplea para bombear tanto el permeado de la nanofiltración como las disoluciones de limpieza y el agua de aclarado desde el depósito D6 hasta el sistema de membranas y para impulsar dichas corrientes por todo el circuito. Como se puede observar en la tabla 45, en cuanto a pérdidas de carga, el caso más desfavorable se produce cuando se bombean las disoluciones de limpieza, por lo que el diseño de la bomba B5 se detallará considerando que se está llevando a cabo la limpieza química con las disoluciones de limpieza.

Tabla 45. Resultados del diseño de la bomba B5 para las tres opciones.

DISOLUCIÓN BOMBEADA	H _B (m)
PERMEADO DE LA NANOFILTRACIÓN	7,5571
DISLUCIONES DE LIMPIEZA	13,3683
AGUA DE ACLARADO	12,2715

CÁLCULO DE LA ALTURA H_B QUE DEBE PROPORCIONAR LA BOMBA B5

Para la limpieza química, la bomba B5 se emplea para hacer circular las disoluciones de limpieza por las carcasas de las membranas y trabaja en circuito cerrado, por lo que la ecuación de Bernoulli se simplifica y toma la siguiente forma:

$$H_B = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} + h_{p\acute{e}rdidas}$$

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS PARA LA BOMBA B5

De acuerdo con el artículo tomado como referencia, la limpieza química de las carcasas de las membranas se lleva a cabo con una temperatura de 40 °C y a una presión transmembrana de 1 bar, por lo que, de acuerdo con la ecuación (17) y despreciando las pérdidas de carga que se producen en el interior de las membranas, el agua de aclarado se encuentra a una presión absoluta de 2,013 bar.

Las condiciones de operación de las disoluciones de limpieza durante la limpieza de las carcasas son, por tanto, las que se indican en la tabla 21.

En la tabla 22 se recogen los valores de densidad del agua en función de la temperatura y de la presión.

Llevando a cabo una doble interpolación en la tabla 22, se determina que la densidad del agua de red en dichas condiciones de operación (313,15 K y 0,1013 MPa) es de 991,63 kg/m³. Además, el efecto de la presión sobre la viscosidad de un líquido es despreciable, por lo que se determina la viscosidad de las disoluciones de limpieza a 40 °C y es igual a 0,000653 kg/m·s. En la tabla 23 se recogen, por tanto, las propiedades físicas de las disoluciones de limpieza en las condiciones de operación del proceso de limpieza química de las carcasas de las membranas.

En la tabla 46 se recoge el cálculo del número de Reynolds para todas las tuberías involucradas en el bombeo de agua de aclarado con la bomba B5.

Tabla 46. Cálculo del número de Reynolds (Re) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B5.

TUBERÍAS	VELOCIDAD (m/s)	DIÁMETRO INTERNO (m)	NÚMERO DE REYNOLDS	RÉGIMEN
T68	2,26	0,1500	514797	Turbulento
T69, T70, T71, T72, T73, T74, T75, T76 y T77	1,55	0,0605	142404	Turbulento
T78, T79, T80, T81, T82, T83, T84, T85 y T86	1,53	0,0605	140567	Turbulento
T87, T110 y T111	2,24	0,1500	510241	Turbulento

En la tabla 47 se recoge el cálculo de la rugosidad relativa de cada tubería.

Tabla 47. Cálculo de la rugosidad relativa (ϵ_r) de las tuberías del circuito alimentado por las bombas B5.

TUBERÍAS	RUGOSIDAD ABSOLUTA (mm)	DIÁMETRO (mm)	RUGOSIDAD RELATIVA
T68	0,0024	150,0	0,000016
T69, T70, T71, T72, T73, T74, T75, T76 y T77	0,0024	60,5	0,000040
T78, T79, T80, T81, T82, T83, T84, T85 y T86	0,0024	60,5	0,000040
T87, T110 y T111	0,0024	150,0	0,000016

En la tabla 48 se recogen los factores de fricción obtenidos para las distintas tuberías, mediante el diagrama de Moody.

Tabla 48. Cálculo del factor de fricción (f) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B5.

TUBERÍAS	NÚMERO DE REYNOLDS	RUGOSIDAD RELATIVA	FACTOR DE FRICCIÓN
T68	514797	0,000016	0,0132
T69, T70, T71, T72, T73, T74, T75, T76 y T77	142404	0,000040	0,0172
T78, T79, T80, T81, T82, T83, T84, T85 y T86	140567	0,000040	0,0175
T87, T110 y T111	510241	0,000016	0,0135

En la tabla 49 se recogen los resultados obtenidos de las pérdidas de carga primarias.

Tabla 49. Cálculo de las pérdidas de carga primarias para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B5.

TUBERÍAS	L (m)	Q (m ³ /s)	D (m)	f	h _{primarias} (m)
T68	3,0	0,040000	0,1500	0,0132	0,0689
T69, T70, T71, T72, T73, T74, T75, T76 y T77 ⁽¹⁾	18,0	0,004444	0,0605	0,0172	0,6233
T78, T79, T80, T81, T82, T83, T84, T85 y T86	27,0	0,004392	0,0605	0,0175	0,9291
T87, T110 y T111	11,0	0,039530	0,1500	0,0135	0,2525
TOTAL					1,8738

⁽¹⁾ El valor de longitud L de las tuberías T69, T70, T71, T72, T73, T74, T75, T76 y T77 viene de la suma de las longitudes de las tuberías T69, T70, T71, T72, T73, T74, T75, T76 y T77, ya que poseen el mismo diámetro, el mismo factor de fricción y por ellas circula el mismo caudal. Para el resto de tuberías se procede de forma análoga.

PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS PARA LA BOMBA B5

En la tabla 50 se recogen los datos de las válvulas, uniones y codos que se tienen, los valores de sus coeficientes K, así como los resultados de las pérdidas de carga secundarias producidas.

Tabla 50. Cálculo de las pérdidas de carga secundarias para la bomba B5.

ELEMENTO	CANTIDAD	K	VELOCIDAD ⁽¹⁾ (m/s)	h _{secundarias} (m)
Válvulas de mariposa	3	0,1308	1,5	0,0450
Uniones en T	14	0,3000	1,5	0,4817
Codos en 90°	8	0,7500	1,5	0,6881
TOTAL				1,2148

⁽¹⁾ Se considera que la velocidad media a través de las válvulas, las uniones y los codos es de 1,5 m/s, ya que el diseño se ha hecho para que la velocidad a través de las tuberías y por tanto de dichos elementos sea de aproximadamente 1,5 m/s.

TÉRMINO DE PRESIÓN PARA LA BOMBA B5

La bomba B5 debe proporcionar una presión transmembrana TMP de 1 bar, de manera que la diferencia de presión Δp es de 1 bar (10⁵ Pa).

Para terminar, a partir de la ecuación (12), se determina el valor de la altura H_B que debe proporcionar la bomba B5:

$$H_B = 13,3683 \text{ m}$$

SELECCIÓN DE LA BOMBA B5 ADECUADA

La bomba B5 debe impulsar un caudal de 0,040 m³/s (144 m³/h) y la altura total que debe proporcionar es de 13,3683 m, por lo que, con la ayuda del catálogo (figura 8), se determina que el modelo de bomba más adecuado es el CPKN 100-200.

▪ BOMBA B6

La bomba B6 se emplea para bombear tanto la disolución extractora como el agua de limpieza hasta el sistema de membranas y para impulsar dichas corrientes por todo el circuito durante el proceso de limpieza de las fibras de las membranas. Como se puede observar en la tabla 51, en cuanto a pérdidas de carga, el caso más desfavorable se produce cuando se bombea el agua de aclarado, por lo que el diseño de la bomba B6 se detallará considerando que se está llevando a cabo el aclarado con agua de red.

Tabla 51. Resultados del diseño de la bomba B6 para las dos opciones.

DISOLUCIÓN BOMBEADA	H _B (m)
DISLUCIÓN EXTRACTORA	6,9558
AGUA DE ACLARADO	11,2899

CÁLCULO DE LA ALTURA H_B QUE DEBE PROPORCIONAR LA BOMBA B6

Para el aclarado, la bomba B6 se emplea para impulsar el agua de red por las fibras de las membranas y finalmente esta agua se traslada a la etapa de tratamiento de residuos. Para el diseño, se considerará que la elevación del punto de aspiración z_A corresponde a una cota de 0 m, mientras que la elevación del punto de impulsión z_I es de -1,5 m, por lo que la diferencia z_I – z_A es igual a -1,5 m.

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS PARA LA BOMBA B6

De acuerdo con el artículo tomado como referencia, el aclarado con agua de red de las membranas se lleva a cabo con una temperatura de 25 °C y a una presión transmembrana de 1 bar, por lo que, de acuerdo con la ecuación (17) y despreciando las pérdidas de carga que se producen en el interior de las membranas, el agua de aclarado se encuentra a una presión absoluta de 2,013 bar.

Las condiciones de operación del agua de aclarado durante el proceso de aclarado de las fibras son, por tanto, las que se indican en la tabla 13.

En la tabla 14 se recogen los valores de densidad del agua en función de la temperatura y de la presión.

Llevando a cabo una doble interpolación en la tabla 14, se determina que la densidad del agua de red en dichas condiciones de operación (298,15 K y 0,2013 MPa) es de 996,84 kg/m³. Además, el efecto de la presión sobre la viscosidad de un líquido es despreciable, por lo que se determina la viscosidad del agua de red a 25 °C y es igual a 0,000891 kg/m·s. En la tabla 15 se recogen, por tanto, las propiedades físicas del agua de aclarado en las condiciones de operación del proceso de aclarado de las carcasas de las membranas.

En la tabla 52 se recoge el cálculo del número de Reynolds para todas las tuberías involucradas en el bombeo de agua de aclarado con la bomba B6.

Tabla 52. Cálculo del número de Reynolds (Re) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B6.

TUBERÍAS	VELOCIDAD (m/s)	DIÁMETRO INTERNO (m)	NÚMERO DE REYNOLDS	RÉGIMEN
T115 y T125	1,63	0,3020	550735	Turbulento
T91, T92, T93, T94, T95, T96, T97, T98 y T99	1,65	0,1000	184600	Turbulento
T100, T101, T102, T103, T104, T105, T106, T107 y T108	1,66	0,1000	185719	Turbulento
T109 y T90	1,61	0,3040	547580	
T89	1,62	0,3510	636165	

En la tabla 53 se recoge el cálculo de la rugosidad relativa de cada tubería.

Tabla 53. Cálculo de la rugosidad relativa (ϵ_r) de las tuberías del circuito alimentado por la bomba B6.

TUBERÍAS	RUGOSIDAD ABSOLUTA (mm)	DIÁMETRO (mm)	RUGOSIDAD RELATIVA
T115 y T125	0,0024	302,0	0,000008
T91, T92, T93, T94, T95, T96, T97, T98 y T99	0,0024	100,0	0,000024
T100, T101, T102, T103, T104, T105, T106, T107 y T108	0,0024	100,0	0,000024
T109 y T90	0,0024	304,0	0,000008
T89	0,0024	351,0	0,000007

En la tabla 54 se recogen los factores de fricción obtenidos para las distintas tuberías, mediante el diagrama de Moody.

Tabla 54. Cálculo del factor de fricción (f) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B6.

TUBERÍAS	NÚMERO DE REYNOLDS	RUGOSIDAD RELATIVA	FACTOR DE FRICCIÓN
T115 y T125	550735	0,000008	0,0130
T91, T92, T93, T94, T95, T96, T97, T98 y T99	184600	0,000024	0,0165
T100, T101, T102, T103, T104, T105, T106, T107 y T108	185719	0,000024	0,0163
T109 y T90	547580	0,000008	0,0132
T89	636165	0,000007	0,0125

En la tabla 55 se recogen los resultados obtenidos de las pérdidas de carga primarias.

Tabla 55. Cálculo de las pérdidas de carga primarias para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B6.

TUBERÍAS	L (m)	Q (m ³ /s)	D (m)	f	h _{primarias} (m)
T115 y T125	1,5	0,11660	0,3020	0,0130	0,0087
T91, T92, T93, T94, T95, T96, T97, T98 y T99	18,0	0,01296	0,1000	0,0165	0,4122
T100, T101, T102, T103, T104, T105, T106, T107 y T108	27,0	0,01301	0,1000	0,0163	0,6155
T109 y T90	10,0	0,11710	0,3040	0,0132	0,0576
T89	3,0	0,1566	0,3510	0,0125	0,0143
TOTAL					1,1083

⁽¹⁾ El valor de longitud L de las tuberías T91, T92, T93, T94, T95, T96, T97, T98 y T99 viene de la suma de las longitudes de las tuberías T91, T92, T93, T94, T95, T96, T97, T98 y T99, ya que poseen el mismo diámetro, el mismo factor de fricción y por ellas circula el mismo caudal. Para el resto de tuberías se procede de forma análoga.

PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS PARA LA BOMBA B6

En la tabla 56 se recogen los datos de las válvulas, uniones y codos que se tienen, los valores de sus coeficientes K, así como los resultados de las pérdidas de carga secundarias producidas.

Tabla 56. Cálculo de las pérdidas de carga secundarias para la bomba B6.

ELEMENTO	CANTIDAD	K	VELOCIDAD ⁽¹⁾ (m/s)	h _{secundarias} (m)
Válvulas de mariposa	3	0,1308	1,5	0,0450
Uniones en T	16	0,3000	1,5	0,5505
Codos en 90°	10	0,7500	1,5	0,8601
TOTAL				1,4556

⁽¹⁾ Se considera que la velocidad media a través de las válvulas, las uniones y los codos es de 1,5 m/s, ya que el diseño se ha hecho para que la velocidad a través de las tuberías y por tanto de dichos elementos sea de aproximadamente 1,5 m/s.

TÉRMINO DE PRESIÓN PARA LA BOMBA B6

La bomba B6 debe proporcionar una presión transmembrana TMP de 1 bar, de manera que la diferencia de presión Δp es de 1 bar (10⁵ Pa).

Para terminar, a partir de la ecuación (12), se determina el valor de la altura H_B que debe proporcionar la bomba B6:

$$H_B = 11,2899 \text{ m}$$

SELECCIÓN DE LA BOMBA B6 ADECUADA

La bomba B6 debe impulsar un caudal de $1,166 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3/\text{s}$ (419,76 m³/h) y la altura total que debe proporcionar es de 11,2899 m, por lo que, con la ayuda del catálogo (figura 8), se determina que el modelo de bomba más adecuado es el CPKN 150-250.

▪ BOMBAS B7 Y B8

Las bombas B7 y B8 se emplean únicamente para impulsar las disoluciones de limpieza desde sus depósitos de almacenamiento, D9 y D10 respectivamente, hasta el depósito D8. Las longitudes de las tuberías que deben recorrer las dos disoluciones de limpieza son idénticas, por lo que el diseño es idéntico para ambas bombas. Por ello, únicamente se detalla el cálculo para la bomba B8.

Además, para el diseño, se considerará que la elevación del punto de aspiración z_A corresponde a una cota de 0 m, mientras que la elevación del punto de impulsión z_I coincide con la longitud de la tubería T122 y es de 7 m. Además, se desprecia el efecto de la disminución de la altura del líquido del depósito D9, por lo que la diferencia $z_I - z_A$ es igual a 7 m.

CÁLCULO DE LA ALTURA H_B QUE DEBE PROPORCIONAR LA BOMBA B8

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS PARA LA BOMBA B8

De acuerdo con el artículo tomado como referencia, las disoluciones de limpieza se encuentran a una temperatura de 40 °C. Además, se encuentran a presión atmosférica, por lo que su presión es de 1,013 bar (0,1013 MPa).

Las condiciones de operación del llenado del depósito D8 son, por tanto, las que se indican en la tabla 21.

En la tabla 22 se recogen los valores de densidad del agua en función de la temperatura y de la presión. Se ha supuesto que las disoluciones de limpieza tienen propiedades físicas análogas a las del agua.

Llevando a cabo una doble interpolación en la tabla 22, se determina que la densidad de las disoluciones de limpieza en dichas condiciones de operación (313,15 K y 0,1013 MPa) es de 991,63 kg/m³. Además, el efecto de la presión sobre la viscosidad de un líquido es despreciable, por lo que se determina la viscosidad de las disoluciones de limpieza a 40 °C y es igual a 0,000653 kg/m·s. En la tabla 23 se recogen, por tanto, las propiedades físicas de la disolución de limpieza durante el proceso de llenado del depósito D8.

En la tabla 57 se recoge el cálculo del número de Reynolds para todas las tuberías involucradas en el bombeo de disolución de limpieza con la bomba B8.

Tabla 57. Cálculo del número de Reynolds (Re) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B8.

TUBERÍAS	VELOCIDAD (m/s)	DIÁMETRO INTERNO (m)	NÚMERO DE REYNOLDS	RÉGIMEN
T122 y T123	1,52	0,0490	113104	Turbulento

En la tabla 58 se recoge el cálculo de la rugosidad relativa de cada tubería.

Tabla 58. Cálculo de la rugosidad relativa (ϵ_r) de las tuberías del circuito alimentado por la bomba B8.

