



# **Universitat Jaume I**

**Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals**  
**Grau en Enginyeria Química**

***Diseño de una planta piloto de  
destilación por membranas para el  
tratamiento de aguas residuales***

**Trabajo Fin de Grado**

Autor

Vicente Costa Segovia

Tutor

Vicente Sanz Solana

Castellón, febrero de 2020



## **Resumen**

El presente trabajo de final de grado tiene como finalidad diseñar una planta piloto de destilación por membranas. Esta tecnología consiste en la destilación a baja temperatura de aguas industriales mediante la evaporación-condensación del agua a través de una membrana hidrófoba. La fuerza impulsora para la separación es la diferencia de presión de vapor a través de la membrana y no la diferencia de presión total, como ocurre con la osmosis inversa. Los materiales más comúnmente utilizados para las membranas de destilación son polipropileno, politetrafluoretileno y polifluoruro de vinilideno. La configuración utilizada de la membrana de destilación es de contacto directo, en la que la membrana está en contacto directo con las dos fases líquidas, ya que es la configuración más simple capaz de producir un flujo razonablemente alto. La configuración principal del módulo de membrana de destilación es tubular de fibra hueca ya que tiene una densidad de empaquetamiento más alta y permite utilizar superficies de membrana mayores.

Además, se ha realizado un estudio económico para conocer la rentabilidad de la planta. La inversión inicial necesaria para llevar a cabo el proyecto es de 48.079,95 €. Aunque los indicadores económicos son negativos, debe considerarse que los beneficios son medioambientales y no estrictamente económicos.

Previamente a la realización del proyecto, se hicieron pruebas de laboratorio con un sistema simplificado que permitió obtener información para fijar algunos de los parámetros.



# 1. Índice general

---



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



# 2. Memoria



## Índice

1. Objeto.....	2
2. Justificación.....	3
3. Alcance.....	4
4. Antecedentes.....	5
4.1. Introducción.....	5
4.2. Destilación por membranas.....	10
4.3. Materiales de membranas.....	15
4.4. Ensuciamiento y humectación de la membrana.....	18
4.5. Fenómenos de transferencia de calor y masa en la MD.....	19
4.6. Principales fabricantes de membranas poliméricas hidrófobas.....	21
5. Normas y referencias.....	22
5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas.....	22
5.1.1. Prevención de riesgos laborales.....	22
5.1.2. Código de Evaluación y Control Ambiental.....	23
5.1.3. Normas UNE.....	23
5.2. Herramientas y programas de cálculo.....	24
5.3. Bibliografía.....	24
5.4. Webgrafía.....	24
6. Definiciones y abreviaturas.....	25
7. Requisitos de diseño.....	29
7.1. Ubicación de la planta.....	29
7.2. Diagrama de flujo.....	32
7.3. Diseño de la planta piloto.....	34
7.4. Diseño de los elementos de la planta piloto.....	36
7.5. Distribución de los elementos en planta.....	58
8. Análisis de soluciones.....	59
8.1. Mecanismos para el proceso de tratamiento de aguas.....	59
8.2. Procedencia del calor en el sistema de MD.....	63
9. Planificación.....	65
10. Orden de prioridad entre los documentos básicos.....	67
11. Estudio de viabilidad económica.....	68
11.1. Resumen del presupuesto.....	68

11.2. Presupuesto de explotación.....	70
11.2.1. Inversión inicial.....	70
11.2.2. Amortización.....	71
11.2.3. Gastos.....	71
11.2.3.1. Gastos directos.....	71
11.2.3.2. Gastos indirectos.....	73
11.2.3.3. Gastos totales.....	74
11.2.4. Ingresos.....	74
11.2.5. Beneficios.....	75
11.2.5.1. Beneficio bruto.....	75
11.2.5.2. Beneficio neto.....	76
11.2.6. Flujo de caja.....	76
11.2.7. VAN.....	77
11.2.8. TIR.....	78
11.2.9. Periodo de retorno.....	79
11.2.10. Conclusión.....	79

## **1. Objeto**

El propósito del presente proyecto es el diseño, análisis y operación en planta piloto de una destilación por membranas con el fin de aprovechar los residuos generados en el tratamiento de aguas.

Es una tecnología que cada vez es más competitiva en una amplia variedad de sectores industriales puesto que permite tratar efluentes complejos. Se trata de una técnica que permite tratar efluentes salinos y salmueras produciendo una corriente de rechazo, puesto que la separación no está limitada por el equilibrio.

El objetivo de los trabajos más actuales sobre la aplicación de la destilación por membranas es aumentar la producción de permeado, disminuir el volumen de la corriente residual final y la reducción del coste de operación. Para ello es necesario hacer una buena elección de la membrana y su configuración, así como una buena elección de los elementos a utilizar.

## **2. Justificación**

La realización del presente proyecto, enmarcado en la asignatura EQ1044 “Trabajo de Final de Grado” y realizado durante la estancia en prácticas en el Instituto de Tecnología Cerámica de Castellón, enmarcada en la asignatura EQ1034 “Prácticas externas”, ambas correspondientes al cuarto curso del Grado en Ingeniería Química, se lleva a cabo con el fin de buscar nuevos métodos para el tratamiento de aguas residuales.

El Instituto de Tecnología Cerámica es un centro de investigación situado en el campus de la Universitat Jaume I, socio de las empresas dentro del entramado que conforma el cluster cerámico español, cuyas empresas tienen en su mayoría carácter de pymes, lo que dificulta que puedan generar la tecnología que, bien sea obtenida tras abordar las acciones de I+D necesarias o bien transferida de otros sectores productivos al cerámico, proporcionará nuevos productos, antes inéditos, que resulten útiles a la sociedad manteniendo unos precios competitivos.

Durante la estancia en prácticas se ha realizado un análisis de las características y propiedades de las membranas poliméricas con el fin de elegir la más adecuada, una vez elegida se han realizado los correspondientes experimentos para obtener resultados y sacar conclusiones para su posterior utilización en la planta piloto.

De esta forma, este proyecto puede resultar beneficioso de manera conjunta, al estudiante le ofrece la oportunidad de aprender y conocer la técnica de destilación por membranas y a la empresa la oportunidad de ofrecer una nueva técnica de destilación aprovechando los residuos generados en el agua, pudiendo ser beneficioso en un futuro.

### 3. Alcance

El alcance del presente proyecto es el diseño de una planta piloto que sirva para establecer los parámetros de funcionamiento de una planta futura. Para ello se deben realizar las siguientes acciones:

- Diseño y dimensionado de los equipos a utilizar
- Evaluación económica del sistema

Así pues, la planta piloto debe estar integrada por los siguientes componentes:

- Intercambiador de calor de placas
- Equipo de enfriamiento de agua
- Dos bombas peristálticas
- Tanque de sedimentos
- Tanque de agua fría
- Tanque de agua caliente
- Módulo de membrana polimérica tubular de fibra hueca
- Dos manómetros
- Dos caudalímetros
- Cinco termopares
- Calentador
- Conducciones: tuberías y accesorios (codos, unión “T”, reductores, manguitos, válvulas de seguridad)
- Plataforma: viga, pilar, plataforma de retención, barandilla de seguridad

Estos elementos se explican con más detalle en el apartado 7.4 de la memoria.

## 4. Antecedentes

### 4.1 Introducción

Existen tres mecanismos para el proceso de tratamiento de aguas: térmico, membranas y destilación por membranas.

- Térmico:

El mecanismo térmico consiste en separar el agua por medio de un cambio de fase, como la evaporación, mediante el aporte de energía en forma de calor. Dentro de esta categoría se encuentran los procesos de destilación de múltiple efecto (MED), destilación flash de múltiple efecto (MSF) y destilación por compresión de vapor (VCD).

- Membranas:

El mecanismo por membranas no utiliza un cambio de fase, si no que utiliza membranas semipermeables para filtrar el agua, reteniendo las partículas de minerales y sales en dichas membranas. Dentro de esta categoría se encuentra el proceso de osmosis inversa (RO), que aporta energía en forma de presión, y la electrodiálisis (ED), que aporta energía creando un campo eléctrico.

- Además también se encuentra el proceso de destilación por membranas (MD) con el que se va a fijar este proyecto, que es un híbrido de los dos mecanismos anteriores y que se describe más extensamente a lo largo de la memoria.

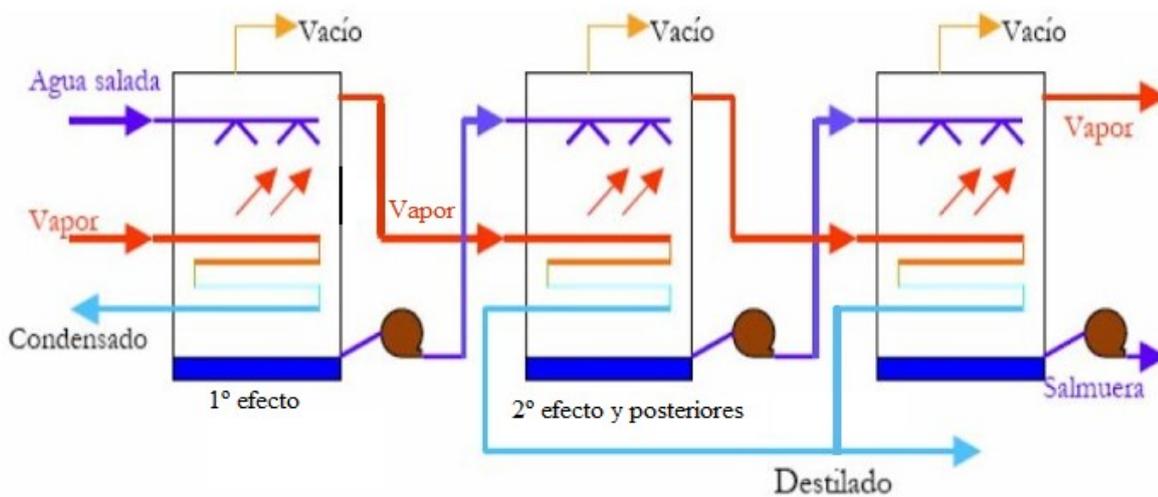
A continuación se explican los procesos existentes diferentes al proceso MD [10]:

#### **Destilación de múltiple efecto**

El proceso MED se basa en un proceso de evaporación-condensación iterativa en diversas etapas bajo condiciones de vacío, usando vapor residual de una planta de energía adyacente como medio de calentamiento para la evaporación.

En el primer efecto (etapa de destilación) se añade calor al agua de manera que se evapora una cantidad, el vapor es atrapado por una tubería y enviado hacia un intercambiador de calor, la cantidad de agua que permanece en fase líquida se envía a otro contenedor con una presión menor al anterior, esta es puesta en contacto con el intercambiador de calor en el que circula el vapor, a través de una serie de aspersores, condensando de esta manera el vapor que se encuentra dentro de la tubería y evaporándose parte del agua que no se

evaporó en el proceso anterior. Este proceso se repite hacia otro contenedor con una presión menor. El funcionamiento se muestra en la figura M4.1.



**Figura M4.1.** Proceso de evaporación de múltiple efecto [10].

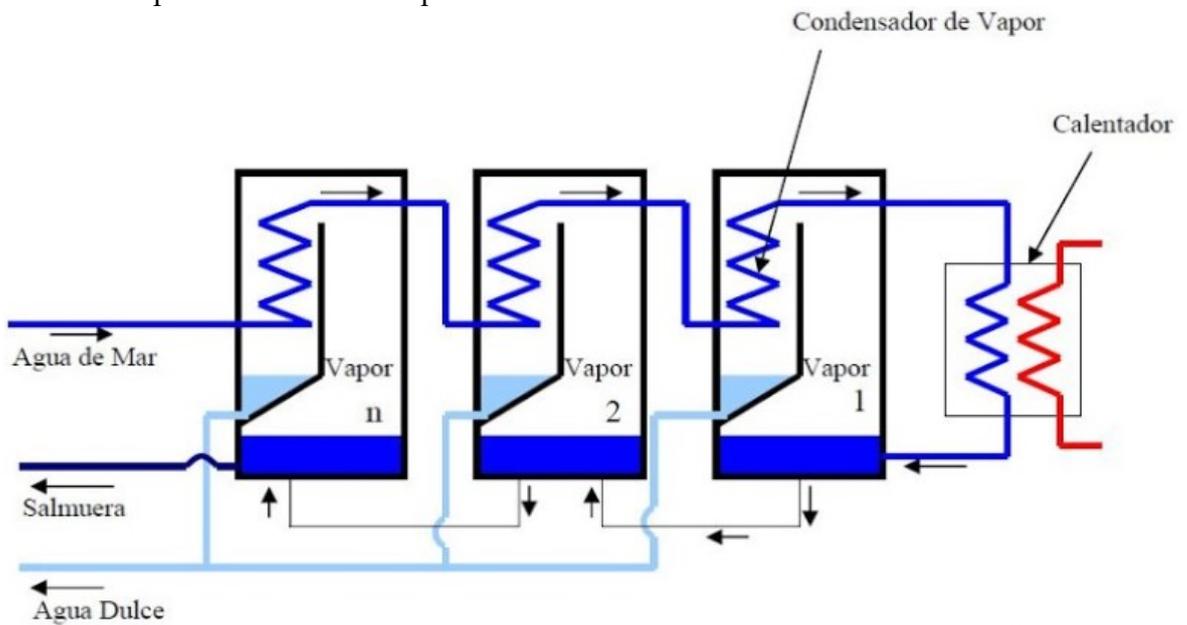
La evaporación en este proceso ocurre en una de las superficies de un intercambiador, aprovechando el calor latente desprendido por la condensación del vapor en el otro lado.

El proceso MED contiene evaporadores horizontales y también evaporadores de tubos verticales con mayor eficiencia pero mayor coste, ya que necesitan mayor superficie de intercambio para producir la misma cantidad de destilado.

### Destilación flash de múltiple efecto

En el proceso MSF el agua se calienta gradualmente hasta una temperatura menor a la temperatura de saturación de la presión de suministro, posteriormente, mediante una cámara flash, se provoca una caída de presión menor a la de saturación, evaporando parte del agua. Esta cámara flash se encuentra dividida en dos secciones, una donde se genera el vapor y otra donde se condensa, la condensación ocurre cuando el vapor intercambia calor con el agua a través de la cara externa de la tubería por donde esta circula. El agua condensada es recogida por un canal. En una planta convencional el agua se calienta por el interior de los tubos de los intercambiadores de la MSF, hasta llegar a un calentador final que usa como fluido caliente un vapor procedente de una planta de potencia. Posteriormente el agua entra de nuevo en los intercambiadores, donde en su parte baja se encuentra la cámara flash que provoca la evaporación parcial del agua. Ese vapor condensa calentando el agua que circula por el interior de los tubos y es recogido en un canal. El

agua no evaporada pasa a la siguiente etapa más concentrada. Normalmente hay recirculación en el proceso para reducir el consumo de agua de entrada. En la figura M4.2 se puede ver el proceso de forma esquematizada.



**Figura M4.2.** Proceso de la evaporación por efecto flash [10].

### Destilación por compresión de vapor

En el proceso VCD el vapor comprimido es utilizado como una fuente de calor necesaria para evaporar el agua. El agua se pone en contacto con el vapor comprimido mediante unos aspersores, los cuales riegan el agua alrededor de una tubería dentro de la que circula el vapor comprimido. Debido al intercambio de calor, una porción del vapor comprimido condensa dentro de los tubos, produciendo de esta forma agua limpia. El vapor generado fuera de los tubos es comprimido a través de un compresor mecánico para que se inicie nuevamente el proceso. Este compresor utiliza un motor eléctrico o diesel para ser accionado o también, el vapor, se puede comprimir por una unidad turbo-compresora. En la figura M4.3 se puede ver el funcionamiento del proceso VCD.

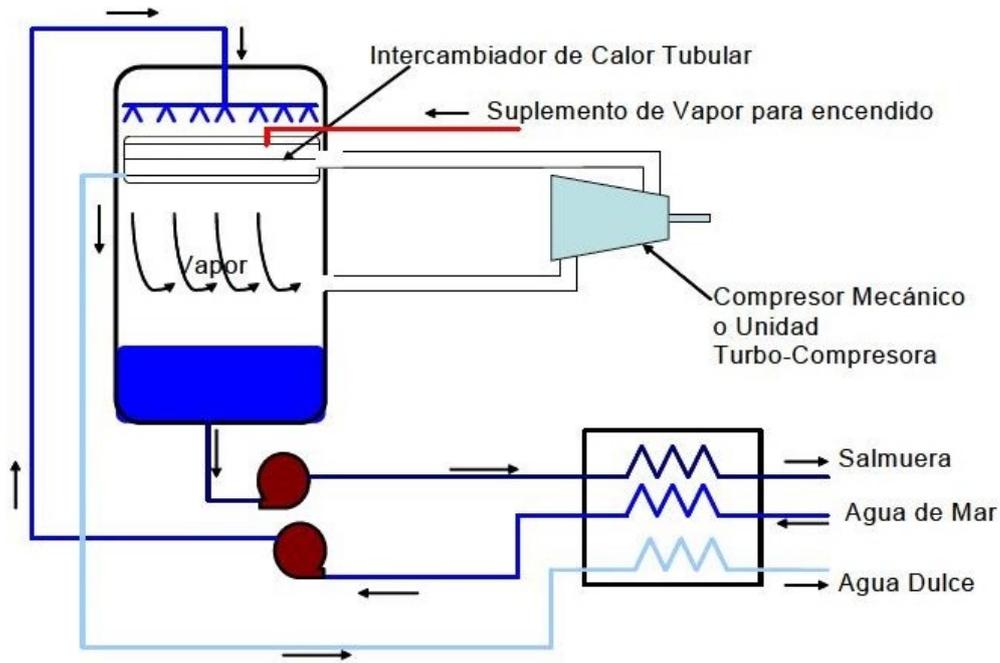


Figura M4.3. Proceso de compresión de vapor [10].

### Ósmosis inversa

La RO pertenece al mecanismo por membranas y es un proceso que consiste en aplicar una presión externa para invertir el flujo natural del solvente, así se aumenta la presión de la zona de mayor concentración para lograr que el disolvente pase de esta a la zona de menor concentración. En la figura M4.4 se puede observar el funcionamiento de la RO.

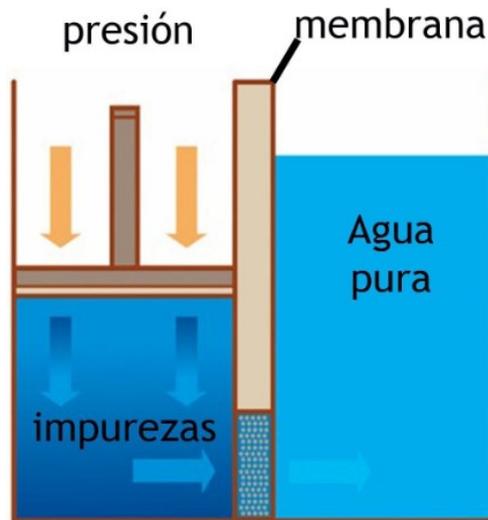


Figura M4.4. Proceso de ósmosis inversa [12].

## Electrodiálisis

La ED aplica una corriente eléctrica directamente en el agua, esta corriente lleva a los iones de mineral cargados hacia electrodos de cargas opuestas, pasando antes por membranas semipermeables selectivas. Los iones acumulados en los electrodos generan incrustaciones por lo que deben ser mantenidos constantemente. En la figura M4.5 se representa el funcionamiento de la ED.

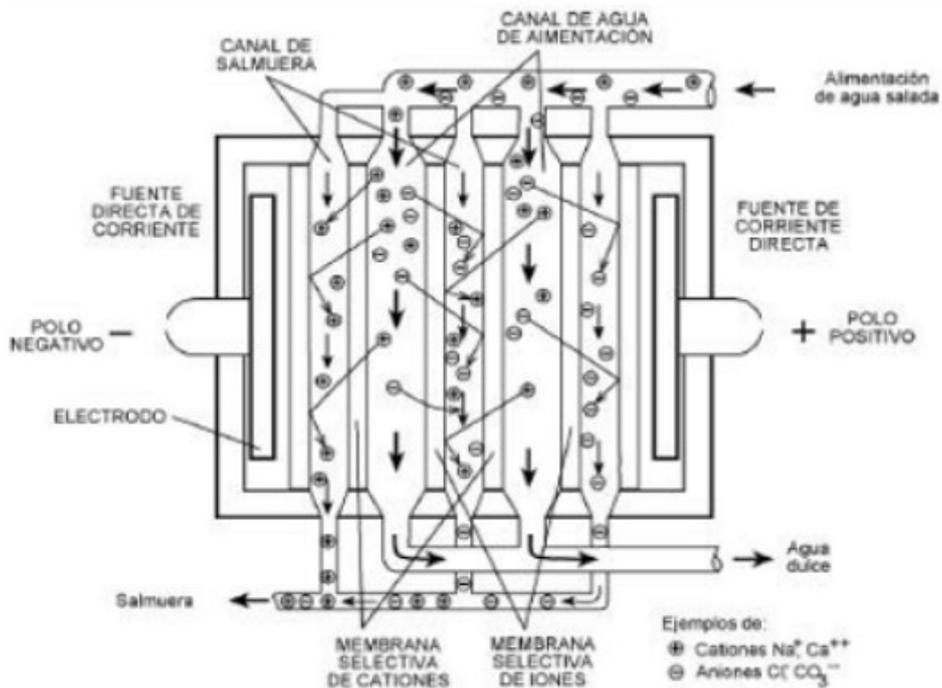


Figura M4.5. Funcionamiento de la electrodiálisis [12].

Los sistemas de ED pueden recuperar aproximadamente un 95% de agua. La energía utilizada para estos sistemas varía según las características del agua a ser tratada, por lo que se considera una tecnología competitiva en concentraciones menores a 3000 mg/L.

## 4.2 Destilación por membranas

Como ya se ha explicado anteriormente, la destilación por membranas es un mecanismo que posee características del proceso por membranas y también del proceso térmico en el que únicamente las moléculas de vapor pueden pasar a través de la membrana, la cual es hidrófoba. El alimento que se ha de tratar está en contacto directo con una de las superficies de la membrana, pero no penetra a través de los poros de la membrana al ser esta hidrófoba. La fuerza motriz del proceso MD es bastante diferente al de otros procesos de membrana, siendo la diferencia de presión de vapor a través de la membrana, en lugar de una diferencia de presión absoluta aplicada, un gradiente de concentración o un gradiente de potencial eléctrico, que impulsa la transferencia de masa a través de una membrana [7]. En la figura M4.6 se muestra el proceso MD para tratar aguas residuales.

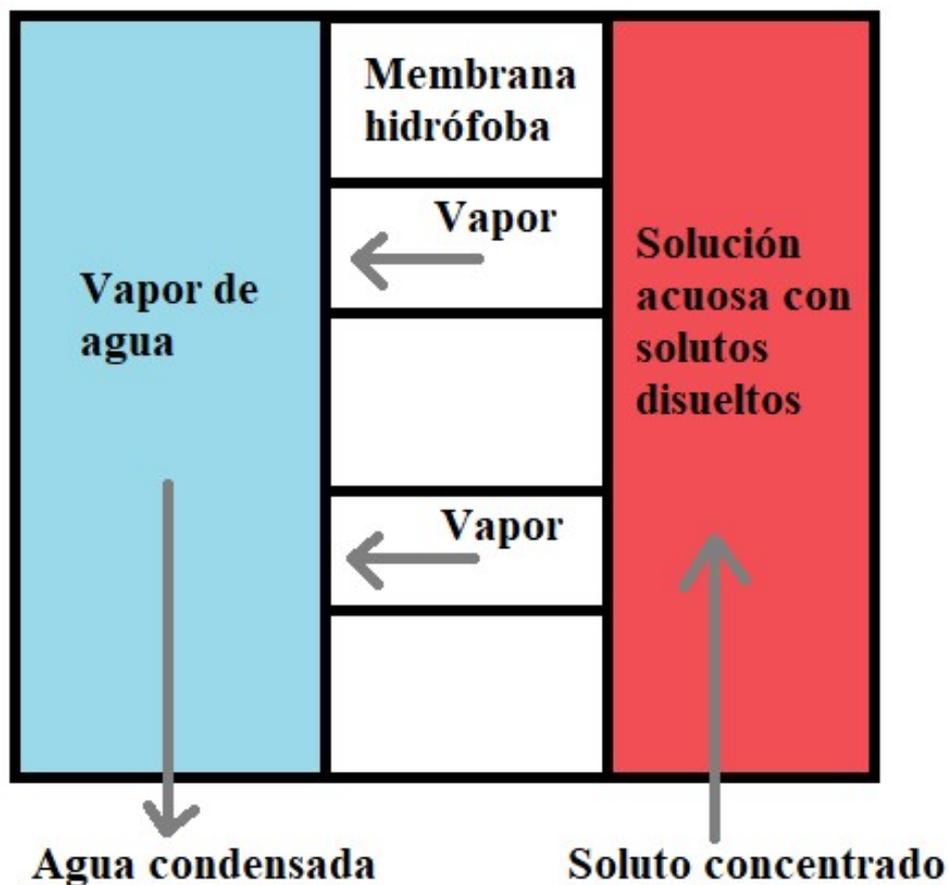


Figura M4.6. Proceso MD para tratar aguas residuales.

Características de la destilación por membranas [3]:

- El alimento puede ser un líquido puro o disolución.
- La solución no se calienta necesariamente hasta el punto de ebullición.
- Si el alimento o permeado mojasen la membrana se rellenarían los poros inmediatamente debido a las fuerzas capilares.
- En el caso de sistemas acuosos, la membrana ha de ser hidrófoba.
- Bajas temperaturas de funcionamiento en comparación con las que se encuentran en los procesos convencionales.
- La membrana no está implicada directamente en la separación.
  - Solo actúa como barrera entre dos fases.
  - La selectividad está completamente determinada por el equilibrio líquido-vapor. El componente con mayor presión parcial es el que permea con mayor velocidad.

Parámetros convenientes para la MD según la ecuación de Laplace [3]:

- Ángulo de contacto líquido-membrana superior a  $90^\circ$  y lo más elevado posible. Afinidad mínima entre el líquido y el material de la membrana. Reducida energía superficial de la membrana.
- Menor radio posible para los mayores poros de la membrana. Eleva la presión mínima a la que se produce el mojado.
- Elevada tensión superficial del líquido. Eleva la presión mínima a la que se produce el mojado.

Ventajas más importantes de la destilación por membranas [7]:

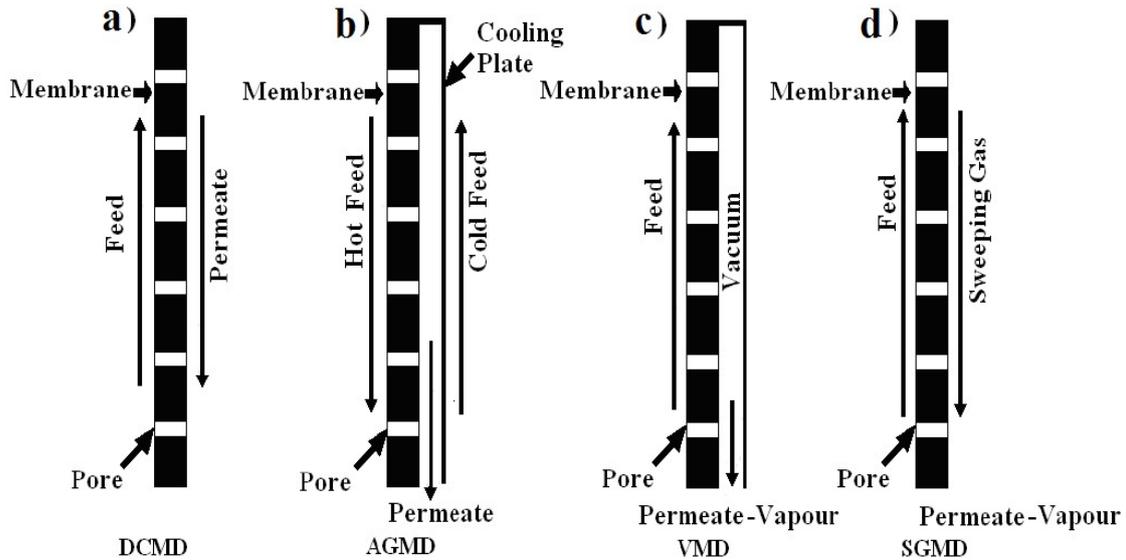
- Al igual que en la evaporación, el proceso no está limitado por el equilibrio, por lo que se pueden conseguir los factores de recuperación del agua y de concentración del rechazo que sean necesarios. A diferencia de la RO, no existe un equilibrio el cual establece un límite en la separación.
- Generalmente la tecnología no requiere un pretratamiento del alimento para alargar la vida de la membrana.
- La eficiencia del sistema y la buena calidad del agua producida prácticamente son independientes de la concentración de sal del alimento.
- Rechazo del 100% de solutos no volátiles.
- Posibilidad de tratar efluentes corrosivos y ácidos, que en destilación convencional es complicado por los materiales que se requieren.

- Flexibilidad de operación al tratarse de módulos independientes.
- Sus temperaturas de operación menores y el área de vapor requerido respecto a los procesos de destilación tradicionales y su rechazo del 100% de solutos no volátiles, permiten explorar las ventajas de modularidad y simplicidad operacional para aplicaciones en sistemas de membranas integrados.

En la práctica existen cuatro configuraciones para el proceso de destilación por membranas [1], que se muestran en la figura M4.7.

- a) Membrana de destilación de contacto directo (DCMD):** en esta configuración la solución salina a mayor temperatura se encuentra en contacto directo con la membrana, al igual que el lado donde circula el agua permeada, a una menor temperatura. El vapor de agua presente en la solución salina pasa a través de la membrana.
- b) Membrana de destilación de espacio de aire (AGMD):** en esta configuración se interpone un espacio de aire entre la membrana y una superficie de condensación. El vapor de agua pasa por la membrana a través del espacio de aire y luego toma contacto con la placa de condensación.
- c) Membrana de destilación de vacío (VMD):** en esta configuración se reemplaza la cámara de aire utilizada en AGMD por una cámara al vacío, de manera que se forma una diferencia de presión de vapor, por lo que esta configuración puede generar mayor cantidad de destilado a una misma temperatura de entrada de la salmuera.
- d) Membrana de destilación de gas de barrido (SGMD):** en esta configuración el producto permeado a través de la membrana es retirado del sistema por medio de un gas de arrastre. La condensación del producto se realiza externamente en un condensador de mayor tamaño, requiriendo de grandes volúmenes de gas para retirar bajas cantidades de vapor de agua.

Para la instalación de la planta se utiliza una configuración de contacto directo ya que es la más estudiada debido a la conveniencia de la configuración en el laboratorio y la alta tasa de flujo.

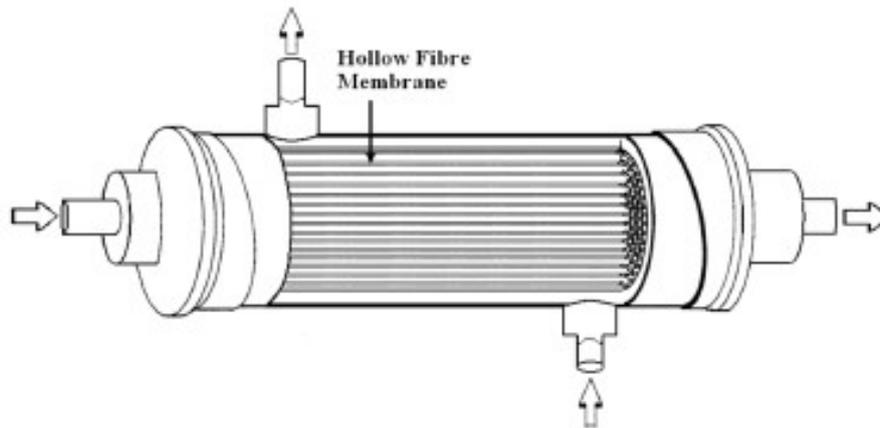


**Figura M4.7.**Tipos de configuraciones del proceso MD [1].

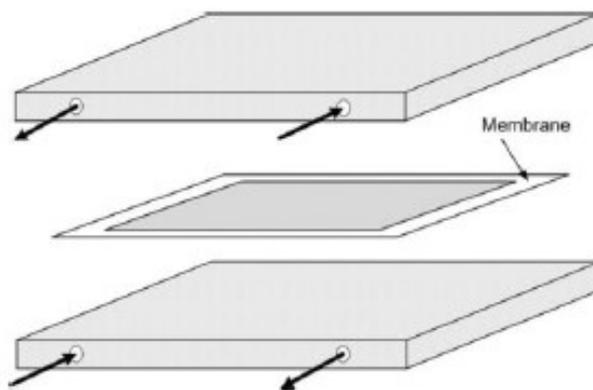
También existen dos configuraciones principales de módulos de destilación por membranas, que son el módulo tubular de fibra hueca y el módulo de placa y marco [1].