TUBERÍAS	RUGOSIDAD ABSOLUTA (mm)	DIÁMETRO (mm)	RUGOSIDAD RELATIVA
T122 y T123	0,0024	49,0	0,00005

En la tabla 59 se recogen los factores de fricción obtenidos para las distintas tuberías, mediante el diagrama de Moody.

Tabla 59. Cálculo del factor de fricción (f) para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B8.

TUBERÍAS	NÚMERO DE REYNOLDS	RUGOSIDAD RELATIVA	FACTOR DE FRICCIÓN
T122 y T123	113104	0,00005	0,0170

En la tabla 60 se recogen los resultados obtenidos de las pérdidas de carga primarias.

Tabla 60. Cálculo de las pérdidas de carga primarias para las tuberías del circuito alimentado por la bomba B8.

TUBERÍAS	L (m)	Q (m ³ /s)	D (m)	f	$h_{\text{primarias}}$ (m)
T122 y T123 ⁽¹⁾	9,0	0,002867	0,0490	0,0170	0,3679
TOTAL					0,3679

⁽¹⁾ El valor de longitud L de las tuberías T122 y T123 viene de la suma de las longitudes de las tuberías T122 y T123, ya que poseen el mismo diámetro, el mismo factor de fricción y por ellas circula el mismo caudal. Para el resto de tuberías se procede de forma análoga.

PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS PARA LA BOMBA B8

En la tabla 61 se recogen los datos de las válvulas, uniones y codos que se tienen, los valores de sus coeficientes K, así como los resultados de las pérdidas de carga secundarias producidas.

Tabla 61. Cálculo de las pérdidas de carga secundarias para la bomba B8.

ELEMENTO	CANTIDAD	K	VELOCIDAD ⁽¹⁾ (m/s)	$h_{\text{secundarias}}$ (m)
Válvulas de doble asiento	1	0,1308	1,5	0,0150
Codos en 90°	2	0,7500	1,5	0,1720
TOTAL				0,1870

⁽¹⁾ Se considera que la velocidad media a través de las válvulas, las uniones y los codos es de 1,5 m/s, ya que el diseño se ha hecho para que la velocidad a través de las tuberías y por tanto de dichos elementos sea de aproximadamente 1,5 m/s.

TÉRMINO DE PRESIÓN PARA LA BOMBA B8

La bomba B8 no debe proporcionar ninguna presión, de manera que la diferencia de presión Δp es de 0 Pa.

Para terminar, a partir de la ecuación (12), se determina el valor de la altura H_B que debe proporcionar la bomba B8:

$$H_B = 7,5549 \text{ m}$$

SELECCIÓN DE LA BOMBA B8 ADECUADA

La bomba B8 debe impulsar la disolución de limpieza desde el depósito D8 al depósito D6. Como ya se ha detallado en el apartado 3.4.2., la bomba B8 debe impulsar un caudal de $2,867 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ($10,32 \text{ m}^3/\text{h}$) y la altura es de 7,5549 m, por lo que, con la ayuda del catálogo (figura 8), se determina que el modelo de bomba más adecuada es la CPKN 40-160.

2.4.4. DIMENSIONADO DE LOS DEPÓSITOS

▪ Depósitos D8 y D9

Los depósitos D8 y D9 almacenan las disoluciones de limpieza de ácido cítrico y de KOH respectivamente para la limpieza de las carcassas de las membranas. Como la limpieza química trabaja a recirculación, es decir, en circuito cerrado, el volumen de disolución de limpieza que debe de haber en el depósito D6 ha de ser superior al volumen muerto de la instalación, para que éste no se vacíe y provoque daños en la bomba B5. Se escoge, por tanto, que el volumen de disolución de limpieza que debe de haber en el depósito D6 es igual al doble del volumen muerto de la instalación de limpieza. El volumen que los depósitos D8 y D9 deben almacenar es, por tanto, el doble del volumen muerto de la instalación.

En la tabla 62 se recogen los resultados obtenidos para el cálculo del volumen muerto.

Tabla 62. Cálculo del volumen muerto de la instalación alimentada por la bomba B5.

TUBERÍAS	DIÁMETRO (m)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (m ³)
T68, T87, T110 y T111 ⁽¹⁾	0,1500	14,0	0,2474
T69, T70, T71, T72, T73, T74, T75, T76, T77, T78, T79, T80, T81, T82, T83, T84, T85 y T86	0,0605	45,0	0,1294
TOTAL			0,3768

⁽¹⁾ El valor de longitud de las tuberías T68, T87, T110 y T111 viene de la suma de las longitudes de las tuberías T68, T87, T110 y T111, ya que poseen el mismo diámetro. Para el resto de tuberías se procede de forma análoga.

Además, hay que considerar el volumen muerto que se tiene en el interior de las carcassas de las membranas. De acuerdo con el fabricante, el volumen de cebado de la carcasa es de aproximadamente 53,2 litros ($0,0532 \text{ m}^3$).

Finalmente, el volumen muerto de la totalidad de la instalación es igual a 0,43 m³, que corresponden a un volumen en litros de 430 litros. El volumen que deben almacenar los depósitos D8 y D9 es, por tanto, igual a 860 litros. Considerando un 20% de volumen adicional, los depósitos D8 y D9 deben tener una capacidad de 1032 litros. Se selecciona por tanto unos depósitos con capacidad de 1500 litros.

- **Depósito D10**

El depósito D10 almacena el agua destilada necesaria para la limpieza de las fibras de las membranas. Como se trabaja a recirculación, es decir, en circuito cerrado, el volumen de agua destilada de limpieza que debe de haber en el depósito D10 ha de ser superior al volumen muerto de la instalación, para que éste no se vacíe y provoque daños en la bomba B6. Se escoge, por tanto, que el volumen de agua destilada de limpieza que debe de haber en el depósito D10 es igual al doble del volumen muerto de la instalación de limpieza.

En la tabla 63 se recogen los resultados obtenidos para el cálculo del volumen muerto.

Tabla 63. Cálculo del volumen muerto de la instalación alimentada por la bomba B6.

TUBERÍAS	DIÁMETRO (m)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (m ³)
T115 y T125 ⁽¹⁾	0,0302	1,5	0,0011
T91, T92, T93, T94, T95, T96, T97, T98, T99, T100, T101, T102, T103, T104, T105, T106, T107 y T108	0,1000	45,0	0,3534
T109, T117 y T118	0,0304	15,0	0,0109
TOTAL			0,3654

⁽¹⁾ El valor de longitud de las tuberías T115 y T125 viene de la suma de las longitudes de las tuberías T115 y T125, ya que poseen el mismo diámetro. Para el resto de tuberías se procede de forma análoga.

Además, hay que considerar el volumen muerto que se tiene en el interior de las fibras de las membranas. De acuerdo con el fabricante, el volumen de cebado de las fibras es de aproximadamente 25,9 litros (0,0259 m³).

Finalmente, el volumen muerto de la totalidad de la instalación es igual a 0,3913 m³, que corresponden a un volumen en litros de 391,3 litros. El volumen que debe almacenar el depósito D10 es, por tanto, igual a 782,6 litros. Considerando un 20% de volumen adicional, el depósito D10 debe tener una capacidad de 939,12 litros. Se selecciona por tanto un depósito con capacidad de 1000 litros.

- **Depósito D11**

El depósito D10 almacena la disolución extractora necesaria para favorecer la concentración durante el proceso de destilación osmótica. Como se trabaja a recirculación, es decir, en circuito cerrado, el volumen de disolución extractora que debe de haber en el depósito D11 ha de ser superior al volumen muerto de la instalación, para que éste no se vacíe y provoque daños en la bomba B6. Se escoge, por tanto, que el volumen de disolución extractora que debe de haber en el depósito D11 es igual al doble del volumen muerto de la instalación.

En la tabla 64 se recogen los resultados obtenidos para el cálculo del volumen muerto.

Tabla 64. Cálculo del volumen muerto de la instalación alimentada por la bomba B6.

TUBERÍAS	DIÁMETRO (m)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (m ³)
T115 y T116 ⁽¹⁾	0,0302	2,0	0,0014
T91, T92, T93, T94, T95, T96, T97, T98, T99, T100, T101, T102, T103, T104, T105, T106, T107 y T108	0,1000	45,0	0,3534
T109, T117 y T119	0,0304	15,0	0,0109
TOTAL			0,3657

⁽¹⁾ El valor de longitud de las tuberías T115 y T116 viene de la suma de las longitudes de las tuberías T115 y T116, ya que poseen el mismo diámetro. Para el resto de tuberías se procede de forma análoga.

Además, hay que considerar el volumen muerto que se tiene en el interior de las fibras de las membranas. De acuerdo con el fabricante, el volumen de cebado de las fibras es de aproximadamente 25,9 litros (0,0259 m³).

Finalmente, el volumen muerto de la totalidad de la instalación es igual a 0,3916 m³, que corresponden a un volumen en litros de 391,6 litros. El volumen que debe almacenar el depósito D11 es, por tanto, igual a 783,2 litros. Considerando un 20% de volumen adicional, el depósito D11 debe tener una capacidad de 939,84 litros. Se selecciona por tanto un depósito con capacidad de 1000 litros.

- **Depósito D12**

El depósito D12 almacena el rechazo final obtenido tras las 7, 53 horas de destilación osmótica, por lo que debe almacenar un volumen de rechazo de 6047,82 litros. Considerando un 20% de volumen adicional, el depósito D12 debe almacenar 7257,38 litros, de modo que se selecciona un depósito con capacidad de 8000 litros.

3. CÁLCULOS PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO ECONÓMICO

3.1. CÁLCULO DEL COSTE DE LAS MATERIAS PRIMAS

- NaOH

ETAPA DE MICROFILTRACIÓN

De acuerdo con los cálculos, para la etapa de microfiltración, es necesaria la preparación de 4546,6 L de disolución de 20 g/L de NaOH para el proceso de limpieza de las membranas de microfiltración. Para ello, se necesitará una masa de perlas $m_{\text{NaOH_MF}}$:

$$m_{\text{NaOH_MF}} = 4546,6 \text{ L} \cdot 20 \frac{\text{g}}{\text{L}} = 90932 \text{ g de NaOH}$$

Además, el número máximo de veces que se puede reutilizar esta disolución es de 5 veces, por lo que esta masa $m_{\text{NaOH_MF}}$ sólo deberá emplearse 1 de cada 5 días de trabajo, luego una vez a la semana. Como se trabaja durante 12 semanas al año, la cantidad total de perlas de NaOH $m_{\text{tNaOH_MF}}$ necesaria para la obtención de la disolución de limpieza en un año es igual a:

$$mt_{\text{NaOH}_{\text{MF}}} = 90932 \frac{\text{g}}{\text{semana}} \cdot 12 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} = 1091184 \frac{\text{g NaOH}}{\text{año}}$$

Como ya se ha comentado en el apartado 6.3.2.1. de la memoria descriptiva, una vez terminada la limpieza química, la disolución de NaOH que queda en el depósito D1 se recircula al depósito D3 mediante la bomba B1, hasta que el depósito D1 está prácticamente vacío. A continuación, el volumen muerto de disolución de limpieza que queda en las tuberías se impulsa con agua hasta que toda la disolución de limpieza se recupera en D3 y un volumen de agua de red igual al volumen muerto de la instalación (2273,3 L) se recupera en D3, por lo que es necesario reconstituir la concentración de NaOH. Este paso permite un ahorro de disolución de limpieza, pero requiere la reconstitución de la concentración. De esta forma, el volumen final que se tiene en el depósito D3 es:

$$4546,6 \text{ L} + 2273,3 \text{ L} = 6819,9 \text{ L}$$

Y la concentración final Cf que se tiene en el depósito D3 es:

$$C_f = \frac{4546,6 \text{ L} \cdot 20 \frac{\text{g}}{\text{L}} + 2273,3 \text{ L} \cdot 0 \frac{\text{g}}{\text{L}}}{6819,9 \text{ L}} = 13,33 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Para reconstituir la concentración de la disolución a 20 g/L, se necesita una masa $m_{\text{reconstitución}_{\text{MF}}}$:

$$m_{\text{reconstitución}_{\text{MF}}} = 6819,9 \text{ L} \cdot 20 \frac{\text{g}}{\text{L}} - 90932 \text{ g} = 45466 \text{ g de NaOH}$$

Además, cada vez que se haga una limpieza química, se debe reconstituir la concentración, por lo que esta masa $m_{\text{reconstitución}_{\text{MF}}}$ será necesaria todos los días, es decir, 60 días al año. La masa total de perlas de NaOH $mt_{\text{reconstitución}_{\text{MF}}}$ necesaria para la reconstitución de la concentración de la disolución de limpieza cada vez que es diluida por agua de red en un año es igual a:

$$mt_{\text{reconstitución}_{\text{MF}}} = 45466 \frac{\text{g}}{\text{día}} \cdot 60 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 2727960 \frac{\text{g NaOH}}{\text{año}}$$

ETAPA DE NANOFILTRACIÓN

De acuerdo con los cálculos, para la etapa de nanofiltración, es necesaria la preparación de 614,8 L de disolución de 1 g/L de NaOH para el proceso de limpieza de las membranas de nanofiltración. Para ello, se necesitarán:

$$m_{\text{NaOH}_{\text{NF}}} = 614,8 \text{ L} \cdot 1 \frac{\text{g}}{\text{L}} = 614,8 \text{ g de NaOH}$$

Además, el número máximo de veces que se puede reutilizar esta disolución es de 5 veces, por lo que esta masa $m_{\text{NaOH}_{\text{NF}}}$ sólo deberá emplearse 1 de cada 5 días de trabajo, luego una vez a la semana. Como se trabaja durante 12 semanas al año, la cantidad total de perlas de NaOH $mt_{\text{NaOH}_{\text{NF}}}$ necesaria para la obtención de la disolución de limpieza en un año es igual a:

$$mt_{\text{NaOH}_{\text{NF}}} = 614,8 \frac{\text{g}}{\text{semana}} \cdot 12 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} = 7377,6 \frac{\text{g NaOH}}{\text{año}}$$

Como ya se ha comentado en el apartado 6.3.3.1. de la memoria descriptiva, la disolución de limpieza se recircula al depósito D7. A continuación, el volumen muerto de disolución de limpieza que queda en las tuberías se impulsa con agua hasta que toda la disolución de limpieza se recupera en D7 y un volumen de agua de red igual al volumen muerto de la instalación (307,4

L) se recupera en D7, por lo que es necesario reconstituir la concentración de NaOH. De esta forma, el volumen final que se tiene en el depósito D7 es:

$$614,8 \text{ L} + 307,4 \text{ L} = 922,2 \text{ L}$$

Y la concentración final Cf que se tiene en el depósito D7 es:

$$C_f = \frac{614,8 \text{ L} \cdot 1 \frac{\text{g}}{\text{L}} + 307,4 \text{ L} \cdot 0 \frac{\text{g}}{\text{L}}}{922,2 \text{ L}} = 0,67 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Para reconstituir la concentración de la disolución a 1 g/L, se necesita una masa $m_{\text{reconstitución_NF}}$:

$$m_{\text{reconstitución_NF}} = 922,2 \text{ L} \cdot 1 \frac{\text{g}}{\text{L}} - 614,8 \text{ g} = 307,4 \text{ g de NaOH}$$

Además, cada vez que se haga una limpieza química, se debe reconstituir la concentración, por lo que esta masa $m_{\text{reconstitución_NF}}$ será necesaria todos los días, es decir, 60 días al año. La masa total de perlas de NaOH $mt_{\text{reconstitución_NF}}$ necesaria para la reconstitución de la concentración de la disolución de limpieza cada vez que es diluida por agua de red en un año es igual a:

$$mt_{\text{reconstitución_NF}} = 307,4 \frac{\text{g}}{\text{día}} \cdot 60 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 18444 \frac{\text{g NaOH}}{\text{año}}$$

La masa total de perlas de NaOH mt_{NaOH} necesaria en un año para la obtención de disolución de limpieza y su reconstitución, tanto para la etapa de microfiltración como para la etapa de nanofiltración es igual a:

$$mt_{\text{NaOH}} = 3\,844\,965,6 \frac{\text{g NaOH}}{\text{año}} = 3844,97 \frac{\text{kg NaOH}}{\text{año}}$$

- KOH

De acuerdo con los cálculos, para la etapa de destilación osmótica, es necesaria la preparación de 860 L de disolución al 2% w/w (2 g de KOH por cada 100 g de disolución) de KOH para el proceso de limpieza de las carcasas de las membranas de destilación osmótica. Considerando que la densidad de la disolución es de 1 g/mL, se necesitan por tanto 2 g de KOH por cada 100 mL de disolución. Luego, se necesitarán:

$$m_{\text{KOH}} = \frac{2 \text{ g} \cdot 860 \cdot 10^3 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} = 17200 \text{ g de KOH}$$

Además, el número máximo de veces que se puede reutilizar esta disolución es de 5 veces, por lo que esta masa m_{KOH} sólo deberá emplearse 1 de cada 5 días de trabajo. Como se trabaja durante 12 semanas al año, la cantidad total de perlas de KOH mt_{KOH} necesaria para la obtención de la disolución de limpieza en un año es igual a:

$$mt_{\text{KOH}} = 17200 \frac{\text{g}}{\text{semana}} \cdot 12 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} = 206400 \frac{\text{g KOH}}{\text{año}}$$

Como ya se ha comentado en el apartado 6.3.4.1. de la memoria descriptiva, una vez terminada la limpieza química, la disolución de KOH que queda en el depósito D6 se recircula al depósito D9 mediante la bomba B5, hasta que el depósito D6 está prácticamente vacío. A continuación, el volumen muerto que queda en las tuberías se impulsa con agua hasta que toda la disolución de limpieza se recupera en D9 y un volumen de agua de red igual al volumen muerto de la

instalación (430 L) se recupera en D9, por lo que es necesario reconstituir la concentración de KOH. De esta forma, el volumen final que se tiene en el depósito D9 es:

$$860 \text{ L} + 430 \text{ L} = 1290 \text{ L}$$

Y la concentración final Cf que se tiene en el depósito D9 es:

$$C_f = \frac{860 \text{ L} \cdot 2\% + 430 \text{ L} \cdot 0\%}{1290 \text{ L}} = 1,33\%$$

Para reconstituir la concentración de la disolución al 2%, se necesita una masa $m_{\text{reconstitución_KOH}}$:

$$m_{\text{reconstitución_KOH}} = \frac{2 \text{ g} \cdot 1290 \cdot 10^3 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} - 17200 \text{ g} = 8600 \text{ g de KOH}$$

Además, cada vez que se haga una limpieza química, se debe reconstituir la concentración, por lo que esta masa $m_{\text{reconstitución_KOH}}$ será necesaria todos los días, es decir, 60 días al año. La masa total de perlas de KOH $mt_{\text{reconstitución_KOH}}$ necesaria para la reconstitución de la concentración de la disolución de limpieza cada vez que es diluida por agua de red en un año es igual a:

$$mt_{\text{reconstitución_KOH}} = 8600 \frac{\text{g}}{\text{día}} \cdot 60 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 516000 \frac{\text{g KOH}}{\text{año}}$$

La masa total de perlas de KOH mt_{KOH} necesaria en un año para la obtención de disolución de limpieza y su reconstitución para la etapa de destilación osmótica es igual a:

$$mt_{\text{KOH}} = 722400 \frac{\text{g KOH}}{\text{año}} = 722,4 \frac{\text{kg KOH}}{\text{año}}$$

- Ácido cítrico

De acuerdo con los cálculos, para la etapa de destilación osmótica, es necesaria la preparación de 860 L de disolución al 2% w/w (2 g de ácido cítrico por cada 100 g de disolución) de ácido cítrico para el proceso de limpieza de las carcasas de las membranas de destilación osmótica. Considerando que la densidad de la disolución es de 1 g/mL, se necesitan por tanto 2 g de ácido cítrico por cada 100 mL de disolución. Luego, se necesitarán:

$$m_{\text{ácido cítrico}} = \frac{2 \text{ g} \cdot 860 \cdot 10^3 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} = 17200 \text{ g de ácido cítrico}$$

Además, el número máximo de veces que se puede reutilizar esta disolución es de 5 veces, por lo que esta masa $m_{\text{ácido cítrico}}$ sólo deberá emplearse 1 de cada 5 días de trabajo. Como se trabaja durante 12 semanas al año, la masa total de ácido cítrico $mt_{\text{ácido cítrico}}$ necesaria para la obtención de la disolución de limpieza en un año es igual a:

$$mt_{\text{ácido cítrico}} = 17200 \frac{\text{g}}{\text{semana}} \cdot 12 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} = 206400 \frac{\text{g ácido cítrico}}{\text{año}}$$

Como ya se ha comentado en el apartado 6.3.4.1. de la memoria descriptiva, una vez terminada la limpieza química, la disolución de ácido cítrico que queda en el depósito D6 se recircula al depósito D9 mediante la bomba B5, hasta que el depósito D6 está prácticamente vacío. A continuación, el volumen muerto que queda en las tuberías se impulsa con agua hasta que toda la disolución de limpieza se recupera en D9 y un volumen de agua de red igual al volumen muerto

de la instalación (430 L) se recupera en D9, por lo que es necesario reconstituir la concentración de ácido cítrico. De esta forma, el volumen final que se tiene en el depósito D9 es:

$$860 \text{ L} + 430 \text{ L} = 1290 \text{ L}$$

Y la concentración final Cf que se tiene en el depósito D9 es:

$$C_f = \frac{860 \text{ L} \cdot 2\% + 430 \text{ L} \cdot 0\%}{1290 \text{ L}} = 1,33\%$$

Para reconstituir la concentración de la disolución al 2%, se necesita una masa $m_{\text{reconstitución_ácido cítrico}}$:

$$m_{\text{reconstitución_ácido cítrico}} = \frac{2 \text{ g} \cdot 1290 \cdot 10^3 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} - 17200 \text{ g} = 8600 \text{ g de ácido cítrico}$$

Además, cada vez que se haga una limpieza química, se debe reconstituir la concentración, por lo que la masa de ácido cítrico $m_{\text{reconstitución_ácido cítrico}}$ será necesario todos los días, es decir, 60 días al año. La masa total de ácido cítrico $mt_{\text{reconstitución_ácido cítrico}}$ necesario para la reconstitución de la concentración de la disolución de limpieza cada vez que es diluida por agua de red en un año es igual a:

$$mt_{\text{reconstitución_ácido cítrico}} = 8600 \frac{\text{g}}{\text{día}} \cdot 60 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 516000 \frac{\text{g ácido cítrico}}{\text{año}}$$

La masa total de ácido cítrico $mt_{\text{ácido cítrico}}$ necesaria en un año para la obtención de disolución de limpieza y su reconstitución para la etapa de destilación osmótica es igual a:

$$mt_{\text{ácido cítrico}} = 722400 \frac{\text{g ácido cítrico}}{\text{año}} = 722,4 \frac{\text{kg ácido cítrico}}{\text{año}}$$

- Agua destilada

ETAPA DE DESTILACIÓN OSMÓTICA

CARCASAS

De acuerdo con los cálculos, para la etapa de destilación osmótica, es necesario un volumen de agua destilada en el depósito D6 de 860 L en cada uno de las tres etapas de aclarado de las carcassas de las membranas, lo que hace un volumen de agua destilada de 2580 L al día. Además, esta agua destilada de aclarado no se reutiliza, sino que se traslada fuera del proceso para su tratamiento, de manera que este volumen de agua ha de reponerse todos los días, es decir, 60 días al año, de manera que el volumen de agua destilada necesario para el aclarado de las carcassas de las membranas de destilación osmótica es de 154800 L al año.

FIBRAS

De acuerdo con los cálculos, para la etapa de destilación osmótica, es necesario un caudal de $1,166 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3/\text{s}$ durante 30 minutos (que resulta en un volumen de agua destilada de 209880 L) en cada uno de las tres etapas de aclarado de las fibras, lo que resulta en un volumen de 629640 L al día. Además, esta agua destilada de aclarado no se reutiliza, sino que se traslada fuera del proceso para su tratamiento, de manera que este volumen de agua ha de reponerse todos los días, es decir, 60 días al año, de manera que el volumen de agua destilada necesario para el aclarado de las fibras de las membranas de destilación osmótica es de 37778400 L al año.

Además, es necesario un caudal de $1.166 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3/\text{s}$ durante 1 hora (que resulta en un volumen de agua destilada de 419760 L) para cada una de las dos etapas de limpieza de las fibras, lo que resulta en un volumen de 839520 L al día. A diferencia del aclarado, esta agua de limpieza se puede utilizar hasta un máximo de 5 veces, de manera que únicamente se repone una vez a la semana. Como se trabaja 12 semanas al año, el volumen de agua destilada necesario para la limpieza de las fibras de las membranas de destilación osmótica es de 10074240 L al año.

Todo ello se traduce en un volumen total de agua destilada de 48007440 L en un año.

3.2. CÁLCULO DEL COSTE DE AGUA

ETAPA DE MICROFILTRACIÓN

De acuerdo con los cálculos, se necesitan 4546,6 L de agua de red para cada una de las dos etapas de aclarado, de manera que se necesita un volumen igual a 9093,2 L.

ETAPA DE NANOFILTRACIÓN

De acuerdo con los cálculos, se necesita un caudal de $9,704 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ durante 30 minutos (que resulta en un volumen de 1746,72 L) para cada una de las dos etapas de aclarado, de manera que se necesita un volumen igual a 3493,44 L.

Todo ello se traduce en un volumen de agua de red de 12586,64 L al día. Además, esta agua de aclarado no se reutiliza, sino que se traslada fuera del proceso para su tratamiento, de manera que este volumen de agua ha de reponerse todos los días, es decir, 60 días al año, de manera que el volumen de agua de red necesario para el aclarado de las membranas de microfiltración y nanofiltración es de 755198,40 L al año. ($755,20 \text{ m}^3$ al año).

3.3. CÁLCULO DEL COSTE ELÉCTRICO

Para conocer el coste eléctrico, es necesario conocer la energía consumida por las bombas. Para calcular esta última, es indispensable determinar la potencia real de la bomba, que se calcula mediante la ecuación (18):

$$\text{Potencia}_{\text{real}} = \frac{\text{Potencia}_{\text{teórica}}}{\eta} \quad (18)$$

Donde η es el rendimiento de la bomba y se considera que es igual al 99%.

Además, la potencia teórica de la bomba se calcula mediante la ecuación (19):

$$\text{Potencia}_{\text{teórica}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (19)$$

Donde ρ (kg/m^3) es la densidad del fluido, que en este caso se considera que tiene propiedades físicas similares al agua y por tanto su densidad es igual a $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$, g es la aceleración de la gravedad y es igual a $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$, Q (m^3/s) es el caudal del fluido y H (m) es la altura dinámica de la bomba.

En la tabla 65 se recoge el cálculo de la potencia real de las distintas bombas que intervienen en el proceso.

Tabla 65. Cálculo de la potencia real de las bombas del proceso.

BOMBA	Q (m ³ /s)	H (m)	POTENCIA _{teórica} (W)	POTENCIA _{real} (W)
B1	0,1623000	37,6273	59908,79	60513,93
B2	0,0152000	5,4161	807,61	815,76
B3	0,0009597	109,8282	1033,99	1044,44
B4	0,0007904	19,7579	153,20	154,75
B5	0,0400000	13,3683	5245,72	5298,71
B6	0,1166000	11,2899	12913,91	13044,35
B7	0,0028670	7,5549	212,48	214,63
B8	0,0028670	7,5549	212,48	214,63
TOTAL				81301,20

Conocida la potencia real de las diferentes bombas, se necesita conocer el tiempo que están en funcionamiento. La bomba B1 está en funcionamiento durante el procesado del alpechín (7,41 horas/día) y durante el proceso de limpieza y aclarado (1,5 horas/día), que hace un total de 8,91 h/día, que al año, son 534,6 h/año. La bomba B2 únicamente está en funcionamiento los 5 minutos de llenado del depósito D1, luego trabaja 0,08 h/día, que al año, son 4,8 h/año. La bomba B3 está en funcionamiento durante el procesado del permeado de la MF (7,96 horas/día), que al año, son 477,6 h/año. La bomba B4 está en funcionamiento durante el proceso de limpieza y aclarado (1,5 h/día) que, al año, son 90,0 h/año. La bomba B5 está en funcionamiento durante el procesado del permeado de la NF (7,53 horas/día) y durante el proceso de limpieza y aclarado de las carcassas de las membranas (3,5 horas/día), que hace un total de 11,03 horas/día, que al año, son 661,8 h/año. La bomba B6 está en funcionamiento durante todo el procesado del permeado de la NF (7,53 horas/día) y durante el proceso de limpieza y aclarado de las fibras de las membranas (3,5 horas/día), que hace un total de 11,03 horas/día, que al año, son 661,8 h/año. Las bombas B7 y B8 están en funcionamiento durante 1 hora/día cada una, que al año, son 60,0 horas/año.

En la tabla 66 se recoge el cálculo de la energía requerida por las diferentes bombas del proceso.

Tabla 66. Cálculo de la energía requerida por las bombas del proceso.

BOMBA	POTENCIA _{real} (W)	TIEMPO (h/año)	ENERGÍA (W·h/año)
B1	60513,93	534,6	32350746,98
B2	815,76	4,8	3915,65
B3	1044,44	477,6	498824,54
B4	154,75	90	13927,50
B5	5298,71	661,8	3506686,28
B6	13044,35	661,8	8632750,83
B7	214,63	60	12877,80
B8	214,63	60	12877,80
TOTAL			45032607,38

El consumo de energía de todas las bombas del proceso es de 45032607,38 W·h/año (45032,6 kW·h/año).

ANEXO II. CATÁLOGOS

Tubos de acero inoxidable con soldadura

CALIDADES:

304-304 L
316-316 L
321 bajo consulta

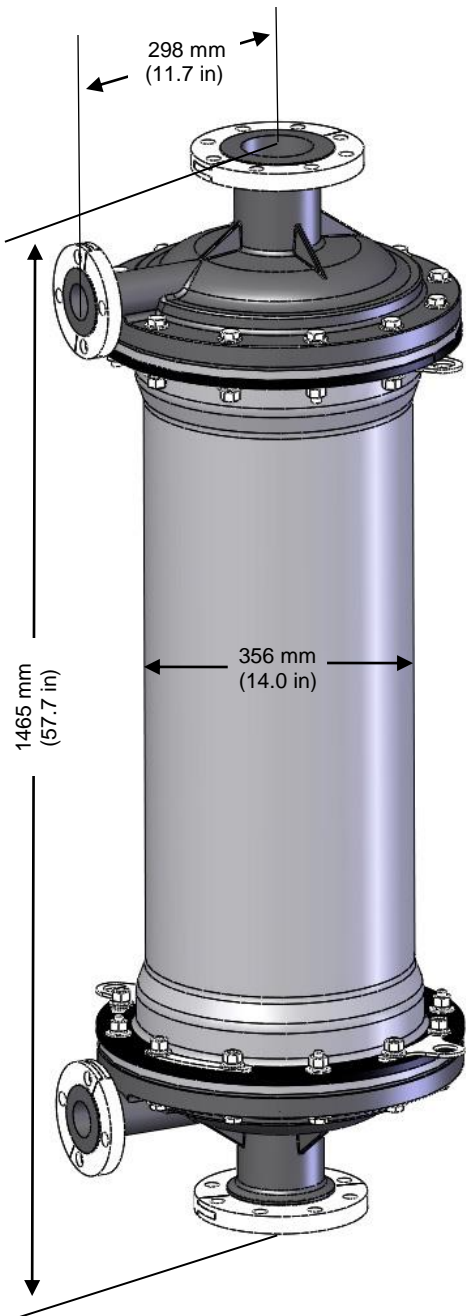
FORMA DE SUMINISTRO: Los tubos se suministrarán recocidos y decapados en longitudes estándar de 6 m.