- **Módulo tubular de fibra hueca:** en la figura M4.8 se muestra un diagrama esquemático de un módulo tubular de fibra hueca en el que las membranas de fibra hueca se pegan en un alojamiento. Esta configuración puede tener una densidad de empaquetamiento muy alta ( $3000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ). La alimentación se introduce en el lado de la carcasa o en el lado de la luz de las fibras huecas y se puede aplicar fluido de enfriamiento, gas de barrido o presión negativa en el otro lado para formar VMD, SGMD o DCMD.
- **Módulo de placa y marco:** en la figura M4.9 se muestra la estructura del módulo de placa y marco. Este módulo es adecuado para membranas de lámina plana y se puede utilizar para DCMD, AGMD, VMD y SGMD. En esta configuración la densidad del empaquetamiento es de aproximadamente  $100\text{--}400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Aunque esta configuración tiene un área efectiva relativamente más pequeña para el mismo volumen en comparación con los módulos tubulares, es fácil de construir y se pueden usar múltiples capas de membranas de destilación de hoja plana para aumentar el área efectiva. Este módulo se emplea ampliamente en experimentos de laboratorio para probar la influencia de las propiedades de la membrana y los parámetros del proceso en el flujo o la eficiencia energética de la destilación por membranas.

Para la instalación de la planta se utiliza un módulo de tipo tubular de fibra hueca ya que es el estilo de módulo que utilizan la mayoría de empresas al tener un área efectiva más grande en comparación con un módulo de placa y marco.



**Figura M4.8.** Módulo tubular de fibra hueca [1].



**Figura M4.9.** Módulo de placa y marco para membrana de lámina plana [1].

### 4.3 Materiales de membranas

Los materiales más comunes utilizados para las membranas de destilación son politetrafluoretileno (PTFE), polipropileno (PP) y polivinilideno fluoruro (PVDF). El requisito para las membranas de destilación es una mayor permeabilidad, menor grosor de la membrana, mayor presión de entrada de líquido (LEP) y baja conductividad térmica [1].

La LEP es una propiedad muy importante debido a que cuando se supera, se cortocircuita el sistema debido al flujo de agua a través de la membrana. Esto impide la evaporación-condensación, que es el mecanismo propio de esta operación de separación.

Una membrana porosa se caracteriza por los siguientes parámetros: el grosor  $\delta$  (m), el tamaño medio de los poros que equivale al diámetro  $d$  (m), la porosidad  $\epsilon$ , la tortuosidad  $t$ , la energía superficial y la conductividad térmica. Cada uno de los parámetros influye en la permeabilidad de la membrana [1].

Las membranas, en función de sus propiedades selectivas, están asociadas a los fenómenos de transporte de masa, debido al flujo de masa que penetra entre los poros, y al transporte de calor, debido al flujo de calor que circula por la pared de la membrana y al calor asociado a la masa. Por lo tanto, los compuestos transferidos a través de la membrana en fase gaseosa son impulsados por diferencias de presión de vapor basadas en el equilibrio vapor-líquido y la membrana macroporosa polimérica o inorgánica empleada entre los lados de permeado y de alimentación actúa como una barrera física que proporciona las interfaces donde el calor y las masas se intercambian simultáneamente. Por lo tanto, las propiedades de las membranas adecuadas para la MD deben incluir [1]:

- Un grosor adecuado. A medida que la membrana se vuelve más delgada, aumenta la permeabilidad de la membrana (tiende a aumentar el flujo) y disminuye la resistencia térmica (tiende a reducir la eficiencia del calor o la diferencia de temperatura de la interfaz).
- Alta porosidad. La alta porosidad aumenta tanto la resistencia térmica como la permeabilidad de las membranas, por lo que se incrementa tanto la eficiencia térmica como el flujo. Sin embargo, las membranas de alta porosidad tienen una resistencia mecánica baja y tienden a agrietarse o comprimirse bajo una presión suave, lo que resulta en la pérdida del rendimiento de la membrana.

- Tamaño de poro razonablemente grande y distribución de tamaño de poro estrecho, limitada por la LEP mínima de la membrana. En MD la presión hidrostática debe ser inferior a la LEP para evitar la humectación de la membrana.
- Baja energía superficial, equivalente a alta hidrofobicidad. El material con mayor hidrofobicidad puede convertirse en membranas con tamaños de poros más grandes y las membranas hechas de material más hidrofóbico serán aplicables a presiones más altas para un tamaño de poro dado.
- Baja conductividad térmica. Las altas conductividades térmicas aumentan la transferencia de calor sensible y reducen el flujo de vapor debido a la reducción de la diferencia de temperatura de la interfaz.

La mayoría de los materiales poliméricos para la fabricación de membranas son flexibles y deformables bajo fuerza y la porosidad de las membranas generalmente es mayor que el 80%. Por lo tanto, se puede especular que la membrana se comprime bajo la presión hidrodinámica incurrida por la alimentación que fluye. Como resultado se alterarán las propiedades de la membrana, como el tamaño de los poros, la porosidad, el grosor de la membrana y la conductividad térmica. Estos fenómenos pueden ser significativos cuando el proceso se amplíe y se empleen membranas más largas [1].

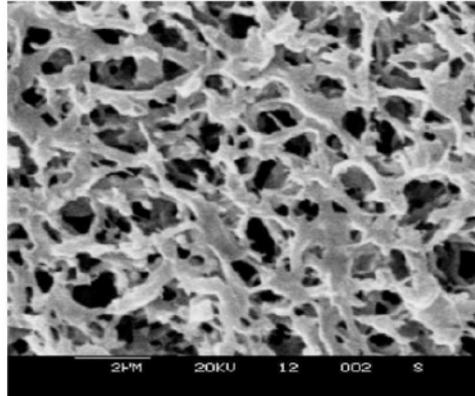
La porosidad de las membranas utilizadas está en el rango de 0.60 a 0.95, el tamaño de poro está en el rango de 0.2 a 1.0  $\mu\text{m}$ , el espesor está en el rango de 0.04 a 0.25 mm y la tortuosidad está en el rango de 1.5 a 2.5 [1]. Las energías superficiales y conductividades térmicas de estos materiales se recogen en la tabla M4.1.

**Tabla M4.1.** Energías superficiales y conductividades térmicas de PVDF, PP y PTFE [1].

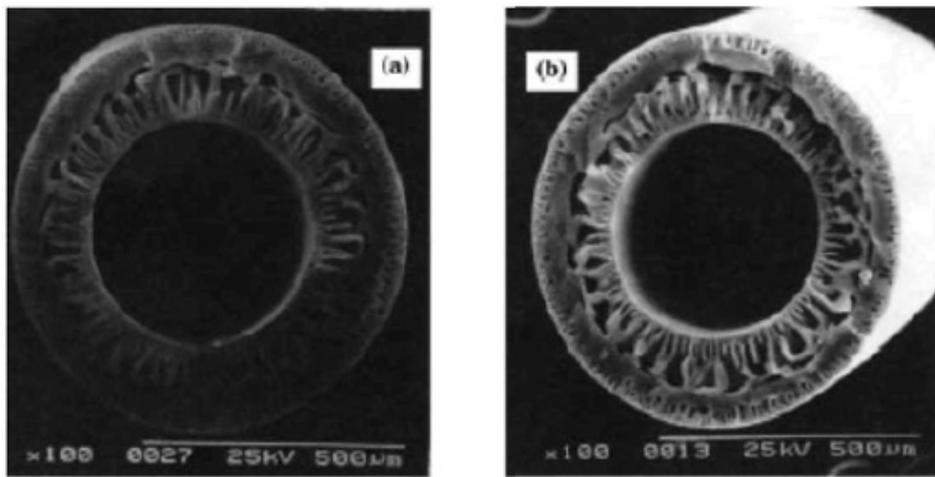
Material de membrana	Energía superficial ( $\cdot 10^{-3}$ N/m)	Conductividad térmica ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )
PTFE	9-20	$\approx 0,25$
PP	30	$\approx 0,17$
PVDF	30,3	$\approx 0,19$

La conductividad térmica de la membrana se calcula en base a la conductividad térmica tanto del polímero como del gas. La conductividad térmica del polímero depende de la temperatura, el grado de cristalinidad y la forma del cristal [1].

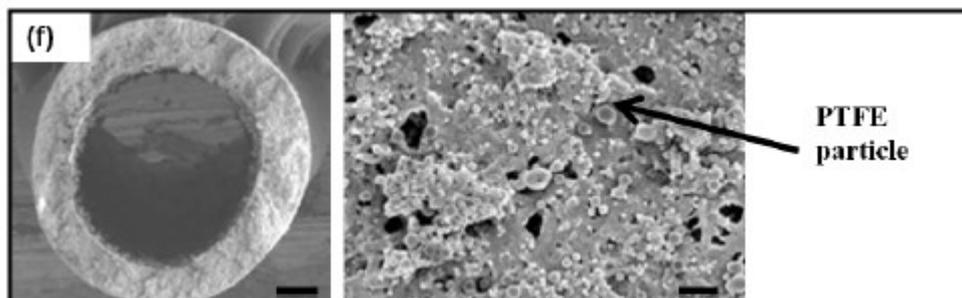
En la figura M4.10 se muestra una micrografía de una membrana de lámina plana hecha de PVDF, así como una fibra hueca en la figura M4.11, mientras que en la figura M4.12 se muestra una representación de la morfología de membranas de fibra hueca de PTFE.



**Figura M4.10.** Micrografía de membrana de lámina plana de PVDF [2].



**Figura M4.11.** Micrografía de membrana de fibra hueca de PVDF [2].



**Figura M4.12.** Morfología de membranas de fibra hueca de PTFE utilizadas en MD [2].

Características de los materiales utilizados para las membranas de destilación [1]:

- PTFE tiene la hidrofobicidad más alta (mayor ángulo de contacto con el agua), buena estabilidad, química y térmica, y resistencia a la oxidación, pero tiene la conductividad más alta que causará una mayor transferencia de calor a través de las membranas de PTFE.
- PVDF tiene buena hidrofobicidad, resistencia, térmica y mecánica, y se puede preparar fácilmente en membranas con estructuras de poros versátiles por diferentes métodos.
- PP también exhibe buena resistencia térmica y química.

#### **4.4 Ensuciamiento y humectación de la membrana**

Un requisito para el proceso de destilación por membranas es que la membrana no debe humedecerse y solo hay vapor presente dentro de sus poros. Para evitar que la membrana se moje, la tensión superficial del líquido en contacto directo con la membrana debe ser grande y la energía superficial del material de la membrana debe ser baja. El ángulo de contacto líquido-sólido se usa a menudo para describir la interacción líquido-sólido. La hidrofobicidad significa que el ángulo de contacto líquido-sólido formado es mayor de  $90^\circ$  cuando está en contacto directo con el agua [1]. Por lo tanto, por encima de la LEP, la hidrofobicidad de la membrana no puede sostener que el agua entre en sus poros ya que el sistema se cortocircuita ( $P_1 - P_2 \geq LEP$ ).

El ensuciamiento de la membrana es un obstáculo importante en la aplicación de tecnologías de membrana ya que hace que el flujo disminuya. Las precipitaciones de materia orgánica e inorgánica pueden reducir la permeabilidad de una membrana al obstruir la superficie de la membrana y/o los poros. Aunque la MD es más resistente al ensuciamiento que los procesos térmicos convencionales, la dosificación de anti-agentes se puede usar para controlar el escalado. También hay que decir que las temperaturas de alimentación más bajas pueden reducir sustancialmente la influencia de las incrustaciones en DCMD. Dado que la membrana hidrófoba es la barrera entre la alimentación y el permeado, la humectación de la membrana reduce el rechazo de los no volátiles [1].

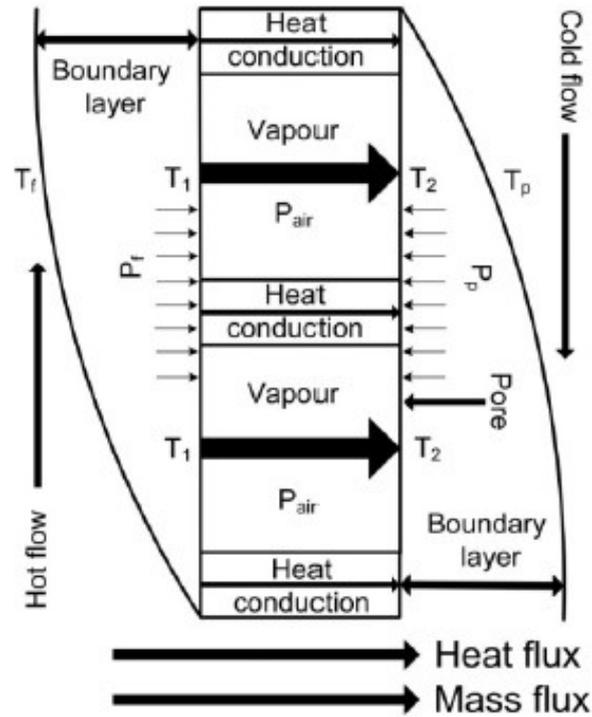
La humectación de la membrana puede ocurrir bajo las siguientes condiciones [1]:

- La presión hidráulica aplicada en la superficie de la membrana es mayor que la LEP.
- El depósito de fouling en la superficie de la membrana puede reducir la hidrofobicidad de la membrana.
- En presencia de un alto contenido orgánico o surfactante en la alimentación, que puede disminuir la tensión superficial de la solución de alimentación y/o reducir la hidrofobicidad de la membrana a través de la adsorción y provocar la humectación de la membrana.

Actualmente el tratamiento previo y la limpieza de la membrana son las principales técnicas para controlar el ensuciamiento.

#### **4.5 Fenómenos de transferencia de calor y masa en la MD**

En los procesos de destilación por membranas las transferencias de calor y masa se acoplan en la misma dirección desde el lado caliente al lado frío. En la figura M4.13 se encuentran estos fenómenos en DCMD. La temperatura de alimentación,  $T_f$ , cae a través de la capa límite del lado de alimentación a  $T_1$  en la superficie de la membrana. Algo de agua se evapora y se transporta a través de la membrana. Simultáneamente el calor se conduce a través de la membrana hacia el lado frío (permeado). La temperatura de flujo en frío,  $T_p$ , aumenta a través de la capa límite del permeado hasta  $T_2$  en la superficie de la membrana en el lado frío a medida que el vapor de agua se condensa en la corriente de agua dulce y gana calor desde el lado de alimentación. La fuerza motriz es, por lo tanto, la diferencia de presión de vapor entre  $T_1$  y  $T_2$ , que es menor que la diferencia de presión de vapor entre  $T_f$  y  $T_p$  [1].



**Figura M4.13.** Transmisión de calor y transferencia de masa a través de la membrana [1].

En la tabla M4.2 se muestra el mecanismo de transferencia de masa dominante para diferentes configuraciones.

**Tabla M4.2.** Dominio del mecanismo de transferencia de masa [1].

Configuraciones	Componente en los poros	Fuerza motriz	Mecanismo de transferencia de masa
DCMD	mezcla de aire y vapor	diferencia de presión de vapor parcial	transición difusión molecular - difusión de Knudsen
AGMD	mezcla de aire y vapor	diferencia de presión de vapor parcial	transición difusión molecular - difusión de Knudsen
SGMD	mezcla de aire y vapor	diferencia de presión de vapor parcial	transición difusión molecular - difusión de Knudsen
VMD	vapor	diferencia de presión de vapor parcial	transición flujo de Poiseuille - difusión de Knudsen

Como se observa en la tabla M4.2, el mecanismo de transferencia de masa en los poros de la membrana se rige por tres mecanismos básicos que son la difusión de Knudsen, el flujo de Poiseuille y la difusión molecular, aunque también se puede regir por una combinación de estos, conocido como mecanismo de transición.

#### 4.6 Principales fabricantes de membranas poliméricas hidrófobas

Las membranas poliméricas hechas de PTFE o PVDF se han comercializado desde principios de la década de 1980 por una serie de empresas, como se puede ver en la tabla M4.3.

**Tabla M4.3.** Principales fabricantes de membranas poliméricas [1].

Producto	Fabricante	Material	Soporte	Tamaño de poro (m)	LEP (kPa)
TF200	Gelman / Pall	PTFE	PP	0,2	282
TF450	Gelman / Pall	PTFE	PP	0,45	138
TF1000	Gelman / Pall	PTFE	PP	1	48
Emflon	Pall	PTFE	PET	0,02	1585
Emflon	Pall	PTFE	PET	0,2	551
Emflon	Pall	PTFE	PET	0,45	206
Emflon	Pall	PTFE	PET	1	137
FGLP	Millipore	PTFE	PE	0,2	280
FHLP	Millipore	PTFE	PE	0,5	124
Gore	Gore	PTFE	PP	0,2	368
Gore	Gore	PTFE	PP	0,45	288
Gore	Gore	PTFE	PP	0,2	463
GVHP	Millipore	PVDF	---	0,22	204
HVHP	Millipore	PVDF	---	0,45	105
HVHP	Membrane solutions	PTFE	PP	1	24
HVHP	Ge	PTFE	PP	0,22	154
HVHP	Ge	PTFE	PP	0,45	91
HVHP	Ge	PTFE	PP	1	48

Además también se encuentran otros fabricantes como Tecnokroma, Akkim e Instrumentación Científico Técnica, proveedores como Starlab Scientific y empresas como Memsys, Aquastill, Solar Spring y Apria System que realizan modelos de plantas piloto que incluyen los módulos de membrana y el resto de elementos.

Para la realización del presente proyecto se utiliza un módulo de membrana perteneciente a la empresa Porex Filtration Group, del cual se habla con más detalle en el apartado 7.4 de la memoria.

## **5. Normas y referencias**

### **5.1 Disposiciones legales y normas aplicadas**

#### **5.1.1 Prevención de riesgos laborales**

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

### **5.1.2 Código de evaluación y control ambiental**

- Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación.
- Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- Real Decreto 508/2007, de 20 de abril, por el que se regula el suministro de información sobre emisiones del Reglamento E-PRTR y de las autorizaciones ambientales integradas.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.
- Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.
- Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.
- Ley 6/2014, de 25 de julio, de Prevención, Calidad y Control ambiental de Actividades en la Comunitat Valenciana.
- Ley 2/1989, de 3 de marzo, de Impacto Ambiental.

### **5.1.3 Normas UNE**

- UNE-EN ISO 5455:1996. Dibujos técnicos. Escalas. (ISO 5455:1979).
- UNE-EN ISO 3098-1:2015. Documentación técnica de productos. Escritura. Parte 1: Requisitos generales. (ISO 3098-1:2015).
- UNE 1032:1982. Dibujos técnicos. Principios generales de representación.
- UNE 1063:2016. Identificación de canalizaciones según el fluido que transportan.
- UNE-EN ISO 4126-1:2014/A1:2016. Dispositivos de seguridad para la protección contra la presión excesiva. Parte 1: Válvulas de seguridad. Modificación 1. (ISO 4126-1:2013/Amd 1:2016).
- PNE-EN 13480-1:2017/prA1:2017. Tuberías metálicas industriales. Parte 1: Generalidades.

## 5.2 Herramientas y programas de cálculo

- Microsoft Word 2007.
- Microsoft Excel 2007.
- Microsoft Project 2019.
- AutoCAD 2020.

## 5.3 Bibliografía

- [1] Camacho, L.M. Dumée, L. Zhang, J. Li, J. Duke, M. Gomez, J. Gray, S. (2013). *Advances in Membrane Distillation for Water Desalination and Purification Applications*. Water.
- [2] Zhigang, L. Biaohua, C. Zhongwey, D. (2005). *Special Distillation Processes*. Elsevier.
- [3] Apuntes de la asignatura EQ1039: “Operaciones de Separación Especiales”.
- [4] Apuntes de la asignatura EQ1031: “Proyectos de Ingeniería”.
- [5] Apuntes de la asignatura EQ1019: “Mecánica de Fluidos”.
- [6] Ali, A. Ashu, R. Macedonio, F. Curcio, E. Drioli, E. (2018). *Membrane technology in renewable-energy-driven desalination*. Elsevier.

## 5.4 Webgrafía

- [7] <https://blog.condorchem.com/?s=membranas+de+destilacion>
- [8] <http://sigpac.mapama.gob.es/fega/visor/#>
- [9] <https://www.sedecatastro.gob.es/>
- [10] <https://sites.google.com/site/ladesalinizacion/>
- [11] <https://www.une.org/>
- [12] <https://www.google.es/>
- [13] [http://members.tripod.com/london\\_job/trabajoseninglaterra/id29.html](http://members.tripod.com/london_job/trabajoseninglaterra/id29.html)
- [14] [https://www.merckmillipore.com/ES/es/product/Durapore-Membrane-Filter-0.22m,MM\\_NF-GVHP09050](https://www.merckmillipore.com/ES/es/product/Durapore-Membrane-Filter-0.22m,MM_NF-GVHP09050)

## 6. Definiciones y abreviaturas

Con la finalidad de ayudar a una buena comprensión lectora del proyecto, se procede a detallar las siguientes abreviaturas que se emplean, con su correspondiente significado teniendo en cuenta que algunas de las abreviaturas son inglesas. También se detallan los símbolos empleados, así como las unidades empleadas en cada magnitud y las anotaciones de algunos términos utilizados a lo largo del proyecto.

### Nomenclatura

MD	Destilación por Membranas
MED	Destilación de Múltiple Efecto
MSF	Destilación Flash de Múltiple Efecto
VCD	Destilación por Compresión de Vapor
ED	Electrodialisis
RO	Osmosis Inversa
DCMD	Membrana de Destilación de Contacto Directo
AGMD	Membrana de Destilación de Espacio de Aire
VMD	Membrana de Destilación de Vacío
SGMD	Membrana de Destilación de Gas de Barrido
PTFE	Politetrafluoretileno
PP	Polipropileno
PVDF	Polivinilideno fluoruro
PE	Polietileno
PET	Polietileno tereftalato
LEP	Presión de Entrada de Líquido
IVA	Impuesto sobre el Valor Añadido
O&M	Operación y Mantenimiento
UNE	Una Norma Española
LOE	Ley de Ordenación de la Edificación
PEM	Presupuesto de Ejecución Material
PEC	Presupuesto de Ejecución por Contrata
INE	Instituto Nacional de Estadística
FC	Flujo de Caja

VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
PR	Periodo de Retorno
BEM	Balance de Energía Mecánica
IPC	Índice de Precios al Consumidor
IPE	Índice de Prestación Energética
$I_0$	Inversión inicial
$i_r$	Interés real
$i_n$	Interés nominal

### **Símbolos**

$\delta$	Grosor
r	Radio
d	Diámetro
$\epsilon$	Porosidad
$\varepsilon$	Rugosidad
t	Tortuosidad
T	Temperatura
$\Delta P$	Diferencia de Presión
%	Porcentaje
M	Manómetro
Te	Termopar
C	Caudalímetro
S	Sonda de nivel
$z_i$	Altura
L	Longitud de las tuberías
$\rho$	Densidad
$\mu$	Viscosidad
g	Fuerza de la gravedad
$\Delta P$	Incremento de presión
$\Delta F$	Perdida de energía mecánica
k	Constante característica de accidentes

f	Factor de frotamiento
$Q_L$	Caudal
$\eta$	Rendimiento
W	Potencia
m	Caudal másico
Q	Calor
$L_V$	Calor latente de vaporización
v	Velocidad
$\Delta T$	Incremento de temperatura
H	Hembra
M	Macho

### **Unidades**

m	Metro
mm	Milímetro
cm	Centímetro
$\mu\text{m}$	Micrómetro
$\text{m}^2$	Metro cuadrado
$\text{m}^3$	Metro cúbico
$\text{cm}^3$	Centímetro cúbico
$\text{mm}^2$	Milímetro cuadrado
“	Pulgada
°	Grado
g	Gramo
mg	Miligramo
Kg	Kilogramo
V	Voltio
N	Newton
W	Vatio
kW	Kilovatio
K	Kelvin
°C	Grado centígrado

L	Litro
h	Hora
min	Minuto
s	Segundo
kPa	Kilopascal
bar	Bar
Hz	Hercio
mca	Metro de Columna de Agua
J	Julio

### **Definiciones**

- Cluster:

Concentraciones geográficas de compañías interconectadas, suministradores especializados, proveedores de servicios, empresas del sector afines e instituciones conexas.

- Flashing:

Flujo de agua saturada con vaporización.

- Fouling:

Ensuciamiento. Acumulación de material no deseado en superficies sólidas.

- pH:

Medida de acidez o alcalinidad de una disolución.

- Planning:

Planteamiento previo de trabajo.





**Figura M7.2.** Vista aérea de la empresa [8].



**Figura M7.3.** Vista aérea de la parcela donde se ubicará la planta [8].

Para conocer la localización exacta de la empresa y su superficie se recurre a la Sede Electrónica del Catastro, los datos se encuentran en la figura M7.4.



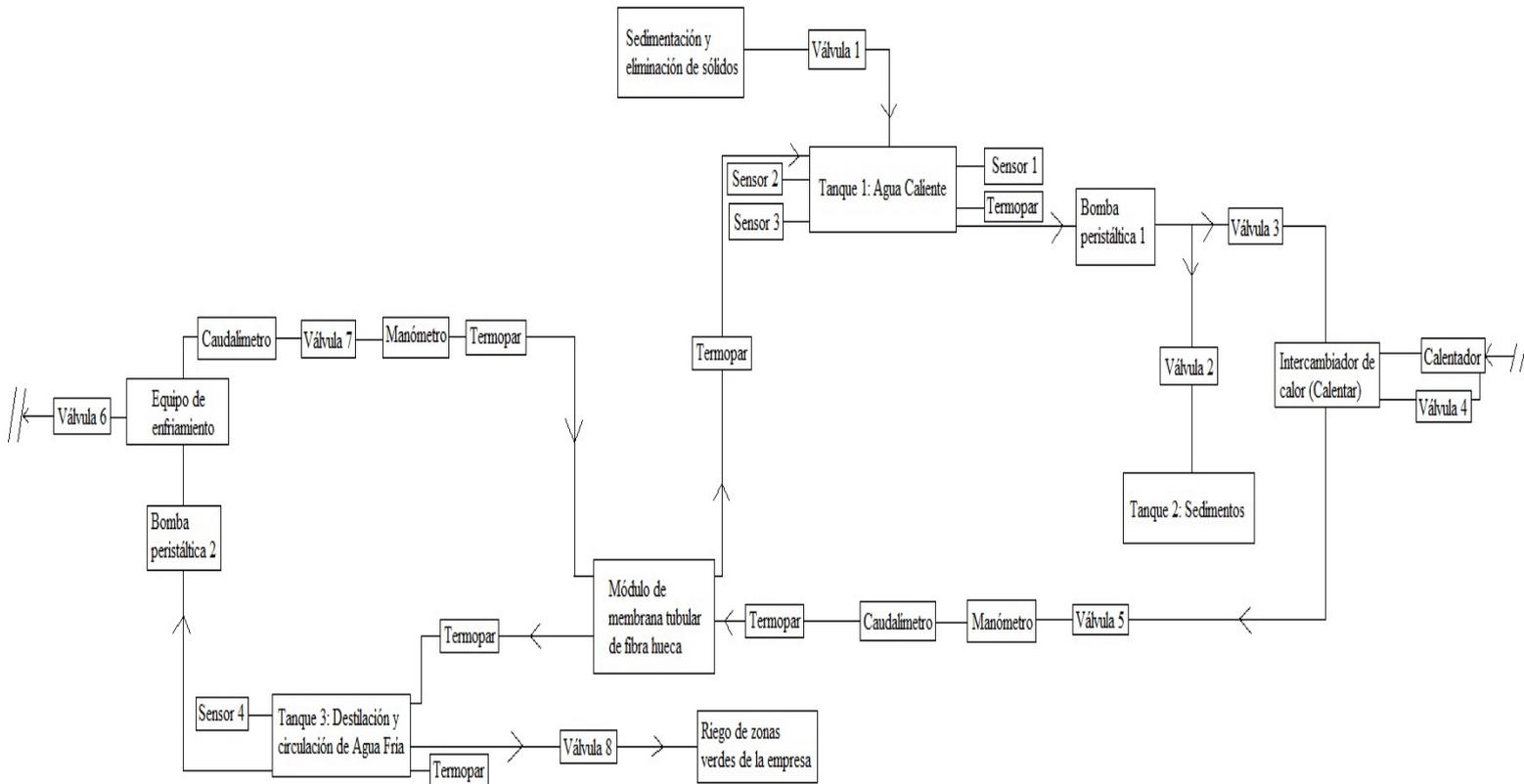
**Figura M7.4.** Datos catastrales de la parcela donde se ubicará la planta [9].

Como se puede ver en la figura M7.4, la empresa tiene una superficie construida de 21.425 m<sup>2</sup>, de los cuales, 610,17 m<sup>2</sup> corresponden a la parcela donde se va a construir la planta piloto.

## 7.2 Diagrama de flujo

Se dispone de un sistema de destilación por membranas a escala piloto con un módulo dividido en dos circuitos independientes, uno para el agua de alimentación correspondiente al lado caliente y otro para el agua de refrigeración correspondiente al lado frío, interconectados entre sí a través de un módulo tubular de membrana de fibra hueca.

El diagrama de flujo se puede ver en la figura M7.5 y, de forma más esquemática, en el diagrama de flujo del documento “Planos”.



**Figura M7.5.** Diagrama de flujo de la instalación.

El procedimiento es el siguiente:

Después de la sedimentación y posterior eliminación de sólidos, el agua resultante, también llamada agua de alimentación o agua industrial, entra al circuito correspondiente al lado caliente depositándose en el tanque de agua caliente y mediante una bomba peristáltica circula hacia el intercambiador de calor de placas que, mediante un circuito secundario, se mantiene caliente por el aporte de calor procedente de un calentador eléctrico. De esta forma se va calentando y entra al módulo de membrana. Aquí el vapor penetra entre los poros de la membrana hidrófoba, mientras que el agua de alimentación que no consigue

evaporarse vuelve al tanque de agua caliente y con la ayuda de la bomba peristáltica vuelve a repetir el proceso.

En el circuito de refrigeración se encuentra agua fría que circula, también con la ayuda de una bomba peristáltica, desde el tanque de agua fría hasta el equipo de enfriamiento de agua, que la mantiene fría. Del equipo de enfriamiento de agua va hasta el módulo de membrana para recoger el agua evaporada que ha penetrado en la membrana y de ahí vuelve al tanque de agua fría para recoger el caudal destilado.

En cuanto a las válvulas, la válvula 1 solo se abre para llenar el tanque de agua caliente, una vez lleno se cierra. El sensor o sonda de nivel 1 (S1) se activa cuando el tanque de agua caliente está lleno.

Para que el agua empiece a circular por el sistema se abren las válvulas 3 y 5 y se cierra la válvula 2. S2 se activa cuando ya no queda agua y solo queda residuo dentro del tanque de agua caliente, en este caso S2 da orden para que se cierre la válvula 3 y se abra la válvula 2 para que, de esta forma, se desvíen los residuos al tanque de sedimentos.

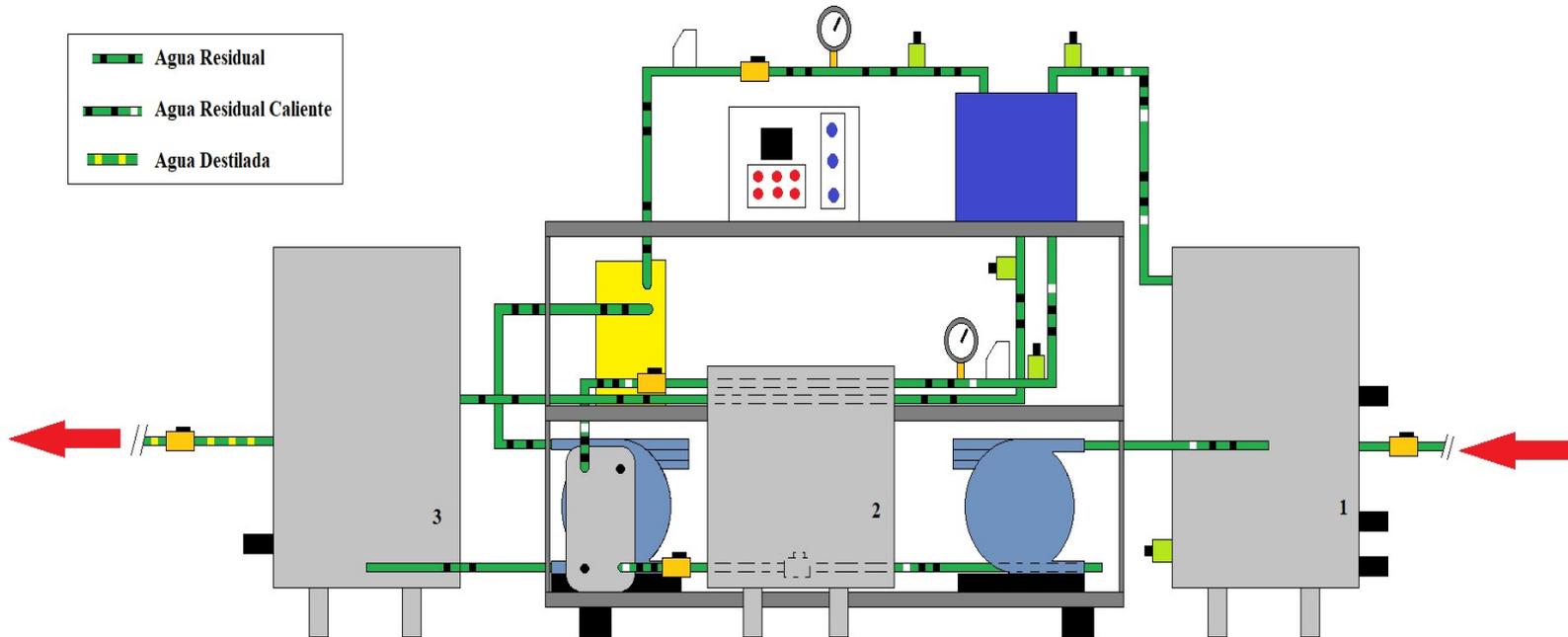
Cuando se activa S3 se para la bomba y se abre la válvula 1 para que se llene el tanque de agua caliente hasta que se activa S1. Cuando se activa S1 se pone en marcha la bomba, se abre la válvula 3 y se cierra la válvula 2, de esta forma se vuelve a poner en marcha el circuito.