Ø Ext. en mm.	Espesor pared en mm.	Peso en Kg.	Ø Ext. en mm.	Espesor pared en mm.	Peso en Kg.
6	1,0	0,13	30	1,0	0,73
8	1,0	0,18		1,2	0,87
10	1,0	0,23		1,5	1,08
12	1,0	0,28		2,0	1,41
13	1,0	0,30		2,5	1,73
	1,2	0,36	32	1,0	0,78
	1,5	0,46		1,2	0,93
14	1,0	0,33		1,5	1,15
	1,2	0,39		2,0	1,51
	1,5	0,47	2,5	1,86	
15	1,0	0,35	33	1,0	0,81
	1,2	0,42		1,2	0,96
	1,5	0,51		1,5	1,19
16	1,0	0,38		2,0	1,56
	1,2	0,45	2,5	1,92	
	1,5	0,55	3,0	2,27	
18	1,0	0,43	35	1,0	0,86
	1,2	0,51		1,2	1,02
	1,5	0,62		1,5	1,27
	2,0	0,81		2,0	1,66
19	1,0	0,45		2,5	2,05
	1,2	0,54	3,0	2,42	
	1,5	0,66	38	1,0	0,93
	2,0	0,86		1,2	1,11
20	1,0	0,48		1,5	1,38
	1,2	0,57		2,0	1,81
	1,5	0,70		2,5	2,24
	2,0	0,91	3,0	2,65	
22	1,0	0,53	40	1,0	0,98
	1,2	0,63		1,2	1,17
	1,5	0,77		1,5	1,45
	2,0	1,01		2,0	1,91
	2,5	1,23		2,5	2,36
23	1,0	0,55	3,0	2,80	
	1,2	0,66	43	1,0	1,06
	1,5	0,81		1,2	1,26
	2,0	1,06		1,5	1,57
2,5	1,29	2,0		2,07	
25	1,0	0,60		2,5	2,55
	1,2	0,72	3,0	3,02	
	1,5	0,89	44,5	1,0	1,10
	2,0	1,16		1,2	1,31
2,5	1,42	1,5		1,62	
28	1,0	0,68		2,0	2,14
	1,2	0,81		2,5	2,64
	1,5	1,00	3,0	3,14	
	2,0	1,31			
2,5	1,61				

Tubos de acero inoxidable con soldadura

Ø Ext. en mm.	Espesor pared en mm.	Peso en Kg.	Ø Ext. en mm.	Espesor pared en mm.	Peso en Kg.
51	1,0	1,26	103	1,5	3,84
	1,2	1,51		2,0	5,09
	1,5	1,87		2,5	6,33
	2,0	2,47		3,0	7,56
	53	2,5	3,05	104	2,0
3,0		3,63	2,5		6,39
54		1,5	1,95		3,0
	2,0	2,57	129	2,0	6,40
	2,5	3,18		2,5	7,97
3,0	3,78	3,0		9,52	
57	1,5	1,98	4,0	12,60	
	2,0	2,62	131	2,0	6,50
	2,5	3,24		2,5	8,09
	3,0	3,85		3,0	9,67
63,5	1,5	2,10		4,0	12,80
	2,0	2,77	153	2,0	7,61
	2,5	3,43		2,5	9,48
3,0	4,08	3,0		11,34	
69	1,5	2,34		4,0	15,02
	2,0	3,10	154	2,0	7,66
	2,5	3,84		2,5	9,54
	3,0	4,57		3,0	11,41
70	1,5	2,55		4,0	15,12
	2,0	3,38	204	2,0	10,18
	2,5	4,19		2,5	12,69
	3,0	4,99		3,0	15,19
73	1,5	2,59		4,0	20,16
	2,0	3,43	254	2,0	12,70
	2,5	4,25		2,5	15,84
	3,0	5,06		3,0	18,97
76	1,5	2,70		4,0	25,19
	2,0	3,58	255	2,0	12,75
	2,5	4,44		2,5	15,90
	3,0	5,29		3,0	19,05
83	1,5	2,82		4,0	25,30
	2,0	3,73	304	2,0	15,22
	2,5	4,63		2,5	18,99
	3,0	5,52		3,0	22,75
84	1,5	3,08		4,0	30,23
	2,0	4,01	306	2,0	15,32
	2,5	5,07		2,5	19,12
	3,0	6,05		3,0	22,90
84	1,5	3,12		4,0	30,44
	2,0	4,13	354	2,0	17,74
	2,5	5,13		2,5	22,14
	3,0	6,12		3,0	26,53
84	1,5	3,12		4,0	35,27
	2,0	4,13	355	2,0	17,79
	2,5	5,13		2,5	22,20
	3,0	6,12		3,0	26,61
				4,0	37,37

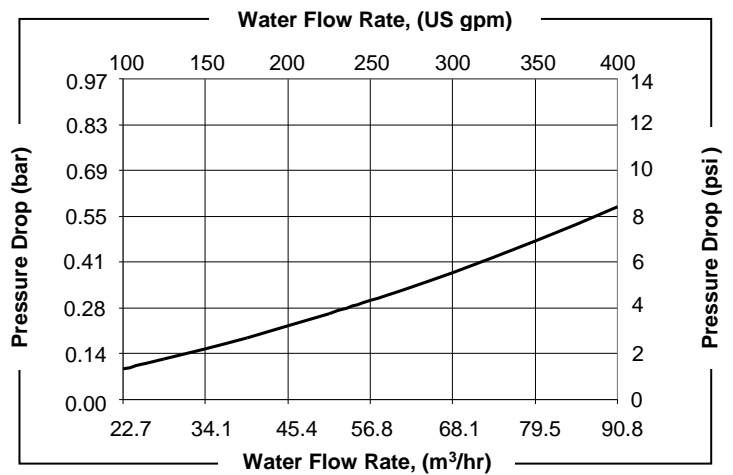
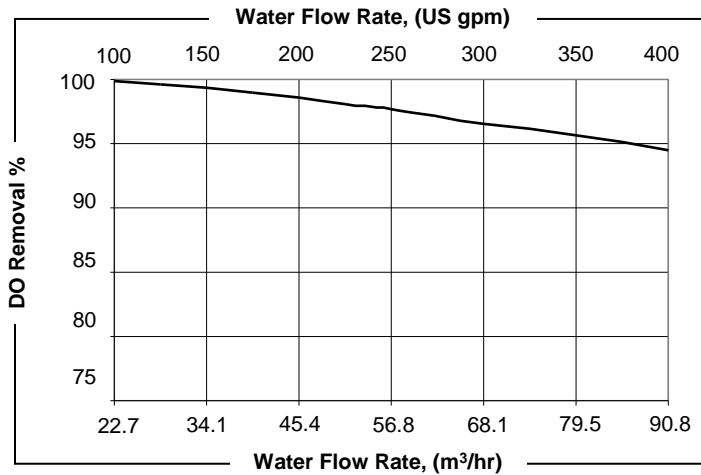
14 x 40 EXTRA-FLOW PRODUCT DATA SHEET



NOTE: All dimensions are nominal values

Cartridge Characteristics	
Cartridge Configuration	Extra-Flow with Center Baffle
Liquid Flow Guidelines	16 – 125 m ³ /hr (70 – 550 gpm)
Membrane Type	X40 Fiber
	Recommended for O ₂ removal from liquid and other gas transfer applications
Membrane/Potting Material	Polypropylene / Epoxy
Typical Active Membrane Area	4015 ft ² (373m ²)
Priming Volume (approximate)	
Shellside Lumenside	53.2 liters (14.1 gal.) 25.9 liters (6.9 gal.)
Pressure Guidelines	
Maximum Shellside LIQUID Working Temperature/Pressure in vacuum or combo mode	5-25° C, 7.2 bar (41-77° F, 105 psig) 50° C, 2.1 bar (122° F, 30 psig)
If no vacuum is used, 1.05 bar (15 psig) can be added to pressures above.	
Maximum Applied Gas Pressure	4.1 bar (60 psig)
Max applied gas pressure is for integrity testing at ambient temperatures. Normal operating pressures are typically lower.	
*Pressures are based on non-dangerous liquids and gasses per the European Union Pressure Equipment Directive /97/23/EC. See Operating Guide for pressure limits in the European Union with dangerous liquids and gasses. Also, see Operating Guide for complete temp/pressure limits for housings and membrane. Note: Liquid pressure should always exceed gas pressure.	
Housing Options and Characteristics	
Housing Material	PVC Vessel with Engineering Thermoplastic End Caps
Flange Backing Rings	SMC (Sheet Molded Compound)
Flange Connections	
Shellside (Liquid Inlet/Outlet)	<ul style="list-style-type: none"> SMC 4 inch class 150 raised face flange per ANSI B16.5 SMC 100A at 10K raised face flange per JIS B2238
Lumenside	<ul style="list-style-type: none"> SMC 2 inch class 150 raised face flange per ANSI B16.5 SMC 50A at 10K flat face flange per JIS B2238
Mounting Kit	A Mounting Kit with 2 cradles and 2 straps is available and sold separately. It will hold the contactor horizontally or vertically.
Seal Options	
Material	Applications
EPDM (ANSI / NSF 61)	All Purpose
Weight (approximate)	
Dry	64.0 kg. (141.0 lbs.)
Liquid Full	116.0 kg. (255.9 lbs.)
Regulatory	
Meets RoHS threshold limits. Complies with the PED 97/23/EC. NSF Certified to NSF/ANSI 61.	

14 x 40 EXTRA-FLOW PRODUCT DATA SHEET



Cartridge Specifications		
Characteristics	Test Conditions	Specifications
Performance O ₂ Removal, minimum	Shellside water flow: 300 gpm, 20°C (68°F) Lumenside N ₂ Flow: 6.5 scfm	X40: 92% minimum
Pressure Drop, psi maximum	Shellside water flow: 300 gpm, 20°C (68°F)	9.0 psi maximum

Curves represent nominal values, generated using water at 20°C.

Test condition O₂ Removal: X40 membrane, N₂-vacuum combo mode, Vacuum: 50 torr, N₂: 0.8 scfm.

Characteristics may change under different operating conditions.

This product is to be used only by persons familiar with its use. It must be maintained within the stated limitations. All sales are subject to Seller's terms and conditions. Purchaser assumes all responsibility for the suitability and fitness for use as well as for the protection of the environment and for health and safety involving this product. Seller reserves the right to modify this document without prior notice. Check with your representative to verify the latest update. To the best of our knowledge, the information contained herein is accurate. However, neither Seller nor any of its affiliates assumes any liability whatsoever for the accuracy or completeness of the information contained herein. Determination of the suitability of any material and infringement of any third party rights, including patent, trademark, or copyright rights, are the sole responsibility of the user. Users of any substance should satisfy themselves by independent investigation that the material can be used safely. We may have described certain hazards, but we cannot guarantee that these are the only hazards that exist. Nothing herein shall be construed as a recommendation or license to use any information that conflicts with any patent, trademark or copyright of Seller or others. Please read our Operating Manuals carefully before installing and using these modules.

THE INFORMATION CONTAINED HEREIN AND SELLER'S PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EITHER EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE OR USE, OR NON-INFRINGEMENT OF INTELLECTUAL PROPERTY. IN NO EVENT SHALL SELLER BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INCIDENTAL, INDIRECT, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OF ANY KIND, OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM THE USE OF INFORMATION CONTAINED HEREIN AND SELLER'S PRODUCTS.

Liqui-Cel®, SuperPhobic®, MiniModule®, and MicroModule® are registered trademarks of Membrana-Charlotte, A Division of Celgard, LLC.

Copyright © 2015 Membrana – Charlotte

All rights reserved.

(D102 Rev 4)

Membrana - Charlotte
A Division of Celgard, LLC
13800 South Lakes Drive
Charlotte, North Carolina 28273
USA
Phone: (704) 587 8888
Fax: (704) 587 8610

Membrana GmbH
Oehder Strasse 28
42289 Wuppertal
Germany
Phone: +49 202 6099 - 658
Phone: +49 6126 2260 - 41
Fax: +49 202 6099 - 750

Membrana - Japan
Polypore K.K.
Shinjuku Mitsui Building, 27F
1-1, Nishishinjuku 2-chome
Shinjuku-ku, Tokyo 163-0427
Japan
Phone: 81 3 5324 3361
Fax: 81 3 5324 3369



MEMBRANA
A POLYPORE COMPANY

www.liqui-cel.com



ISO 9001
ISO 14001

PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. Introducción.....	147
2. Cuadro de precios nº 1: Precio de los jornales.....	149
3. Cuadro de precios nº 2: Precio de los materiales.....	151
4. Cuadro de precios nº 3: Precios unitarios.....	161
5. Cuadro de precios nº 4: Precios descompuestos.....	177
6. Mediciones.....	201
7. Presupuesto.....	219
8. Resumen del presupuesto.....	229

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El presupuesto que se detalla a continuación corresponde al presupuesto de inversión, es decir, a la inversión necesaria para la instalación de la planta. Como ya se ha comentado, la planta diseñada forma parte de una industria de elaboración de aceite de oliva ya existente, por lo que no se cuenta con gastos de terreno ni de acondicionamiento del mismo.

El presente presupuesto consta de un cuadro de precios nº 1, en el que se detalla el coste del jornal de la mano de obra y un cuadro de precios nº 2, compuesto por el coste de los materiales, como las membranas, contenedores de presión, bombas, etc, incluido el transporte, la carga y la descarga y las posibles pérdidas. Para el caso concreto de las membranas, se incluirán en el presupuesto, ya que constituyen una inversión inicial, sin embargo, como se ha detallado la tabla 31 del estudio económico, es importante destacar que la sustitución de éstas se incluye en el cálculo de los costes de explotación. Además, el presupuesto incluye un cuadro de precios nº 3 de precios unitarios y un cuadro de precio nº 4 de precios descompuestos, en el que se valora las cantidades de materiales y de mano de obra para cada unidad de obra. A continuación, se recogen las mediciones y el presupuesto total. Por último, se presenta un resumen del presupuesto.

CAPÍTULO 2. CUADRO DE PRECIOS Nº 1

PRECIO DE LOS JORNALES

La tabla 1 recoge los precios por hora de los distintos operarios que intervienen en la instalación y montaje de los equipos de la nueva planta.

Tabla 1. Precio de los jornales.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (€/h)
Oficial 1ª Fontanería	h	18,24
Oficial 1ª Electricidad	h	15,83
Oficial 1ª Mecánica	h	14,88

El precio por hora de la mano de obra se obtiene partiendo de todos los conceptos retributivos que afectan a cada categoría de operario para la Comunidad Valenciana y se han tomado como referencia los del proyecto final de carrera de Torrent Orquín, 2014.

Sin embargo, para la elaboración de cuadro de precios nº 4 de precios descompuestos, la mano de obra se calcula como un porcentaje del coste del material, siguiendo el procedimiento descrito en el libro de Peters y Timmerhaus, 1991.

CAPÍTULO 3. CUADRO DE PRECIOS Nº 2

PRECIO DE LOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (€)
SISTEMAS DE SEPARACIÓN Y CONCENTRACIÓN Y ACCESORIOS		
Módulo MF M37-19-25 1,2 m Inopor GmbH	Ud	6 900,00
Membrana NF Spiral-Cel 3838	Ud	367,29
Membrana OD Liqui-Cel Extra-Flow 14x40	Ud	5 768,31
Contenedor de presión PV4080SSAW-316 Ami	Ud	412,91
RED DE DISTRIBUCIÓN		
Tuberías con soldadura acero inoxidable AISI 316L Eduardo Cortina	m	9 368,82
SISTEMAS DE BOMBEO		
Bomba centrífuga CPKN 200-400 KSB	Ud	22 269,06
Bomba centrífuga CPKN 65-160 KSB	Ud	8 660,19
Bomba centrífuga CPKN 32-250 KSB	Ud	3 711,51
Bomba centrífuga CPKN 25-160 KSB	Ud	3 958,94
Bomba centrífuga CPKN 100-200 KSB	Ud	13 361,44
Bomba centrífuga CPKN 150-250 KSB	Ud	19 794,72
Bomba centrífuga CPKN 40-60 KSB	Ud	4 701,25

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO (€)
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y ACCESORIOS		
Depósito acero inoxidable AISI 316 L 50 000 L	Ud	91 147,85
Depósito acero inoxidable AISI 316 L 14 000 L	Ud	24 907,85
Depósito acero inoxidable AISI 316 L 6 000 L	Ud	10 187,85
Depósito acero inoxidable AISI 316 L 3 000 L	Ud	4 525,09
Depósito acero inoxidable AISI 316 L 11 000 L	Ud	19 387,85
Depósito acero inoxidable AISI 316 L 25 000 L	Ud	45 147,85
Depósito acero inoxidable AISI 316 L 1 000 L	Ud	1 994,86
Depósito acero inoxidable AISI 316 L 1 500 L	Ud	2 536,94
Depósito acero inoxidable AISI 316 L 8 000 L	Ud	13 867,85
Agitador vertical de hélices acero inoxidable 316 Pimecsa	Ud	4 252,77
SISTEMAS DE REGULACIÓN DE CAUDAL		
Válvula mariposa DN32 Saidi	Ud	360,85
Válvula mariposa DN50 Saidi	Ud	567,04
Válvula mariposa DN40 Saidi	Ud	422,71
Válvula mariposa DN200 Saidi	Ud	1 030,98
Válvula mariposa DN400 Saidi	Ud	1 030,98
Válvula mariposa DN350 Saidi	Ud	1 030,98
Válvula doble asiento DN100 Krones	Ud	1 030,98
Válvula doble asiento DN40 Krones	Ud	422,71
Válvula doble asiento DN50 Krones	Ud	567,04
SISTEMAS DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN		
Manómetro presión absoluta APGT43.160 acero inoxidable 1.4571 Wika	Ud	287,50
Medidor de flujo a turbina	Ud	517,50
Sensores de temperatura EE220 Sensovant	Ud	287,50
Sensores de nivel GSlevel Sensovant	Ud	460,00
Controladores de los instrumentos de medida	Ud	22 658,61 €
Panel de control del proceso	Ud	22 658,61 €

PRETRATAMIENTO		
Filtro de cartuchos 10 micras L-Tech P Series Siebec	Ud	1 990,24
SISTEMA DE REGULACIÓN DE TEMPERATURA		
Intercambiador de calor	Ud	39 177,05

SISTEMAS DE SEPARACIÓN Y CONCENTRACIÓN Y ACCESORIOS

El precio de la membrana de MF se determina teniendo en cuenta el coste del material, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material, de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se fija en 6 000,00 € de acuerdo con la información obtenida del fabricante.

El precio de la membrana de NF se determina teniendo en cuenta el coste del material, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece que el precio de módulos de arrollamiento en espiral oscila entre 25 y 100 \$/m², por lo que se toma un precio medio de 62,5 \$/m². La membrana consta de 5,7 m², por lo que el precio del material es de 356,25 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 319,38 €.

El precio de la membrana de OD se determina teniendo en cuenta el coste del material, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece que el precio de módulos de fibra hueca oscila entre 10 y 20 \$/m², por lo que se toma un precio medio de 15 \$/m². La membrana consta de 373 m², por lo que el precio del material es de 5 595,00 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 5 015,92 €.

El precio del contenedor de presión se determina teniendo en cuenta el coste del material, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el precio marcado en el sitio web del fabricante que es de 400,50 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 359,05 €.

RED DE DISTRIBUCIÓN

El precio de las tuberías se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 10% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, tomando un diámetro nominal promedio y un Sch promedio, y multiplicando por un factor de 1,45 por

tratarse de acero inoxidable 316 L. En la referencia se establece que el precio de medio es de 8 708,70 \$/m que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 7 807,35 €/m.

SISTEMAS DE BOMBEO

El precio de la bomba CPKN 200-400 KSB se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de una bomba centrífuga en función de su capacidad en m³/s con un ajuste al tipo de material (acero inoxidable) de factor 2,4. Para el caso de esta bomba, debe impulsar un caudal de 0,1623 m³/s, por lo que se determina que su precio es de 21 600,00 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 19 364,40 €.

El precio de la bomba CPKN 65-160 KSB se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de una bomba centrífuga en función de su capacidad en m³/s con un ajuste al tipo de material (acero inoxidable) de factor 2,4. Para el caso de esta bomba, debe impulsar un caudal de 0,0152 m³/s, por lo que se determina que su precio es de 8 400,00 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 7 530,60 €.

El precio de la bomba CPKN 32-250 KSB se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de una bomba centrífuga en función de su capacidad en m³/s con un ajuste al tipo de material (acero inoxidable) de factor 2,4. Para el caso de esta bomba, debe impulsar un caudal de $9,597 \cdot 10^{-4}$ m³/s, por lo que se determina que su precio es de 3 600,00 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 3 227,40 €.

El precio de la bomba CPKN 25-160 KSB se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de una bomba centrífuga en función de su capacidad en m³/s con un ajuste al tipo de material (acero inoxidable) de factor 2,4. Para el caso de esta bomba, debe impulsar un caudal de $9,704 \cdot 10^{-4}$ m³/s, por lo que se determina que su precio es de 3 840,00 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 3 442,56 €.

El precio de la bomba CPKN 100-200 KSB se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de una bomba centrífuga en función de su capacidad en m³/s con un

ajuste al tipo de material (acero inoxidable) de factor 2,4. Para el caso de esta bomba, debe impulsar un caudal de $0,0400 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que se determina que su precio es de 12 960,00 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 11 618,64 €.

El precio de la bomba CPKN 150-250 KSB se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de una bomba centrífuga en función de su capacidad en m^3/s con un ajuste al tipo de material (acero inoxidable) de factor 2,4. Para el caso de esta bomba, debe impulsar un caudal de $1,166 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que se determina que su precio es de 19 200,00 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 17 212,80 €.

El precio de la bomba CPKN 40-60 KSB se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de una bomba centrífuga en función de su capacidad en m^3/s con un ajuste al tipo de material (acero inoxidable) de factor 2,4. Para el caso de esta bomba, debe impulsar un caudal de $2,867 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que se determina que su precio es de 4 560,00 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 4 088,04 €.

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y ACCESORIOS

El precio del depósito de capacidad 50 000 L se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. De acuerdo con los precios del fabricante y suponiendo un aumento lineal del precio con la capacidad del depósito, se determina que el precio del depósito de 50 000 L es de 79 259,00 €.

El precio del depósito de capacidad 14 000 L se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. De acuerdo con los precios del fabricante y suponiendo un aumento lineal del precio con la capacidad del depósito, se determina que el precio del depósito de 14 000 L es de 21 659,00 €.

El precio del depósito de capacidad 6 000 L se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. De acuerdo con los precios del fabricante y suponiendo un aumento lineal del precio con la capacidad del depósito, se determina que el precio del depósito de 6 000 L es de 8 859,00 €.

El precio del depósito de capacidad 3 000 L se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que son de 263,14 € por TranSabadell, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. De acuerdo con los precios del fabricante, el precio del depósito de 3 000 L es de 4 059,00 €.

El precio del depósito de capacidad 11 000 L se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. De acuerdo con los precios del fabricante y suponiendo un aumento lineal del precio con la capacidad del depósito, se determina que el precio del depósito de 11 000 L es de 16 859,00 €.

El precio del depósito de capacidad 25 000 L se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. De acuerdo con los precios del fabricante y suponiendo un aumento lineal del precio con la capacidad del depósito, se determina que el precio del depósito de 25 000 L es de 39 259,00 €.

El precio del depósito de capacidad 1 000 L se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que son de 88,06 € por TranSabadell, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. De acuerdo con los precios del fabricante, el precio del depósito de 1 000 L es de 1 816,00 €.

El precio del depósito de capacidad 1 500 L se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que son de 112,49 € por TranSabadell, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. De acuerdo con los precios del fabricante, el precio del depósito de 1 500 L es de 2309,00 €.

El precio del depósito de capacidad 8 000 L se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. De acuerdo con los precios del fabricante y suponiendo un aumento lineal del precio con la capacidad del depósito, se determina que el precio del depósito de 8 000 L es de 12 059,00 €.

El precio del agitador de hélices se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de un agitador de hélices en función de la potencia que requiere en kW y del tipo de agitador del que se trata, con un ajuste al tipo de material (acero inoxidable 316) de 1,25. Para el caso de este agitador, se trata de un agitador de hélices y se supone una potencia requerida promedio de 3 kW, por lo que se determina que su precio es de 4 125 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 3 698,06 €.

SISTEMAS DE REGULACIÓN DE CAUDAL

El precio de la válvula DN 32 se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de una válvula en función de su diámetro nominal y el material del que está

compuesta (acero inoxidable). Para el caso de esta válvula, su diámetro nominal es de 32 mm, por lo que se determina que su precio es de 350,00 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 313,78 €.

El precio de las válvulas DN50 se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de una válvula en función de su diámetro nominal y el material del que está compuesta (acero inoxidable). Para el caso de esta válvula, su diámetro nominal es de 50 mm, por lo que se determina que su precio es de 550,00 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 493,08 €.

El precio de las válvulas DN40 se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de una válvula en función de su diámetro nominal y el material del que está compuesta (acero inoxidable). Para el caso de esta válvula, su diámetro nominal es de 40 mm, por lo que se determina que su precio es de 410,00 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 367,57 €.

El precio de las válvulas DN 100, DN 200, DN350 y DN400 se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de una válvula en función de su diámetro nominal y el material del que está compuesta (acero inoxidable). Para el caso de estas válvulas, sus diámetros nominales son de 100, 200, 400 y 350 mm, por lo que se determina que sus precios son de 1000,00 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, son de 896,50 €.

SISTEMAS DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN

El precio del manómetro se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. Debido a la falta de información en los sitios web del fabricante, se toma un precio del manómetro de 250 €, tomando como base los datos incluidos en el Proyecto Final de Carrera de Torrent Orquín, 2014.

El precio del medidor de flujo a turbina se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. Debido a la falta de información en los sitios web del fabricante, se toma un precio del medidor de flujo de 450 €, tomando como base los datos incluidos en el Proyecto Final de Carrera de Torrent Orquín, 2014.

El precio de los sensores de temperatura se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. Debido a la falta de información en los sitios web del fabricante, se toma un precio de 250 €, tomando como base los datos incluidos en el Proyecto Final de Carrera de Torrent Orquín, 2014.

El precio de los sensores de nivel se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 5% del coste del material. Debido a la falta de información en los sitios web del fabricante, se toma un precio de 400 €, tomando como base los datos incluidos en el Proyecto Final de Carrera de Torrent Orquín, 2014.

El precio de todos los controladores de los instrumentos de medida se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece que el coste de los instrumentos de medición y control y su instalación y los equipos auxiliares empleados en el control del proceso son de alrededor de un 26% del coste total de los equipos entregados. Como los instrumentos de medida ya se han considerado de forma independiente, se supone que el coste de los equipos auxiliares como controladores y panel de control del proceso es del 13% del coste total de los equipos entregados, repartiéndose al 50% cada uno, de manera que el coste de los controladores alcanza el valor de 22 658,61 €. En los apartados de precios unitarios y precios descompuestos, no se incluyen gastos de transporte ya que el precio incluye el coste de la instalación. Además, en el apartado de mediciones del presente presupuesto, únicamente se contabilizará una vez este coste, ya que incluye la totalidad de los controladores.

El precio del panel de control del proceso se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece que el coste de los instrumentos de medición y control y su instalación y los equipos auxiliares empleados en el control del proceso son de alrededor de un 26% del coste total de los equipos entregados. Como los instrumentos de medida ya se han considerado de forma independiente, se supone que el coste de los equipos auxiliares como controladores y panel de control del proceso es del 13% del coste total de los equipos entregados, repartiéndose al 50% cada uno, de manera que el coste del panel de control alcanza el valor de 22 658,61 €. En los apartados de precios unitarios y precios descompuestos, no se incluyen gastos de transporte ya que el precio incluye el coste de la instalación.

PRETRATAMIENTO

El precio del filtro de cartuchos se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10% del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, y las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 10% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de un filtro de cartuchos en función de la capacidad en m³ que tiene y el material del que está compuesto (acero inoxidable 316). Para el caso de este filtro, su volumen es de unos 3 m³, por lo que se determina que su precio es de 1 850 \$ que, considerando una conversión de 0,8965 €/\$, es de 1 658,53 €.

SISTEMA DE REGULACIÓN DE TEMPERATURA

El precio del intercambiador de calor se determina teniendo en cuenta el coste de los materiales, incrementado con los gastos de transporte con carga y descarga, que se calcularán como un 10%

del coste del material de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991 las pérdidas o mermas que pueden producirse, que se calcularán como un 10% del coste del material. El coste del material se determina de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, 1991, en el que se establece el coste de un intercambiador de placas en función del área de transferencia de calor en m^2 que tiene y con un factor de corrección de 2,3 por el material del que está compuesto (acero inoxidable). Para el caso de este intercambiador de calor, se supone que el alpechín posee un calor específico similar al del agua, la variación de temperatura del alpechín es de un máximo de $40\text{ }^\circ\text{C}$ y el coeficiente global de transferencia es de $425\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, de acuerdo con el libro de Peters y Timmerhaus, que proporciona valores aproximados de coeficientes globales de transferencia de calor en función de los fluidos que intervienen. Con todo esto, se determina que el área necesaria para el intercambiador de calor es de $9,44\text{ m}^2$, por lo que su precio es de $43\ 700\ \$$ que, considerando una conversión de $0,8965\ \text{€}/\text{\$}$, es de $39\ 177,05\ \text{€}$.

CAPÍTULO 4. CUADRO DE PRECIOS Nº 3

PRECIOS UNITARIOS

<i>Nº</i>	<i>Ud</i>	<i>Descripción</i>	<i>IMPORTE</i>
-----------	-----------	--------------------	----------------

1.1- Membranas

1.1.1.1 Ud Módulo tubular multicanal cerámico de microfiltración de α - Al_2O_3 M37-19-25 con una longitud de 1,2 m, tamaño medio de poro de 200 nm, porosidad abierta de 40-55% y área de membrana de 9,28 m². De la casa comercial Inopor GmbH. Incluye el transporte de dicha membrana y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

10 148,80 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DIEZ MIL CIENTO CUARENTA Y OCHO EUROS con OCHENTA CÉNTIMOS

1.1.2.1 Ud Membrana Spiral-Cel de nanofiltración de arrollamiento en espiral orgánica de polietersulfona, con un espaciador de 44 mil, de longitud 38" y diámetro 3,8", con un umbral de corte de 578 Da y área de membrana de 5,7 m². De la casa comercial Microdyn-Nadir. Incluye el transporte de dicha membrana y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

540,24 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINIENTOS CUARENTA EUROS con VEINTICUATRO CÉNTIMOS

1.1.3.1 Ud Membrana de destilación osmótica Liqui-Cel Extra-Flow 14x40 con carcasa de epoxi, fibras huecas microporosas de polipropileno y área de membrana de 373 m². De la casa comercial Liqui-Cel. Incluye el transporte de dicha membrana y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

8 484,25 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de OCHO MIL CUATROCIENTES OCHENTA Y CUATRO EUROS con VEINTICINCO CÉNTIMOS

1.2.- Contenedores de presión

- 1.2.1 Ud Contenedor de presión PV4080SSAW-316 con cuerpo de acero inoxidable, conexión final de PVC, mordazas de acero inoxidable y configuración End Entry de la casa comercial Ami. Diámetro 4" y longitud 85" con capacidad para 2 membranas de 4"x40". Incluye pines en U, conexión de alimentación y anillos en O. Incluye el transporte de dicho contenedor de presión y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

607,32 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEISCIENTOS SIETE EUROS con TREINTA Y DOS CÉNTIMOS

2.1.- Tuberías

- 2.1.1 m Tubería de acero inoxidable con soldadura de calidad AISI 316 L (EN 1.4404) recocida y decapada de la casa comercial Eduardo Cortina. Incluye el transporte de dicha tubería y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

12 795,75 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOCE MIL SETECIENTOS NOVENTA Y CINCO EUROS con SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS

3.1.- Bombas

- 3.1.1.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 200-400 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

32 754,22 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TREINTA Y DOS MIL SETECIENTOS CINCUENTA Y CUATRO EUROS con VEINTIDÓS CÉNTIMOS

3.1.2.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 65-160 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

12 737,76 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOCE MIL SETECIENTOS TREINTA Y SIETE EUROS con SETENTA Y SÉIS CÉNTIMOS

3.1.3.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 32-250 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

5 459,03 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CINCO MIL CUATROCIENTOS CINCUENTA Y NUEVE EUROS con TRES CÉNTIMOS

3.1.4.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 25-160 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

5 822,97 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CINCO MIL OCHOCIENTOS VEINTIDÓS EUROS con NOVENTA Y SIETE CÉNTIMOS

3.1.5.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 100-200 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

19 652,54 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DIECINUEVE MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y DOS EUROS con CINCUENTA Y CUATRO CÉNTIMOS

3.1.6.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 150-250 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

29 114,87 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de VEINTINUEVE MIL CIENTO CATORCE EUROS con OCHENTA Y SIETE CÉNTIMOS

3.1.7.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 40-60 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

6 914,79 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEIS MIL NOVECIENTOS CATORCE EUROS con SETENTA Y NUEVE CÉNTIMOS

4.1.- Depósitos

4.1.1.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 50.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 4.500 mm, altura total de 5.643 mm, diámetro de 3.654 mm, espesor de chapa de 3-2,5 y 2 mm, ancho de camisa de 2.400 mm y superficie de 27,3 m². Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

138 851,90 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CIENTO TREINTA Y OCHO MIL OCHOCIENTOS CINCUENTA Y UN EUROS con NOVENTA CÉNTIMOS

4.1.2.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 14.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 3.000 mm, altura total de 3.974 mm, diámetro de 2.375 mm y espesor de chapa de 2,5 y 2 mm. Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C y boca entrada de hombre. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

37 943,87 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TREINTA Y SIETE MIL NOVECIENTOS CUARENTA Y TRES EUROS con OCHENTA Y SIETE CÉNTIMOS

4.1.3.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 6.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 2.700 mm, altura total de 3.623mm, diámetro de 1.650 mm, espesor de chapa de 2 mm, ancho de camisa de 750 mm y superficie de 3,9 m². Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

15 519,86 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINCE MIL QUINIENTOS DIECINUEVE EUROS con OCHENTA Y SEIS CÉNTIMOS

4.1.4.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 3.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 1.500 mm, altura total de 2.291 mm, diámetro de 1.540 mm, espesor de chapa de 1,6 mm, ancho de camisa de 600 mm y superficie de 2,9 m². Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

6 893,39 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEIS MIL OCHOCIENTOS NOVENTA Y TRES EUROS con TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS

4.1.5.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 11.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 3.000 mm, altura total de 3.944 mm, diámetro de 2.110 mm y espesor de chapa de 2,5 y 2 mm. Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C y boca entrada de hombre. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

29 534,87 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de VEINTINUEVE MIL QUINIENTOS TREINTA Y CUATRO EUROS con OCHENTA Y SIETE CÉNTIMOS

4.1.6.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 25.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 4.200 mm, altura total de 5.254 mm, diámetro de 2.687 mm, espesor de chapa de 3-2,5 y 2 mm, ancho de camisa de 1.750 mm y superficie de 14,8 m². Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

68 776,88 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SESENTA Y OCHO MIL SETECIENTOS SETENTA Y SEIS EUROS con OCHENTA Y OCHO CÉNTIMOS

4.1.7.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 1.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 1.500 mm, altura total de 2.291 mm, diámetro de 1.540 mm, espesor de chapa de 1,6 mm, ancho de camisa de 600 mm y superficie de 2,9 m². Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

3 038,91 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TRES MIL TREINTA Y OCHO EUROS con NOVENTA Y UN CÉNTIMOS

4.1.8.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 1.500 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 1.200 mm, altura total de 1.250 mm, diámetro de 1.100 mm, espesor de chapa de 1,5 mm, ancho de camisa de 500 mm y superficie de 1,7 m². Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

3 864,69 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TRES MIL OCHOCIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS con SESENTA Y NUEVE CÉNTIMOS

- 4.1.9.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 8.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 3.000 mm, altura total de 3.930 mm, diámetro de 1.800 mm y espesor de chapa de 2 mm. Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C y boca entrada de hombre. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

21 125,87 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de VEINTIÚN MIL CIENTO VEINTICINCO EUROS con OCHENTA Y SIETE CÉNTIMOS

4.2.- Agitadores

- 4.2.1 Ud Agitador industrial vertical de hélices de acero inoxidable 316 Pimecsa. Incluye el transporte de dicho agitador y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

6 478,55 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEIS MIL CUATROCIENTOS SETENTA Y OCHO EUROS con CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS

5.1.- Válvulas

- 5.1.1.1.1 Ud Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN32 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