S4 activa significa que el tanque de agua fría está lleno, en el momento que se quiera obtener el agua destilada se abrirá la válvula 8 y una vez obtenida se cierra la válvula y se vuelve a activar S4.

También hay que tener en cuenta el resto de instrumentación, ya que, los caudalímetros (C) miden el flujo que circula por el sistema, los termopares (Te) miden la temperatura del flujo para así mantenerse a la temperatura adecuada para la refrigeración o evaporación y los manómetros (M) miden la presión adecuada que debe ejercer el flujo para penetrar a través de la membrana.

### 7.3 Diseño de la planta piloto

En la figura M7.6 se puede ver un croquis en vista frontal de la planta piloto, basándose en el ejemplo de la planta piloto que se muestra en la figura M7.7.



**Figura M7.6.** Croquis en vista frontal de la planta piloto.

Esta instalación es un sistema piloto especialmente diseñado para la operación continua. El cuadro de control y el registro de datos son estándar. La unidad consta de tres partes de tamaño estándar que contienen el circuito de circulación del agua resultante de la sedimentación, el circuito de circulación de destilado y el núcleo de la unidad con un módulo de membrana. La producción de destilado es de 800 L/día, teniendo en cuenta que se trabaja a dos turnos de 8 horas cada uno al día, es decir 16 h/día.

A continuación, en la tabla M7.1, se muestra el caudal de circulación y el volumen en el sistema para cada circuito y tanque.

**Tabla M7.1.** Caudal y volumen que circula por el sistema.

<b>Caudal y volumen del sistema</b>	
Volumen del tanque de calentamiento a 75/80 °C (L)	2800
Volumen del tanque de enfriamiento a 22/27 °C (L)	2800
Volumen del tanque de sedimentos (L)	70
Caudal de alimentación (L/h)	120
Caudal de destilado (L/h)	50

A continuación, en la figura M7.7, se puede ver una imagen a tamaño real de una planta de laboratorio de destilación por membranas, teniendo en cuenta que el cuadro de control se encuentra en la parte inferior y que faltaría añadir los tres tanques, el calentador y el equipo de enfriamiento de agua. Hay que decir que, al ser una tecnología nueva, no existen datos de plantas piloto de destilación por membranas, pero si existen de otras técnicas, por lo que este proyecto se realiza a partir de datos obtenidos de plantas piloto de las otras técnicas existentes, ya comentadas en el apartado 4.1 de la memoria.



**Figura M7.7.** Planta de laboratorio de destilación por membranas [12].

## 7.4 Diseño de los elementos de la planta piloto

En el siguiente apartado se van a explicar las características técnicas de los equipos, instrumentación, tanques, conducciones y la plataforma a utilizar en la planta piloto. Cada uno de ellos, nombrado en el alcance del proyecto, se encuentra en diferentes bloques que son los siguientes:

- Bloque de alimentación y bloque de producción de destilados: se utiliza una unidad estandarizada que consta de tres tanques, uno de agua caliente, uno de agua fría y uno para residuos, además de dos bombas peristálticas, termopares, manómetros y caudalímetros.
- Bloque de entrada de calor y bloque de extracción de calor: estos bloques constan de dos niveles, el nivel inferior proporciona calor por medio del calentador y del intercambiador de calor de placas o refrigera por medio del equipo de enfriamiento de agua, el nivel superior tiene un módulo de membrana tubular de fibra hueca.

### a) Módulo de membrana tubular de fibra hueca

El módulo de membrana elegido es de Porex Filtration, empresa dedicada a dar soluciones a los problemas de separación. Entre las aplicaciones se incluyen agua y aguas residuales.

Hay que decir que la destilación por membranas es una tecnología nueva, por lo que no existen módulos tubulares de fibra hueca diseñados para este proceso, pero si existen módulos diseñados para otros procesos, por lo tanto se van a utilizar los datos del módulo de membrana elegido, a excepción de la presión, el caudal y la temperatura máxima de trabajo, ya que para que se pueda calentar el agua y evaporarse debe trabajar a 75-80 °C, también debe tener una presión máxima de 5-6 bares porque más podría provocar una rotura del equipo y debe tener un caudal de destilado de 50 L/h como ya se ha explicado en el apartado 7.3.

En la figura M7.8 se puede ver una imagen del módulo a utilizar.



**Figura M7.8.** Módulo tubular de fibra hueca de Porex.

La membrana es de PVDF, uno de los materiales más adecuados para membranas como ya se ha explicado en el apartado 4.3 de la memoria.

Algunas de sus características más importantes se encuentran en la tabla M7.2.

**Tabla M7.2.** Características del módulo Porex.

	Tipo	Membrana porosa
	Polímero	PVDF
	Diámetro interno (")	½
	Longitud (mm)	305
	Polímero de membrana	PVDF
	Cubierta protectora (mm)	500

Además de saber que la porosidad está en el rango de 0,6 a 0,95, el tamaño de poro es de 0,5  $\mu\text{m}$  y  $\epsilon$  está en el rango de 0,04 a 0,25 mm. El precio del módulo es de 300 €, IVA incluido.

### **b) Bomba peristáltica**

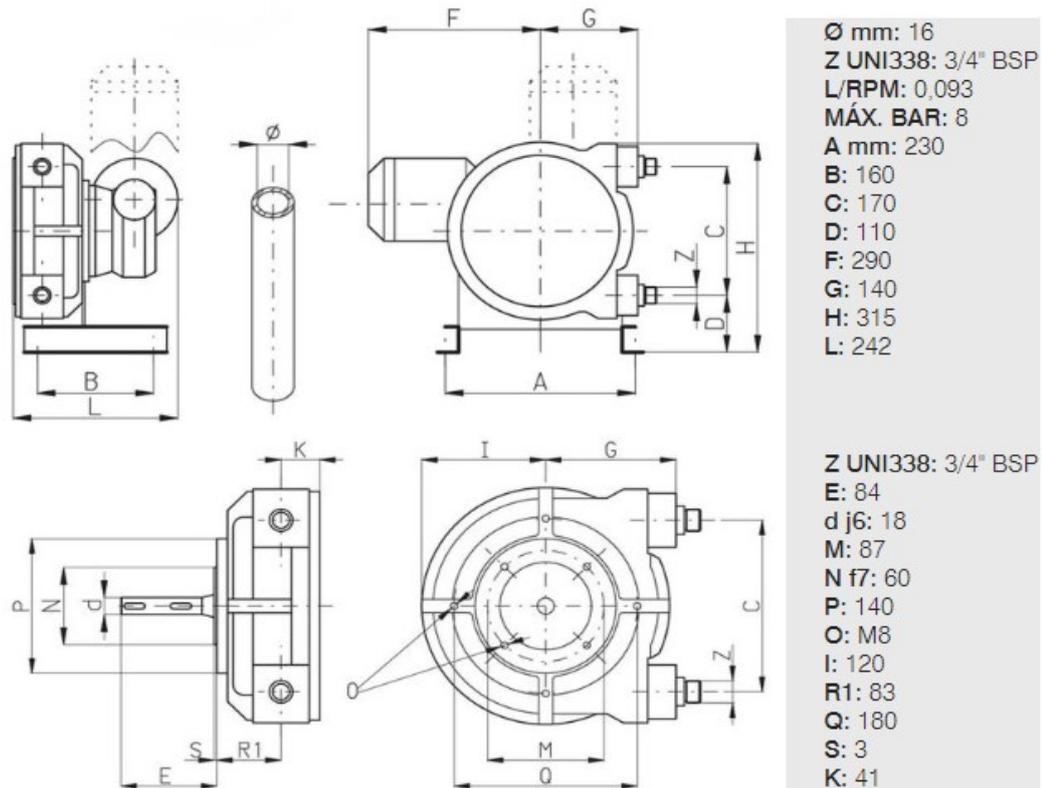
Como ya se ha dicho anteriormente hacen falta dos bombas peristálticas, las cuales se han escogido de la empresa Ragazzini, empresa líder en bombas peristálticas industriales.

La bomba es del modelo Rotho PSF2, con un caudal de 8 a 712 L/h y un diámetro del elemento tubular de 16 mm. El precio unitario, IVA incluido, es de 4.525,50 € por lo que el precio total de las dos bombas es de 9.051 €.

A continuación, en la figura M7.9, se puede ver el modelo real de la bomba mientras que en la figura M7.10 se pueden ver sus correspondientes dimensiones.



**Figura M7.9.** Bomba peristáltica Rotho PSF2.



**Figura M7.10.** Dimensiones de la bomba peristáltica Rotho PSF2.

### c) Tanque

El volumen de los tanques de agua caliente y agua fría es de 2800 L, mientras que el volumen del tanque de sedimentos es de 70 L, por lo tanto son necesarios dos tipos de tanques, uno para los sedimentos y otros dos más grandes para el agua fría y agua caliente.

#### Modelo 1

Se ha elegido un tanque con una capacidad de 4000 L, suficiente para los 2800 L de volumen que hay de agua fría y agua caliente, es de acero inoxidable y es de la empresa Affinity, empresa dedicada a la producción y venta de tanques de agua.

El tanque es un modelo clásico, de máxima higiene y resistencia a la intemperie. Fondo reforzado, apto para instalación sin base adicional. Sus dimensiones son 161 cm de diámetro y 197 cm de altura. Además dispone de sondas de nivel y salida de ½”.

En la figura M7.11 se puede ver una imagen del tanque.



**Figura M7.11.** Tanque de acero inoxidable de Affinity.

El precio del tanque, IVA incluido, es de 1.545 €, por lo que el precio de los dos tanques es de 3.090 €.

### **Modelo 2**

El tanque elegido es el mismo que en el modelo 1 con la diferencia de que tiene una capacidad de 300 L, suficiente para los 70 L de sedimentos que se obtienen. Sus dimensiones son 63 cm de diámetro y 102 cm de altura.

En la figura M7.12 se puede ver una imagen del tanque.



**Figura M7.12.** Tanque de acero inoxidable de Affinity.

El precio del tanque, IVA incluido, es de 236 €.

**d) Intercambiador de calor de placas**

El tipo de intercambiador elegido es un intercambiador de calor de placas de la empresa Jardinitis, dedicada a la venta on-line, es de titanio de alto rendimiento de la gama Zodiac llamado Uranus.

Algunas de las características del intercambiador se encuentran en la tabla M7.3.

**Tabla M7.3.** Características del intercambiador Uranus.

Perdida de carga (mca)	1,5 (primario), 2,4 (secundario)
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	1,6
Potencia máxima (kW)	35
Presión máxima (bar)	3
Peso neto (kg)	14
Temperatura máxima (°C)	90

El precio de la unidad, IVA incluido, asciende a 1.347 €. En la figura M7.13 se puede ver una imagen real del intercambiador.



**Figura M7.13.** Intercambiador de calor de placas Hrale.

Y por último, hay que decir que las conexiones son de 26 mm las pequeñas, que equivalen a 3/4 “, y 34 mm las grandes, que equivalen a 1 ”, por lo que harán falta dos reductores de 3/4 H – 1/2 H y dos reductores 1 H – 1/2 M que se unen a reductores 1/2 H – 1/2 H. Los reductores se explican con más detalle en el apartado de las conducciones.

#### **e) Caudalímetro**

El tipo de caudalímetro elegido es de flujo bajo para líquido con  $\pm 1\%$  de precisión y repetibilidad de hasta el 0,2%.

Es un caudalímetro de la serie FLR1000ST fabricado en Omega, empresa líder establecida en el mercado mundial de instrucción técnica, que ofrece productos para la medición y control, entre otras cosas, del caudal.

En la figura M7.14 se puede ver una imagen del caudalímetro de la serie FLR1000ST.



**Figura M7.14.** Caudalímetro de la serie FLR1000ST.

Los distintos modelos de la serie FLR1000ST se muestran en la tabla M7.4.

**Tabla M7.4.** Modelos de la serie FLR1000ST.

<b>Modelo</b>	<b>Rango de caudal (L/min)</b>	<b>Caída de presión máxima (bar)</b>	<b>Anclajes (pulgadas)</b>
FLR1007ST	0,013 - 0,1	0,689	1/8
FLR1008ST	0,020 - 0,2	0,689	1/4
FLR1009ST	0,050 - 0,5	0,689	1/4
FLR1010ST	0,1 - 1	0,414	1/4
FLR1011ST	0,2 - 2	0,689	1/4
FLR1012ST	0,4 - 5	0,689	3/8
FLR1013ST	1 -10	0,689	3/8

Como se puede ver en la tabla M7.4, el caudalímetro que más se adapta a las condiciones del sistema es el modelo FLR1012ST ya que tiene un rango de caudal máximo de 5 L/min, es decir, 300 L/h, suficiente para un sistema que se alimenta con un caudal máximo de 120 L/h, como se puede ver en el apartado 7.3 de la memoria.

El precio de la unidad, IVA incluido, es de 595 €, por lo que el precio total de los dos caudalímetros es de 1.190 €.

**f) Termopar**

El tipo de termopar elegido es de Hanna Instruments, empresa líder mundial en el desarrollo y fabricación de instrumentos de medición, es de tipo K de hilo con referencia HI766F1, sin mango, de vaina flexible, sin asa y sensor de cables expuestos. Diseñado para acceder a lugares de difícil acceso. Tiene una temperatura máxima de 480 °C más que suficiente para el sistema, un tiempo de respuesta de 1 segundo y 1 m de cable.

En la figura M7.15 se puede ver una imagen a tamaño real del termopar.



**Figura M7.15.** Termopar tipo K de hilo, sin mango.

El precio de la unidad, IVA incluido, es de 49 €, por lo que el precio total de los cinco termopares asciende a 245 €.

### g) Manómetro

El manómetro elegido se fabrica en SMC, empresa líder en soluciones de automatización neumática y eléctrica. Productos adecuados a las necesidades de los siguientes sectores: automóvil, electrónica, ahorro de energía, industria alimentaria, recursos minerales y salud. En la figura M7.16 se encuentra una imagen real del manómetro mientras que en la tabla M7.5 se encuentran algunos datos técnicos.



**Figura M7.16.** Manómetro SMC.

**Tabla M7.5.** Datos técnicos del manómetro.

Presión máxima (bar)	10
Presión mínima (bar)	0
Diámetro externo del indicador (mm)	40
Tipo de indicador de presión	Entrada trasera

El precio unitario del manómetro es de 7,97 €, IVA incluido, por lo que el precio total de los dos manómetros del sistema es de 15,94 €.

Como se puede observar en la tabla M7.5, la presión máxima son 10 bares, suficientes ya que, como se ha explicado en el módulo de membrana, la presión máxima que se debe mantener en el circuito ha de ser de 5 a 6 bares.

## **h) Calentador**

Para mantener caliente el agua que circula por el intercambiador de calor del circuito de calentamiento es necesario un calentador eléctrico, que calienta directamente el agua residual ya que el contenido en sólidos es bajo y tiene siempre agua residual limpia.

Hay que tener en cuenta que el aporte de energía proviene de la instalación eléctrica general de la fábrica.

El calentador elegido es de la empresa Ecotherm, líder tecnológico y de innovación de sistemas de agua caliente y de vapor. El modelo elegido es el EER que tiene una capacidad de almacenamiento de 200 a 450 L y una potencia calorífica de 9 a 22,5 kW.

El precio de la unidad, IVA incluido, asciende a 5.500 €. En la figura M7.17 se puede ver una imagen del calentador.



**Figura M7.17.** Calentador industrial de agua.

### i) Equipo de enfriamiento de agua

Al utilizar directamente agua destilada se utiliza un equipo de enfriamiento de agua para mantenerla a 25 °C ( $T_{\text{enfriamiento}}$ ) en el circuito de enfriamiento, teniendo en cuenta que se alimenta del agua que permea en la membrana procedente del circuito de calentamiento.

El equipo de enfriamiento elegido es de la empresa Exponso, proveedor de maquinaria industrial. Algunas de sus características se encuentran en la tabla M7.6.

**Tabla M7.6.** Características del equipo de enfriamiento.

Potencia máxima (bar)	3
Caudal (L/min)	8,5
Temperatura de funcionamiento (°C)	20-60
Medidas (cm)	49x25x40
Motor (W)	260
Potencia de enfriado (W)	1600

Como se puede ver en la tabla M7.6, el caudal se ajusta a los valores predeterminados del proceso de destilación por membranas como ya se ha explicado en el apartado 7.3.

El precio unidad del equipo de enfriamiento, IVA incluido, asciende a 479 €.

En la figura M7.18 se puede ver una imagen del equipo de enfriamiento de agua.



**Figura M7.18.** Equipo de enfriamiento de agua.

## j) Conducciones

### 1. Tuberías

Para las conducciones, las tuberías utilizadas para la construcción de la planta piloto son de la empresa Dipac Manta, empresa distribuidora de equipamiento para fontanería, entre otras cosas.

Las tuberías que se utilizan en la planta piloto son de ½ “ y se tienen que roscar de forma que se puedan cortar y acoplar al resto de elementos. Son de acero galvanizado, con un precio de 3,12 € el metro, por lo que, según la longitud de las tuberías del documento “Planos”, hacen falta 33 m de tubería y por lo tanto, el precio total, IVA incluido, es de 102,96 €.

En la figura M7.19 se puede observar el tipo de tubería utilizada.

Hay que tener en cuenta la norma UNE 1063:2016 de identificación de canalizaciones según el fluido que transportan, en este caso verde con trazas negras al transportar agua residual (en poca cantidad), con trazas blancas al ser agua caliente y verde con trazas amarillas al llevar agua destilada.



**Figura M7.19.** Tuberías de acero galvanizado de ½ pulgada.

## 2. Accesorios

### ▪ Codos

Por lo que respecta a los codos, son de 90° hembra-hembra, de ½ “ y galvanizados, de forma que se puedan roscar a las tuberías. En la figura M7.20 se puede ver el codo a utilizar.

Son de la empresa Eurosur Sanlúcar S.L. empresa suministradora de materiales para la fontanería y ferretería, entre otras cosas.

El precio de la unidad es de 2,16 €, por lo que el precio de 10 codos, necesarios como se puede ver en la longitud de las tuberías del documento “Planos”, IVA incluido, asciende a 21,60 €.



**Figura M7.20.** Codo de 90° hembra-hembra, ½ pulgada, galvanizado.

### ▪ Junta de unión en “T”

Para los equipos que no se ajustan a los valores de las tuberías, es decir, con un diámetro de ½ “, es necesario añadir, entre otras cosas, juntas de unión en “T” como se puede ver en la longitud de las tuberías del documento “Planos”.

La junta de unión en “T” elegida es galvanizada, de ½ “, de la empresa Homedepot, empresa dedicada a la venta de piezas de fontanería. La junta es Hembra-Hembra-Hembra ya que las tuberías son Macho. El precio unidad de la junta, IVA incluido, es de 0,56 €. En la figura M7.21 se puede ver una imagen de la junta en “T”.



**Figura M7.21.** Junta de unión en “T”.

Aparte de la unión en “T” necesaria en la instalación, también hacen falta para conectar los dos caudalímetros y los dos manómetros, por lo tanto, el precio de las cinco uniones en “T” asciende a 2,80 €.

#### ▪ **Reductores y manguitos**

Para ajustar las tuberías a ciertos equipos e instrumentación es necesario incluir reductores o manguitos de forma que se puedan conectar entre sí. Los equipos e instrumentación a ajustar son: bomba peristáltica, caudalímetro, manómetro e intercambiador de calor.

- Bomba peristáltica: tiene una rosca de 3/4 “, hace falta una reducción 3/4 H – 1/2 H.
- Caudalímetro: tiene una rosca de 3/8 ”, hace falta una reducción 3/8 M – 1/2 M y un manguito 1/2 H – 1/2 H.
- Manómetro: tiene una rosca de 1/8 “, hace falta una reducción de 1/8 H – 1/2 M y un manguito 1/2 H – 1/2 H.
- Intercambiador de calor: tiene una rosca de 3/4 “ la conexión pequeña, hace falta una rosca 3/4 H – 1/2 H, y una rosca de 1 “ la conexión grande, hace falta una rosca de 1 H – 1/2 M y un manguito 1/2 H – 1/2 H.

A continuación se muestran los reductores elegidos.

- Reducción rosca 3/4 H – 1/2 H. Es una rosca de la empresa Eurosur Sanlúcar S.L. La rosca es galvanizada y tiene un precio, IVA incluido, de 2,13 €, por lo tanto, el precio de seis roscas es de 12,78 €. En la figura M7.22 se muestra una imagen de la rosca.
- Reducción rosca 3/8 M – 1/2 M. Es una rosca de la empresa Suteloga, empresa dedicada al suministro de ferretería. La rosca tiene un precio, IVA incluido, de 3,03 €, por lo tanto, el precio de dos roscas es de 6,06 €. En la figura M7.23 se muestra una imagen de la rosca.
- Manguito 1/2 H – 1/2 H. Es un manguito de la empresa Eurosur Sanlúcar S.L. El precio de la unidad, IVA incluido, es de 1,98 €, por lo que el precio de cuatro manguitos es de 7,92 €. En la figura M7.24 se puede ver una imagen del manguito.
- Reducción 1/8 H – 1/2 M. Es una reducción de la empresa Compresoresdeaire, empresa dedicada a la venta de tuberías técnicas y accesorios. La reducción es de latón y tiene un precio, IVA incluido, de 1,33 €, por lo tanto, el precio de dos reductores es de 2,66 €. En la figura M7.25 se puede ver una imagen de la reducción.

- Reducción 1 H – 1/2 M. Es una rosca de la empresa Maiol, distribuidor y fabricante de artículos para la industria, entre otras cosas. Tiene un precio unidad, IVA incluido, de 1,30 €, por lo que el precio de dos roscas es de 2,60 €. En la figura M7.26 se puede ver una imagen de la rosca.



**Figura M7.22.** Reducción de 3/4 H – 1/2 H. **Figura M7.23.** Reducción de 3/8 M – 1/2 M.



**Figura M7.24.** Manguito de 1/2 H – 1/2 H. **Figura M7.25.** Reducción de 1/8 H – 1/2 M.



**Figura M7.26.** Reducción 1 H – 1/2 M.

▪ **Válvula de seguridad**

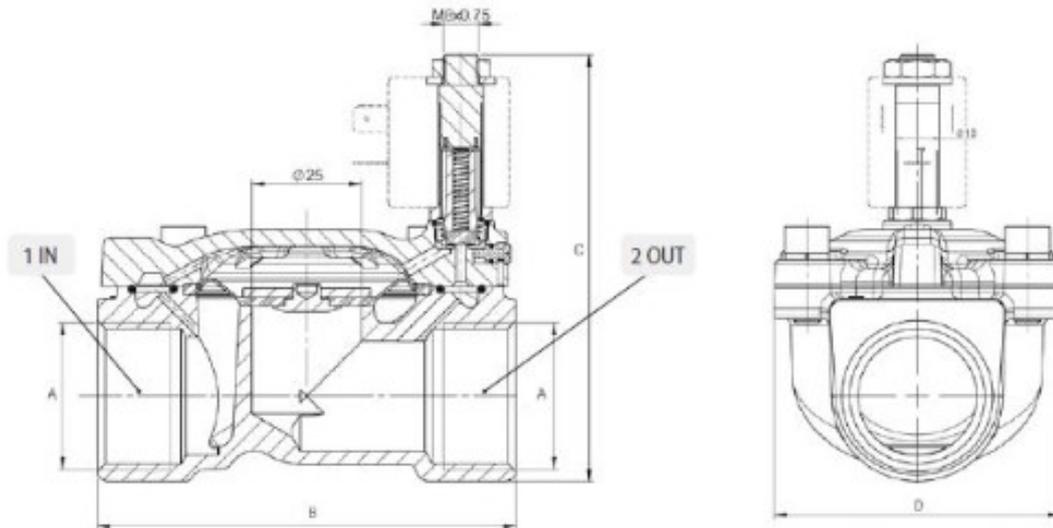
Se ha elegido una electroválvula para fluidos de ½ “, de accionamiento indirecto, con una presión máxima de 25 bar y una temperatura máxima para líquidos de 80-90 °C.

El fabricante es Aignep, empresa especializada en la grifería. La electroválvula está normalmente cerrada, es decir, sin tensión en la bobina. Cuando la bobina sea puesta en tensión se producirá el paso del líquido.

En la figura M7.27 se puede ver una imagen de la electroválvula mientras que en la figura M7.28 se pueden ver sus dimensiones y en la tabla M7.7 los valores de cada dimensión.



**Figura M7.27.** Electroválvula para líquidos.



**Figura M7.28.** Dimensiones de la electroválvula.

**Tabla M7.7.** Valores de cada dimensión.

A ISO 228	B	C	D
G1/4	55,5	72,5	35,2
G3/8	65,3	80,1	46,4
G1/2	65,3	80,1	46,4
G3/4	81	90,9	56,7
G1"	95	97	65

Como se puede ver en la figura M7.28 y en la tabla M7.7, las dimensiones adecuadas son G1/2 ya que son las que se adaptan al sistema.

En la tabla M7.8 se pueden ver algunas de sus características técnicas.

**Tabla M7.8.** Características técnicas de la electroválvula.

Cuerpo	Latón
Diámetro de paso (mm)	12
Temperatura de trabajo	- 10 °C a + 80 °C
Temperatura del fluido	- 10 °C a + 90 °C

Por último, el precio por unidad de la electroválvula es de 37,90 €, por lo que el precio de las seis válvulas, IVA incluido, asciende a 227,40 €.

### **k) Plataforma**

Para construir la plataforma de la planta piloto hacen falta vigas, pilares, plataformas de retención, barandillas de seguridad y una escalera de seguridad que corre a cargo de la propia fábrica.

#### **1. Viga**

Se han elegido vigas IPN 100 del proveedor Manomano. Las vigas IPN 100 son vigas con una sección en forma de “T”, con unas dimensiones de 100 mm de alto por 50 mm de ancho, 4,5 mm de espesor y 6 m de largo. En la figura M7.29 se puede ver una imagen de la viga IPN 100.



**Figura M7.29.** Viga IPN 100.

Según la distribución en planta que se puede observar en el documento “Planos”, la estructura de la planta piloto mide 1,90 m de largo y 6 m de ancho. Hacen falta 4 vigas para montar una estructura de 1,90x6 m, por lo tanto, para construir los tres pisos hacen falta 12 vigas, a 141,60 € la unidad, IVA incluido, queda un precio final de 1.699,20 €.

## 2. Pilar

Se han elegido para hacer de pilares, vigas HEA 140 del proveedor Manomano. Las vigas HEA son vigas que tienen una sección en forma de “H”, con unas dimensiones de 133 mm de alto, 140 mm de ancho, 5,5 mm de espesor y 6 m de largo. En la figura M7.30 se puede ver una imagen de la viga HEA 140.



**Figura M7.30.** Viga HEA 140.

Hacen falta 12 m de viga para montar doce pilares de 1 m cada uno, es decir, dos vigas, teniendo en cuenta que el precio de una viga, IVA incluido, es de 184,80 €, el precio total asciende a 369,60 €.

### 3. Plataforma de retención

La plataforma de retención elegida es de acero galvanizado y se fabrica en Haléco, empresa dedicada a la distribución de recambios y equipos para la maquinaria de obra pública.

En la figura M7.31 se puede ver una imagen real de la plataforma de retención.



**Figura M7.31.** Plataforma de retención de Haléco.

Tiene unas dimensiones de 285 cm de largo, 190 cm de ancho y 7,8 cm de alto, por lo que hacen falta tres plataformas para montar un piso o lo que es lo mismo, nueve plataformas de retención para completar los tres pisos. Hay que tener en cuenta que sobran 2,55 m de largo en cada piso.

El precio de la unidad, IVA incluido, es de 550 €, por lo que el precio de las nueve plataformas de retención asciende a 4.950 €.

#### 4. Barandilla de seguridad

La barandilla de seguridad elegida se fabrica en Ferax, empresa dedicada a la fabricación de equipos de protección industrial.

La barandilla tiene refuerzo central para suelo y altillo y es de uso en espacios interiores o exteriores.

Las especificaciones se muestran en la tabla M7.9.

**Tabla M7.9.** Especificaciones de la barandilla de seguridad.

Anchura (mm)	1000, 1500, 2000
Altura (mm)	1000
Diámetro (mm)	48, 2
Montaje	en suelo, pared o pared extraíble

En la figura M7.32 se puede ver una imagen real de la barandilla.



**Figura M7.32.** Barandilla de seguridad de Ferax.

Tiene un precio de 10,94 €/m, IVA incluido, teniendo en cuenta que solo se necesita para la última planta, hacen falta 15,8 m de barandilla (6 m de ancho y 1,90 m de largo), por lo que se compran 16 m que equivalen a un precio total de 175,04 €.

## 7.5 Distribución de los elementos en planta

Para seleccionar el lugar que deben ocupar cada uno de los equipos y tanques en la instalación y la parcela que ocupan, se han tenido en cuenta una serie de consideraciones. En primer lugar, la planta piloto se ha ubicado en una zona cercana a las zonas verdes de la fábrica, de forma que el agua destilada resultante tenga fácil acceso a la zona de regadío.

Como se puede ver en la distribución en planta del documento “Planos”, la parcela tiene unas dimensiones de 12,2 m de largo y 50 m de ancho, de los cuales, 5 m de largo por 20 m de ancho están destinados a la planta piloto que tiene una plataforma con unas dimensiones de 6 m de ancho por 1,90 m de largo. La altura de la parcela es de 6 m, altura suficiente ya que el tanque de agua fría y el tanque de agua caliente tienen una altura de 1,97 m. La instalación se encuentra en la zona media de forma que haya espacio para conectarse con la zona de sedimentación y eliminación de sólidos.

Como se puede ver en el croquis de la figura M7.6 el tanque de agua fría y el tanque de agua caliente deben estar en los extremos de forma que sean el inicio y final del proceso de circulación del agua. El tanque de sedimentos se encuentra más cerca del pasillo de forma que, una vez lleno, se pueda transportar al contenedor de residuos, que tiene unas dimensiones de 2 m de largo por 4 m de ancho como se muestra en la distribución en planta del documento “Planos”.

Los equipos están situados en la plataforma de tres pisos de la siguiente manera:

En el primer piso se encuentran las dos bombas peristálticas, cada una está en contacto con el tanque de agua fría y el tanque de agua caliente respectivamente, permitiendo la circulación del agua, también se encuentra el intercambiador de calor que mantiene caliente el agua al estar en contacto con un calentador conectado a la instalación eléctrica de la fábrica.

En el segundo piso se encuentra el equipo de enfriamiento de agua que deja salir el calor para refrigerar el agua y mantenerla a 25 °C.

En el tercer piso, de fácil acceso mediante escaleras, se encuentra el panel de control y el módulo de membrana que es el motor principal de la planta piloto.