549,70 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINIENTOS CUARENTA Y NUEVE EUROS con SETENTA CÉNTIMOS

5.1.1.2.1 Ud Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN50 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

863,81 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de OCHOCIENTOS SESENTA Y TRES EUROS con OCHENTA Y UN CÉNTIMOS

5.1.1.3.1 Ud Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN40 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

643,95 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEISCIENTOS CUARENTA Y TRES EUROS con NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS

5.1.1.4.1 Ud Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN200 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

1 570,56 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL QUINIENTOS SETENTA EUROS con CINCUENTA Y SEIS CÉNTIMOS

5.1.1.5.1 Ud Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN400 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

1 570,56 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL QUINIENTOS SETENTA EUROS con CINCUENTA Y SEIS CÉNTIMOS

5.1.1.6.1 Ud Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN350 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

1 570,56 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL QUINIENTOS SETENTA EUROS con CINCUENTA Y SEIS CÉNTIMOS

5.1.2.1.1 Ud Válvula de doble asiento de la casa comercial Kronos DN100 con material en contacto con el fluido de acero inoxidable AISI 316 L (1.4404), con material sin contacto con el fluido de 1.4301, junta de EPDM, actuador neumático NC y cabezal de control y detector de proximidad M12x1. Presiones nominales del fluido de PN10 y del cuerpo PN25, presión del aire de control mínimo 6 bar y máximo 8 bar y a prueba de golpes de ariete de mínimo 45 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

1 570,56 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL QUINIENTOS SETENTA EUROS con CINCUENTA Y SEIS CÉNTIMOS

5.1.2.2.1 Ud Válvula de doble asiento de la casa comercial Krones DN40 con material en contacto con el fluido de acero inoxidable AISI 316 L (1.4404), con material sin contacto con el fluido de 1.4301, junta de EPDM, actuador neumático NC y cabezal de control y detector de proximidad M12x1. Presiones nominales del fluido de PN10 y del cuerpo PN25, presión del aire de control mínimo 6 bar y máximo 8 bar y a prueba de golpes de ariete de mínimo 45 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

643,95 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEISCIENTOS CUARENTA Y TRES EUROS con NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS

5.1.2.3.1 Ud Válvula de doble asiento de la casa comercial Krones DN50 con material en contacto con el fluido de acero inoxidable AISI 316 L (1.4404), con material sin contacto con el fluido de 1.4301, junta de EPDM, actuador neumático NC y cabezal de control y detector de proximidad M12x1.. Presiones nominales del fluido de PN10 y del cuerpo PN25, presión del aire de control mínimo 6 bar y máximo 8 bar y a prueba de golpes de ariete de mínimo 45 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

863,81 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de OCHOCIENTOS SESENTA Y TRES EUROS con OCHENTA Y UN CÉNTIMOS

6.1.- Manómetros

6.1.1 Ud Manómetro para presión absoluta modelo APGT43.160 de la casa comercial Wika de acero inoxidable 1.4571 y de tamaño nominal 160, con rangos de presión absoluta de 0 hasta 25 bar con un mínimo de sobrepresión de seguridad de 1 bar y máximo de 25 bar. Dial de aluminio con letras negras, aguja ajustable de aluminio negro y ventana de cristal laminado. Incluye el transporte de dicho manómetro y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

332,26 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TRESCIENTOS TREINTA Y DOS EUROS con VEINTISÉIS CÉNTIMOS

6.2.- *Medidores de caudal*

- | | | | |
|-------|----|--|----------|
| 6.2.1 | Ud | Medidor de flujo con cuerpo de acero inoxidable 316. Incluye el transporte de dicho medidor de caudal y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento. | 598,06 € |
|-------|----|--|----------|

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINIENTOS NOVENTA Y OCHO EUROS con SEIS CÉNTIMOS

6.3.- *Sensores de temperatura*

- | | | | |
|-------|----|---|----------|
| 6.3.1 | Ud | Sensor de temperatura industrial EE220 de la casa comercial Sensovant. Rango de medición de -40 hasta +80 °C, de cuerpo metálico o plástico, con cable de extensión de hasta 10 metros con conectar M12 estándar, con una sola sonda o dos independientes y con vaina metálica para calibración en pozo. Dispone de recubrimiento especial anticorrosión. Salidas 4-20 mA o voltaje 0-1, 5 ó 10 V. Incluye el transporte de dicho manómetro y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento, incluyendo así la calibración. | 332,26 € |
|-------|----|---|----------|

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TRESCIENTOS TREINTA Y DOS EUROS con VEINTISÉIS CÉNTIMOS

6.4.- *Sensores de nivel*

- | | | | |
|-------|----|--|----------|
| 6.4.1 | Ud | Sensor de nivel de líquido industrial GSlevel de la casa comercial Sensovant para uso con agua, solución salina, combustibles, aceites y químicos, de tecnología capacitivo de estado sólido, de acero inoxidable 316, precisión de ±2%, rango de trabajo desde -40 hasta +125 °C, calibrado de fábrica con compensación de temperatura, de hasta 2 metros de largo. Incluye dos opciones de montaje 1.25 rosca BSP SAE 5-Bolt e incluye una junta de la brida y la junta teórica. Incluye el transporte de dicho manómetro y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento. | 531,60 € |
|-------|----|--|----------|

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINIENTOS TREINTA Y UN EUROS con SESENTA CÉNTIMOS

Nº	Ud	Descripción	IMPORTE
-----------	-----------	--------------------	----------------

6.5.- Controladores

6.5.1	Ud	Controladores industriales. Incluye el transporte de dichos controladores y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	23 805,13 €
-------	----	--	-------------

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de VEINTITRES MIL OCHOCIENTOS CINCO EUROS con TRECE CÉNTIMOS

6.6.- Panel de control del proceso

6.6.1	Ud	Panel de control del proceso. Incluye el transporte de dicho panel de control y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	23 805,13 €
-------	----	--	-------------

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de VEINTITRES MIL OCHOCIENTOS CINCO EUROS con TRECE CÉNTIMOS

7.1.- Filtro de cartuchos

7.1.1	Ud	Filtro de cartuchos L-Tech de P Series 10 micras, de acero inoxidable 316 L y anillo de EPDM de 30 pulgadas de alto, área de filtrado de 20 m ² y porosidad de 10 micras. Casa comercial Siebec. Máxima presión de operación de 7 bar y con capacidad de hasta 500 m ³ /h. Incluye el transporte de dicho filtro y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	3 554,61 €
-------	----	---	------------

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TRES MIL QUINIENTOS CINCUENTA Y CUATRO EUROS con SESENTA Y UN CÉNTIMOS

8.1.- Intercambiador de calor

- 8.1.1 Ud Intercambiador de calor de placas termosoldado con placas y manguitos de conexión en acero inoxidable AISI 316 y material de soldadura de cobre 99,9%. Presión máxima de trabajo de 16 bar, temperatura de entre -160 y 200 °C, conexiones roscadas macho de 2" y área por placa de 0,1036 m². Incluye el transporte de dicho intercambiador de calor y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

59 681,14 €

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CINCUENTA Y NUEVE MIL SEISCIENTOS OCHENTA Y UN EUROS con CATORCE CÉNTIMOS

CAPÍTULO 5. CUADRO DE PRECIOS Nº 4

PRECIOS DESCOMPUESTOS

1.1- Membranas

1.1.1- Membrana de microfiltración

1.1.1.1	Ud	Módulo tubular multicanal cerámico de microfiltración de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ M37-19-25 con una longitud de 1,2 m, tamaño medio de poro de 200 nm, porosidad abierta de 40-55% y área de membrana de 9,28 m ² . De la casa comercial Inopor GmbH. Incluye el transporte de dicha membrana y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
	Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
	1	Ud Módulo tubular multicanal cerámico $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ microfiltración M37-19-25 de longitud 1,2 m y área de membrana 9,28 m ² de Inopor GmbH	6 900,00	6 900,00
		40% Instalación del equipo de microfiltración	6 900,00	2 760,00
		2% Costes Directos Complementarios		193,20
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		295,60
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				10 148,80

1.1.2.- Membrana de nanofiltración

1.1.2.1	Ud	Membrana Spiral-Cel de nanofiltración de arrollamiento en espiral orgánica de polietersulfona, con un espaciador de 44 mil, de longitud 38" y diámetro 3,8", con un umbral de corte de 578 Da y área de membrana de 5,7 m ² . De la casa comercial Microdyn-Nadir. Incluye el transporte de dicha membrana y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
	Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
	1	Ud Membrana de arrollamiento en espiral de polietersulfona 38"x3,8" Spira-Cel de nanofiltración	367,29	367,29
		40% Instalación del equipo de nanofiltración	367,29	146,92
		2% Costes Directos Complementarios		10,29
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		15,74
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				540,24

1.1.3.- Membrana de destilación osmótica

1.1.3.1	Ud	Membrana de destilación osmótica Liqui-Cel Extra-Flow 14x40 con carcasa de epoxi, fibras huecas microporosas de polipropileno y área de membrana de 373 m ² . De la casa comercial Liqui-Cel. Incluye el transporte de dicha membrana y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento		Descripción	Precio	Importe
1	Ud	Membrana de destilación osmótica de fibra hueca Liqui-Cel Extra-Flow 14x40 con carcasa de epoxi y fibras microporosas de polipropileno.	5 768,31	5 768,31
		40% Instalación del equipo de destilación osmótica	5 768,31	2 307,32
		2% Costes Directos Complementarios		161,51
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		247,11
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				8 484,25

1.2.- Contenedores de presión

1.2.1	Ud	Contenedor de presión PV4080SSAW-316 con cuerpo de acero inoxidable, conexión final de PVC, mordazas de acero inoxidable y configuración End Entry de la casa comercial Ami. Diámetro 4" y longitud 85" con capacidad para 2 membranas de 4"x40". Incluye pines en U, conexión de alimentación y anillos en O. Incluye el transporte de dicho contenedor de presión y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento		Descripción	Precio	Importe
1	Ud	Contenedor de presión con cuerpo de acero inoxidable PV4080SSAW-316 4"x85" Ami	412,91	412,91
		40% Instalación del contenedor de presión	412,91	165,16
		2% Costes Directos Complementarios		11,56
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		17,69
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				607,32

2.1.- Tuberías

2.1.1	m	Tubería de acero inoxidable con soldadura de calidad AISI 316 L (EN 1.4404) recocida y decapada de la casa comercial Eduardo Cortina. Incluye el transporte de dicha tubería y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento		Descripción	Precio	Importe
1	m	Tubería acero inoxidable 316 L Eduardo Cortina	9 368,82	9 368,82
		30% Instalación de la tubería	9 368,82	2 810,65
		2% Costes Directos Complementarios		243,59
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		372,69
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				12 795,75

3.1.- Bombas

3.1.1.- Bomba B1

3.1.1.1	Ud	Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 200-400 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento		Descripción	Precio	Importe
1	Ud	Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 200-400 KSB	22 269,06	22 269,06
		40% Instalación de la bomba	22 269,06	8 907,62
		2% Costes Directos Complementarios		623,53
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		954,01
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				32 754,22

3.1.2.- Bomba B2

3.1.2.1	Ud	Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 65-160 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
	Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1		Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 65-160 KSB	8 660,19	8 660,19
		40% Instalación de la bomba	8 660,19	3 464,08
		2% Costes Directos Complementarios		242,49
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		371,00
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				12 737,76

3.1.3.- Bomba B3

3.1.3.1	Ud	Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 32-250 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
	Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1		Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 32-250 KSB	3 711,51	3 711,51
		40% Instalación de la bomba	3 711,51	1 484,60
		2% Costes Directos Complementarios		103,92
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		159,00
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				5 459,03

3.1.4.- Bomba B4

3.1.4.1	Ud	Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 25-160 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
	Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1		Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 25-160 KSB	3 958,94	3 958,94
		40% Instalación de la bomba	3 958,94	1 583,58
		2% Costes Directos Complementarios		110,85
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		169,60
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				5 822,97

3.1.5.- Bomba B5

3.1.5.1	Ud	Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 100-200 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
	Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1		Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 100-200 KSB	13 361,44	13 361,44
		40% Instalación de la bomba	13 361,44	5 344,58
		2% Costes Directos Complementarios		374,12
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		572,40
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				19 652,54

3.1.6.- Bomba B6

3.1.6.1	Ud	Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 150-250 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
	Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1		Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 150-250 KSB	19 794,72	19 794,72
		40% Instalación de la bomba	19 794,72	7 917,89
		2% Costes Directos Complementarios		554,25
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		848,01
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				29 114,87

3.1.7.- Bombas B7 y B8

3.1.7.1	Ud	Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 40-60 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
	Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1		Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 40-60 KSB	4 701,25	4 701,25
		40% Instalación de la bomba	4 701,25	1 880,50
		2% Costes Directos Complementarios		131,64
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		201,40
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				6 914,79

4.1- Depósitos

4.1.1.- Depósito D1

4.1.1.1	Ud	Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 50.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 4.500 mm, altura total de 5.643 mm, diámetro de 3.654 mm, espesor de chapa de 3-2,5 y 2 mm, ancho de camisa de 2.400 mm y superficie de 27,3 m ² . Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe	
1	Ud Depósito de acero inoxidable AISI 316 50.000 litros de capacidad Industrias Céspedes S.L.	91 147,85	91 147,85	
	45% Instalación del depósito		41 016,53	
	2% Costes Directos Complementarios		2 643,29	
COSTES INDIRECTOS				
	3% Costes Indirectos		4 044,23	
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			138 851,90	

4.1.2.- Depósito D2

4.1.2.1	Ud	Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 14.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 3.000 mm, altura total de 3.974 mm, diámetro de 2.375 mm y espesor de chapa de 2,5 y 2 mm. Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C y boca entrada de hombre. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento		Descripción	Precio	Importe
1	Ud	Depósito de acero inoxidable AISI 316 14.000 litros de capacidad Industrias Céspedes S.L.	24 907,85	24 907,85
		45% Instalación del depósito		11 208,53
		2% Costes Directos Complementarios		722,33
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		1 105,16
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				37 943,87

4.1.3.- Depósito D3

4.1.3.1	Ud	Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 6.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 2.700 mm, altura total de 3.623mm, diámetro de 1.650 mm, espesor de chapa de 2 mm, ancho de camisa de 750 mm y superficie de 3,9 m ² . Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe	
1	Ud Depósito de acero inoxidable AISI 316 6.000 litros de capacidad Industrias Céspedes S.L.	10 187,85	10 187,85	
	45% Instalación del depósito		4 584,53	
	2% Costes Directos Complementarios		295,45	
COSTES INDIRECTOS				
	3% Costes Indirectos		452,03	
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			15 519,86	

4.1.4.- Depósito D4

4.1.4.1	Ud	Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 3.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 1.500 mm, altura total de 2.291 mm, diámetro de 1.540 mm, espesor de chapa de 1,6 mm, ancho de camisa de 600 mm y superficie de 2,9 m ² . Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe	
1	Ud Depósito de acero inoxidable AISI 316 3.000 litros de capacidad Industrias Céspedes S.L.	4 525,09	4 525,09	
	45% Instalación del depósito		2 036,29	
	2% Costes Directos Complementarios		131,23	
COSTES INDIRECTOS				
	3% Costes Indirectos		200,78	
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			6 893,39	

4.1.5.- Depósito D5

4.1.5.1	Ud	Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 11.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 3.000 mm, altura total de 3.944 mm, diámetro de 2.110 mm y espesor de chapa de 2,5 y 2 mm. Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C y boca entrada de hombre. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe	
1	Ud Depósito de acero inoxidable AISI 316 11.000 litros de capacidad Industrias Céspedes S.L.	19 387,85	19 387,85	
	45% Instalación del depósito		8 724,53	
	2% Costes Directos Complementarios		562,25	
COSTES INDIRECTOS				
	3% Costes Indirectos		860,24	
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			29 534,87	

4.1.6.- Depósito D6

4.1.6.1	Ud	Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 25.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 4.200 mm, altura total de 5.254 mm, diámetro de 2.687 mm, espesor de chapa de 3-2,5 y 2 mm, ancho de camisa de 1.750 mm y superficie de 14,8 m ² . Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe	
1	Ud Depósito de acero inoxidable AISI 316 25.000 litros de capacidad Industrias Céspedes S.L.	45 147,85	45 147,85	
	45% Instalación del depósito		20 316,53	
	2% Costes Directos Complementarios		1 309,29	
COSTES INDIRECTOS				
	3% Costes Indirectos		2 003,21	
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			68 776,88	

4.1.7.- Depósitos D7, D10 y D11

4.1.7.1	Ud	Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 1.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 1.500 mm, altura total de 2.291 mm, diámetro de 1.540 mm, espesor de chapa de 1,6 mm, ancho de camisa de 600 mm y superficie de 2,9 m ² . Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe	
1	Ud Depósito de acero inoxidable AISI 316 1.000 litros de capacidad Industrias Céspedes S.L.	1 994,86	1 994,86	
	45% Instalación del depósito		897,69	
	2% Costes Directos Complementarios		57,85	
COSTES INDIRECTOS				
	3% Costes Indirectos		88,51	
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			3 038,91	

4.1.8.- Depósitos D8 y D9

4.1.8.1	Ud	Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 1.500 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 1.200 mm, altura total de 1.250 mm, diámetro de 1.100 mm, espesor de chapa de 1,5 mm, ancho de camisa de 500 mm y superficie de 1,7 m ² . Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe	
1	Ud Depósito de acero inoxidable AISI 316 1.500 litros de capacidad Industrias Céspedes S.L.	2 536,94	2 536,94	
	45% Instalación del depósito		1 141,62	
	2% Costes Directos Complementarios		73,57	
COSTES INDIRECTOS				
	3% Costes Indirectos		112,56	
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			3 864,69	

4.1.9.- Depósito D12

4.1.9.1	Ud	Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 8.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 3.000 mm, altura total de 3.930 mm, diámetro de 1.800 mm y espesor de chapa de 2 mm. Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C y boca entrada de hombre. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe	
1	Ud Depósito de acero inoxidable AISI 316 8.000 litros de capacidad Industrias Céspedes S.L.	13 867,85	13 867,85	
	45% Instalación del depósito		6 240,53	
	2% Costes Directos Complementarios		402,17	
COSTES INDIRECTOS				
	3% Costes Indirectos		615,32	
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			21 125,87	

4.2.- Agitadores

4.2.1	Ud	Agitador industrial vertical de hélices de acero inoxidable 316 Pimecsa. Incluye el transporte de dicho agitador y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe	
1	Ud Agitador de hélices acero inoxidable 316 Pimecsa	4 252,77	4 252,77	
	45% Instalación del agitador		1 913,75	
	2% Costes Directos Complementarios		123,33	
COSTES INDIRECTOS				
	3% Costes Indirectos		188,70	
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			6 478,55	

5.1.- Válvulas

5.1.1.- Válvulas de mariposa

5.1.1.1.- Válvulas V2, V14, V15, V16, V17, V18, V19 y V20

5.1.1.1.1	Ud	Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN32 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento		Descripción	Precio	Importe
1	Ud	Válvula de mariposa disco de acero inoxidable y asiento de EPDM DN32 Saidi	360,85	360,85
		45% Instalación de la válvula		162,38
		2% Costes Directos Complementarios		10,46
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		16,01
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				549,70

5.1.1.2.- Válvulas V3 y V4

5.1.1.2.1	Ud	Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN50 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento		Descripción	Precio	Importe
1	Ud	Válvula de mariposa disco de acero inoxidable y asiento de EPDM DN50 Saidi	567,04	567,04
		45% Instalación de la válvula		255,17
		2% Costes Directos Complementarios		16,44
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		25,16
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				863,81

5.1.1.3.- Válvulas V5, V6, V7, V8 y V9

5.1.1.3.1	Ud	Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN40 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1	Ud Válvula de mariposa disco de acero inoxidable y asiento de EPDM DN40 Saidi	422,71	422,71
	45% Instalación de la válvula		190,22
	2% Costes Directos Complementarios		12,26
COSTES INDIRECTOS			
	3% Costes Indirectos		18,76
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			643,95

5.1.1.4.- Válvulas V23, V24, V28, V29, V30 y V31

5.1.1.4.1	Ud	Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN200 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1	Ud Válvula de mariposa disco de acero inoxidable y asiento de EPDM DN200 Saidi	1 030,98	1 030,98
	45% Instalación de la válvula		463,94
	2% Costes Directos Complementarios		29,90
COSTES INDIRECTOS			
	3% Costes Indirectos		45,74
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			1 570,56

5.1.1.5.- Válvula V25

5.1.1.5.1	Ud	Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN400 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1	Ud Válvula de mariposa disco de acero inoxidable y asiento de EPDM DN400 Saidi	1 030,98	1 030,98
	45% Instalación de la válvula		463,94
	2% Costes Directos Complementarios		29,90
COSTES INDIRECTOS			
	3% Costes Indirectos		45,74
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			1 570,56

5.1.1.6.- Válvulas V26, V27, V32, V33, V34, V35 y V36

5.1.1.6.1	Ud	Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN350 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1	Ud Válvula de mariposa disco de acero inoxidable y asiento de EPDM DN350 Saidi	1 030,98	1 030,98
	45% Instalación de la válvula		463,94
	2% Costes Directos Complementarios		29,90
COSTES INDIRECTOS			
	3% Costes Indirectos		45,74
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			1 570,56

5.1.2.- Válvulas de doble asiento

5.1.2.1.- Válvulas V10 y V11

5.1.2.1.1	Ud	Válvula de doble asiento de la casa comercial Krones DN100 con material en contacto con el fluido de acero inoxidable AISI 316 L (1.4404), con material sin contacto con el fluido de 1.4301, junta de EPDM, actuador neumático NC y cabezal de control y detector de proximidad M12x1. Presiones nominales del fluido de PN10 y del cuerpo PN25, presión del aire de control mínimo 6 bar y máximo 8 bar y a prueba de golpes de ariete de mínimo 45 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1	Ud Válvula de doble asiento de acero inoxidable 316 L y junta de EPDM DN100 Krones	1 030,98	1 030,98
	45% Instalación de la válvula		463,94
	2% Costes Directos Complementarios		29,90
COSTES INDIRECTOS			
	3% Costes Indirectos		45,74
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			1 570,56

5.1.2.2.- Válvulas V21 y V22

5.1.2.2.1	Ud	Válvula de doble asiento de la casa comercial Krones DN40 con material en contacto con el fluido de acero inoxidable AISI 316 L (1.4404), con material sin contacto con el fluido de 1.4301, junta de EPDM, actuador neumático NC y cabezal de control y detector de proximidad M12x1. Presiones nominales del fluido de PN10 y del cuerpo PN25, presión del aire de control mínimo 6 bar y máximo 8 bar y a prueba de golpes de ariete de mínimo 45 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1	Ud Válvula de doble asiento de acero inoxidable 316 L y junta de EPDM DN40 Krones	422,71	422,71
	45% Instalación de la válvula		190,22
	2% Costes Directos Complementarios		12,26
COSTES INDIRECTOS			
	3% Costes Indirectos		18,76
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			643,95

5.1.2.3.- Válvulas V37, V38 y V39

5.1.2.3.1	Ud	Válvula de doble asiento de la casa comercial Krones DN50 con material en contacto con el fluido de acero inoxidable AISI 316 L (1.4404), con material sin contacto con el fluido de 1.4301, junta de EPDM, actuador neumático NC y cabezal de control y detector de proximidad M12x1.. Presiones nominales del fluido de PN10 y del cuerpo PN25, presión del aire de control mínimo 6 bar y máximo 8 bar y a prueba de golpes de ariete de mínimo 45 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1	Ud Válvula de doble asiento de acero inoxidable 316 L y junta de EPDM DN50 Krones	567,04	567,04
	45% Instalación de la válvula		255,17
	2% Costes Directos Complementarios		16,44
COSTES INDIRECTOS			
	3% Costes Indirectos		25,16
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			863,81

6.1.- Manómetros

6.1.1	Ud	Manómetro para presión absoluta modelo AOGT43.160 de la casa comercial Wika de acero inoxidable 1.4571 y de tamaño nominal 160, con rangos de presión absoluta de 0 hasta 25 bar con un mínimo de sobrepresión de seguridad de 1 bar y máximo de 25 bar. Dial de aluminio con letras negras, aguja ajustable de aluminio negro y ventana de cristal laminado. Incluye el transporte de dicho manómetro y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1	Ud Manómetro presión absoluta AOGT43.160 de acero inoxidable 1.4571 tamaño nominal 160 Wika	287,50	287,50
	10% Instalación del manómetro		28,75
	2% Costes Directos Complementarios		6,33
COSTES INDIRECTOS			
	3% Costes Indirectos		9,68
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			332,26

6.2.- Medidores de caudal

6.2.1	Ud	Medidor de flujo con cuerpo de acero inoxidable 316. Incluye el transporte de dicho medidor de caudal y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1	Ud Medidor de flujo cuerpo acero inoxidable	517,50	517,50
	10% Instalación del medidor de caudal		51,75
	2% Costes Directos Complementarios		11,39
COSTES INDIRECTOS			
	3% Costes Indirectos		17,42
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			598,06

6.3.- Sensores de temperatura

6.3.1	Ud	Sensor de temperatura industrial EE220 de la casa comercial Sensovant. Rango de medición de -40 hasta +80 °C, de cuerpo metálico o plástico, con cable de extensión de hasta 10 metros con conectar M12 estándar, con una sola sonda o dos independientes y con vaina metálica para calibración en pozo. Dispone de recubrimiento especial anticorrosión. Salidas 4-20 mA o voltaje 0-1, 5 ó 10 V. Incluye el transporte de dicho manómetro y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento, incluyendo así la calibración.	
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1	Ud Sensor de temperatura EE220 Sensovant	287,50	287,50
	10% Instalación del sensor de temperatura		28,75
	2% Costes Directos Complementarios		6,33
COSTES INDIRECTOS			
	3% Costes Indirectos		9,68
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			332,26

6.4.- Sensores de nivel

6.4.1	Ud	Sensor de nivel de líquido industrial GSlevel de la casa comercial Sensovant para uso con agua, solución salina, combustibles, aceites y químicos, de tecnología capacitivo de estado sólido, de acero inoxidable 316, precisión de $\pm 2\%$, rango de trabajo desde -40 hasta $+125$ °C, calibrado de fábrica con compensación de temperatura, de hasta 2 metros de largo. Incluye dos opciones de montaje 1.25 rosca BSP SAE 5-Bolt e incluye una junta de la brida y la junta teórica. Incluye el transporte de dicho manómetro y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1	Ud Sensor de nivel de líquido GSlevel Sensovant	460,00	460,00
	10% Instalación del sensor de nivel		46,00
	2% Costes Directos Complementarios		10,12
COSTES INDIRECTOS			
	3% Costes Indirectos		15,48
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			531,60

6.5.- Controladores

6.5.1	Ud	Controladores industriales. Incluye el transporte de dichos controladores y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1	Ud Controladores industriales	22 658,61	22 658,61
	2% Costes Directos Complementarios		453,17
COSTES INDIRECTOS			
	3% Costes Indirectos		693,35
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			23 805,13

6.6.- Panel de control del proceso

6.6.1	Ud	Panel de control del proceso. Incluye el transporte de dicho panel de control y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
1	Ud Panel de control industrial	22 658,61	22 658,61
	2% Costes Directos Complementarios		453,17
COSTES INDIRECTOS			
	3% Costes Indirectos		693,35
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			23 805,13

7.1.- Filtro de cartuchos

7.1.1	Ud	Filtro de cartuchos L-Tech de P Series 10 micras, de acero inoxidable 316 L y anillo de EPDM de 30 pulgadas de alto, área de filtrado de 20 m ² y porosidad de 10 micras. Casa comercial Siebec. Máxima presión de operación de 7 bar y con capacidad de hasta 500 m ³ /h. Incluye el transporte de dicho filtro y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento		Descripción	Precio	Importe
1	Ud	Filtro de cartuchos L-Tech P Series de acero inoxidable 316 L y anillo de EPDM 30 pulgadas de alto Siebec	1 990,24	1 990,24
		70% Instalación del filtro de cartuchos		1 393,17
		2% Costes Directos Complementarios		67,67
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		103,53
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				3 554,61

8.1.- Intercambiador de calor

8.1.1	Ud	Intercambiador de calor de placas termosoldado Sumsol MS IP 607 con placas y manguitos de conexión en acero inoxidable AISI 316 y material de soldadura de cobre 99,9%. Presión máxima de trabajo de 16 bar, temperatura de entre -160 y 200 °C, conexiones roscadas macho de 2" y área por placa de 0,1036 m ² . Incluye el transporte de dicho intercambiador de calor y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS				
Rendimiento		Descripción	Precio	Importe
1	Ud	Intercambiador de calor MS IP 607 Sumsol de acero inoxidable AISI 316	39 177,05	39 177,05
		45% Instalación del intercambiador de calor		17 629,67
		2% Costes Directos Complementarios		1 136,13
COSTES INDIRECTOS				
		3% Costes Indirectos		1 738,29
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA				59 681,14

CAPÍTULO 6. MEDICIONES

Presupuesto parcial nº 1: Sistemas de separación y concentración y accesorios

Nº	Ud	Descripción	Medición
<hr/>			
1.1.- Membranas			
1.1.1- Membrana de microfiltración			
1.1.1.1	Ud	Módulo tubular multicanal cerámico de microfiltración de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ M37-19-25 con una longitud de 1,2 m, tamaño medio de poro de 200 nm, porosidad abierta de 40-55% y área de membrana de 9,28 m ² . De la casa comercial Inopor GmbH. Incluye el transporte de dicha membrana y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
			Total Ud: 8
1.1.2.- Membrana de nanofiltración			
1.1.2.1	Ud	Membrana Spiral-Cel de nanofiltración de arrollamiento en espiral orgánica de polietersulfona, con un espaciador de 44 mil, de longitud 38"y diámetro 3,8", con un umbral de corte de 578 Da y área de membrana de 5,7 m ² . De la casa comercial Microdyn-Nadir. Incluye el transporte de dicha membrana y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
			Total Ud: 103
1.1.3.- Membrana de destilación osmótica			
1.1.3.1	Ud	Membrana de destilación osmótica Liqui-Cel Extra-Flow 14x40 con carcasa de epoxi, fibras huecas microporosas de polipropileno y área de membrana de 373 m ² . De la casa comercial Liqui-Cel. Incluye el transporte de dicha membrana y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
			Total Ud: 9

Nº	Ud	Descripción	Medición
-----------	-----------	--------------------	-----------------

1.2.- Contenedores de presión

1.2.1 Ud Contenedor de presión PV4080SSAW-316 con cuerpo de acero inoxidable, conexión final de PVC, mordazas de acero inoxidable y configuración End Entry de la casa comercial Ami. Diámetro 4" y longitud 85" con capacidad para 2 membranas de 4"x40". Incluye pines en U, conexión de alimentación y anillos en O. Incluye el transporte de dicho contenedor de presión y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 52

Presupuesto parcial nº 3: Sistemas de bombeo

Nº Ud Descripción Medición

3.1.- Bombas

3.1.1.- Bomba B1

3.1.1.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 200-400 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 1

3.1.2.- Bomba B2

3.1.2.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 65-160 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 1

3.1.3.- Bomba B3

3.1.3.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 32-250 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 1

3.1.4.- Bomba B4

3.1.4.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 25-160 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 1

3.1.5.- Bomba B5

3.1.5.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 100-200 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 1

3.1.6.- Bomba B6

3.1.6.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 150-250 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 1

3.1.7.- Bombas B7 y B8

3.1.7.1 Ud Bomba centrífuga de velocidad controlada CPKN 40-60 de la casa comercial KSB. Bomba horizontal de carcasa de voluta partida radialmente, con diseño extraíble hacia atrás según EN 22 858 / ISO 2858 / ISO 5199, de una etapa, una sola entrada, con impulsor radial. Variante CPK con eje reforzado en el área de sellado del eje, cojinetes reforzados. Incluye el transporte de dicha bomba y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 2

Presupuesto parcial nº 4: Sistemas de almacenamiento y accesorios

Nº Ud Descripción Medición

4.1.- Depósitos

4.1.1.- Depósito D1

4.1.1.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 50.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 4.500 mm, altura total de 5.643 mm, diámetro de 3.654 mm, espesor de chapa de 3-2,5 y 2 mm, ancho de camisa de 2.400 mm y superficie de 27,3 m². Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 1

4.1.2.- Depósito D2

4.1.2.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 14.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 3.000 mm, altura total de 3.974 mm, diámetro de 2.375 mm y espesor de chapa de 2,5 y 2 mm. Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C y boca entrada de hombre. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 1

4.1.3.- Depósito D3

4.1.3.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 6.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 2.700 mm, altura total de 3.623mm, diámetro de 1.650 mm, espesor de chapa de 2 mm, ancho de camisa de 750 mm y superficie de 3,9 m². Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud	1
----------------	---

4.1.4.- Depósito D4

4.1.4.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 3.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 1.500 mm, altura total de 2.291 mm, diámetro de 1.540 mm, espesor de chapa de 1,6 mm, ancho de camisa de 600 mm y superficie de 2,9 m². Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud	1
----------------	---

4.1.5.- Depósito D5

4.1.5.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 11.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 3.000 mm, altura total de 3.944 mm, diámetro de 2.110 mm y espesor de chapa de 2,5 y 2 mm. Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C y boca entrada de hombre. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 1

4.1.6.- Depósito D6

4.1.6.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 25.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 4.200 mm, altura total de 5.254 mm, diámetro de 2.687 mm, espesor de chapa de 3-2,5 y 2 mm, ancho de camisa de 1.750 mm y superficie de 14,8 m². Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 1

4.1.7.- Depósitos D7, D10 y D11

4.1.7.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 1.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 1.500 mm, altura total de 2.291 mm, diámetro de 1.540 mm, espesor de chapa de 1,6 mm, ancho de camisa de 600 mm y superficie de 2,9 m². Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 3

4.1.8.- Depósitos D8 y D9

4.1.8.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 1.500 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 1.200 mm, altura total de 1.250 mm, diámetro de 1.100 mm, espesor de chapa de 1,5 mm, ancho de camisa de 500 mm y superficie de 1,7 m². Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C, boca entrada de hombre y camisa exterior para el sistema de control de temperatura. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 2