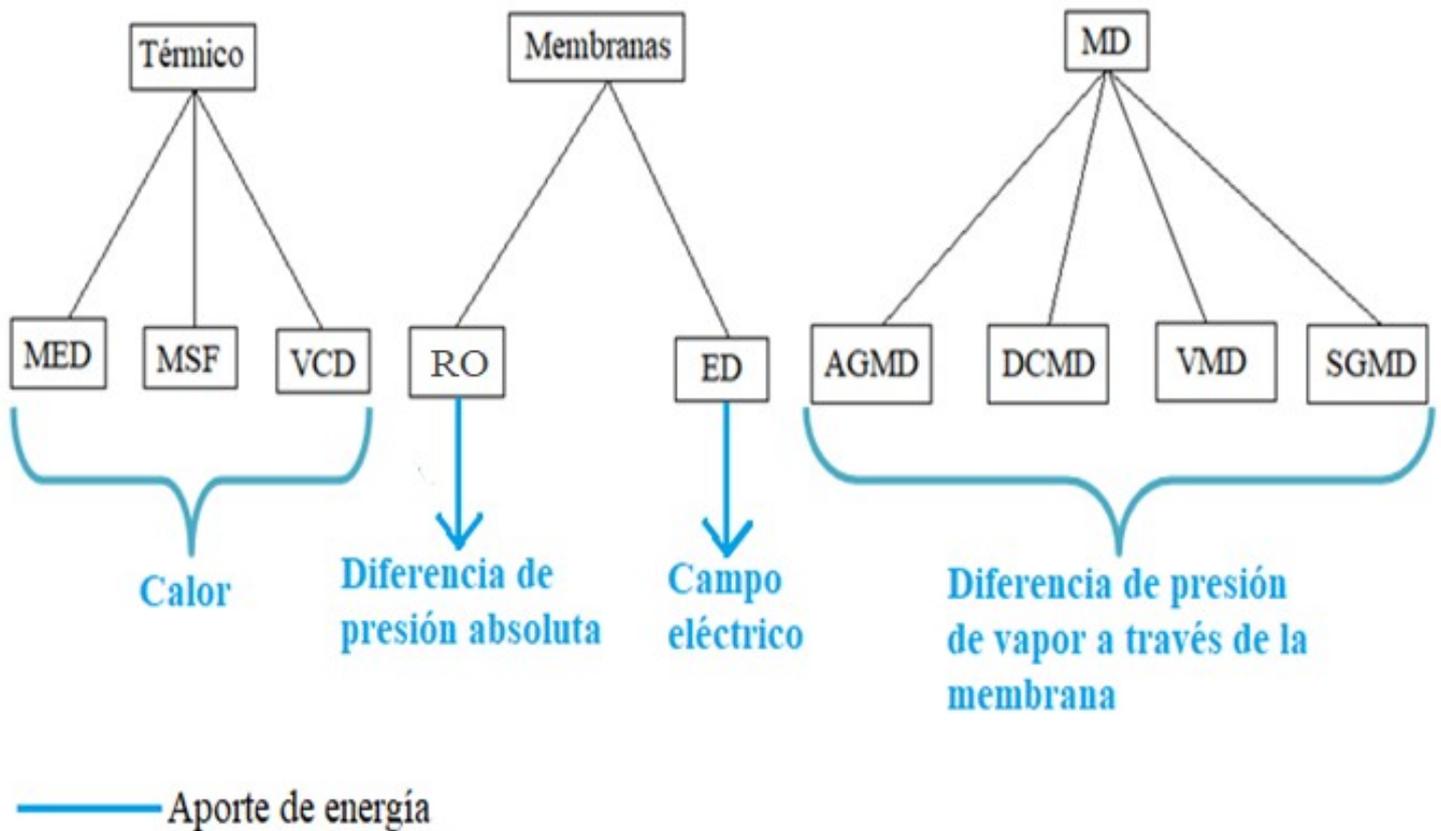
Por último, hay que decir que la parcela también cuenta con baños con unas dimensiones de 4 m de ancho por 3 m de largo, situados en la parte izquierda, y vestuarios con unas dimensiones de 4,7 m de ancho por 3 m de largo, situados enfrente de la planta piloto.

## 8. Análisis de soluciones

En el siguiente apartado se va a discutir acerca de las diferencias entre los procesos que se utilizan para el tratamiento de aguas, ya explicados en el apartado 4.1 de la memoria, comparando el aporte de energía de cada uno, justificando la elección del proceso elegido así como un análisis económico de los costes con respecto a la destilación por membranas ya que es el proceso que se utiliza en este proyecto. Además también se va a discutir la procedencia del calor en el sistema MD.

### 8.1 Mecanismos para el proceso de tratamiento de aguas

Como se ha explicado en el apartado 4.1 las alternativas a MD más importantes son las siguientes: MED, MSF, VCD, RO y ED, que se clasifican según la figura M8.1.



**Figura M8.1.** Diferentes procesos para el tratamiento de aguas.

A continuación se explican las diferencias entre cada proceso [10].

- MED:

Este proceso, a diferencia de la MD, debe estar sometido al calor de manera que se logre la evaporación del agua pura para luego condensarla.

- MSF:

Como ocurre con el proceso MED, el proceso MSF también debe estar sometido al calor para lograr la evaporación del agua. La diferencia del proceso MED con el de MSF es que en el de MSF el vapor es generado por flashing y en el caso de MED la evaporación es lograda por el proceso de transferencia de calor entre el vapor dentro de los tubos y el agua pulverizada.

- VCD:

El proceso VCD también debe estar sometido al calor y junto con el proceso MED, es una de las tecnologías más nuevas que incrementa su eficiencia hirviendo agua a una temperatura menor si el proceso ocurre a una presión menor a la atmosférica.

La diferencia de VCD con MED y MSF es que la tecnología de compresión de vapor corresponde a la que utiliza el vapor comprimido producido por un compresor mecánico o un generador de vapor.

- RO:

Con respecto a MD, RO es una tecnología más antigua y por lo tanto más utilizada en la industria, ambas poseen características parecidas ya que utilizan membranas semipermeables para el proceso pero con la diferencia de que, para RO el aporte de energía es mediante una diferencia de presión absoluta y para MD el aporte de energía es mediante una diferencia de presión de vapor a través de la membrana.

- ED:

Se asemeja con MD por el uso de una membrana semipermeable pero se diferencia en cuanto al aporte de energía, ya que aporta energía mediante un campo eléctrico como ya se ha explicado anteriormente.

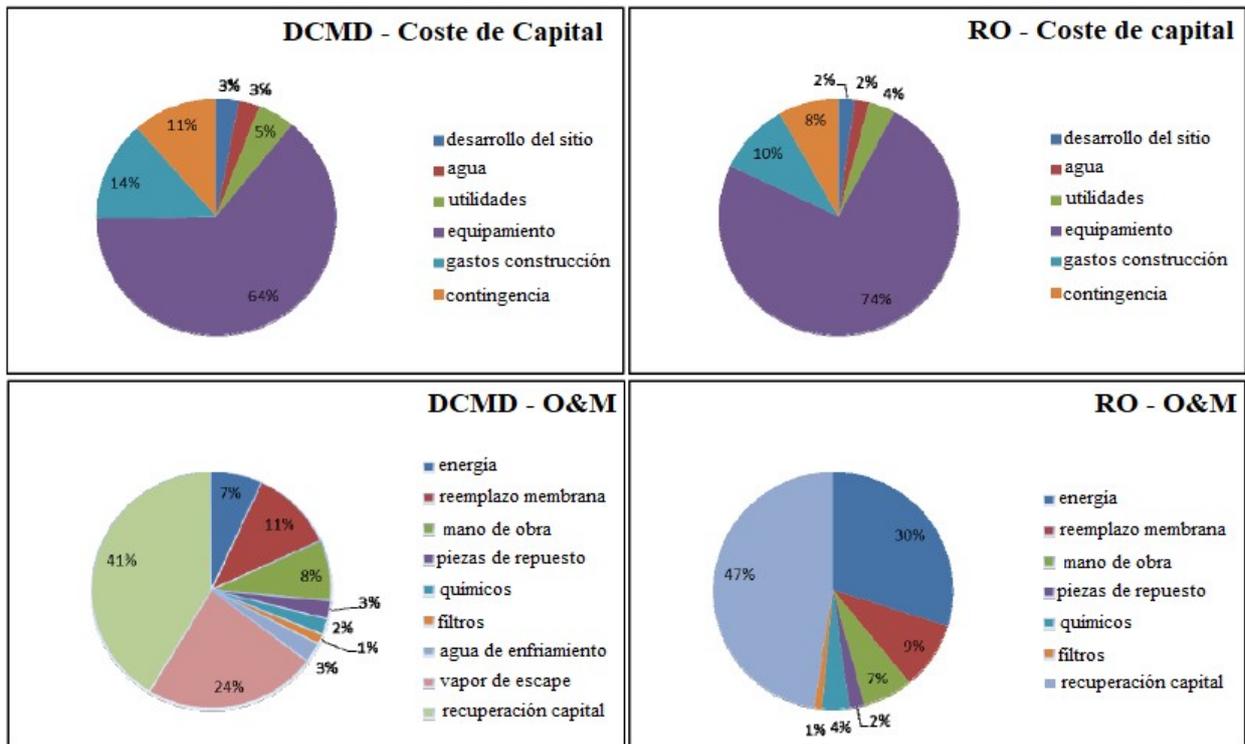
- MD:

El aporte de energía es la diferencia de presión de vapor a través de la membrana en lugar de una diferencia de presión absoluta aplicada, un gradiente de concentración o un gradiente de potencial eléctrico [7] como en el caso del resto de procesos antes mencionados.

La justificación de la elección del proceso de destilación por membranas se basa en los trabajos más actuales que pretenden aumentar la producción de permeado, disminuir el volumen de rechazo y disminuir el coste de operación [1].

MD ofrece soluciones que se centran principalmente en minimizar la demanda de energía térmica, pero también hay posibilidades de reducir la demanda de energía eléctrica. También se ha demostrado que es una tecnología adecuada para la eliminación de otros contaminantes, como metales pesados, radionúclidos y sustancias orgánicas de aguas salobres, producidas, industriales y otras deterioradas. La aplicación en industrias que tienen importantes fuentes de calor residual de baja calidad, como las centrales eléctricas y las plantas químicas, pueden ser un fuerte candidato para la aplicación del proceso de MD. La alta calidad del permeado en MD en comparación con el permeado en RO también puede proporcionar ventajas en estas aplicaciones, particularmente si se requiere agua purificada como alimentación de la caldera. La capacidad de diseñar procesos de MD utilizando flujos de calor específicos es fundamental para su aplicación, ya que depende de las fuentes de calor residual para lograr ventajas económicas. La calidad y los flujos de calor disponibles de dichas fuentes de calor variarán de un sitio a otro [1].

Respecto a los aspectos económicos, la MD es un proceso que promete ser una tecnología de bajo coste debido a su potencial de versatilidad energética al usar tanto calor como electricidad. Sus costes dependen principalmente de los parámetros del sistema, como el flujo en función de los caudales y la temperatura de entrada de alimentación [1]. Aunque RO se considera la tecnología más económica, seguida por MSF y MED, existen diferencias entre una planta de MD y otra de RO, entre ellas, el coste de capital y de operación y mantenimiento (O&M) como se puede ver en la figura M8.2.



**Figura M8.2.** Diferencias de coste de capital y O&M entre DCMD y RO [1].

Entre las diferencias más significativas que se observan en la figura M8.2 se encuentra que DCMD gasta solo un 7% de energía mientras que RO gasta un 30% y también que RO necesita un 10% más en equipamiento que DCMD.

Dentro del proceso de MD existen cuatro configuraciones, ya explicadas en el apartado 4.2 de la memoria, que se discuten a continuación para justificar la configuración elegida [1].

- **AGMD:**

Esta configuración tiene la mayor eficiencia energética, pero el flujo obtenido es generalmente bajo. Se puede emplear ampliamente para la mayoría de las aplicaciones de destilación de membranas cuando la disponibilidad de energía es baja.

- **VMD:**

Las desventajas de esta configuración son, que puede presentar mayor cantidad de incrustaciones en la membrana, posee una mayor probabilidad de que se mojen los poros de la membrana y posee una menor capacidad de seleccionar el paso de componentes volátiles.

- SGMD:

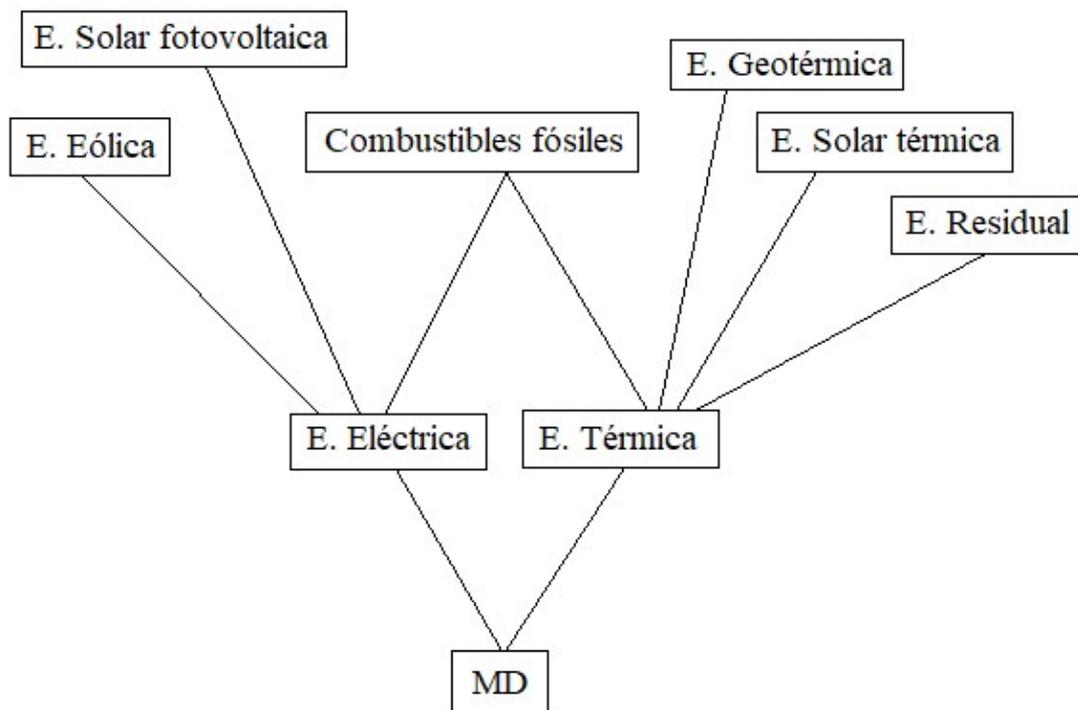
Esta configuración debe tener un soplador o condensador de manera que se mantenga el flujo de gas. Además, la recuperación de calor es compleja, el flujo de permeado es menor en comparación con otras configuraciones y se debe realizar un pretratamiento al gas utilizado.

- DCMD:

La elección de esta configuración se debe a que es la configuración más simple y es la más utilizada a nivel experimental. Además, permite un flujo de permeado más estable y es apropiada para eliminar componentes volátiles presentes en el agua.

## 8.2 Procedencia del calor en el sistema de MD

En la destilación por membranas el calor puede proceder de la energía térmica o de la energía eléctrica, estas a su vez se obtienen de diferentes fuentes de energía como se muestra en la figura M8.3.



**Figura M8.3.** Fuentes de energía disponibles para MD

A continuación se explican algunas de las fuentes de energía más importantes, así como la procedencia de la energía eléctrica y la energía térmica [1, 6].

○ Fuentes de energía:

▪ Energía Residual:

Es una fuente de energía que se utiliza para obtener energía térmica, de esta forma, es una alternativa a la energía eléctrica utilizando calor derivado de residuos. Una fuente importante de calor residual es la industria nuclear.

▪ Energía Solar:

Es una fuente de energía que puede ser térmica, para obtener energía térmica, y fotovoltaica, para obtener energía eléctrica. La energía solar es una opción sostenible para lugares con falta de agua que tienen grandes cantidades de radiación solar disponible. Una de las razones de interés para acoplar la MD con colectores de energía solar es la capacidad que tiene para tolerar condiciones de operación, fluctuantes e intermitentes, y para operar con energía térmica de bajo grado. Hay que decir que las temperaturas de funcionamiento en MD son similares a las temperaturas a las que los colectores solares exhiben la mayor eficiencia.

▪ Energía Geotérmica:

Es una fuente de energía que se utiliza para obtener energía térmica. La MD es la tecnología más adecuada para explotar la energía geotérmica ya que puede proporcionar un suministro de calor adecuado y confiable, a diferencia del resto de tecnologías como MSF, que requiere temperaturas muy altas para su funcionamiento lo que generalmente no se puede lograr mediante la explotación de la energía geotérmica, y RO, debido al bajo grado de calor geotérmico.

○ Energía:

▪ Energía Térmica:

La energía térmica procede de fuentes de energía como la energía residual, la energía solar térmica, la energía geotérmica y los combustibles fósiles, también procede de la energía eléctrica, por el intercambiador de calor y el calentador, que a su vez procede de fuentes de energía como la energía eólica, energía solar fotovoltaica y de los combustibles fósiles. Para este sistema se utiliza esta energía a baja temperatura dado que el sistema es robusto debido a su procedencia.

▪ Energía Eléctrica:

La energía eléctrica procede de fuentes de energía como la energía eólica, energía solar fotovoltaica y los combustibles fósiles. Es la energía más común a utilizar en las fábricas.

## 9. Planificación

En este apartado se define la planificación del presente proyecto. El objetivo es conseguir finalizarlo en el tiempo requerido con los recursos disponibles.

La planificación es necesaria para tener una visión anticipada de como se llevará a término un proyecto, cuáles serán las actividades más complicadas y cuando se terminará el proyecto entre otras cosas.

Una de las técnicas más usadas para elaborar la planificación de un proyecto es el diagrama de Gantt o de barras. Para elaborar el diagrama de Gantt es necesario:

- Determinar las actividades en las que se divide el proceso y definir cuáles son las actividades principales.
- Estimar la duración efectiva de cada actividad.
- Representar gráficamente la duración de las actividades mediante barras rectas.
- Establecer las dependencias entre las actividades.
- Realizar una conversión de escala para ajustarse a una escala de los días de calendario.

Las diferentes actividades en las que se divide el proyecto se muestran en la tabla M9.1.

**Tabla M9.1.** Planificación del proyecto.

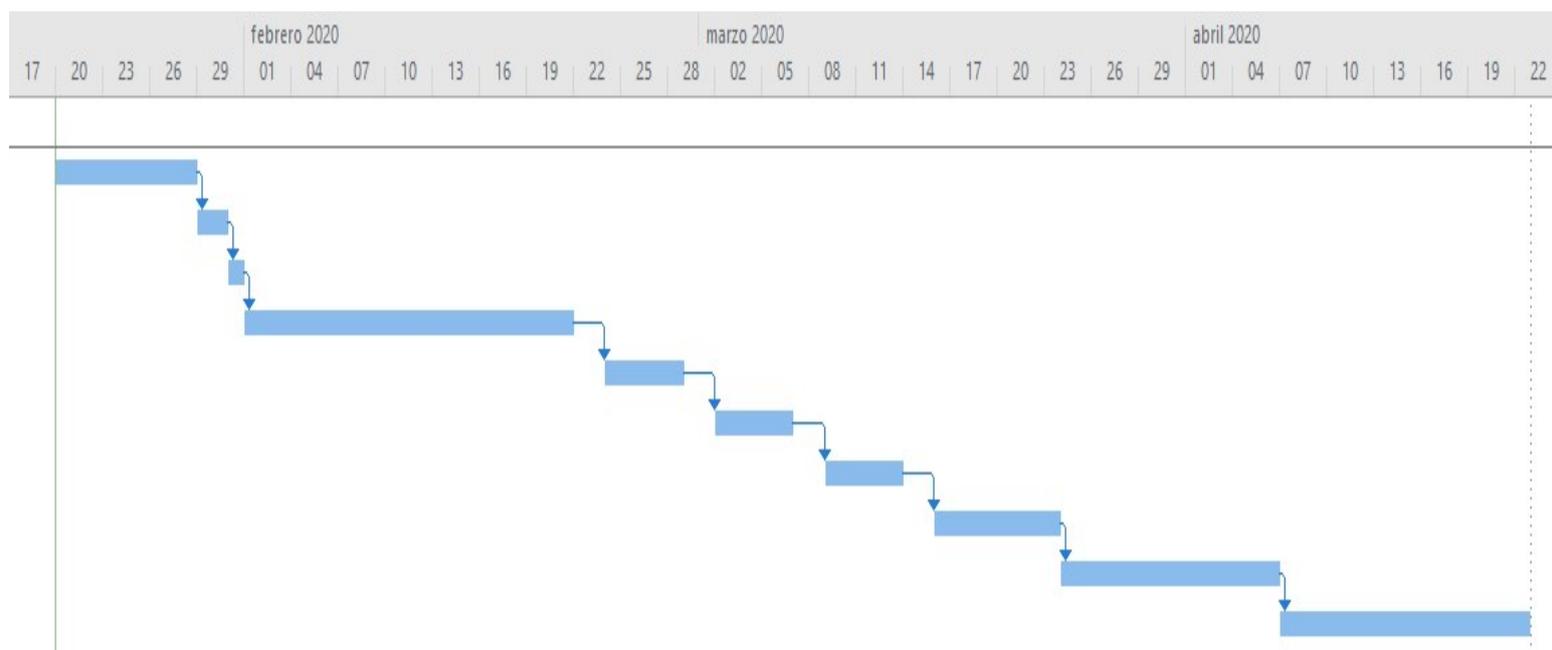
Actividad	Fecha inicio	Duración en días	Fecha fin
Entrega y aceptación del proyecto	20/01/2020	7	28/01/2020
Limpieza y adecuación de la nave	29/01/2020	2	30/01/2020
Instalación de la cimentación	31/01/2020	1	31/01/2020
Periodo de cimentación	01/02/2020	21	21/02/2020
Instalación de la plataforma	24/02/2020	5	28/02/2020
Instalación de los equipos y tanques	02/03/2020	5	06/03/2020
Conexión entre equipos	09/03/2020	5	13/03/2020
Instalación eléctrica y de fontanería	16/03/2020	5	23/03/2020
Automatización de la planta piloto	24/03/2020	10	06/04/2020
Puesta en marcha y periodo de pruebas	07/04/2020	10	22/04/2020

Las tareas del presente proyecto tendrán una duración estimada de 71 días laborables (94 días naturales) con una jornada laboral de 8 horas, de lunes a viernes (a excepción de los tres fines de semana de febrero en los que todavía se está fraguando el cemento durante el periodo de cimentación) y con sus correspondientes días festivos (San José, Lunes de Pascua y Viernes Santo).

Todas las actividades se realizan de forma consecutiva y son dependientes de las anteriores, por esa razón, después de la instalación de la cimentación hay que esperar 21 días naturales para que fragüe el cemento, antes de continuar con la siguiente actividad.

En el tiempo estimado para cada una de las actividades se han tenido en cuenta los posibles imprevistos que puedan surgir. De este modo, el proyecto se estima que se inicie el 20 de enero de 2020 y finalice el 22 de abril de 2020.

A continuación se construye el diagrama de Gantt para visualizar de forma más rápida la planificación del proyecto, que puede observarse en la figura M9.1.



**Figura M9.1.** Diagrama de Gantt.

## **10. Orden de prioridad entre los documentos básicos**

En base a la norma UNE-EN 157001:2014 el orden que tienen que seguir los documentos de un proyecto técnico es:

1. Introducción
2. Objetivo y campo de aplicación
3. Normas para consulta
4. Definiciones
5. Requisitos generales
6. Índice
7. Memoria
8. Anexos
9. Planos
10. Pliego de condiciones
11. Mediciones
12. Presupuesto

## 11. Estudio de viabilidad económica

En el siguiente apartado se va a estudiar la viabilidad económica del proyecto donde se ha de ordenar y sistematizar toda la información referida a los aspectos monetarios (importe de la inversión, ingresos y gastos) con el objetivo de tomar la decisión de aceptación o rechazo del proyecto.

El estudio económico pretende determinar:

- La cantidad de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto.
- El coste total de operación de la planta.
- Indicadores económicos que servirán de base para la parte final y definitiva, la evaluación económica.

### 11.1 Resumen del presupuesto

En este apartado se resumen las partes principales del presupuesto que se muestra detallado en el documento “Presupuesto”.

El presupuesto de ejecución material (PEM) consta de seis partidas que se muestran en la tabla M11.1 junto con el valor del PEM total.

**Tabla M11.1.** Presupuesto de ejecución de material total.

<b>Partida</b>	<b>Coste (€)</b>
Partida 1: Equipos principales	16.677,00
Partida 2: Instrumentación	1.450,94
Partida 3: Tanques	3.326,00
Partida 4: Conducciones	386,78
Partida 5: Plataforma	7.193,84
Partida 6: Mano de obra	2.501,55
<b>TOTAL</b>	<b>31.536,11</b>

El presupuesto de ejecución por contrata (PEC) es la suma del PEM, los gastos generales (20% del PEM) y el beneficio industrial (6% del PEM).

En la tabla M11.2 se muestra el PEC obtenido.

**Tabla M11.2.** Presupuesto de ejecución por contrata.

<b>Elemento</b>	<b>Precio total (€)</b>
PEM	31.536,11
Gastos generales	6.307,22
Beneficio industrial	1.892,17
<b>TOTAL</b>	<b>39.735,50</b>

Y finalmente, el presupuesto total se obtiene añadiendo al PEC el 21% de IVA, como se puede ver en la tabla M11.3. El presupuesto total obtenido equivale a la inversión inicial a realizar para llevar a cabo el proyecto.

**Tabla M11.3.** Presupuesto total.

<b>Elemento</b>	<b>Precio total (€)</b>
PEC	39.735,50
IVA (21%)	8.344,45
<b>Presupuesto total</b>	<b>48.079,95</b>

El presupuesto total del proyecto “Diseño de una planta piloto de destilación por membranas para el tratamiento de aguas residuales” asciende a CUARENTA Y OCHO MIL SETENTA Y NUEVE EUROS CON NOVENTA Y CINCO CENTIMOS.

## 11.2 Presupuesto de explotación

En el siguiente apartado se cuantifican la inversión y amortización de la planta, así como los diferentes gastos e ingresos, a partir de los cuales se obtienen los beneficios. Además, también se obtiene el flujo de caja (FC), el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de retorno (PR) de la instalación.

### 11.2.1 Inversión inicial

La inversión inicial ( $I_0$ ) necesaria para la construcción de la planta corresponde al PEC y se debe al PEM, a los gastos generales, que representan el 20% del PEM, al beneficio industrial, que representa el 6% del PEM, y al IVA, que representa el 21% del PEC.

A continuación, en las tablas M11.4 y M11.5, se muestran el PEC y la inversión inicial correspondientes.

**Tabla M11.4.** Presupuesto de ejecución por contrata.

Elemento	Precio total (€)
PEM	31.536,11
Gastos generales	6.307,22
Beneficio industrial	1.892,17
<b>TOTAL</b>	<b>39.735,50</b>

**Tabla M11.5.** Inversión inicial.

Elemento	Precio total (€)
PEC	39.735,50
IVA	8.344,45
<b>Inversión inicial</b>	<b>48.079,95</b>

Como se puede ver en la tabla M11.5, la inversión inicial es de 48.079,95 €.

## 11.2.2 Amortización

La amortización es la pérdida del valor de los activos con el paso del tiempo, es decir, de todos los elementos que forman parte de la planta piloto y de los cuales, se ha tenido en cuenta un tiempo de amortización de 10 años. En la tabla M11.6 se muestra el coste total de la instalación.

**Tabla M11.6.** Coste total de la instalación.

Elemento	Coste (€)
Equipos principales	16.677,00
Instrumentación	1.450,94
Tanques	3.326,00
Conducciones	386,78
Plataforma	7.193,84
Coste total	29.034,56

Por lo tanto la amortización, el primer año, es la siguiente:

$$Amortización = \frac{29.034,56}{10} = 2.903,46 \text{ €}.$$

## 11.2.3 Gastos

A continuación se muestran los gastos de la planta, que se dividen en gastos directos y gastos indirectos.

### 11.2.3.1 Gastos directos

Los gastos directos son aquellos que pueden ser asignados, de forma directa, a alguna de las actividades o departamentos englobados en la actividad productiva o de servicios de la organización como son la mano de obra de esos departamentos, maquinaria, materias primas, etc.

En el caso de este proyecto la materia prima es el agua, que no se incluye ya que se aprovecha de la etapa de sedimentación y eliminación de sólidos. Si que se incluye el consumo eléctrico de los equipos utilizados en la planta piloto y la mano de obra.

Para el cálculo de la electricidad consumida hay que tener en cuenta la potencia de cada equipo, que se encuentra en el documento “Anexos”, y el consumo energético en función del tiempo que trabajan, como se puede ver en la tabla M11.7.

Los cálculos de dicha tabla se han realizado teniendo en cuenta que se trabaja durante dos turnos de 8 horas cada uno, es decir 16 h al día, 330 días al año, por lo que el número de horas de trabajo al año es de 5280 h. Las dos bombas peristálticas trabajan de forma continua mientras que el calentador y el equipo de enfriamiento de agua solo trabajan una quinta parte cada hora. También hay que tener en cuenta que el precio actual de la energía eléctrica es de 0,12956 €/kWh. Por lo que los resultados obtenidos en la tabla M11.7 se han realizado a partir de la ecuación M11.1.

$$\text{Consumo}_{\text{eléctrico}} (\text{€/año}) = \text{Consumo}_{\text{energético}} \cdot \text{Precio}_{\text{energía}} \cdot \text{Días}_{\text{trabajo}} \quad (\text{Ecuación M11.1})$$

Siendo:

$$\text{➤ } \text{Precio}_{\text{energía}} = 0,12956 \text{ €/kWh}$$

$$\text{➤ } \text{Días}_{\text{trabajo}} = 330 \text{ días/año}$$

**Tabla M11.7.** Consumo eléctrico de cada equipo.

Equipo	Potencia (kW)	Tiempo de trabajo (h/día)	Consumo energético (kWh/día)	Consumo eléctrico (€/año)
Bomba peristáltica Rotho PSF2 (circuito caliente)	0,00235	16	0,038	1,62
Bomba peristáltica Rotho PSF2 (circuito frío)	0,00206	16	0,033	1,41
Calentador modelo EER	70,06	3,2	224,19	9.585,19
Equipo de enfriamiento	71,04	3,2	227,33	9.719,45
<b>Total</b>				<b>19.307,67</b>

Otro gasto directo que hay que tener en cuenta es la nómina de los trabajadores, es decir, la mano de obra. El coste de las nominas de los trabajadores se puede ver en la tabla M11.8. Hay que decir que los dos operarios trabajan al 50% ya que el funcionamiento del sistema les permite simultanear otras actividades de la empresa y el ingeniero de planta solo dedica un 10% de su tiempo en la planta, por lo que tienen una nómina en consonancia al tiempo que le dedican.

**Tabla M11.8.** Coste de las nominas de los trabajadores.

Tipo de trabajo	Nóminas (€/mes)	Número de trabajadores	Nóminas (€/año)
Operario de planta (50%)	1100	2	13.200,00
Ingeniero de planta (10%)	1200	1	1.440,00
<b>Total</b>			<b>14.640,00</b>

Los gastos directos totales se muestran en la tabla M11.9.

**Tabla M11.9.** Gastos directos totales.

Gastos directos	€/año
Consumo eléctrico	19.307,67
Nóminas	14.640,00
<b>Total</b>	<b>33.947,67</b>

### 11.2.3.2 Gastos indirectos

Los gastos indirectos son aquellos que son difíciles de identificar a parte de la actividad productiva de la planta. En el caso del presente proyecto se trata del coste del consumo eléctrico de la iluminación de la planta y el coste de la nómina de un operario que se encarga de la limpieza y mantenimiento de la planta.

Para calcular el coste de la iluminación se tiene en cuenta la ecuación M11.2, mientras que para el cálculo de la nómina del operario se tiene en cuenta un salario de 450 €/mes, es decir, la mitad del salario mínimo debido a que solo le dedica un 50% del tiempo, quedando una nómina de 5.400 € anuales.

$$\text{Coste}_{ILUMINACIÓN} = IPE \cdot \text{Coste}_{KWh} \cdot \text{Espacio}_{Planta\ piloto} \quad (\text{Ecuación M11.2})$$

Siendo:

- $IPE$ : Índice de prestación energética en iluminación =  $6,65 \text{ kWh/m}^2$
- $\text{Coste}_{KWh} = 0,128738 \text{ €/kWh}$
- $\text{Espacio}_{Planta\ piloto} = 100 \text{ m}^2$

A partir de la ecuación M11.2 se obtiene el siguiente resultado.

$$\text{Coste}_{ILUMINACIÓN} = 6,65 \text{ kWh/m}^2 \cdot 0,128738 \text{ €/kWh} \cdot 100 \text{ m}^2 = 85,61 \text{ €}$$

En la tabla M11.10 se muestran los gastos indirectos de la planta piloto.

**Tabla M11.10.** Gastos indirectos de la planta piloto.

Gastos indirectos	Coste (€/año)
Coste de la iluminación de la planta	85,61
Operario de Limpieza y mantenimiento	5.400,00
<b>Total</b>	<b>5.485,61</b>

### 11.2.3.3 Gastos totales

El presupuesto de explotación anual es la suma de los gastos directos e indirectos. En la tabla M11.11 se muestran los gastos totales obtenidos de la planta piloto.

**Tabla M11.11.** Gastos totales de la planta piloto.

Tipo de gasto	€/año
Gastos directos	33.947,67
Gastos indirectos	5.485,61
<b>Gastos totales</b>	<b>39.433,28</b>

Como se puede ver en la tabla M11.11, los gastos anuales de la planta piloto de destilación por membranas ascienden a 39.433,28 €.

### 11.2.4 Ingresos

La planta de destilación por membranas no está destinada a obtener ingresos a corto plazo con la obtención de agua destilada industrial limpia ya que es, más bien, para beneficio medioambiental. Además el precio medio del agua en la Comunidad Valenciana está a 2,23 €/m<sup>3</sup> según el Instituto Nacional de Estadística (INE), basándose en los últimos datos publicados a finales de 2018 correspondientes al año 2016, por lo que no compensa, pero al ser un bien escaso permite ahorrar agua en el entorno industrial.

De todas formas, si se quieren conocer los ingresos anuales de agua destilada, se utiliza la ecuación M11.3 que se muestra a continuación.

$$\text{Ingresos (€/año)} = Q_L \cdot \text{Horas trabajadas} \cdot \text{Días trabajados} \cdot \text{Precio agua} \quad (\text{Ecuación M11.3})$$

Siendo:

- $Q_L$ : Caudal volumétrico = 0,05 m<sup>3</sup>/h
- $\text{Horas trabajadas}$  = 16 h/día
- $\text{Días trabajados}$  = 330 días/año
- $\text{Precio agua}$  = 2,23 €/m<sup>3</sup>

El resultado obtenido se muestra a continuación.

$$\text{Ingresos (€/año)} = 0,05 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 16 \text{ h/día} \cdot 330 \text{ días/año} \cdot 2,23 \text{ €/m}^3 = 588,72 \text{ €/año}$$

Como se observa, apenas se obtienen 588,72 € anuales con el proceso de destilación por membranas.

## 11.2.5 Beneficios

Para la realización del estudio de viabilidad económica se deben calcular los beneficios que se obtienen, para ello se restan los gastos totales a los ingresos obtenidos. Existen dos tipos de beneficios:

- Beneficio bruto: es el resultado obtenido después de restar a los ingresos todos los gastos en que se ha incurrido, con excepción del impuesto de sociedades.
- Beneficio neto: beneficios después de los impuestos, es decir, teniendo en cuenta que hay que pagar un impuesto del 25% aplicado sobre el beneficio bruto que obtiene la empresa.

### 11.2.5.1 Beneficio bruto

Para el cálculo del beneficio bruto se tiene en cuenta la inflación del Índice de Precios al Consumidor (IPC) anual, que es de un 1,67% según la última inflación media del IPC anual en España. En la Tabla M11.12 se muestran los beneficios para un horizonte de 10 años, teniendo en cuenta los ingresos y gastos totales.

**Tabla M11.12.** Beneficio bruto anual.

<b>Año</b>	<b>Ingresos (€)</b>	<b>Gastos totales (€)</b>	<b>Beneficio bruto (€)</b>
2019	588,72	39.433,28	-38.844,56
2020	598,55	40.091,82	-39.493,26
2021	608,55	40.761,35	-40.152,80
2022	618,71	41.442,06	-40.823,35
2023	629,04	42.134,15	-41.505,10
2024	639,55	42.837,79	-42.198,24
2025	650,23	43.553,18	-42.902,95
2026	661,09	44.280,52	-43.619,43
2027	672,13	45.020,00	-44.347,87
2028	683,35	45.771,83	-45.088,48

### 11.2.5.2 Beneficio neto

Como ya se ha explicado anteriormente, el beneficio neto se obtiene aplicando sobre el beneficio bruto un 25% por impuestos de sociedades. Los resultados del beneficio neto para un horizonte de 10 años se muestran en la Tabla M11.13.

**Tabla M11.13.** Beneficio neto anual.

Año	Beneficio bruto (€)	Beneficio neto (€)
2019	-38.844,56	-29.133,42
2020	-39.493,26	-29.619,95
2021	-40.152,80	-30.114,60
2022	-40.823,35	-30.617,52
2023	-41.505,10	-31.128,83
2024	-42.198,24	-31.648,68
2025	-42.902,95	-32.177,21
2026	-43.619,43	-32.714,57
2027	-44.347,87	-33.260,90
2028	-45.088,48	-33.816,36

Como se observa en las tablas M11.12 y M11.13, no se van a obtener beneficios.

### 11.2.6 Flujo de caja

El flujo de caja (FC) hace referencia a las salidas y entradas netas de dinero que tiene una empresa o proyecto en un período determinado, de manera que facilita información acerca de la capacidad de la empresa para pagar sus deudas. Se halla mediante la ecuación M11.4.

$$FC = \text{Beneficio neto} + \text{Amortización} \quad (\text{Ecuación M11.4})$$

Siendo:

- *FC: Flujo de caja (€)*
- *Beneficio neto = -29.133,42 € (2019)*
- *Amortización = 2.903,46 € (2019)*

En la tabla M11.14 se muestra el FC para un horizonte de 10 años, teniendo en cuenta el IPC.

**Tabla M11.14.** Flujo de caja anual.

Año	Beneficio neto (€)	Amortización (€)	Flujo de caja (€)
2019	-29.133,42	2.903,46	-26.229,96
2020	-29.619,95	2.951,94	-26.668,00
2021	-30.114,60	3.001,24	-27.113,36
2022	-30.617,52	3.051,36	-27.566,15
2023	-31.128,83	3.102,32	-28.026,51
2024	-31.648,68	3.154,13	-28.494,55
2025	-32.177,21	3.206,80	-28.970,41
2026	-32.714,57	3.260,36	-29.454,22
2027	-33.260,90	3.314,80	-29.946,10
2028	-33.816,36	3.370,16	-30.446,20

### 11.2.7 VAN

El valor actual neto (VAN) es un indicador de la rentabilidad de un proyecto. Pueden darse tres casos:

- VAN < 0: indica que un proyecto no es rentable en un determinado período de tiempo.
- VAN > 0: el proyecto es rentable, las ganancias superan a los costes.
- VAN = 0: el proyecto no genera ni pérdidas ni ganancias.

Para su cálculo se utiliza la ecuación M11.5 que se muestra a continuación.

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=0}^N \frac{FC_n}{(1+i_r)^n} \quad (\text{Ecuación M11.5})$$

Siendo:

- $I_0$ : Inversión inicial = 48.079,95 €
- $i_r$ : interés real
- $FC_n$ : Flujo de caja (€)

$i_r$  se obtiene a partir de la ecuación M11.6 que se muestra a continuación.

$$i_r = \frac{i_n}{IPC} \quad (\text{Ecuación M11.6})$$

Siendo:

- $i_n$ : Interés nominal = 3%
- IPC: Índice de precios al consumidor = 1,67%

De la ecuación M11.6 se obtiene el siguiente resultado.

$$i_r = \frac{0,003}{0,0167} = 1,796$$

Con el valor de  $i_r$  obtenido y mediante la ecuación M11.5 se obtiene el resultado del VAN, que se muestra en la tabla M11.15, para un estudio de 10 años.

**Tabla M11.15.** Valor actual neto.

VAN (€)
-62.821,09 €

Como se puede ver en la tabla M11.15, el VAN para un horizonte de 10 años es menor a cero por lo que el proyecto no es rentable.

### 11.2.8 TIR

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión, es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. La tasa interna de retorno se calcula haciendo cero el VAN (ecuación M11.5).

Interesa realizar aquellos proyectos cuyo TIR sea superior a  $i_n$  (3%) y además cuanto mayor sea el TIR más viable es el proyecto.

De este modo, la ecuación M11.5 queda de la siguiente manera.

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

En la tabla M11.16 se muestran diferentes valores del TIR con el correspondiente VAN obtenido.

**Tabla M11.16.** Tasa interna de retorno.

TIR (%)	VAN (€)
3,5	-55.610,15
3	-56.872,21
2	-61.305,10
1	-74.724,65
-0,5	-61.343.481,52
-2	-50.422,73
-2,3	-37.727,05
-2,36	-37.645,33
-2,3607	-37.645,32

Como se puede ver en la tabla M11.16, el valor del TIR obtenido más cercano a cero, después de varias iteraciones, es de -2,3607%, como es inferior al interés nominal, el proyecto no es viable económicamente.

### 11.2.9 Periodo de retorno

El periodo de retorno (PR) es el tiempo que se necesita para recuperar la inversión inicial realizada en el proyecto y es un indicador de su liquidez. Se obtiene a partir de la ecuación M11.7 que se muestra a continuación.

$$PR = \frac{I_0}{FC_{promedio\ anual}} \quad (\text{Ecuación M11.7})$$

Siendo:

- $I_0$ : Inversión inicial = 48.079,95 €
- $FC_{promedio\ anual}$ : Flujo de caja promedio anual = -28.291,55 €

El resultado del PR obtenido se muestra a continuación.

$$PR = \frac{48.079,95}{-28.291,55} = -1,70$$

Como se puede observar, el valor del PR no es válido al ser negativo. De este modo, se puede deducir que no se va a recuperar la inversión inicial realizada en el proyecto.

### 11.2.10 Conclusión

Una vez realizado el estudio de viabilidad económico y haber obtenido los tres indicadores económicos (VAN, TIR y PR), se puede llegar a la conclusión de que el proyecto no es viable ya que tanto el VAR, como el TIR y el PR son negativos. Esto es debido a que es un proyecto realizado para beneficio medioambiental, con el propósito de ahorrar agua en el entorno industrial.

Por último, hay que decir que el alto coste de operación se debe al consumo eléctrico del calentamiento y enfriamiento del agua. Esto indica que el proceso solo sería viable si se dispone de una fuente de energía muy barata como puede ser la energía residual o energías renovables.

# 3. Anexos



## Índice

1. Experimentación en laboratorio.....	2
1.1. Destilación con condensación directa por placa.....	2
1.2. Destilación con condensación directa por membrana.....	4
2. Etapa previa.....	9
2.1. Etapa de eliminación y sedimentación de sólidos.....	9
3. Cálculos.....	10
3.1. Cálculos de los tanques.....	10
3.2. Cálculos de las bombas peristálticas.....	12
3.3. Cálculos del calentador y equipo de enfriamiento.....	23
4. Catálogos y fichas técnicas.....	25
4.1. Módulo de membrana tubular de fibra hueca.....	25
4.2. Bomba peristáltica.....	27
4.3. Tanques.....	29
4.4. Intercambiador de calor de placas.....	30
4.5. Caudalímetro.....	32
4.6. Termopar.....	33
4.7. Manómetro.....	34
4.8. Calentador.....	35
4.9. Equipo de enfriamiento de agua.....	36
4.10. Conducciones.....	37
4.11. Plataforma.....	42
5. Identificación de las canalizaciones según el fluido que transportan.....	46
6. Gráficas y tablas.....	47

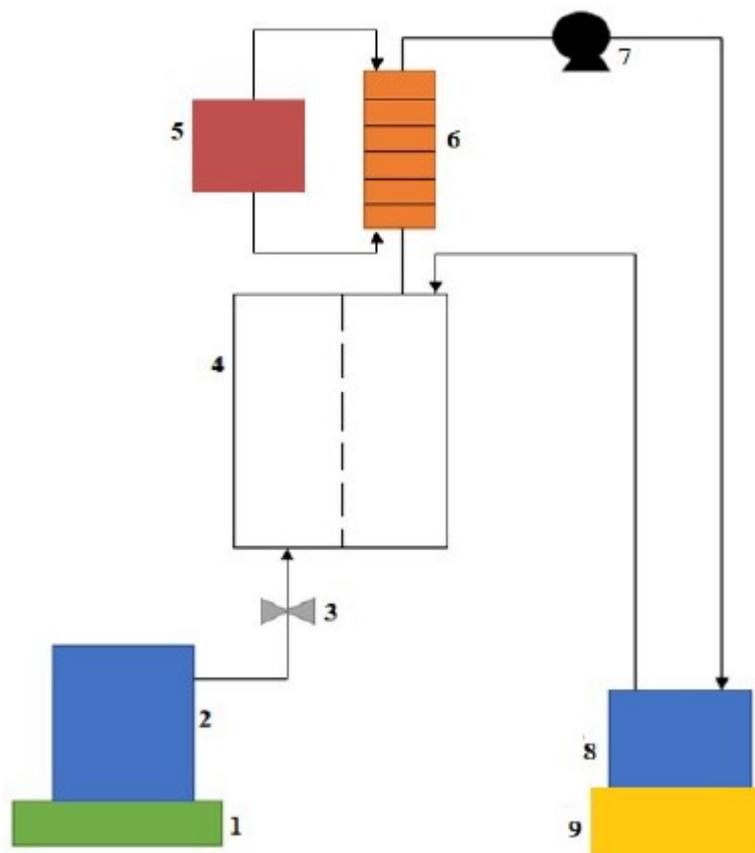


## 1. Experimentación en laboratorio

La experimentación en laboratorio realizada en la asignatura EQ1034 “Prácticas externas” consiste en analizar una membrana polimérica hidrófoba. Para que la destilación sea líquido-líquido la temperatura debe estar a 90 °C como mínimo, pero el tipo de equipos que hay en el laboratorio no lo permiten, por lo que se han realizado pruebas de una destilación con condensación directa por placa y por membrana.

### 1.1. Destilación con condensación directa por placa

Para tener un primer contacto con el proceso se ha utilizado una instalación de contacto directo, cuyo diagrama de flujo se muestra en la figura A1.1, que se asemeja a la instalación adecuada y se han realizado experimentos con muestras de placas hidrófobas y los equipos disponibles en el laboratorio.



**Figura A1.1.** Diagrama de flujo en laboratorio para resultados previos.

Los equipos utilizados, representados en la figura A1.1, son los siguientes:

1. Agitador y calefactor magnético: realiza la función del intercambiador de calor proporcionando calor al agua sucia.
2. Depósito 1: contenedor donde se encuentra una mezcla de agua destilada con azul de metileno.
3. Válvula de seguridad: válvula que se abre en caso de que el incremento de presión ejercido por el líquido sea alto.
4. Módulo para la placa hidrófoba: cubre la placa hidrófoba y recibe la mezcla en forma de vapor de forma que puede traspasar la placa.
5. Equipo de agua fría: tiene una bomba que mete el agua fría en el primario del intercambiador.
6. Intercambiador de calor: refrigera el gas que ha traspasado la placa para convertirse en líquido.
7. Bomba peristáltica: propulsióna el líquido que sale del intercambiador para llevarlo al depósito 2.
8. Depósito 2: contenedor que recoge el vapor que traspasa la placa, en forma de líquido.
9. Balanza: mide el caudal obtenido de la mezcla de agua destilada y azul de metileno.

El experimento es el siguiente:

Una mezcla de azul de metileno con agua destilada se calienta mediante un agitador y calefactor magnético de forma que se convierte en vapor (evaporación) y ejerciendo presión traspasa la placa hidrófoba, al traspasarla se mezcla con agua destilada fría y se convierte en líquido (condensación) limpio. Por la otra parte (circuito de refrigeración) el agua destilada fría procedente del depósito 2 no puede traspasar la placa al ser hidrófoba, de forma que vuelve al depósito junto con el agua condensada y, de esta forma, aumenta el caudal.

## 1.2. Destilación con condensación directa por membrana

Una vez comprobado que con la destilación con condensación directa por placa, la placa hidrófoba funciona correctamente, se realiza el experimento con una destilación con condensación directa por membrana. Es un procedimiento similar, pero con la diferencia de que se utiliza una membrana hidrófoba en lugar de la placa antes mencionada.

El diagrama de flujo de la instalación de contacto directo se puede ver en la figura A1.2.

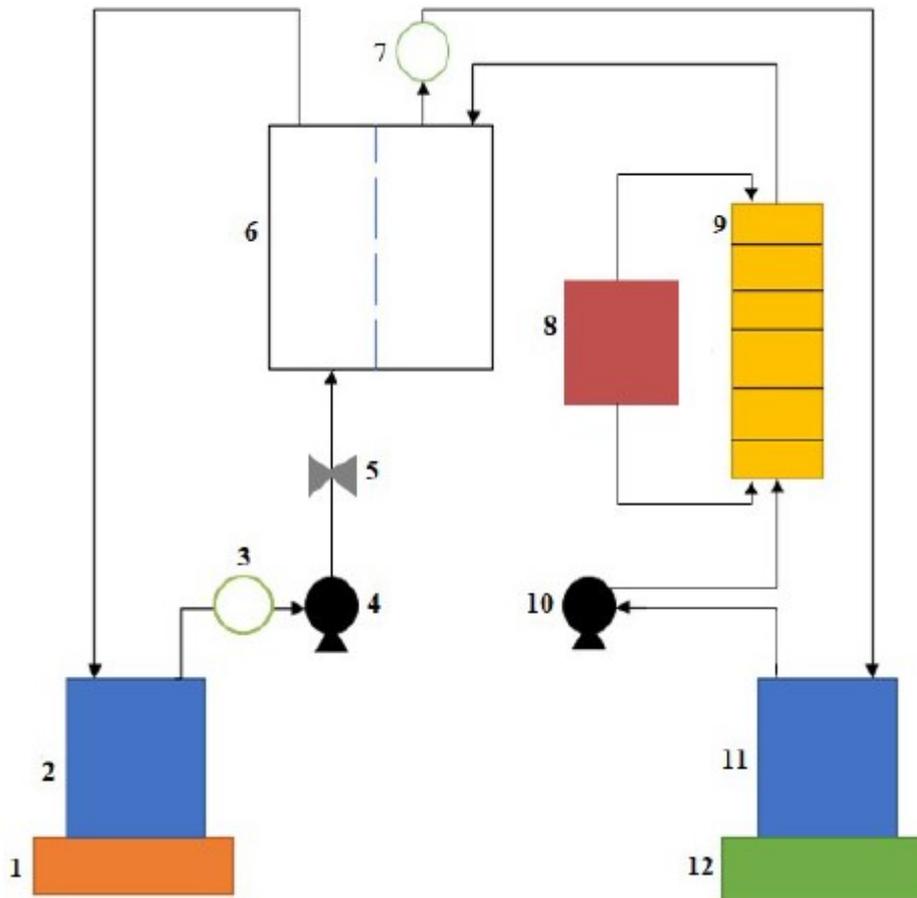


Figura A1.2. Diagrama de flujo en laboratorio.

Los equipos utilizados, que son parecidos a los utilizados para la placa y que se representan en la figura A1.2, son los siguientes:

1. Agitador y calefactor magnético: consta de una barra magnética de agitación que tiene un movimiento circular impulsado por otro imán ubicado debajo de la superficie y una placa que tiene un montaje de resistencias con la finalidad de dotar del calor necesario para calentar la mezcla de agua destilada con azul de metileno.
2. Depósito 1: contenedor donde se encuentra la mezcla de agua destilada con azul de metileno.
3. Termopar 1: sensor que se utiliza para medir la temperatura de la mezcla.
4. Bomba peristáltica 1: es un tipo de bomba hidráulica que bombea el líquido caliente para desplazarlo hacia la membrana, pasando antes por el termopar 1.
5. Válvula de seguridad: válvula que se abre en caso de que el incremento de presión ejercido por el líquido sea alto.
6. Módulo de membrana: es un módulo que cubre la membrana hidrófoba y recibe la mezcla en forma de vapor procedente del depósito 2, de forma que puede traspasar la membrana y mezclarse con el agua destilada.
7. Termopar 2: mide la temperatura de la mezcla de azul de metileno y agua destilada después de traspasar la membrana.
8. Equipo de agua fría: tiene una bomba que mete el agua fría en el primario del intercambiador.
9. Intercambiador de calor de placas: es un radiador que refrigera el agua destilada del depósito 2 para que esté fría de forma que no puede traspasar la membrana.
10. Bomba peristáltica 2: bombea el agua destilada procedente del depósito 2 para desplazarla hacia el intercambiador de calor de placas.
11. Depósito 2: contenedor donde se encuentra agua destilada.
12. Balanza: mide el caudal obtenido de la mezcla de azul de metileno y agua destilada fría.

En la figura A1.3 se muestra un esquema real de la instalación experimental y en la figura A1.4 se muestra el equipo de agua fría utilizado.



**Figura A1.3.** Esquema de la instalación experimental.



**Figura A1.4.** Equipo de agua fría a 8 °C de consigna.

La membrana utilizada para el experimento se fabrica en la empresa Merckmillipore. En la tabla A1.1 se encuentra una descripción detallada de la membrana.

**Tabla A1.1.** Descripción de la membrana Durapore [14].

<b>Descripción</b>	
Número de catálogo	GVHP09050
Nombre comercial	Durapore®
<b>Información del producto</b>	
Código del filtro	GVHP
Color del filtro	Blanco
Temperatura máxima	85 ° C
Tipo de filtro	Filtro de membrana
<b>Aplicaciones</b>	
Aplicación	Esterilización de aire, esterilización de gases, filtración de disolventes
<b>Información fisicoquímica</b>	
Índice de refracción	1,42
Tamaño de poro	0,22 µm
Caudal de aire	16 L/min.cm <sup>2</sup>
Punto de burbuja	≥ 1,24 bar
Extraíbles gravimétricos (%)	0,50%
Porosidad (%)	75%
Caudal de agua	> 1 mL/min.cm <sup>2</sup>
<b>Dimensiones</b>	
Superficie del filtro	Lisa
Grosor	125 µm
Diámetro del filtro	47, 90 mm

A continuación se explica el experimento realizado con la membrana Durapore:

Una mezcla de azul de metileno con agua destilada a más de 90 °C se convierte en vapor de forma que traspasa la membrana hidrófoba. Por la otra parte (circuito de refrigeración) se recoge agua destilada fría mediante una bomba peristáltica y circula hacia el intercambiador de calor para que se mantenga fría. Del intercambiador de calor llega a la membrana y recoge el vapor de la mezcla que la traspasa para finalmente obtener el producto producido. Con la bomba en funcionamiento se espera a que la temperatura de la mezcla alcance más de 100 °C y la temperatura del agua destilada fría 19 °C, luego se quita la bomba y la corriente de alimentación del agua destilada fría y se espera 30 minutos para ver la cantidad de producto que se consigue, mientras que la temperatura del agua destilada fría aumenta.

Finalmente, se vuelve a conectar la bomba peristáltica y la corriente y se espera a que la temperatura del agua destilada fría baje a 19 °C para repetir el proceso.

En general, la experimentación de la destilación con condensación directa por la membrana Durapore ha sido efectiva puesto que su hidrofobicidad ha permitido que solo pasara el vapor y se mezclara con el agua destilada fría.

## 2. Etapa previa

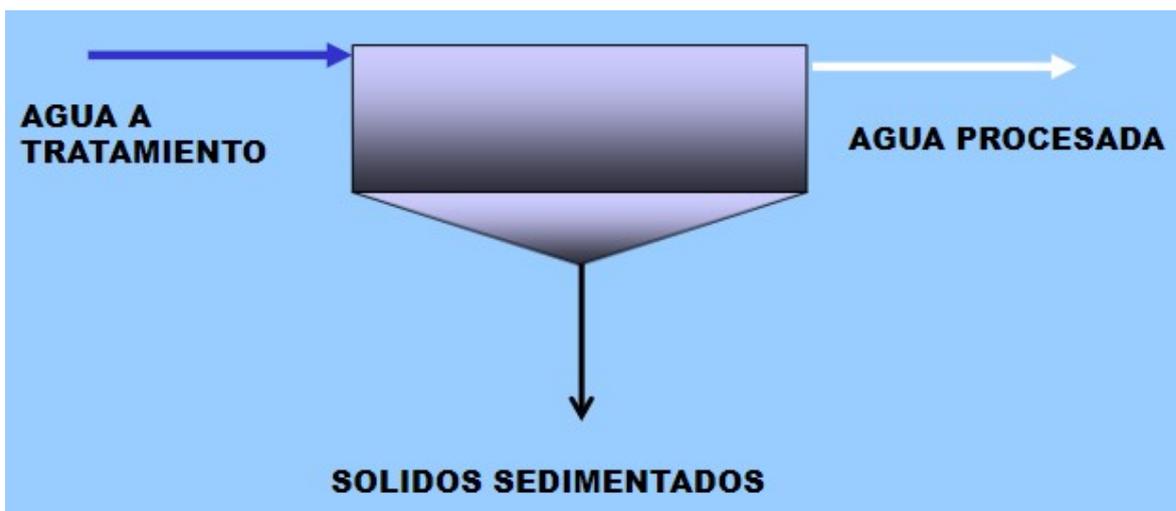
A continuación se detalla la etapa previa al proceso de destilación por membranas ya que de ella se obtiene el caudal resultante que circula por el sistema. Como se puede ver en el apartado 7.2 de la memoria, la etapa previa a la MD consiste en la sedimentación y eliminación de sólidos.

### 2.1. Etapa de sedimentación y eliminación de sólidos

El agua sobrante utilizada en el proceso cerámico va a una depuradora de sólidos para ser almacenada y tratada posteriormente durante la etapa de sedimentación y eliminación de sólidos.

La sedimentación consiste en un proceso de separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua, siendo una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales [13].

En la figura A2.1 se muestra el proceso de sedimentación de sólidos.



**Figura A2.1.** Proceso de sedimentación de sólidos [12].

En cerámica esta operación se emplea principalmente para la eliminación de materias primas y en la mayoría de los casos el objetivo principal es la obtención de un líquido clarificado.

Después de la sedimentación se eliminan los sólidos, quedando agua industrial que es el agua que se utiliza como alimento para el proceso de MD.

### 3. Cálculos

En el siguiente apartado se va a calcular el diámetro máximo y la longitud máxima de los tanques de forma que se pueda justificar su elección, así como la potencia de las bombas, del calentador y del equipo de enfriamiento.

#### 3.1. Cálculos de los tanques

En este apartado se van a calcular las dimensiones de los tanques necesarios en la instalación. Para la instalación se necesitan tres tanques, el primero es un tanque de agua caliente donde se deposita el agua industrial procedente de la etapa de sedimentación y eliminación de sólidos, el segundo es un tanque donde se depositan los residuos del proceso cuando ya no queda agua en el tanque de agua caliente y el tercero es un tanque de agua fría donde se encuentra el agua fría del circuito de refrigeración y donde también se recoge el agua destilada producida.

Como ya se ha explicado en la memoria, se han elegido dos modelos, el modelo 1 para el tanque de agua fría (Tanque 1) y para el tanque de agua caliente (Tanque 3), mientras que el modelo 2 se ha elegido para el tanque donde se depositan los residuos (Tanque 2), ya que el volumen es diferente para cada tanque. Para calcular las dimensiones se considera que el tanque es cilíndrico como se puede ver en la figura A3.1, considerando que el diámetro y la altura coinciden ( $d = z$ ) y conociendo el volumen, se pueden calcular las dimensiones del tanque mediante la ecuación A3.1.

$$V_{cilindro} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot z \quad (\text{Ecuación A3.1})$$

Siendo:

- $V_{cilindro}$ : Volumen del cilindro ( $m^3$ )
- $d$ : Diámetro ( $m$ )
- $z$ : Altura ( $m$ )

Los datos conocidos se muestran en la tabla A3.1.

**Tabla A3.1.** Datos conocidos.

$$V_{1,3} = 2800 \text{ L}$$

$$V_2 = 70 \text{ L}$$

### Modelo 1

De la ecuación A3.1 se obtienen los resultados que se muestran a continuación:

$$V_{1,3} = 2800 \text{ L} = 2,8 \text{ m}^3$$

$$2,8 = \frac{\pi}{4} \cdot d^3$$

$$d^3 = \frac{2,8}{\frac{\pi}{4}} = 3,56$$

$$d = \sqrt[3]{3,56} = 1,53 \text{ m}$$

Por lo tanto, las dimensiones correspondientes al modelo 1 son:

$$d_{1,3} = 1,53 \text{ m}, z_{1,3} = 1,53 \text{ m}$$

### Modelo 2

Los resultados calculados mediante la ecuación A3.1 se muestran a continuación:

$$V_2 = 70 \text{ L} = 0,07 \text{ m}^3$$

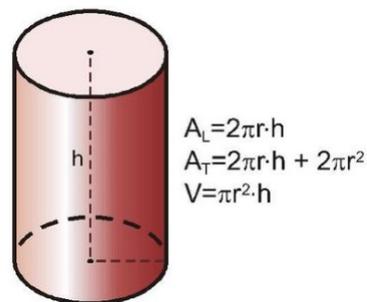
$$0,07 = \frac{\pi}{4} \cdot d^3$$

$$d^3 = \frac{0,07}{\frac{\pi}{4}} = 0,089$$

$$d = \sqrt[3]{0,089} = 0,45 \text{ m}$$

Por lo tanto, las dimensiones correspondientes al modelo 2 son:

$$d_2 = 0,45 \text{ m}, z_2 = 0,45$$



**Figura A3.1.** Volumen del cilindro [12].

Las dimensiones del modelo 1 son 1,61 m de diámetro y 1,97 m de altura, como 1,53 m es menor a sus dimensiones se puede considerar un modelo válido. Por otra parte, las dimensiones del modelo 2 son 0,63 m de diámetro y 1,02 m de altura, como 0,45 m es menor a sus dimensiones también se puede considerar un modelo válido.

### 3.2. Cálculos de las bombas peristálticas

Para la circulación del agua es necesario el uso de bombas tanto para el tramo caliente como para el tramo frío. Las bombas a utilizar son peristálticas puesto que el caudal que se utiliza es pequeño, por lo tanto es insuficiente el uso de bombas centrífugas.

Para calcular la potencia es necesario realizar un balance de energía mecánica (BEM) desde la salida del agua ( $z_1$ ) hasta la entrada al tanque ( $z_2$ ). El BEM se realiza a partir de la longitud de las tuberías que se encuentra en el documento “Planos” y que se muestra en la figura A3.2 para el circuito caliente y en la figura A3.4 para el circuito frío.

#### Circuito caliente

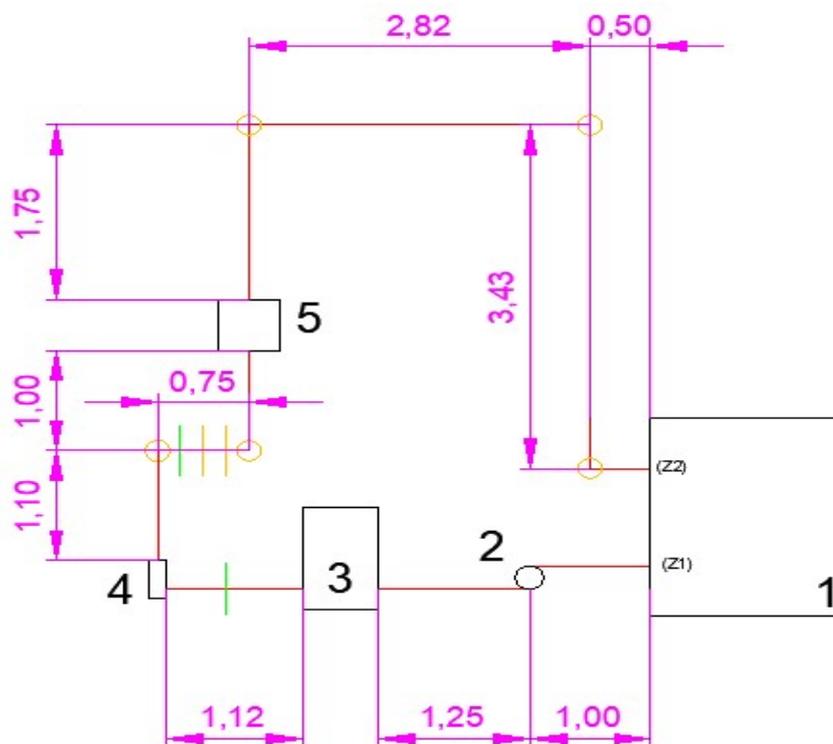


Figura A3.2. Diagrama de flujo del circuito caliente.

El circuito caliente mostrado en la figura A3.2 está formado por los elementos descritos en la tabla A3.2 que se muestra a continuación.

**Tabla A3.2.** Elementos del circuito caliente.

1. Tanque de agua caliente	5. Módulo de membrana
2. Bomba peristáltica	Conector en "T" 
3. Tanque de residuos	Válvula de seguridad 
4. Intercambiador de calor	Codos 

Los datos conocidos se muestran en la tabla A3.3.

**Tabla A3.3.** Datos conocidos.

$P_2 = 101300 \text{ N/m}^2$	$\mu (80 \text{ °C}) = 3,55 \cdot 10^{-4} \text{ Kg/m}\cdot\text{s}$
$z_2 = 0,97 \text{ m}$	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
$z_1 = 0 \text{ m}$	$Q_L = 120 \text{ L/h} = 3,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
$D = 1/2" = 0,0127 \text{ m}$	$\varepsilon_{\text{acero galvanizado}} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$
$\rho (80 \text{ °C}) = 971,60 \text{ Kg/m}^3$	$\Delta P_{\text{Intercambiador}} = 1,95 \text{ mca} = 19122,44 \text{ N/m}^2$
$\Delta P_{\text{Módulo}} = 14000 \text{ N/m}^2$	

$P_1$  se calcula a partir de la ecuación A3.2.

$$P_1 = P_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 \quad (\text{Ecuación A3.2})$$

Siendo:

- $P_1$ : Presión en el punto 1 ( $\text{N/m}^2$ )
- $P_2$ : Presión en el punto 2 ( $\text{N/m}^2$ )
- $\rho$ : Densidad ( $\text{Kg/m}^3$ )
- $g$ : Fuerza de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )
- $z_2$ : Altura en el punto 2 (m)

El resultado obtenido se muestra a continuación.

$$P_1 = 101300 + 971,60 \cdot 9,81 \cdot 0,97 = 110545,45 \text{ N/m}^2$$

Con el caudal se puede obtener la velocidad mediante la ecuación A3.3.

$$v = \frac{4 \cdot Q_L}{\pi \cdot D^2} \quad (\text{Ecuación A3.3})$$

Siendo:

- $v$ : Velocidad (m/s)
- $Q_L$ : Caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/s)
- $D$ : Diámetro (m)

El resultado obtenido se muestra a continuación.

$$v = \frac{4 \cdot 3,33 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot 0,0127^2} = 0,263 \text{ m/s}$$

Hay que tener en cuenta que la velocidad no varía en todo el circuito, por lo que  $v_1 = v_2$ .

A continuación se realiza el cálculo de Reynolds a partir de la ecuación A3.4 para saber en qué régimen se encuentra el agua.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (\text{Ecuación A3.4})$$

Siendo:

- $Re$ : N° de Reynolds
- $\rho$ : Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)
- $v$ : Velocidad (m/s)
- $D$ : Diámetro (m)
- $\mu$ : Viscosidad (Kg/m·s)

El resultado obtenido se muestra a continuación.

$$Re = \frac{971,60 \cdot 0,263 \cdot 0,0127}{3,55 \cdot 10^{-4}} = 9141,52$$

El resultado de  $Re$  obtenido es menor a 10000 por lo tanto el régimen de circulación es de transición, puesto que la turbulencia no está completamente desarrollada.