Nº	Ud Descripción	Medición
-----------	-----------------------	-----------------

4.1.9.- Depósito D12

4.1.9.1 Ud Depósito de acero inoxidable calidad AISI 316 de capacidad 8.000 litros de la casa comercial Industrias Céspedes S.L. con altura de cuerpo de 3.000 mm, altura total de 3.930 mm, diámetro de 1.800 mm y espesor de chapa de 2 mm. Fondos con los bordes curvados interiormente para facilitar la limpieza, soldaduras totalmente pasivadas y pulidas tanto interior como exteriormente. Incluye tapa superior de 400 mm de diámetro, válvula de seguridad en inoxidable de doble efecto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de producto, válvula mariposa DIN inoxidable para la salida de turbios, termómetro de 0 a 50 °C y boca entrada de hombre. Incluye el transporte de dicho depósito y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 1

4.2.- Agitadores

4.2.1 Ud Agitador vertical de hélices de acero inoxidable 316 Pimecsa. Incluye el transporte de dicho agitador y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 10

Presupuesto parcial nº 5: Sistemas de regulación de caudal

Nº Ud Descripción Medición

5.1.- Válvulas

5.1.1.- Válvulas de mariposa

5.1.1.1.- Válvulas V2, V14, V15, V16, V17, V18, V19 y V20

5.1.1.1.1 Ud Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN32 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 8

5.1.1.2.- Válvulas V3 y V4

5.1.1.2.1 Ud Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN50 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 2

5.1.1.3.- Válvulas V5, V6, V7, V8 y V9

5.1.1.3.1 Ud Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN40 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 5

5.1.1.4.- Válvulas V23, V24, V28, V29, V30 y V31

5.1.1.4.1 Ud Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN200 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 6

5.1.1.5.- Válvula V25

5.1.1.5.1 Ud Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN400 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 1

5.1.1.6.- Válvulas V26, V27, V32, V33, V34, V35 y V36

5.1.1.6.1 Ud Válvula de mariposa de la casa comercial Saidi de eje centrado DN350 con cuerpo y disco de acero inoxidable CF8M (código B6) y asiento de EPDM (código X3). Condiciones de trabajo máximas de temperatura: -20 a +150 °C; de presión: 16 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 7

5.1.2.- Válvulas de doble asiento

5.1.2.1.- Válvulas V10 y V11

5.1.2.1.1 Ud Válvula de doble asiento de la casa comercial Krones DN100 con material en contacto con el fluido de acero inoxidable AISI 316 L (1.4404), con material sin contacto con el fluido de 1.4301, junta de EPDM, actuador neumático NC y cabezal de control y detector de proximidad M12x1. Presiones nominales del fluido de PN10 y del cuerpo PN25, presión del aire de control mínimo 6 bar y máximo 8 bar y a prueba de golpes de ariete de mínimo 45 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 2

5.1.2.2.- Válvulas V21 y V22

5.1.2.2.1 Ud Válvula de doble asiento de la casa comercial Krones DN40 con material en contacto con el fluido de acero inoxidable AISI 316 L (1.4404), con material sin contacto con el fluido de 1.4301, junta de EPDM, actuador neumático NC y cabezal de control y detector de proximidad M12x1. Presiones nominales del fluido de PN10 y del cuerpo PN25, presión del aire de control mínimo 6 bar y máximo 8 bar y a prueba de golpes de ariete de mínimo 45 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 2

5.1.2.3.- Válvulas V37, V38 y V39

5.1.2.3.1 Ud Válvula de doble asiento de la casa comercial Krones DN50 con material en contacto con el fluido de acero inoxidable AISI 316 L (1.4404), con material sin contacto con el fluido de 1.4301, junta de EPDM, actuador neumático NC y cabezal de control y detector de proximidad M12x1. Presiones nominales del fluido de PN10 y del cuerpo PN25, presión del aire de control mínimo 6 bar y máximo 8 bar y a prueba de golpes de ariete de mínimo 45 bar. Incluye el transporte de dicha válvula y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 3

Presupuesto parcial nº 6: Sistemas de control e instrumentación

Nº Ud Descripción Medición

6.1.- Manómetros

6.1.1 Ud Manómetro para presión absoluta modelo APGT43.160 de la casa comercial Wika de acero inoxidable 1.4571 y de tamaño nominal 160, con rangos de presión absoluta de 0 hasta 25 bar con un mínimo de sobrepresión de seguridad de 1 bar y máximo de 25 bar. Dial de aluminio con letras negras, aguja ajustable de aluminio negro y ventana de cristal laminado. Incluye el transporte de dicho manómetro y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 48

6.2.- Medidores de caudal

6.2.1 Ud Medidor de flujo con cuerpo de acero inoxidable 316. Incluye el transporte de dicho medidor de caudal y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 27

6.3.- Sensores de temperatura

6.3.1 Ud Sensor de temperatura industrial EE220 de la casa comercial Sensovant. Rango de medición de -40 hasta +80 °C, de cuerpo metálico o plástico, con cable de extensión de hasta 10 metros con conectar M12 estándar, con una sola sonda o dos independientes y con vaina metálica para calibración en pozo. Dispone de recubrimiento especial anticorrosión. Salidas 4-20 mA o voltaje 0-1, 5 ó 10 V. Incluye el transporte de dicho manómetro y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento, incluyendo así la calibración.

Total Ud: 3

6.4.- Sensores de nivel

6.4.1 Ud Sensor de nivel de líquido industrial GSlevel de la casa comercial Sensovant para uso con agua, solución salina, combustibles, aceites y químicos, de tecnología capacitivo de estado sólido, de acero inoxidable 316, precisión de ±2%, rango de trabajo desde -40 hasta +125 °C, calibrado de fábrica con compensación de temperatura, de hasta 2 metros de largo. Incluye dos opciones de montaje 1.25 rosca BSP SAE 5-Bolt e incluye una junta de la brida y la junta teórica. Incluye el transporte de dicho manómetro y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 22

Nº	Ud	Descripción	Medición
<hr/>			
<i>6.5.- Controladores</i>			
6.5.1	Ud	Controladores industriales. Incluye el transporte de dichos controladores y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
			Total Ud: 1
 <i>6.6.- Panel de control del proceso</i>			
6.6.1	Ud	Panel de control del proceso. Incluye el transporte de dicho panel de control y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	
			Total Ud: 1

Presupuesto parcial nº 7: Pretratamiento

7.1.- Filtro de cartuchos

7.1.1 Ud Filtro de cartuchos L-Tech de P Series de acero inoxidable 316 L y anillo de EPDM de 30 pulgadas de alto, área de filtrado de 20 m² y porosidad de 10 micras. Casa comercial Siebec. Máxima presión de operación de 7 bar y con capacidad de hasta 500 m³/h. Incluye el transporte de dicho filtro y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud: 1

Presupuesto parcial nº 8: Sistemas de regulación de temperatura

Nº	Ud	Descripción	Medición
-----------	-----------	--------------------	-----------------

8.1- Intercambiador de calor

8.1.1 Ud Intercambiador de calor de placas termosoldado con placas y manguitos de conexión en acero inoxidable AISI 316 y material de soldadura de cobre 99,9%. Presión máxima de trabajo de 16 bar, temperatura de entre -160 y 200 °C, conexiones roscadas macho de 2" y área por placa de 0,1036 m². Incluye el transporte de dicho intercambiador de calor y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.

Total Ud			1
----------------	--	--	---

CAPÍTULO 7. PRESUPUESTO

Presupuesto parcial nº 1: Sistemas de separación y concentración y accesorios

<i>Nº</i>	<i>Descripción</i>	<i>Medición</i>	<i>Precio</i>	<i>Importe</i>
1.1.1.1	Módulo tubular multicanal cerámico de microfiltración de α -Al ₂ O ₃ M37-19-25 con una longitud de 1,2 m. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
	Total Ud:	8	10 148,80 €	81 190,40 €
1.1.2.1	Membrana Spiral-Cel de nanofiltración de arrollamiento en espiral orgánica de polietersulfona, con un espaciador de 44 mil, 38"x3,8". Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
	Total Ud:	103	540,24 €	55 644,72 €
1.1.3.1	Membrana de destilación osmótica Liqui-Cel Extra-Flow 14x40 con carcasa de epoxi, fibras huecas microporosas de polipropileno y área de membrana de 373 m ² . Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
	Total Ud:	9	8 484,25 €	76 358,25 €
1.2.1	Contenedor de presión PV4080SSAW-316 con cuerpo de acero inoxidable 85"x4". Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
	Total Ud:	52	607,32 €	31 580,64 €
Parcial nº 1 Sistemas de separación y concentración y accesorios:				244 774,01 €

Presupuesto parcial nº 2: Red de distribución

Nº	Descripción	Medición	Precio	Importe
2.1.1	Tubería de acero inoxidable AISI 316 L con soldadura, recocida y decapada, Eduardo Cortina. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	344	12 795,75 €
				4 401 738,00 €
Parcial nº 2 Red de distribución:				4 401 738,00 €

Presupuesto parcial nº 3: Sistemas de bombeo

Nº	Descripción	Medición	Precio	Importe
3.1.1.1	Bomba centrífuga horizontal de velocidad controlada CPKN 200-400 KSB. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	1 32 754,22 €	32 754,22 €
3.1.2.1	Bomba centrífuga horizontal de velocidad controlada CPKN 65-160 KSB. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	1 12 737,76 €	12 737,76 €
3.1.3.1	Bomba centrífuga horizontal de velocidad controlada CPKN 32-250 KSB. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	1 5 459,03 €	5 459,03 €
3.1.4.1	Bomba centrífuga horizontal de velocidad controlada CPKN 25-160 KSB. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	1 5 822,97 €	5 822,97 €
3.1.5.1	Bomba centrífuga horizontal de velocidad controlada CPKN 100-200 KSB. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	1 19 652,54 €	19 652,54 €
3.1.6.1	Bomba centrífuga horizontal de velocidad controlada CPKN 150-250 KSB. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	1 29 114,87 €	29 114,87 €
3.1.7.1	Bomba centrífuga horizontal de velocidad controlada CPKN 40-60 KSB. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	2 6 914,79 €	13 829,58 €

Parcial nº 3 Sistemas de bombeo: 119 370,97 €

Presupuesto parcial nº 4: Sistemas de almacenamiento

Nº	Descripción	Medición	Precio	Importe
4.1.1.1	Depósito de acero inoxidable AISI 316 L capacidad 50.000 L, Industrias Céspedes S.L.. Includo transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	1	138 851,90 €
				138 851,90 €
4.1.2.1	Depósito de acero inoxidable AISI 316 L capacidad 14.000 L, Industrias Céspedes S.L.. Includo transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	1	37 943,87 €
				37 943,87 €
4.1.3.1	Depósito de acero inoxidable AISI 316 L capacidad 6.000 L, Industrias Céspedes S.L.. Includo transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	1	15 519,86 €
				15 519,86 €
4.1.4.1	Depósito de acero inoxidable AISI 316 L capacidad 3.000 L, Industrias Céspedes S.L.. Includo transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	1	6 893,39 €
				6 893,39 €
4.1.5.1	Depósito de acero inoxidable AISI 316 L capacidad 11.000 L, Industrias Céspedes S.L.. Includo transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	1	29 534,87 €
				29 534,87 €
4.1.6.1	Depósito de acero inoxidable AISI 316 L capacidad 25.000 L, Industrias Céspedes S.L.. Includo transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	1	68 776,88 €
				68 776,88 €
4.1.7.1	Depósito de acero inoxidable AISI 316 L capacidad 1.000 L, Industrias Céspedes S.L.. Includo transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	3	3 038,91 €
				9 116,73 €
4.1.8.1	Depósito de acero inoxidable AISI 316 L capacidad 1.500 L, Industrias Céspedes S.L.. Includo transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud:	2	3 864,69 €
				7 729,38 €

4.1.9.1	Depósito de acero inoxidable AISI 316 L capacidad 1.500 L, Industrias Céspedes S.L.. Includo transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
			Total Ud: 1	21 125,87 € 21 125,87 €
4.2.1	Agitador industrial vertical de hélices de acero inoxidable 316 Pimecsa. Incluye el transporte de dicho agitador y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	Ud		
			Total Ud: 10	6 478,55 € 64 785,50 €
Parcial nº 4 Sistemas de almacenamiento y accesorios:				400 278,25 €

Presupuesto parcial nº 5: Sistemas de regulación de caudal

Nº	Descripción	Medición	Precio	Importe
5.1.1.1.1	Válvula de mariposa con disco de acero inoxidable Saidi DN32. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
	Total Ud:	8	549,70 €	4 397,60 €
5.1.1.2.1	Válvula de mariposa con disco de acero inoxidable Saidi DN50. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
	Total Ud:	2	863,81 €	1 727,62 €
5.1.1.3.1	Válvula de mariposa con disco de acero inoxidable Saidi DN40. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
	Total Ud:	5	643,95 €	3 219,75 €
5.1.1.4.1	Válvula de mariposa con disco de acero inoxidable Saidi DN200. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
	Total Ud:	6	1 570,56 €	9 423,36 €
5.1.1.5.1	Válvula de mariposa con disco de acero inoxidable Saidi DN400. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
	Total Ud:	1	1 570,56 €	1 570,56 €
5.1.1.6.1	Válvula de mariposa con disco de acero inoxidable Saidi DN350. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
	Total Ud:	7	1 570,56 €	10 993,92 €
5.1.2.1.1	Válvula de doble asiento de acero inoxidable Krones DN100. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
	Total Ud:	2	1 570,56 €	3 141,12 €
5.1.2.2.1	Válvula de doble asiento de acero inoxidable Krones DN40. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
	Total Ud:	2	643,95 €	1 287,90 €

5.1.2.3.1 Válvula de doble asiento de acero inoxidable Ud
Krones DN50. Incluido transporte, transporte
de maquinaria e instalación completa.

Total Ud: 3 863,81 € 2 591,43 €

Parcial nº 5 Sistemas de regulación de caudal: 38 353,26 €

Presupuesto parcial nº 6: Sistemas de control e instrumentación

Nº	Descripción	Medición	Precio	Importe
6.1.1	Manómetro de presión absoluta APT43.160 de acero inoxidable 1.4571 DN160 Wika. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud: 48	332,26 €	15 948,48 €
6.2.1	Medidor de flujo con cuerpo de acero inoxidable 316. Incluye el transporte de dicho medidor de caudal y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	Ud		
		Total Ud: 27	598,06 €	16 147,62 €
6.3.1	Sensor de temperatura industrial EE220 Sensovant. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.			
		Total Ud: 3	332,26 €	996,78 €
6.4.1	Sensor de nivel de líquido industrial GSlevel Sensovant. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.			
		Total Ud: 22	531,60 €	11 695,20 €
6.5.1	Controladores industriales. Incluye el transporte de dichos controladores y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.			
		Total Ud: 1	23 805,13	23 805,13
6.5.2	Panel de control del proceso. Incluye el transporte de dicho panel de control y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.			
		Total Ud: 1	23 805,13	23 805,13
Parcial nº 6 Sistemas de control e instrumentación:				92 398,34 €

Presupuesto parcial nº 7: Pretratamiento

Nº	Descripción	Medición	Precio	Importe
7.1.1	Filtro de cartuchos L-Tech P Series de acero inoxidable 316 L y anillo de EPDM de 30 pulgadas. Incluido transporte, transporte de maquinaria e instalación completa.	Ud		
		Total Ud: 1	3 554,61 €	3 554,61 €
			Parcial nº 7 Pretratamiento:	3 554,61 €

Presupuesto parcial nº 8: Sistemas de regulación de temperatura

Nº	Descripción	Medición	Precio	Importe
8.1.1	Intercambiador de calor de placas termosoldado con placas y manguitos de conexión en acero inoxidable AISI 316 y material de soldadura de cobre 99,9%. Presión máxima de trabajo de 16 bar, temperatura de entre -160 y 200 °C, conexiones roscadas macho de 2" y área por placa de 0,1036 m2. Incluye el transporte de dicho intercambiador de calor y de la maquinaria. Comprende los trabajos y accesorios necesarios para su completa instalación, montaje y funcionamiento.	Ud		
		Total Ud: 1	59 681,14 €	59 681,14 €

Parcial nº 8 Sistemas de regulación de la temperatura: 59 681,14 €

CAPÍTULO 8. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

1. Sistemas de separación y concentración y accesorios	244 774,01 €
2. Red de distribución	4 401 738,00 €
3. Sistemas de bombeo	119 370,97 €
4. Sistemas de almacenamiento y accesorios	400 278,25 €
5. Sistemas de regulación de caudal	38 353,26 €
6. Sistemas de control e instrumentación	92 398,34 €
7. Pretratamiento	3 554,61 €
8. Sistemas de regulación de temperatura	59 681,14 €
Presupuesto de ejecución material (PEM)	5 360 148,58 €
13% de gastos generales (GG)	696 819,32 €
6% de beneficio industrial (BI)	321 608,91 €
Presupuesto de ejecución por contrata (PEC = PEM + GG + BI)	6 378 576,81 €
21% IVA	1 339 501,13 €
Presupuesto de ejecución por contrata con IVA (PEC = PEM + GG + BI + IVA)	7 718 077,94 €
Honorarios del proyectista (4% PEC)	308 723,12 €
Presupuesto de inversión final	8 026 801,06 €