A continuación, para calcular el factor de frotamiento ( $f$ ) se utiliza el diagrama de Moody como se puede ver en la gráfica A6.1. Para utilizarlo es necesario conocer la ecuación A3.5 y Reynolds:

$$\frac{\varepsilon}{D} \quad (\text{Ecuación A3.5})$$

Siendo:

- $\varepsilon$ : Rugosidad (m)
- $D$ : Diámetro (m)

El resultado obtenido se muestra a continuación.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{0,0127} = 0,01181$$

Por lo tanto, con el valor de  $Re$  y de  $\frac{\varepsilon}{D}$  y mirando el diagrama de Moody, se obtiene el siguiente resultado.

$$4f = 0,045$$

$$f = 0,01125$$

El valor de  $f$  es necesario para el cálculo de la pérdida de energía mecánica en tramos rectos ( $\Delta Fr$ ) para régimen turbulento, que se obtiene a partir de la ecuación A3.6.

$$\Delta Fr = 2 \cdot f \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D} \quad (\text{Ecuación A3.6})$$

Siendo:

- $\Delta Fr$ : Pérdida de energía en tramos rectos (J/Kg)
- $f$ : Factor de frotamiento
- $v$ : Velocidad (m/s)
- $L$ : Longitud de las tuberías (m)
- $D$ : Diámetro (m)

El resultado se muestra a continuación.

$$\Delta Fr = 2 \cdot 0,01125 \cdot 0,263^2 \cdot \frac{(1+1,25+1,12+1,10+1+0,75+1,75+2,82+0,5+3,43)}{0,0127}$$

$$\Delta Fr = 1,803 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 1,803 \text{ J/Kg}$$

El cálculo de la pérdida de energía mecánica en accidentes ( $\Delta Fa$ ) se obtiene a partir de la ecuación A3.7.

$$\Delta Fa = k \cdot \frac{v^2}{2} \quad (\text{Ecuación A3.7})$$

Siendo:

- $\Delta Fa$ : Pérdida de energía en accidentes (J/Kg)
- $k$ : Constante característica de los accidentes
- $v$ : Velocidad (m/s)

Los valores de  $k$  se incluyen en la tabla A6.1 del presente documento, además, en la tabla A3.4 se muestra el valor de  $k$  para los accidentes que se encuentran en el circuito.

**Tabla A3.4.** Accidentes en el circuito.

Accidentes	Número de accidentes	k
Codos	5	0,75
Unión "T"	2	1
Válvula de seguridad	2	2,3
Reductores (manómetro y caudalímetro)	2	0,04
Entrada al tanque	1	0,5
Salida del tanque	1	1

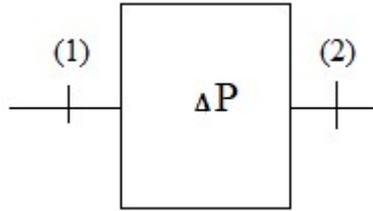
Con los datos de la tabla A3.4 y mediante la ecuación A3.7 se obtiene el siguiente resultado.

$$\Delta Fa = (5 \cdot 0,75 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 2,3 + 2 \cdot 0,04 + 0,5 + 1) \cdot \frac{(0,263)^2}{2} = 0,412 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 0,412 \text{ J/Kg}$$

Además, también hay  $\Delta F$  en el intercambiador de calor y en el módulo de membrana, como se puede ver a continuación.

- $\Delta F$  Intercambiador de calor:

Para obtener  $\Delta F$  es necesario hacer un BEM en el intercambiador, desde (1) a (2) como se muestra en la figura A3.3.



**Figura A3.3.** BEM en el intercambiador de calor.

El BEM se realiza a partir de la ecuación A3.8 que se muestra a continuación.

$$h_s = (z_2 - z_1) + \left( \frac{v_2^2}{2 \cdot g \cdot \alpha_2} - \frac{v_1^2}{2 \cdot g \cdot \alpha_1} \right) + \frac{(P_2 - P_1)}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{\hat{W}}{g} = h_B \quad (\text{Ecuación A3.8})$$

Siendo:

- $h_s$ : Carga del sistema (m)
- $z_{1,2}$ : Altura en los puntos 1 y 2 respectivamente (m)
- $v_{1,2}$ : Velocidad en los puntos 1 y 2 respectivamente (m/s)
- $g$ : Fuerza de la gravedad ( $m/s^2$ )
- $\alpha$ : Constante igual a 1 para régimen turbulento
- $P_{1,2}$ : Presión en los puntos 1 y 2 respectivamente ( $N/m^2$ )
- $\rho$ : Densidad ( $Kg/m^3$ )
- $\Delta F$ : Pérdida de energía mecánica (J/Kg)
- $\hat{W}$ : Potencia teórica (J/Kg)
- $h_B$ : Carga de la bomba (m)

De la ecuación A3.8 se deduce lo siguiente:

$$(z_2 - z_1) = 0$$

$$v_1 = v_2$$

$$\hat{W} = 0$$

Por lo tanto la ecuación A3.8 queda de la siguiente forma:

$$\frac{(P_2 - P_1)}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g} = 0$$

$$\Delta F = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho}$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 < 0$$

$$P_2 < P_1$$

Para obtener  $\Delta F$  en J/Kg hay que dividir  $\Delta P$  Intercambiador con  $\rho$ , de forma que se obtiene el siguiente resultado.

$$\Delta F_{Intercambiador} = \frac{19122,44}{971,60} = 19,68 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 19,68 \text{ J/Kg}$$

▪  $\Delta F$  Módulo de membrana:

Al igual que en el intercambiador, para obtener  $\Delta F$  en J/Kg hay que dividir  $\Delta P$  Módulo con  $\rho$ , de esta forma se obtiene el siguiente resultado.

$$\Delta F_{Módulo} = \frac{14000}{971,60} = 14,41 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 14,41 \text{ J/Kg}$$

$\Delta F_{Total}$  se obtiene sumando las  $\Delta F$  de los tramos rectos, accidentes, intercambiador y módulo de membrana como se muestra a continuación.

$$\Delta F_{Total} = 1,803 + 0,412 + 19,68 + 14,41 = 36,305 \text{ J/Kg}$$

Una vez obtenido  $\Delta F_{Total}$  ya se puede realizar el BEM del sistema a partir de la ecuación A3.8 y, teniendo en cuenta que  $v_1$  es igual a  $v_2$ , se obtiene la potencia teórica ( $\hat{W}$ ).

$$0,97 + \frac{(101300 - 110545,45)}{971,60 \cdot 9,81} + \frac{36,305}{9,81} = \frac{\hat{W}}{9,81}$$

$$\hat{W} = 36,305 \text{ J/Kg}$$

Una vez obtenida  $\hat{W}$  se puede calcular la potencia real ( $W_r$ ) a partir de la ecuación A3.9 que se muestra a continuación.

$$W_r = \frac{Q_L \cdot \hat{W} \cdot \rho}{\eta} \quad (\text{Ecuación A3.9})$$

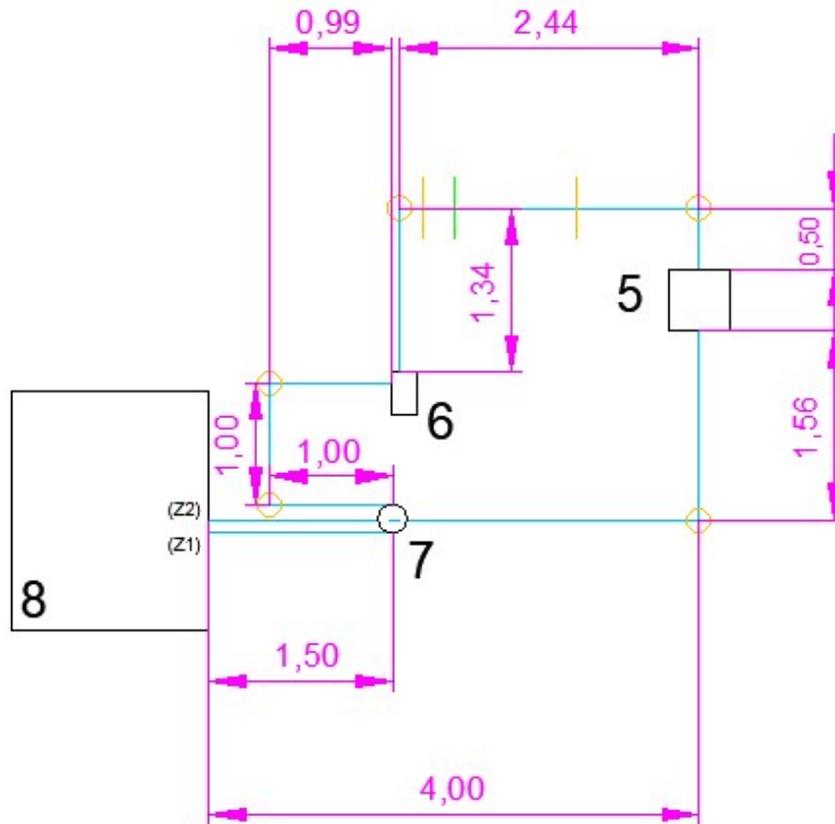
Siendo:

- $W_r$ : Potencia real (J/s)
- $Q_L$ : Caudal volumétrico ( $m^3/s$ )
- $\hat{W}$ : Potencia teórica (J/Kg)
- $\rho$ : Densidad ( $Kg/m^3$ )
- $\eta$ : Rendimiento (%)

Dado que el catálogo de la bomba peristáltica no muestra datos del rendimiento, se ha elegido un rendimiento del 50% ya que el caudal es pequeño. De esta forma la  $W_r$  obtenida se muestra a continuación.

$$W_r = \frac{3,33 \cdot 10^{-5} \cdot 36,305 \cdot 971,60}{0,5} = 2,35 \text{ J/s} = 2,35 \text{ W} = 2,35 \cdot 10^{-3} \text{ kW}$$

**Circuito frío**



**Figura A3.4.** Diagrama de flujo del circuito frío.

El circuito frío mostrado en la figura A3.4 está formado por los elementos descritos en la tabla A3.5 que se muestra a continuación.

**Tabla A3.5.** Elementos del circuito frío.

5. Módulo de membrana	Conector en "T"	—
6. Equipo de enfriamiento de agua	Válvula de seguridad	—
7. Bomba peristáltica	Codos	○
8. Tanque de agua fría		

Los datos conocidos se muestran en la tabla A3.6. Hay que tener en cuenta que la velocidad y  $\frac{\epsilon}{D}$  es igual que en el circuito caliente pero la viscosidad y la densidad son diferentes, por lo que  $Re$  y  $f$  son distintos.

**Tabla A3.6.** Datos conocidos.

$P_2 = 101300 \text{ N/m}^2$	$\mu (25 \text{ }^\circ\text{C}) = 8,91 \cdot 10^{-4} \approx 1 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m}\cdot\text{s}$
$z_2 = 0,1 \text{ m}$	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
$z_1 = 0 \text{ m}$	$Q_L = 120 \text{ L/h} = 3,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
$D = 1/2'' = 0,0127 \text{ m}$	$\epsilon_{\text{acero galvanizado}} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$
$\rho (25 \text{ }^\circ\text{C}) = 997 \text{ Kg/m}^3$	$v_1 = v_2 = 0,263 \text{ m/s}$
$\Delta P_{\text{Equipo de enfriamiento}} = 14500 \text{ N/m}^2$	$\Delta P_{\text{Módulo de membrana}} = 14000 \text{ N/m}^2$

$P_1$  se calcula a partir de la ecuación A3.2, de esta forma se obtiene el siguiente resultado.

$$P_1 = 101300 + 997 \cdot 9,81 \cdot 0,1 = 102278,06 \text{ N/m}^2$$

Re se calcula a partir de la ecuación A3.4. El resultado obtenido se muestra a continuación.

$$Re = \frac{997 \cdot 0,263 \cdot 0,0127}{1 \cdot 10^{-3}} = 3330$$

El resultado de Re obtenido es mayor a 2100 por lo tanto se pueden dar fenómenos metaestables de aparición de la turbulencia.

Con Re y con  $\frac{\epsilon}{D}$  se obtiene el valor de f mediante el diagrama de Moody. El resultado obtenido es el siguiente.

$$4f = 0,054$$

$$f = 0,0135$$

A continuación se calcula  $\Delta Fr$  a partir de la ecuación A3.6.

$$\Delta Fr = 2 \cdot 0,0135 \cdot 0,263^2 \cdot \frac{(1,5+1+1+0,99+1,34+2,44+0,5+1,56+4)}{0,0127} = 2,107 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 2,107 \text{ J/Kg}$$

El cálculo de  $\Delta Fa$  se obtiene a partir de la ecuación A3.7. A continuación, en la tabla A3.7, se muestran el número de accidentes y su correspondiente k.

**Tabla A3.7.** Accidentes en el circuito.

Accidentes	Número de accidentes	k
Codos	5	0,75
Unión "T"	2	1
Válvula de seguridad	1	2,3
Reductores (manómetro y caudalímetro)	2	0,04
Entrada al tanque	1	0,5
Salida del tanque	1	1

El resultado obtenido se muestra a continuación.

$$\Delta F_a = (5 \cdot 0,75 + 2 \cdot 1 + 2,3 + 2 \cdot 0,04 + 0,5 + 1) \cdot \frac{(0,263)^2}{2} = 0,33 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 0,33 \text{ J/Kg}$$

Además, también hay  $\Delta F$  en el equipo de enfriamiento de agua y en el módulo de membrana, como se puede ver a continuación.

- $\Delta F$  equipo de enfriamiento de agua:

Al igual que en el intercambiador y en el módulo de membrana, para obtener  $\Delta F$  en J/Kg hay que dividir  $\Delta P_{\text{Equipo de enfriamiento}}$  con  $\rho$ . El resultado obtenido el siguiente.

$$\Delta F_{\text{Equipo de agua fría}} = \frac{14500}{997} = 14,54 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 14,54 \text{ J/Kg}$$

- $\Delta F$  del módulo de membrana es igual que en el circuito caliente ya que es el mismo módulo.

$$\Delta F_{\text{Módulo}} = \frac{14000}{997} = 14,04 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 14,04 \text{ J/Kg}$$

Por lo tanto  $\Delta F_{\text{Total}}$  queda.

$$\Delta F_{\text{Total}} = 2,107 + 0,33 + 14,54 + 14,04 = 31,017 \text{ J/Kg}$$

Una vez obtenido  $\Delta F_{\text{Total}}$  ya se puede realizar el BEM del sistema a partir de la ecuación A3.8 y teniendo en cuenta que  $v_1$  es igual a  $v_2$ , se obtiene  $\hat{W}$ .

$$0,1 + \frac{(101300 - 102278,06)}{997 \cdot 9,81} + \frac{31,017}{9,81} = \frac{\hat{W}}{9,81}$$

$$\hat{W} = 31,017 \text{ J/Kg}$$

Una vez obtenida  $\hat{W}$  se puede calcular  $W_r$  a partir de la ecuación A3.9. Como se ha dicho durante el cálculo de la potencia en el circuito caliente, dado que el catálogo de la bomba peristáltica no muestra datos del rendimiento, se ha elegido un rendimiento del 50% ya que el caudal es pequeño. De esta forma el resultado de  $W_r$  se muestra a continuación.

$$W_r = \frac{3,33 \cdot 10^{-5} \cdot 31,017 \cdot 997}{0,5} = 2,06 \text{ J/s} = 2,06 \text{ W} = 2,06 \cdot 10^{-3} \text{ kW}$$

### 3.3. Cálculos del calentador y equipo de enfriamiento

#### Calentador

Se calcula la energía para compensar el caudal a 20 °C, calentando hasta 75-80 °C, y se multiplica por dos para tener en cuenta la eficiencia del calentador y la pérdida de energía en el sistema.

La energía se calcula a partir de la suma del calor de cambio de temperatura (calor sensible) y el calor de cambio de fase (calor latente) que se emplea para compensar la energía de vaporización. Las ecuaciones a utilizar se muestran a continuación.

$$Q = m \cdot C_P \cdot \Delta T + m \cdot L_{V80} \quad (\text{Ecuación A3.10})$$

Siendo:

- $Q$ : Calor (J/s)
- $m$ : Caudal másico (g/s)
- $C_P$ : Calor específico del agua (J/g· °C)
- $\Delta T$ : Incremento de temperatura (°C)
- $L_{V80}$ : Calor latente de vaporización a 80 °C (J/g)

$$m = Q_L \cdot \rho \quad (\text{Ecuación A3.11})$$

Siendo:

- $Q_L$ : Caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/s)
- $\rho$ : Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)

$$L_{V80} = L_{V100} + C_P \cdot (100 - 80) \quad (\text{Ecuación A3.12})$$

Siendo:

- $L_{V100}$ : Calor latente de vaporización a 100 °C (J/g)
- $C_P$ : Calor específico del agua (J/g· °C)

Los datos conocidos se muestran en la tabla A3.6.

**Tabla A3.7.** Datos conocidos.

$Q_L = 50 \text{ L/h} = 1,38 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$	$L_{V100} = 2260 \text{ J/g}$
$C_{P \text{ AGUA}} = 4,186 \text{ J/g} \cdot \text{°C}$	$\rho (80 \text{ °C}) = 971,60 \text{ Kg/m}^3$
$\Delta T = 80 - 20 = 60 \text{ °C}$	

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

$$m = 1,38 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 971,60 \text{ Kg/m}^3 = 0,0135 \text{ Kg/s} = 13,5 \text{ g/s}$$

$$L_{V80} = 2260 \text{ J/g} + 4,186 \text{ J/g} \cdot \text{°C} \cdot (100 - 80) \text{ °C} = 2343,72 \text{ J/g}$$

$$Q = 13,5 \text{ g/s} \cdot 4,186 \text{ J/g} \cdot \text{°C} \cdot 60 \text{ °C} + 13,5 \text{ g/s} \cdot 2343,72 \text{ J/g}$$

$$Q = 35030,88 \text{ J/s} = 35030,88 \text{ W} = 35,03 \text{ kW}$$

$$Q = 35,03 \cdot 2 = 70,06 \text{ kW}$$

### Equipo de enfriamiento de agua

Para calcular la energía en el equipo de enfriamiento se utilizan las ecuaciones A3.10 y A.11 de forma que se enfríe el agua de 80 a 25 °C ( $T_{\text{enfriamiento}}$  en MD) y se compense la energía de condensación y como en el caso del calentador, se multiplica por dos para tener en cuenta la eficiencia del equipo de enfriamiento y la pérdida de energía en el sistema.

Los datos conocidos, algunos de los cuales se han obtenido en los cálculos del calentador, se muestran en la tabla A3.7.

**Tabla A3.8.** Datos conocidos.

$\rho (25 \text{ °C}) = 997 \text{ Kg/m}^3$	$\Delta T = 80 - 25 = 55 \text{ °C}$
$C_{P \text{ AGUA}} = 4,186 \text{ J/g} \cdot \text{°C}$	$L_{V80} = 2343,72 \text{ J/g}$
$Q_L = 50 \text{ L/h} = 1,38 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$	

Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

$$m = 1,38 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 997 \text{ Kg/m}^3 = 0,0138 \text{ Kg/s} = 13,8 \text{ g/s}$$

$$Q = 13,8 \text{ g/s} \cdot 4,186 \text{ J/g} \cdot \text{°C} \cdot 55 \text{ °C} + 13,8 \text{ g/s} \cdot 2343,72 \text{ J/g}$$

$$Q = 35520 \text{ J/s} = 35520 \text{ W} = 35,52 \text{ kW}$$

$$Q = 35,52 \cdot 2 = 71,04 \text{ kW}$$

## 4. Catálogos y fichas técnicas

En el siguiente anexo se muestran los catálogos y fichas técnicas de los equipos, instrumentación, tanques, conducciones (tuberías y accesorios) y la plataforma que componen la planta piloto de destilación por membranas para el tratamiento de aguas residuales, de forma que se pueda justificar su elección antes mencionada en el apartado 7.4 de la memoria.

### 4.1. Módulo de membrana tubular de fibra hueca

#### ATRIBUTOS DE DESEMPEÑO

- Alta tasa de flux
- Vida útil larga
- Lavable con retrolavado/"backpulse"
- Tamaños múltiples de poros
- Sustrato de PVDF o PE disponibles
- Excelente resistencia térmica y química
- Múltiples configuraciones de tubo
- Unión de membrana y sustrato (PVDF/PVDF) patentada



#### NOTAS

Consulte con la fábrica para la disponibilidad de productos específicos.

#### Guía de pedido de producto

Matriz de número de parte del módulo de flujo cruzado tubular

El artículo debe incluir una elección de cada fila de la columna central. Ejemplo: MME3S01637VP

Tipo	MS MM	Módulo/Plástico poroso sinterizado Módulo/Membrana porosa
Polímero	E V	Polietileno Fluoruro de polivinilideno
ID del tubo	2 3	0,50 pulgada (12,7 mm) 1,0 pulgada (25,4 mm)
Tamaño poro (micrones)	002 005 S01 FIN COR	0,02 0,05 0,1 Fino Áspero
Longitud	1 6	1 pie (305 mm) 6 pies (1829 mm)
Nº de tubos en el módulo	01 04 05 10 13 15 37 61	1 4 5 10 13 15 37 61
Polímero de membrana	O V	Ninguno Fluoruro de polivinilideno
Carcasa	P C	PVC CPVC

- El módulo tipo MS solo está disponible en configuraciones de tamaño de poro FIN y COR, con polímero tipo E.
- Tipo de módulo MM solo está disponible en configuraciones de tamaño de poro S01, 005 y 002.
- Los módulos de 15, 37 y 61 tubos solo están disponibles con tubos de 0,50 pulgada

### TECNOLOGÍA DE MEMBRANA ESTRUCTURAL

- Sin delaminación de membrana
- Resistencia uniforme a los químicos y a la temperatura
- Membrana fusionada al sustrato

### VENTAJAS DEL SISTEMA PRESURIZADO

- Mejor tasa de flux
- Tamaño reducido del sistema
- Mejor eficiencia del sistema "backpulse"

### COMPUESTO DE MEMBRANA UNIFORME Y DURA

- Los rasguños superficiales no destruirán la integridad estructural general



### TECNOLOGÍA DEL MATERIAL

Cada módulo de membrana tubular de POREX puede contener múltiples tubos. Estos tubos con membrana estructural están hechos de un sustrato poroso sinterizado de PE o PVDF que crea una compleja red de poros de células abiertas y omnidireccionales. Estos poros de sustrato se llenan luego con la membrana, lo que da a nuestros tubos una combinación única de capacidad de filtrado y fuerza estructural.

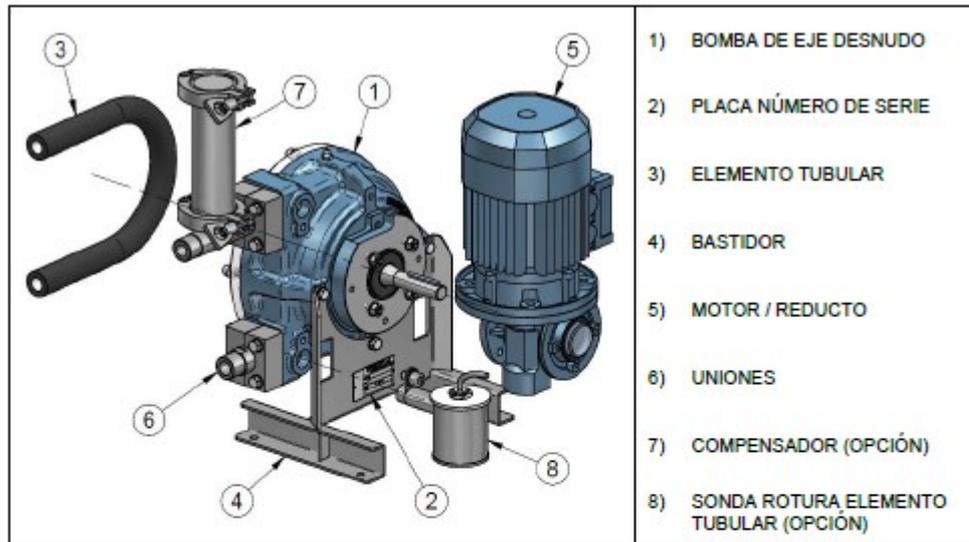
### ESPECIFICACIONES DE MATERIAL

Tubo de sustrato	Fluoruro de polivinilideno, polietileno
Membrana	Fluoruro de polivinilideno
Tamaño de poro ( $\mu\text{m}$ ) de membrana nominal	0,1, 0,05, 0,02 (tipo MM)
Tamaño de poro ( $\mu\text{m}$ ) de tubo sinterizado nominal	20, 100 (tipo MS)
Presión diferencial máxima (PSI)	60 (tubos de 1 pulgada), 120 (tubos de ½ pulgada)
Materiales de la carcasa	PVC, CPVC
Conexiones de la carcasa (10 tubos de 1 pulgada), (13 tubos de 1 pulgada), (37 tubos de ½ pulgada)	Longitud: 72 pulgadas Diámetro: 6 pulgadas Sc40 Conexiones finales: 6 pulgadas Nom. Muesca "Victaulic" de tamaño de tubería Puertos de permeado: 2½ pulgadas Nom. Muesca "Victaulic" de tamaño de tubería Puerto de muestra: conector NPT de ¼ de pulgada
Conexiones de la carcasa (4 tubos de 1 pulgada), (5 tubos de 1 pulgada), (15 tubos de ½ pulgada)	Longitud: 72 pulgadas Diámetro: 4 pulgadas Sc40 Conexiones finales: 4 pulgadas Nom. Muesca "Victaulic" de tamaño de tubería Puertos de permeado: diámetro externo de 1,5 pulgadas Stet Puerto de muestra: conector NPT de ¼ de pulgada
Conexiones de la carcasa (61 tubos de ½ pulgada)	Longitud: 72 pulgadas Diámetro: 8 pulgadas Sc40 Conexiones finales: 8 pulgadas Nom. Muesca "Victaulic" de tamaño de tubería Puertos de permeado: 2½ pulgadas Nom. Muesca "Victaulic" de tamaño de tubería Puerto de muestra: conector NPT de ¼ de pulgada

## 4.2. Bomba peristáltica

### D DESCRIPCIÓN GENERAL

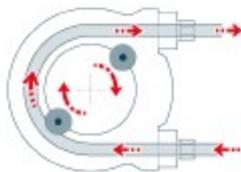
La bomba peristáltica puede estar compuesta por los siguientes elementos (imagen indicativa):



### D.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

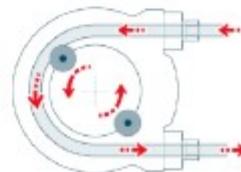
En la bomba peristáltica, los rodillos aplastan el elemento tubular de manera progresiva; la alternancia entre la compresión y la liberación del tubo genera un flujo continuo de fluido en aspiración (después del rodillo) y un flujo en envío (antes del rodillo).

El funcionamiento en seco (bomba vacía) no provoca daños.

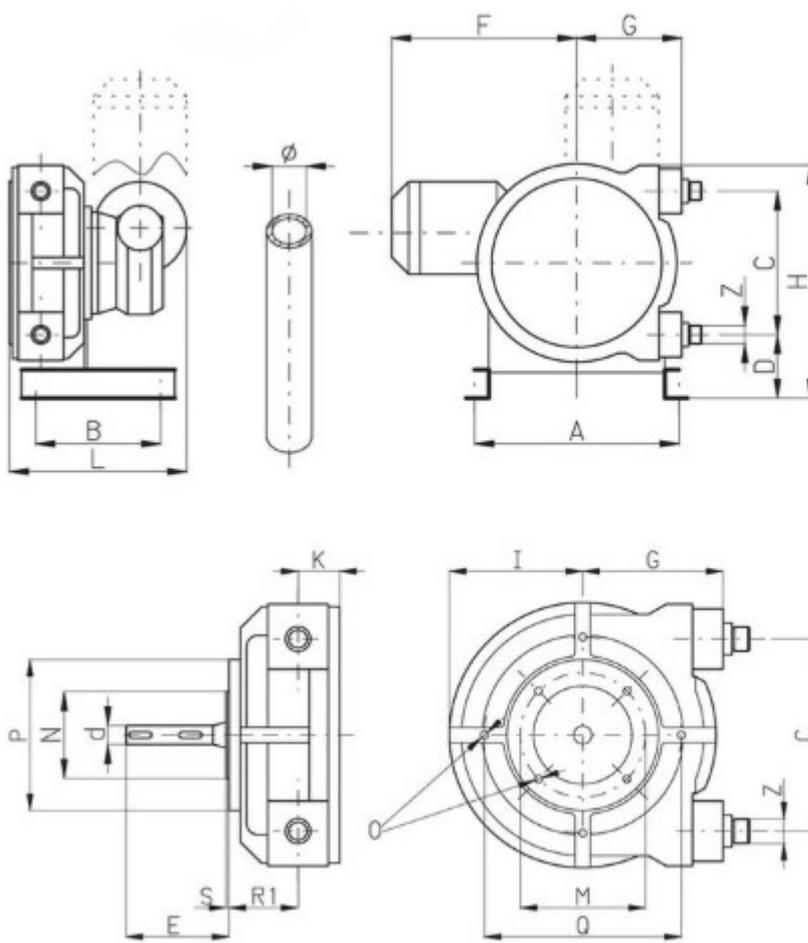


El funcionamiento es reversible

El caudal es proporcional a las revoluciones del rotor



## Dimensiones



$\varnothing$  mm: 16  
 Z UNI338: 3/4" BSP  
 L/RPM: 0,093  
 MÁX. BAR: 8  
 A mm: 230  
 B: 160  
 C: 170  
 D: 110  
 F: 290  
 G: 140  
 H: 315  
 L: 242

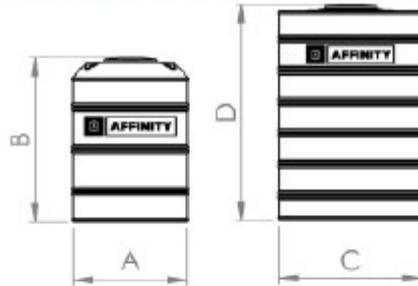
Z UNI338: 3/4" BSP  
 E: 84  
 dj6: 18  
 M: 87  
 N f7: 60  
 P: 140  
 O: M8  
 I: 120  
 R1: 83  
 Q: 180  
 S: 3  
 K: 41

### 4.3. Tanques

Manual de instalación Línea AFFINITY CLASSIC – HOME – ALTO

**AFFINITY CLASSIC/HOME**

Modelo clásico, caracterizado por su fondo plano de alta resistencia, no requiere base adicional, apto para montar sobre losa plana o perfiles aislados.



MOD.	COD.	A [cm]	B [cm]	C [cm]	D [cm]
60	2-006			45	53
300	2-03			63	102
500	2-05	71	135		
500	2-051	97	79		
500 Home	9-051	97	79		
750	2-075	97	115		
1000	2-10	97	141		
1000 Home	9-10		141		
1500	2-15		122		127
2000	2-20		122		187
2000	2-21		142		127
2500	2-25		142		167
3000	2-30		142		198
4000	2-40		161		197
5000	2-50		161		247
6000	2-60		161		306
7000	2-70		161		350
10000	2-100		195		340

## 4.4. Intercambiador de calor de placas



### Uranus + modelo básico intercambiador de calor por placas Zodiac

El excelente Uranus intercambiador de calor con placa premontado de titanio o placas básico de titanio de la marca Zodiac. Este es el intercambiador de calor mas modular de la gama de Zodiac, compatible con todos los tipos de sistemas de calefacción de los hogares. El intercambiador de calor Uranus está disponible en dos modelos, escueto y pre-ensamblado y se puede adaptar a todo tipo de tipos de instalación: Uranus + con placas de titanio preinstalados o Urano con placas de titanio sueltos. Instalar el intercambiador de calor de la piscina Uranus en el compartimiento de servicio cerca de su caldera, donde se puede encontrar la salida de la unidad de filtración. El intercambiador de calor Uranus le garantiza agua caliente durante todo el año. Gracias a sus placas de titanio que cubren la unidad se le da la dureza sin igual. Un producto fantástico!

#### EQUIPAMIENTOS URANUS PLUS (UP)

- Equipo completamente montado y conectado
- Intercambiador de placas de TITANIO de alto rendimiento
- PRIMARIO con selector regulable de 2 vías 1/4 vuelta.- 1 anti-retorno - en stand-by rosca macho Ø26/34 con boquillas para soldar Ø20/22
- SECUNDARIO - PVC Ø50
- Termostato con display LCD
- Interruptor de caudal
- Cable monofásico 230 V con enchufe
- Tapón de desagüe

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Potencia con primario a 90 °C (kW)	35	70	120	240
Potencia con primario a 60 °C (kW)	20	40	65	130
Potencia con primario a 45 °C (kW)	13	25	31	57
Presión máxima	Servicio: 2 bar			
Temperatura máx. admisible	90 °C	90 °C	90 °C	90 °C
Alimentación eléctrica	230 V / 1 / 50 Hz			

#### CONEXIONES

PRIMARIO calefacción	Ø26/34	Ø26/34	Ø32/42	Ø32/42
SECUNDARIO piscina	PVC Ø50	PVC Ø50	PVC Ø50	PVC Ø50

#### CONEXIONES

PRIMARIO calefacción	Ø26/34	Ø26/34	Ø32/42	Ø32/42
SECUNDARIO piscina	PVC Ø50	PVC Ø50	PVC Ø50	PVC Ø50

#### CAUDAL (m³/h)

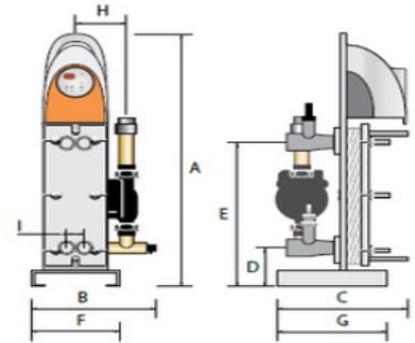
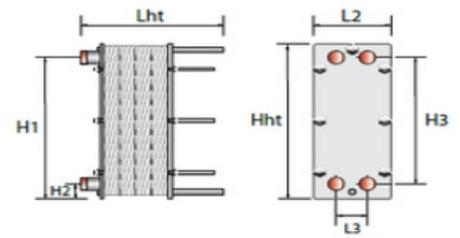
PRIMARIO calefacción	1,5	3,1	3,53	7,06
SECUNDARIO piscina	1,5	3	4,16	8,32

#### PERDIDAS DE CARGA (mCA)

PRIMARIO calefacción	1,2	0,4	2,1	2,5
SECUNDARIO piscina	1,4	1,7	3,1	3,8

DIMENSIONES (MM) MODELO BÁSICO		
	UN 35-70	UN 120-240
Lht	200	257
L2	140	200
L3	50	60
Hht	380	500
H1	339	429
H2	41	72
H3	298	357

DIMENSIONES (MM) URANUS PLUS		
	UP 35-70	UP 120-240
A	760	830
B	285	342
C	365	450
D	115	125
E	415	485
F	250	250
G	200	450
H	114	139
I	50	62



## 4.5. Caudalímetro

### ESPECIFICACIONES

**Precisión/Linealidad:**  $\pm 1\%$  de la escala completa

**Repetición:**  $\pm 0,2\%$  de la escala completa

**Grado de presión:** 34 bar (500 psiq), máximo

**Sensibilidad a la temperatura:**  $= \pm 0.2\%$  de la escala completa / °C

**Partes húmedas:** 316 SS, epoxi, vidrio Pyrex®, PPS, juntas tóricas FKM

**Filtración (Recomendado):** 25 micrones o menos

**Salida analógica :** Lineal 0-5 Vdc ó 4 a 20 mA, señal no aislada

**Conexiones de tuberías:** 316 racores de compresión de las SS, siempre

**Conexiones eléctricas:** conector macho de 4 pines para alimentación y señal; incluye cable de 0.9 m (3')

**Energía:**

**Modelos con salida de voltaje :** 11.05 a 12.05 Vdc (0.4 W @ 12 V CC)

**Modelos Corriente de salida:** 18 a 24 Vcc (1,2 W)



To Order			
Model No. (No Display) 0 to 5 V Output and Pulse	Model No. (No Display) 4 to 20 mA Output	Model No. (Display Model) 0 to 5 V Output	Maximum Liquid Flow Range
FLR1007ST	FLR1007ST-I	FLR1007ST-D	13 to 100 mL/min
FLR1008ST	FLR1008ST-I	FLR1008ST-D	20 to 200 mL/min
FLR1009ST	FLR1009ST-I	FLR1009ST-D	50 to 500 mL/min
FLR1010ST	FLR1010ST-I	FLR1010ST-D	100 to 1000 mL/min
FLR1011ST	FLR1011ST-I	FLR1011ST-D	0.2 to 2.0 L/min
FLR1012ST	FLR1012ST-I	FLR1012ST-D	0.4 to 5.0 L/min
FLR1013ST	FLR1013ST-I	FLR1013ST-D	1 to 10 L/min

## 4.6. Termopar

### Sonda Termopar Tipo K de hilo, sin mango



Es una sonda de temperatura termopar tipo K, de hilo, vaina flexible, sin asa y sensor de cables expuestos. Diseñada para acceder a lugares de difícil acceso.

- Temperatura máxima 480°C
- Tiempo de respuesta 1 segundo

HI766F1; 1 metro de cable  
HI766F1/3; 3m de cable  
HI766F1/5; 5 metros de cable

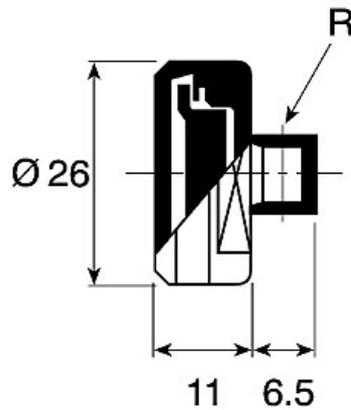
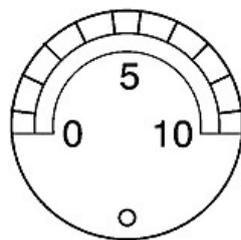
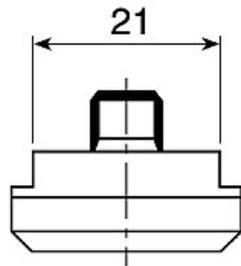
Se suministra en una caja junto con el certificado de calidad de la sonda.

Temperatura máxima	480 ° C (900 ° F)
Tiempo de respuesta	1 segundo (90% del valor final)
Cuerpo material	cables expuestos
Aplicaciones	Zonas de difícil acceso

## 4.7. Manómetro

### Datos del Producto

Manómetros con pantalla



### Especificaciones

Atributo	Valor
Medición de Presión Mínima	0bar
Medición de Presión Máxima	10bar
Tipo de Indicador de Presión	Entrada Trasera
Diámetro Externo del Indicador	40mm
Tamaño de Conexión	R 1/8

## 4.8. Calentador

### Modelos EE... : Calentadores de Agua Eléctricos para Aplicaciones Residenciales, Comerciales e Industriales.



#### Características Generales:

- Calentadores de agua construidos completamente en acero inoxidable AISI 316Ti para obtener mejor higiene, resistencia a la corrosión y una mayor vida útil. Amplia garantía del fabricante de 5, 10, ó 20 años.
- Tanques homologados hasta una presión de trabajo de 10 bares, presión de prueba de 13 bares.
- Elementos de calentamiento superiores de larga vida, tipo Incoloy 825 (UNS NO 8825/W.Nr.2.4858).  
Opcional: Elementos de calentamiento del tipo que contiene núcleo cerámico, que pueden ser cambiados sin necesidad de drenar el tanque.
- Ánodo eléctrico no-sacrificatorio
- Tipo vertical u horizontal
- Espuma dura de poliuretano libre de CFC (clase con protección contra incendios B2 DIN 4102)  
Armazón removible de color gris y en aluminio.  
70mm de espesor en tanques de tamaño menor a 750litros  
90mm de espesor en tanques de tamaño igual o mayor a 1000litros



Tipo EER/EEC

#### Accesorios Estándar:

- Punto de ventilación automático de aire y vacío con grifo de ventilación rápida
- Termómetro de cuadrante 100mm 0-120°C
- Medidor de Presión de 60mm 0-16 bares
- Abrazaderas para el tablero de control
- Tapa de brida de inspección adaptada de 200mm ó 400mm
- Juegos del aislador dieléctrico para conexiones de tubería

#### Controles

- Tablero de control industrial estándar, cobertura IP55, interruptor de corte de energía de la red, acoplado al seguro de la puerta
- Interruptor piloto para encendido y apagado manual del calentador
- Luz indicadora de corriente
- Luz indicadora de la(s) fase(s) en que se encuentra el elemento de calentamiento
- Indicación de fallo común de sobrecarga de corriente o nivel bajo de agua
- Conjunto de contactores de arranque, capacidad industrial
- Interruptor desconectador tipo magnético protección contra sobrecarga, restauración manual
- Termostato bipolar de inmersión con ajuste de temperatura 30°-90°C pre-fijada por la fábrica en 60°C
- Protección individual contra recalentamiento incorporada, fijada por la fábrica en 90°C, restauración manual

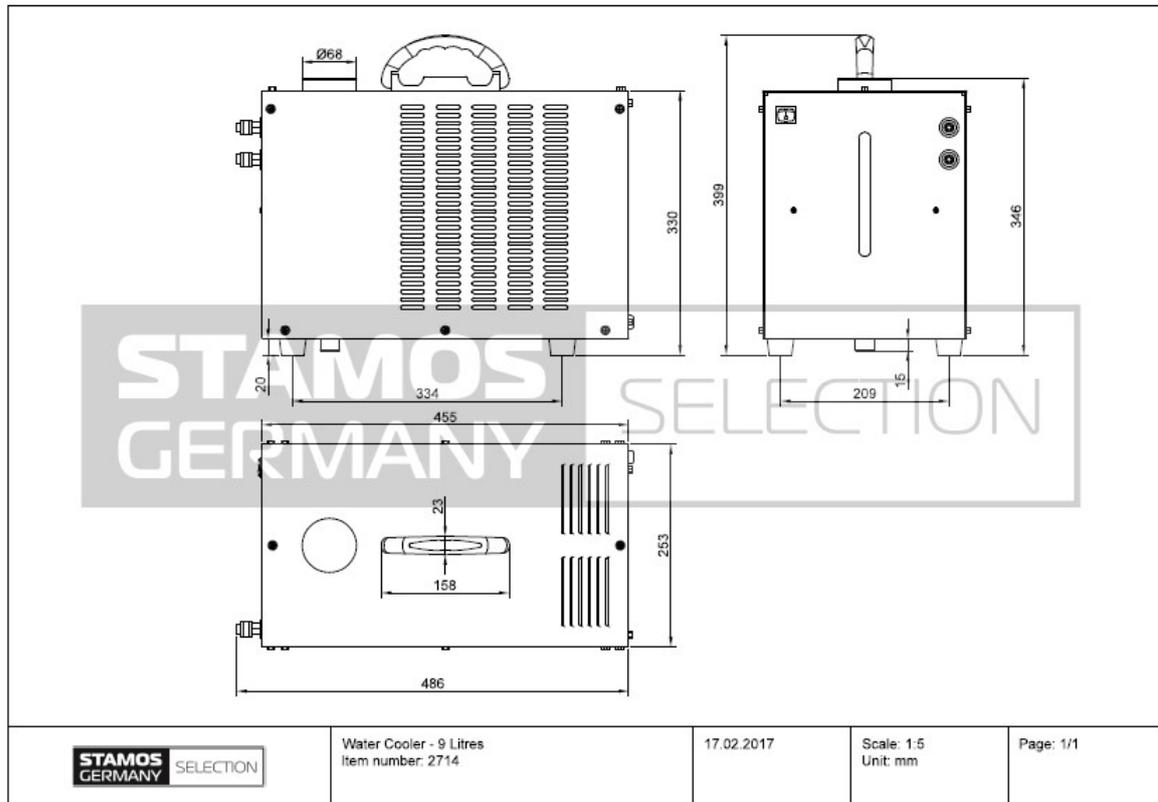
#### Modelo EER:

#### Calentador de Agua Eléctrico para Aplicaciones Residenciales

Capacidad de almacenamiento de 200 a 450 litros

Potencia calorífica de 9 kW a 22.5 kW

## 4.9. Equipo de enfriamiento de agua



### Detalles técnicos

Modelo	S-AQUACOOL 1000	Voltaje	230 V / 50 Hz
Motor	260 W	Potencia de enfriado	1,600 W (1L/min)
Potencia máxima	3 Bar	Capacidad del tanque	9 L
Caudal	8,5 L/min	Temperatura de funcionamiento	20 °C ~ 60 °C
Clase de protección	IP21	Medidas (AxLxA)	49 x 25 x 40 cm
Peso	13,5 kg	medidas del envío (AxLxA)	60 x 39 x 44,5 cm
Peso del envío	15,2 kg		

## 4.10. Conducciones

### Tuberías



#### Especificaciones Generales:

**ASTM A 53 GRB:** Conducción fluidos y gases en minería, petroquímica, pesca y en general.

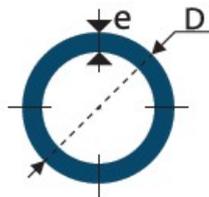
**API 5L:** Tubos para industria petrolera

**ASTM A 106:** Tubos para servicio a altas temperaturas

**Recubrimiento:** Negro o galvanizado

**Largo normal:** 6,00 mts.

**Acabado:** Acero negro



PROPIEDADES MECÁNICAS				
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min
Kg/mm <sup>2</sup>	Psi	Kg/mm <sup>2</sup>	Psi	
42.2	60000	24.6	35000	30 - 35

COMPOSICIÓN QUÍMICA %			
C Max	Mn	P Max	S Max
0.3	1.2	0.05	0.06

DIÁMETRO			PROPIEDADES				
INTERIOR	EXTERIOR (D)		ESPESOR (e)		PRESIÓN/PRUEBA		PESO
pulg	mm	pulg	mm	pulg	kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	kg/mts
1/2"	21.30	0.84	3.73	0.14	60	850	1.62
3/4"	26.70	1.05	3.91	0.15	60	850	2.19
1"	33.40	1.31	4.55	0.17	60	850	3.23
1 1/4"	42.20	1.66	4.85	0.19	134	1900	4.47
1 1/2"	48.30	1.90	5.08	0.20	134	1900	5.41
2"	60.30	2.37	5.54	0.21	176	2500	7.48
2 1/2"	73.00	2.87	7.01	0.27	176	2500	11.41
3"	88.90	3.50	7.62	0.30	176	2500	15.27
4"	114.30	4.50	8.56	0.33	197	2800	22.31
6"	168.30	6.62	10.97	0.43	193	2740	42.56

## Accesorios

- Codos:



### Familia 05602 – Accesorios Galvanizado

Código	Denominación Artículo	Udes/Caja
056019	<b>CODO GALV. H/H 1/4</b>	350
080034	CODO GALV. H/H 3/8	10
080035	CODO GALV. H/H 1/2	10
080036	CODO GALV. H/H 3/4	10
080037	CODO GALV. H/H 1"	10
080038	CODO GALV. H/H 1 1/4	30
080039	CODO GALV. H/H 1 1/2	22
080040	CODO GALV. H/H 2"	12
080041	CODO GALV. H/H 2" 1/2	7
080042	CODO GALV. H/H 3"	4
080043	CODO GALV. H/H 4"	2

- Junta de unión en "T":

Tee Galvanizada 1/2" Hierro maleable NPT Hembra x NPT Hembra x NPT Hembra .150 psi @ 355° F. Conexión cumple con ASME B16.3. Extremos roscados cumplen con ASME B1.20.1. Cumple con ASTM A197.



Largo	2.24 cm	Ancho	1.72 cm
Profundidad	1.2 cm	Material	Hierro maleable
Color	Plata	Acabado	Galvanizado
Peso	0.139796 kg	Garantía proveedor	5 años
Modelo	510-603hd	No. de piezas	1
Tipo	Conexión		

- Reductores y manguitos:



### Familia 05602 – Accesorios Galvanizado

Código	Denominación Artículo	Udes/Caja
056022	<b>MANGUITO REDUC. 1/2-1/4" GALV. H/H</b>	150
080200	MANGUITO REDUC. 3/4-1/2 GALV. H/H	10
080211	MANGUITO REDUC. 1"-1/2 GALV. H/H	10
080201	MANGUITO REDUC. 1"-3/4 GALV. H/H	10
080215	MANGUITO REDUC. 1 1/4-3/4 GALV. H/H	10
080202	MANGUITO REDUC. 1 1/4-1" GALV. H/H	10
080205	MANGUITO REDUC. 1 1/2-1" GALV. H/H	10
080203	MANGUITO REDUC. 1 1/2-1 1/4 GALV. H/H	40
080209	MANGUITO REDUC. 2"-1" GALV. H/H	25
080204	MANGUITO REDUC. 2"-1 1/2 GALV. H/H	22
056021	<b>MANGUITO REDUC. 2 1/2-1 1/2" GALV. H/H</b>	14
080207	MANGUITO REDUC. 2" 1/2-2" GALV. H/H	10
080206	MANGUITO REDUC. 3"-2" GALV. H/H	10
080208	MANGUITO REDUC. 3"-2" 1/2 GALV. H/H	8
056004	MANGUITO REDUC. 4"-3" GALV. H/H	6

**Descripción del producto**

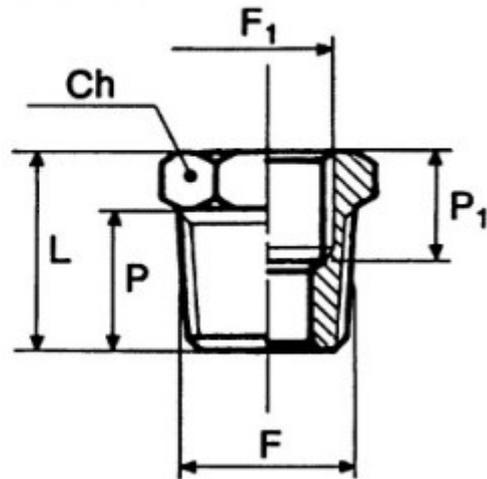


- Racor 1/2" macho - 1/2" macho
- Racor 1/4" macho - 1/4" macho
- Racor 1/8" macho - 1/8" macho
- Racor 3/4" macho - 3/4" macho
- Racor 3/8" macho - 3/8" macho
- Reduccion 1/2" macho - 3/4" macho
- Reduccion 1/4" macho - 1/2" macho
- Reduccion 1/4" macho - 3/8" macho
- Reduccion 1/8" macho - 1/4" macho
- Reduccion 3/8" macho - 1/2" macho

**Latón reducción cónico hembra-macho 1/8"-1/2"**



F	1/2
F1	1/8
Ch	22
L	20
P	11
P1	14



**Familia 05602 – Accesorios Galvanizado**



Código	Denominación Artículo	Udes/Caja
080099	MANGUITO GALV. H/H 1/4	10
080100	MANGUITO GALV. H/H 3/8	10
080101	MANGUITO GALV. H/H 1/2	10
080102	MANGUITO GALV. H/H 3/4	10
080103	MANGUITO GALV. H/H 1"	10
080104	MANGUITO GALV. H/H 1 1/4	45
080105	MANGUITO GALV. H/H 1 1/2	10
080106	MANGUITO GALV. H/H 2"	20
080107	MANGUITO GALV. H/H 2" 1/2	12
080108	MANGUITO GALV. H/H 3"	9
080109	MANGUITO GALV. H/H 4"	4

**Manguito reducción roscada.**

Caja dispensador de 30 unidades.



**Modelo**

- H3/4" / M1/2"
- H1" / M1/2"
- H1" / M3/4"

- Válvula de seguridad:

## Electroválvula fluidos 1/2" 2/2 cerrada 230V accionamiento indirecto

### Modelo 04F05112N0230

Electroválvula para domotica, fluidos o control de procesos, de rosca 1/2", normalmente cerradas y de accionamiento indirecto, con bobina de 230Vac 11VA.

Presión trabajo máx. 25 bar, y presión dif. mín. 0,15 bar.

Fluidos:

- Aire.
- Gas inerte.
- Agua (máx. 75°C).
- Aceites minerales.
- Gasoleos.

**Electroválvula de membrana** de 1/2", 2 vías, normalmente cerrada (NC), con bobina a 230Vac 11VA, para uso con fluidos o aire, de accionamiento indirecto. Cuerpo en latón y mando de la bobina en acero inoxidable.

En este tipo de electroválvulas, accionamiento indirecto, debe de haber una pequeña diferencia de presión entre la entrada y la salida para que funcione correctamente.

La presión máxima de trabajo es de 25bar y el diferencial de presión ( $\Delta P$  bar) ha de ser como mínimo de 0,15 bar.

La electroválvula es normalmente cerrada, es decir, sin tensión en la bobina, el fluido o aire estará interrumpido a través de la electroválvula, cuando la bobina sea puesta en tensión el paso del fluido o aire se producirá.

Los fluidos con los que puede trabajar esta electroválvula son:

- Aire.
- Gases inertes.
- Agua (temperatura máxima 75°C).
- Aceites minerales.
- Gasóleo.
- Fueloil.

El suministro incluye:

- Electroválvula 1/2" 2/2 NC.
- Bobina 230Vac 11VA tamaño 30.
- Conector tamaño 30.



Características técnicas:

- Fabricante: Aignep
- Referencia: 04F 05 1 12 N0 + SOL11 220 A 9 000
- Tipo de mando: accionamiento indirecto.
- Tamaño de rosca: 1/2".
- Numero de vías: 2.
- Numero de posiciones: 2.
- Configuración: 2/2 cerrada (NC).
- Cuerpo: Latón.
- Tensión de la bobina: 230 Vca.
- Potencia de la bobina: 11VA.
- Tamaño de la bobina: 30mm
- Tubo guía, nucleos y muelle: Inox.
- Tipo de junta: NBR.
- Tipo de fluidos: Aire a presión, agua (máx. 75°C), aceites minerales, gasóleo, fueloil.
- Presión máxima: 25 bar.
- Tamaño ISO 228: 1/2".
- Ø de paso: 12mm.
- Viscosidad máxima del fluido (cSt): 25.
- Coeficiente de válvula (Kv): 3,03 m³/h.
- Diferencial de presión mínimo ( $\Delta P$  bar): 0,15 bar.
- Diferencial de presión máximo ( $\Delta P$  bar): 0,15 - 25bar.
- Temperatura de trabajo de la electroválvula: -10°C a +80°C.
- Temperatura del fluido: -10°C a +90°C.
- Instalación: Nunca con la bobina hacia abajo.

## 4.11. Plataforma

### Viga

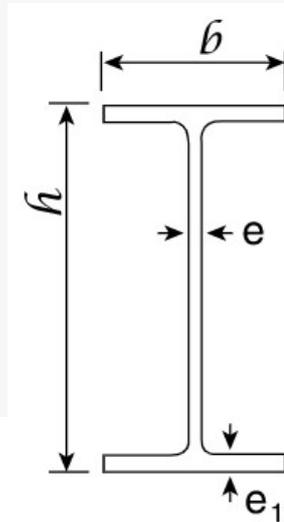
#### Descripción

EL PERFIL IPN ES UN PRODUCTO LAMINADO CON UNA SECCION EN FORMA DE DOBLE T, TAMBIEN LLAMADA PERFIL I.

LAS CARAS EXTERIORES DE LAS ALAS SON PERPENDICULARES AL ALMA Y LAS INTERIORES PRESENTAN UNA INCLINACION DEL 14% RESPECTO A LAS EXTERIORES, CON ELLOS SE CONSIGUE QUE TINGAN UN GRUESO DECRECIENTE HACIA LOS EXTREMOS. LAS UNIONES ENTRE LAS CARAS DEL ALMA Y LAS CARAS INTERIORES DE LAS ALAS ESTAN REDONDEADAS. ADEMAS , LAS ALAS TIENEN EL CANTO CON ARISTA EXTERIOR VIVA Y ARISTA INTERIOR REDONDEADA.

LA UTILITZACION PRINCIPAL DE ESTE PERFIL ES:

JACENAS PARA EDIFICIOS  
CORREAS  
DINTELES  
REFUERZOS ESTRUCTURALES  
PILARES  
ESTRUCTURAS PARA ESCALERAS  
SOPORTES  
CONSTRUCCION DE MAQUINARIA



Nombre	h (mm)	b (mm)	e=r (mm)	e1 (mm)	r1 (mm)
Viga IPN - 80	80	42	3,9	5,9	2,3
Viga IPN - 100	100	50	4,5	6,8	2,7
Viga IPN - 120	120	58	5,1	7,7	3,1
Viga IPN - 140	140	66	5,7	8,6	3,4

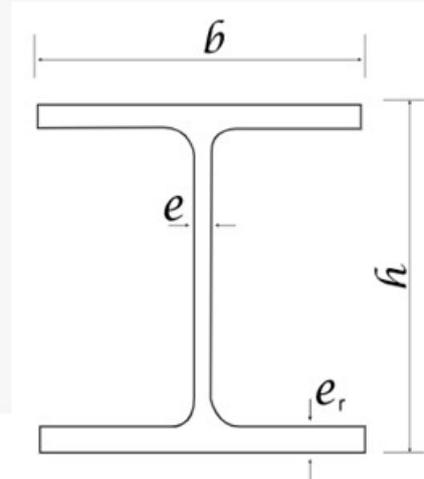
## Pilar

### Descripción

EL PERFIL HEA ES UN PRODUCTO LAMINADO CON UNA SECCIÓN EN FORMA DE H. LAS CARAS EXTERIORES Y INTERIORES DE LAS ALAS SON PARALELAS ENTRE SI Y PERPENDICULARES AL ALMA, ESTO HACE QUE TENGAN UN GRUESO CONSTANTE Y ALIGERADO RESPECTO A LOS PERFILES HEB. LAS UNIONES ENTRE LAS CARAS DEL ALMA Y LAS CARAS INTERIORES DE LAS ALAS ESTAN REDONDEADAS. Y ADEMAS, TIENEN EL CANTO CON ARISTAS EXTERIORES Y INTERIORES VIVAS.

LA UTILIZACIÓN PRINCIPAL DE ESTE PERFIL ES:

JACENAS PARA EDIFICIOS  
 CORREAS  
 DINTELES  
 REFUERZOS ESTRUCTURALES  
 PILARES  
 ESTRUCTURAS PARA ESCALERAS  
 SOPORTES  
 CONSTRUCCIÓN DE MAQUINARIA



Viga HEA-100	96	100	5	8	12
Viga HEA-120	114	120	5	8	12
Viga HEA-140	133	140	5,5	8,5	12

## Plataforma de retención



### Plataforma de retención de acero galvanizado 12 bidones, 242 litros 285 cm x 190 cm x 7,8 cm

Peso	347 kg
Dimensiones (LxHxA)	285 x 190 x 7.8 cm
Manutención	no
Carga máxima (kg)	5000
Acabado	galvanizado en caliente
Material rejilla	acero galvanizado en caliente
Volumen de retención (L)	242,0
Rejilla	sí
Color	acero
Material	Acero
Tipo	12 bidones
Paso para horquillas	No

## Barandilla de seguridad

### Barandilla pasamanos de seguridad para suelo y altillo

- ✓ Protección de vías peatonales y lugares de trabajo
- ✓ Marco con refuerzo central
- ✓ Acero de alta calidad

#### Especificaciones:

Anchura: 1.000 mm, 1.500 mm y 2.000 mm

Altura: 1.000 mm

Diámetro: 48 mm, 2 mm de espesor

Montaje: en suelo, pared, o pared extraíble



Barandilla pasamanos de seguridad con refuerzo central para suelo y altillo, de uso en espacios interiores o al exterior. Fabricada en acero de alta calidad y resistencia, es una solución ideal para segregar y proteger lugares de trabajo y vías peatonales de las destinadas al tránsito de carretillas elevadoras, montacargas, y otros vehículos industriales. De gran resistencia a la torsión, asegura y optimiza el espacio en altillos.

- Protege operarios y peatones del tránsito de vehículos industriales
- Colores claramente visibles
- Simple y rápida de instalar
- Incorpora barra horizontal de refuerzo
- Diferentes anchuras

## 5. Identificación de las canalizaciones según el fluido que transportan

Como ya se ha explicado en la Memoria, hay que tener en cuenta la norma UNE 1063:2016 de identificación de las canalizaciones según el fluido que transportan.

- El agua residual, aunque sea en poca cantidad, se identifica con el color verde y trazas negras.
- El agua caliente se identifica con el color verde y trazas blancas.
- El agua destilada se identifica con el color verde y trazas amarillas.

En la tabla A5.1 se representan las cifras características de cada material para el color verde.

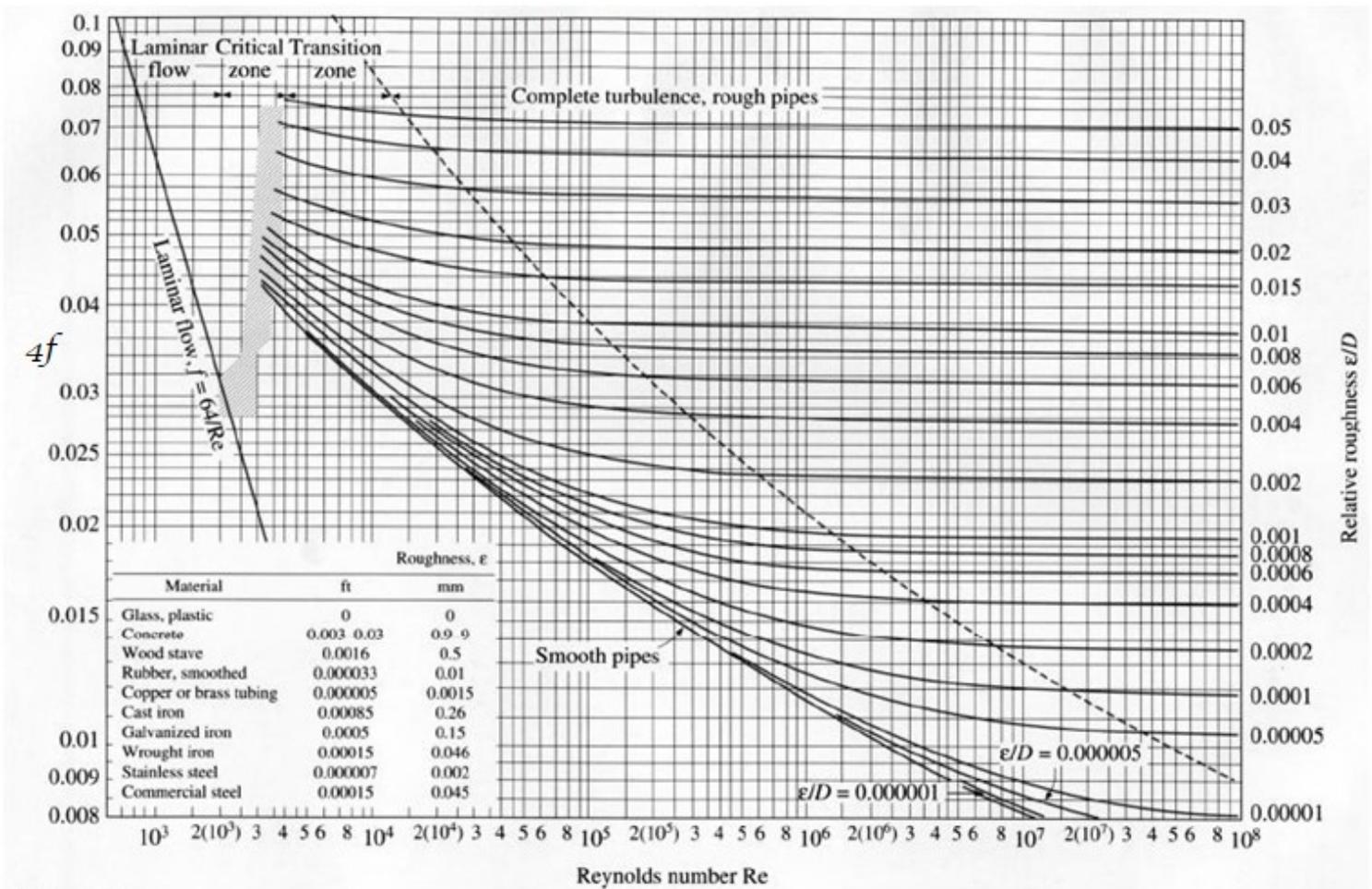
**Tabla A5.1.** Cifra característica de la clase de material [12].

Color de grupo	Cifra característica de la clase de materia	Clase de materia
Verde	Grupo 1	Agua
	1.0	Agua potable
	1.1	Agua impura
	1.2	Agua utilizable, agua limpia
	1.3	Agua preparada
	1.4	Agua destilada, condensada
	1.5	Agua a presión, cierre hidráulico
	1.6	Agua en circuito
	1.7	Agua pesada
	1.8	
1.9	Agua residual	

## 6. Gráficas y tablas

Una de las gráficas utilizadas en el presente proyecto es la gráfica de Moody, que se ha utilizado para calcular el factor de frotamiento en las conducciones. El diagrama de Moody se representa a continuación en la gráfica A6.1.

Una de las tablas utilizadas en el presente proyecto es la tabla de accidentes, que se utiliza para obtener el valor de la constante característica de cada accidente. La tabla de accidentes se muestra a continuación en la tabla A6.1.



Gráfica A6.1. Diagrama de Moody [12].

**Tabla A6.1.** Constante característica de los accidentes [5].

accidente	k	velocidad	grafico
ensanchamiento	$\left[1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right]^2$	Medida en el tubo estrecho $V_1$	
estrechamiento	-	-	
Entradas		La del tubo	
-encañonada	0,78	*	
-cantos vivos	0,50	*	
-ligeramente redondeada	0,23	*	
-bien redondeada (de boquilla)	0,04	*	
Salidas		*	
- encañonada	1,00	*	
- cantos vivos	1,00	*	
- redondeada	1,00	*	
Codo de 45° standard	0,35	*	
Codo de 45° gran curvatura	0,20	*	
Codo de 90° standard	0,75	*	
Codo de 90° gran curvatura	0,45	*	
Codo de 90° pequeña curvatura	1,3	*	
Codo de 180°	1,5	*	
T standard			
- con la bifurcación cerrada	0,4	La del tubo	
- usado como codo	1,0	*	
- como división del caudal	1,0	La de la corriente principal	
Unión roscada	0,04	La del tubo	
Manguito de unión	0,04	*	
Válvula de compuerta		*	
- abierta	0,17	*	
- 3/4 abierta	0,90	*	
- 1/2 abierta	4,5	*	
- 1/4 abierta	24,0	*	
Válvula de diafragma		*	
- abierta	2,3	*	
- 3/4 abierta	2,6	*	
- 1/2 abierta	4,3	*	
- 1/4 abierta	21,0	*	



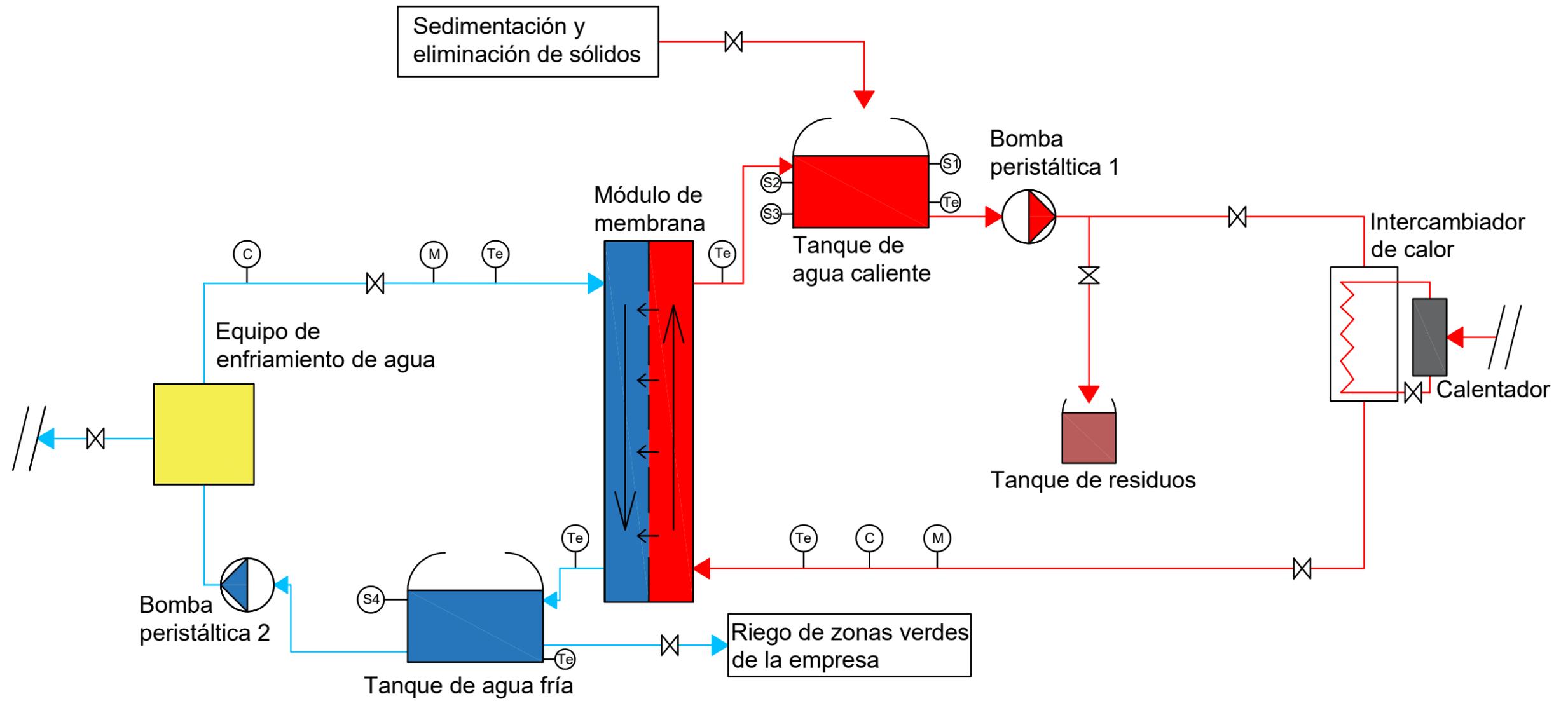
# 4. Planos



## Índice

1. Diagrama de flujo de la instalación.....	2
2. Distribución en planta.....	4
3. Longitud de las tuberías.....	6



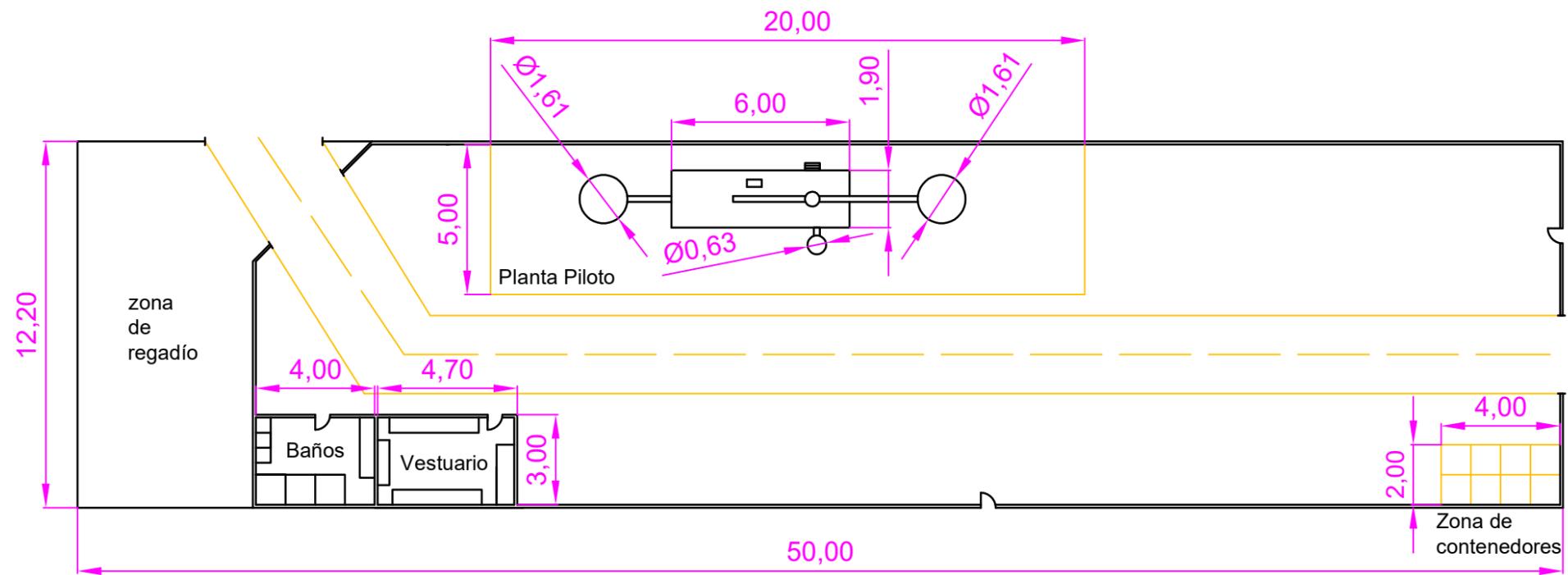


**Leyenda**

- ⊗ Válvula de seguridad
- ⊙ Caudalímetro
- ⊙ Te Termopar
- ⊙ M Manómetro
- ⊙ S Sonda de nivel

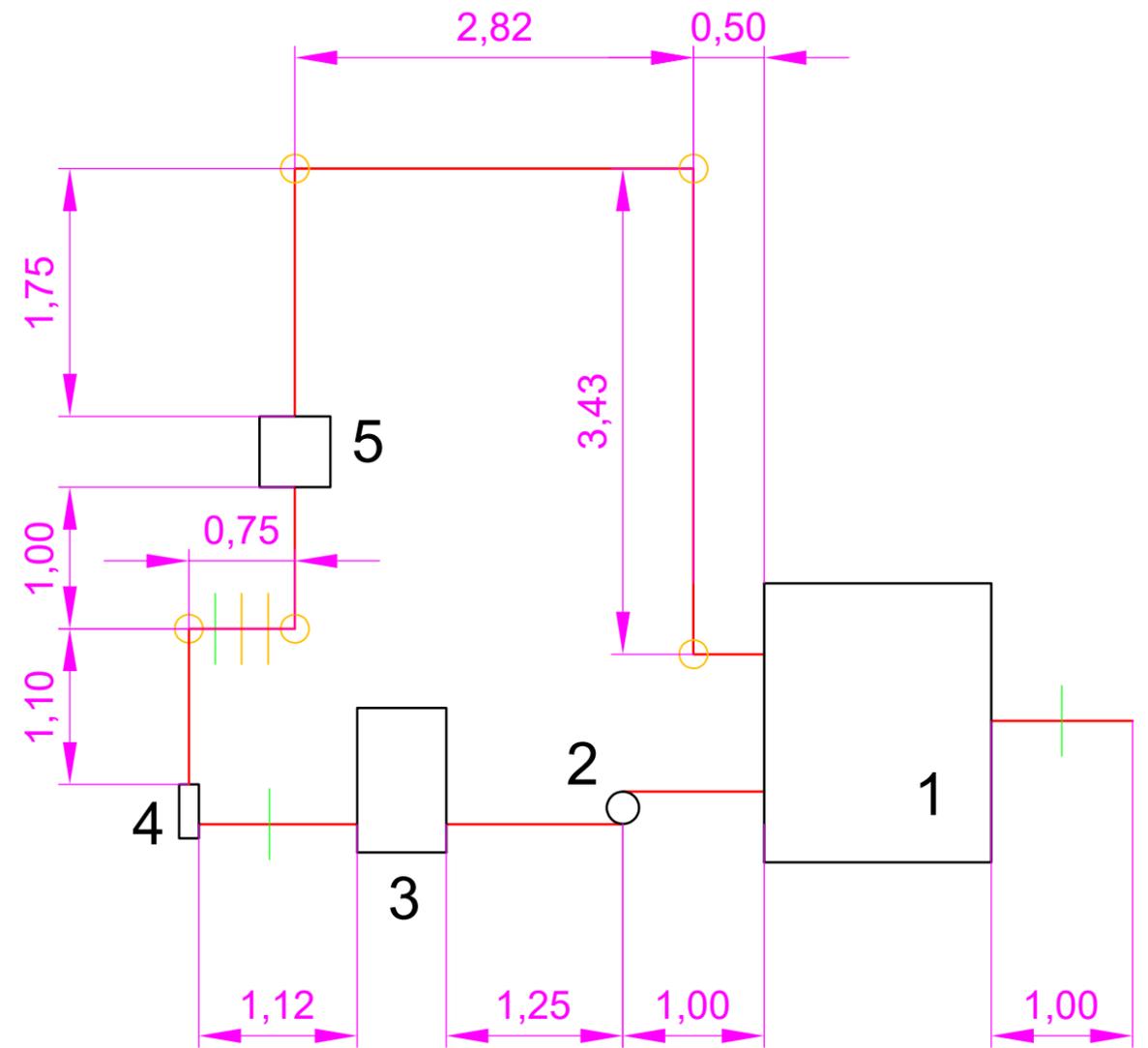
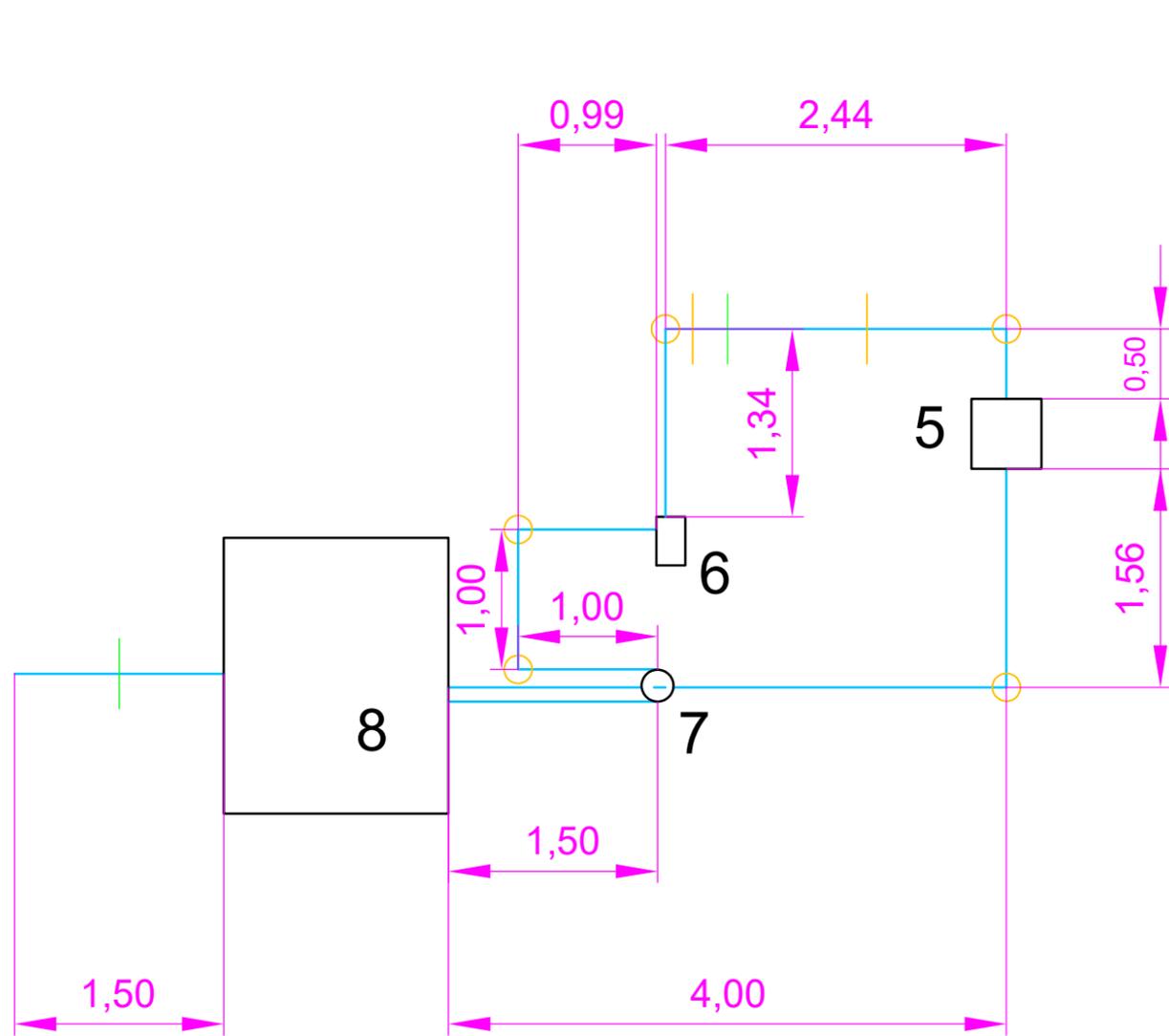
Razón	Escala	Título	
TFG	-	Diagrama de flujo de la instalación	
	Unidades		
	Proyección	Autor	Nº Plano
		Costa Segovia, Vicente	1





Razón	Escala	Título	
TFG	1:200	Distribución en planta	
	Unidades	Autor	
	m	Costa Segovia, Vicente	
	Proyección	Nº Plano	
		2	





**Leyenda**

1- Tanque de agua caliente	5- Módulo tubular de membrana	Conector en "T"
2- Bomba peristáltica 1	6- Equipo de enfriamiento de agua	Válvula de seguridad
3- Tanque de residuos	7- Bomba peristáltica 2	Codo
4- Intercambiador de calor	8- Tanque de agua fría	



# 5. Pliego de condiciones



## Índice

1. Pliego de condiciones generales.....	2
1.1. Disposiciones generales.....	2
1.1.1. Objetivo del pliego de condiciones.....	2
1.1.2. Contrato de obra.....	2
1.1.3. Documentación del contrato de obra.....	2
1.1.4. Formalización del contrato de obra.....	3
1.1.5. Jurisdicción competente.....	3
1.1.6. Responsabilidad del contratista.....	3
1.1.7. Copia de documentos.....	3
1.1.8. Causas de rescisión del contrato de obra.....	4
1.1.9. Omisiones: Buena fe.....	4
2. Pliego de condiciones facultativas.....	5
2.1. Referentes al promotor.....	5
2.1.1. Responsabilidad del promotor.....	5
2.2. Referentes al proyectista.....	7
2.2.1. Responsabilidad del proyectista.....	7
2.3. Referentes al contratista.....	8
2.3.1. Responsabilidad del contratista.....	8
2.4. Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación.....	10
3. Pliego de condiciones económicas.....	11
3.1. Definición.....	11
3.2. Contrato de obra.....	11
3.3. Criterio general.....	12
3.4. Fianzas.....	12
3.5. Precios.....	12
3.6. Obras por administración.....	13
3.7. Indemnizaciones.....	13
3.8. Seguro y conservación de la obra.....	13
3.9. Retención en concepto de garantía.....	13
3.10. Plazos de ejecución de la obra.....	14
3.11. Liquidación económica de las obras.....	14
3.12. Liquidación final de las obras.....	15

4. Pliego de condiciones legales.....	16
4.1. Contrato de obra.....	16
4.2. Rescisión del contrato.....	16
4.3. Formalización del contrato.....	16
5. Pliego de condiciones técnicas.....	17
5.1. Condiciones técnicas generales.....	17
5.2. Condiciones técnicas particulares.....	17
5.3. Condiciones técnicas de los elementos.....	18
5.3.1. Ámbito de la aplicación.....	18
5.3.2. Especificaciones de la instalación eléctrica.....	18
5.3.3. Especificaciones de la instalación de fontanería.....	18
5.3.4. Instalación de los elementos de la planta.....	19

## **1. Pliego de condiciones generales**

### **1.1. Disposiciones generales**

El presente documento del proyecto tiene como misión la ordenación, con carácter general, de las condiciones generales, facultativas, económicas, legales y técnicas que han de regir en los concursos y contratos destinados a la ejecución de los trabajos de obra civil, siempre que expresamente se haga mención de este pliego en los particulares de cada una de las obras y de esta forma el objeto del proyecto pueda materializarse en las condiciones especificadas, evitando posibles interpretaciones diferentes de las deseadas.

#### **1.1.1. Objeto del pliego de condiciones**

El objeto del pliego de condiciones es el de determinar los criterios de la relación establecida entre los agentes que intervendrán en las obras definidas en el proyecto y servir de guía para la realización del contrato de obra entre el promotor y contratista.

#### **1.1.2. Contrato de obra**

El presente contrato de obra tiene por objetivo la construcción de una planta de destilación de membranas para el tratamiento de aguas residuales. Se recomienda la contratación de la ejecución de las obras por unidades de obra, con arreglo a los documentos del proyecto y en cifras fijas. El director de obra ofrecerá la documentación necesaria para su realización.

#### **1.1.3. Documentación del contrato de obra**

A continuación se enumeran, en orden de prioridad, los documentos que integran el contrato de obra a fin de evitar posibles interpretaciones, omisiones o contradicciones:

- Las condiciones fijadas en el contrato de obra.
- Pliego de condiciones.
- Documentación gráfica y escrita del proyecto: memoria, planos, anexos, mediciones y presupuesto.

En caso de existir diferentes interpretaciones, prevalecen las especificaciones fijadas en el presente documento.

#### **1.1.4. Formalización del contrato de obra**

Los contratos de obra se formalizarán mediante un documento privado entre las partes interesadas. Dicho documento podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes intervinientes.

Estos contratos contendrán:

- La comunicación de la adjudicación.
- La copia del recibo del depósito de la fianza, en caso de haber fianza.
- La cláusula en la que se exprese que el contratista se obliga al cumplimiento estricto del contrato de obra, conforme a lo previsto en el proyecto.

El contratista, antes de la formalización del contrato de obra, dará también su conformidad con la firma del pliego de condiciones, los planos, cuadro de precios y presupuesto general. Serán a cuenta del adjudicatario todos los gastos que ocasione la extensión del documento en que se consigne al contratista.

#### **1.1.5. Jurisdicción competente**

En caso de existir desacuerdos entre las partes, ambas quedan obligadas a someter a discusión las diferencias a las autoridades y tribunales administrativos con arreglo a la legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese ubicada la obra.

#### **1.1.6. Responsabilidad del contratista**

El contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el proyecto.

#### **1.1.7. Copia de documentos**

El contratista, a su costa, tiene derecho a sacar copias de todos los documentos integrantes del proyecto.

### **1.1.8. Causas de rescisión del contrato de obra**

Se consideran causas suficientes de rescisión de contrato:

- La muerte o incapacitación del contratista.
- La quiebra del contratista.
- Las alteraciones del contrato por las siguientes causas:
  - La modificación del proyecto en forma tal que represente alteraciones fundamentales del mismo a juicio del director de obra y, en cualquier caso, siempre que la variación del presupuesto de ejecución material, como consecuencia de estas modificaciones, represente una desviación mayor a 100 €.
  - Las modificaciones de unidades de obra, siempre que representen variaciones de más o menos el 40% del proyecto original o más de un 50% de unidades de obra del proyecto reformado.
- Que el contratista no comience los trabajos dentro del plazo señalado en el contrato.
- El incumplimiento de las condiciones del contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.

### **1.1.9. Omisiones: Buena fe**

Las relaciones entre el promotor y el contratista, reguladas por el presente documento y la documentación complementaria, presentan la prestación de un servicio al promotor por parte del contratista mediante la ejecución de la obra, basándose en la buena fe mutua de ambas partes, que pretende beneficiarse de esta colaboración sin ningún tipo de perjuicio. Por este motivo, las relaciones entre ambas partes y las omisiones que puedan existir en el pliego de condiciones y la documentación complementaria del proyecto y de la obra, se entenderán siempre suplidas por la buena fe de las partes, que las subsanará debidamente con el fin de conseguir una adecuada calidad final de obra.

## **2. Pliego de condiciones facultativas**

### **2.1. Referentes al promotor**

Es la persona física o jurídica, pública o privada, que individual o de manera colectiva decide, impulsa, programa y financia, con recursos propios o ajenos, las obras para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título. Asume la iniciativa de todo el proceso de la obra, impulsando la gestión necesaria para llevar a cabo la obra inicialmente proyectada y se hace cargo de todos los costes necesarios. Según la legislación vigente, a la figura del promotor se equiparan también las de gestor de sociedades cooperativas, comunidades de propietarios u otras análogas que asumen la gestión económica de la obra.

Cuando las administraciones públicas y los organismos sujetos a la legislación de contratos de las administraciones públicas actúen como promotores, se regirán por la legislación de contratos de las administraciones públicas y, en lo no contemplado en la misma, por las disposiciones de la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE).

#### **2.1.1. Responsabilidad del promotor**

- Ostentar sobre la propiedad la titularidad de un permiso que le faculte para construir en él.
- Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto correspondiente, así como autorizar al director de obra, al director de la ejecución de la obra y al contratista, posteriores modificaciones del mismo que fueran imprescindibles para llevar a buen fin el proyecto.
- Elegir y contratar a los distintos agentes, con la titulación y capacitación profesional necesaria, que garanticen el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para realizar en su globalidad y realizar el objeto de lo promovido, en los plazos estipulados y en las condiciones de calidad mínima exigibles mediante el cumplimiento de los requisitos básicos estipulados para las instalaciones.
- Gestionar y hacerse cargo de las preceptivas licencias y demás autorizaciones administrativas procedentes, de conformidad con la normativa aplicable.

- Garantizar los daños materiales que la instalación pueda sufrir, para la adecuada protección de los intereses de los usuarios finales, en las condiciones legalmente establecidas, asumiendo la responsabilidad civil de forma personal e individualizada, tanto por actos propios como por actos de otros agentes por los que, con arreglo a la legislación vigente, se deba responder.
- Contratar a los técnicos redactores del preceptivo estudio de seguridad y salud o estudio básico, en su caso, al igual que a los técnicos coordinadores en la materia en la fase que corresponda, todo ello según lo establecido en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas en materia de seguridad y salud en las obras de construcción.
- El promotor no podrá dar orden de inicio de las obras hasta que el contratista haya redactado su plan de seguridad y, además, este haya sido aprobado por el coordinador en materia de seguridad y salud en la fase de ejecución de la obra, dejando constancia expresa en el acta de aprobación realizada al efecto.
- Efectuar el denominado aviso previo a la autoridad laboral competente, haciendo constar los datos de la obra, redactándolo de acuerdo a lo especificado en el Anexo III del Real Decreto 1627/1997. Una copia del mismo deberá exponerse en la obra de forma visible, actualizándolo si fuese necesario.
- Suscribir el acta de recepción final de las obras, una vez concluidas estas, haciendo constar la aceptación de las obras, que podrá efectuarse con o sin reservas y que deberá abarcar la totalidad de las obras o fases completas. En el caso de hacer mención expresa a reservas para la recepción, deberán mencionarse de manera detallada las deficiencias y se deberá hacer constar el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados.
- Entregar al adquirente y usuario inicial, en su caso, el manual de uso y mantenimiento del mismo y demás documentación de obra ejecutada o cualquier otro documento exigible por las administraciones competentes.

## **2.2. Referentes al proyectista**

Es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto. Podrán redactar proyectos parciales del proyecto, o partes que lo complementen, otros técnicos de forma coordinada con el autor de este. Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos según lo previsto en el apartado 2 del artículo 4 de la LOE, cada proyectista asumirá la titularidad de su proyecto.

### **2.2.1. Responsabilidad del proyectista**

- Redactar el proyecto por encargo del promotor, con sujeción a la normativa técnica en vigor y conteniendo la documentación necesaria para tramitar tanto la licencia de obras y demás permisos administrativos como para ser interpretada y poder ejecutar totalmente la obra, entregando al promotor las copias autorizadas correspondientes, debidamente visadas por su colegio profesional.
- Definir el concepto global del proyecto de ejecución con el nivel de detalle gráfico y escrito suficiente y calcular los elementos fundamentales de la instalación.
- Concretar en el proyecto el emplazamiento de los equipos y, en general, de aquellos elementos necesarios en la instalación para facilitar las determinaciones concretas y especificaciones detalladas que son cometido de los proyectos parciales, debiendo estos adaptarse al proyecto de ejecución y no pudiendo contravenirlo en modo alguno.
- Deberá entregarse necesariamente un ejemplar del proyecto complementario al arquitecto antes del inicio de las obras o instalaciones correspondientes.
- Acordar con el promotor la contratación de colaboraciones parciales de otros técnicos profesionales.
- Facilitar la colaboración necesaria para que se produzca la adecuada coordinación con los proyectos parciales exigibles por la legislación o la normativa vigente y que sea necesario incluir para el desarrollo adecuado del proceso, que deberán ser redactados por técnicos competentes bajo su responsabilidad y suscritos por una persona física. Los proyectos parciales serán aquellos redactados por otros técnicos cuya competencia puede ser distinta e incompatible con las competencias del ingeniero y, por tanto, de exclusiva responsabilidad de estos. Elaborar aquellos proyectos parciales o estudios complementarios exigidos por la legislación vigente en los que es legalmente

competente para su redacción, excepto declinación expresa del ingeniero y previo acuerdo con el promotor, pudiendo exigir la compensación económica en concepto de cesión de derechos de autor y de la propiedad intelectual si se tuviera que entregar a otros técnicos igualmente competentes para realizar el trabajo, documentos o planos del proyecto por el redactado, en soporte papel o informático.

- Ostentar la propiedad intelectual de su trabajo, tanto de la documentación escrita como de los cálculos de cualquier tipo, así como de los planos contenidos en la totalidad del proyecto y cualquiera de sus documentos complementarios.

### **2.3. Referentes al contratista**

Es el agente que asume, contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al proyecto y al contrato de obra. Es el responsable explícito de los vicios o defectos constructivos, sin perjuicio del derecho de repetición de este hacia los subcontratistas.

#### **2.3.1. Responsabilidad del contratista**

- Tener la capacitación profesional o titulación que habilita para el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para actuar como constructor.
- Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.
- Examinar la documentación aportada por los técnicos redactores correspondientes, tanto del proyecto de ejecución como de los proyectos complementarios, así como del estudio de seguridad y salud, verificando que le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada o, en caso contrario, solicitando las aclaraciones pertinentes.
- Elaborar, antes del comienzo de las obras, el plan de seguridad y salud de la obra en aplicación del estudio correspondiente y disponer, en todo caso, la ejecución de las medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observancia de la normativa vigente en materia de seguridad e higiene en el trabajo.

- Ostentar la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordinar las intervenciones de los subcontratistas y trabajadores autónomos.
- Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- Disponer de los medios materiales y humanos que la naturaleza y entidad de la obra impongan, disponiendo del número adecuado de oficiales, suboficiales y peones que la obra requiera en cada momento, bien por personal propio o mediante subcontratistas al efecto, procediendo a solapar aquellos oficios en la obra que sean compatibles entre sí y que permitan acometer distintos trabajos a la vez sin provocar interferencias, contribuyendo con ello a la agilización y finalización de la obra dentro de los plazos previstos.
- Llevar a cabo la ejecución material de las obras de acuerdo con el proyecto, las normas técnicas de obligado cumplimiento y las reglas de la buena construcción.
- Custodiar el libro de órdenes y seguimiento de la obra y dar el enterado a las anotaciones que se practiquen en el mismo.
- Facilitar al aparejador o arquitecto técnico, con suficiente antelación, los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.
- Preparar las certificaciones parciales de la obra y la propuesta de liquidación final. Así como suscribir con el promotor el acta de recepción de la obra.
- Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.
- Suscribir las garantías de obra que se señalan en el artículo 19 de la LOE y que, en función de su naturaleza, alcanzan períodos de 1 año (daños por defectos de terminación o acabado de las obras), 3 años (daños por defectos o vicios de elementos constructivos o de instalaciones que afecten a la habitabilidad) o 10 años (daños en cimentación o estructura que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad de la instalación).
- El constructor dará comienzo a las obras en el plazo marcado en el pliego de condiciones particulares, desarrollándolas en la forma necesaria para que dentro de los periodos parciales y, en consecuencia, la ejecución total se lleve a efecto dentro del plazo exigido en el contrato. Obligatoriamente y por escrito deberá el contratista dar

cuenta al director de obra del comienzo de los trabajos al menos con tres días de antelación.

#### **2.4. Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación**

Son entidades de control de calidad de la instalación, aquellas capacitadas para prestar asistencia técnica en la verificación de la calidad del proyecto, de los materiales y de la ejecución de la obra y sus instalaciones de acuerdo con el proyecto y la normativa aplicable. Son laboratorios de ensayos para el control de calidad de la instalación los capacitados para prestar asistencia técnica mediante la realización de ensayos o pruebas de servicio de los materiales, sistemas o instalaciones de la obra.

### **3. Pliego de condiciones económicas**

#### **3.1. Definición**

Las condiciones económicas fijan el marco de relaciones económicas para el abono y recepción de la obra. Tienen un carácter subsidiario respecto al contrato de obra, establecido entre las partes que intervienen, promotor y contratista, que es en definitiva el que tiene validez.

#### **3.2. Contrato de obra**

Se aconseja que se firme el contrato de obra, entre el promotor y el contratista, antes de iniciarse las obras, evitando en lo posible la realización de la obra por administración. A la dirección facultativa se le facilitará una copia del contrato de obra para poder certificar los términos pactados. Solo se aconseja contratar por administración aquellas partidas de obra irrelevantes y de difícil cuantificación o cuando se desee un acabado muy esmerado.

El contrato de obra deberá prever las posibles interpretaciones y discrepancias que pudieran surgir entre las partes, así como garantizar que la dirección facultativa pueda, de hecho, coordinar, dirigir y controlar la obra, por lo que es conveniente que se especifiquen y determinen con claridad, como mínimo, los siguientes puntos:

- Documentos a aportar por el contratista.
- Condiciones de ocupación del edificio e inicio de las obras.
- Determinación de los gastos de enganches y consumos.
- Responsabilidades y obligaciones del contratista: Legislación laboral.
- Responsabilidades y obligaciones del promotor.
- Presupuesto del contratista.
- Revisión de precios.
- Forma de pago: Certificaciones.
- Retenciones en concepto de garantía (nunca menos del 5%).
- Plazos de ejecución: Planning.
- Retraso de la obra: Penalizaciones.
- Recepción de la obra: Provisional y definitiva.
- Litigio entre las partes.

Dado que este pliego de condiciones económicas es complemento del contrato de obra, en caso de que no exista contrato de obra alguno entre las partes se le comunicará a la dirección facultativa, que pondrá a disposición de las partes el presente pliego de condiciones económicas que podrá ser usado como base para la redacción del correspondiente contrato de obra.

### **3.3. Criterio general**

Todos los agentes que intervienen en el proceso de la construcción, definidos en la Ley 38/1999 de la LOE, tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas, pudiendo exigirse recíprocamente las garantías suficientes para el cumplimiento diligente de sus obligaciones de pago.

### **3.4. Fianzas**

En el caso de que el contratista presente una fianza si se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas. El arquitecto-director, en nombre y representación del promotor, los ordenará ejecutar a un tercero o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza o garantía, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el promotor, en el caso de que el importe de la fianza o garantía no bastara para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

La fianza recibida será devuelta al contratista en un plazo establecido en el contrato de obra, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra.

### **3.5. Precios**

Si el contratista, antes de la firma del contrato de obra, no hubiese realizado la reclamación u observación oportuna, no podrá, bajo ningún pretexto de error u omisión, reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

### **3.6. Obras por administración**

Se denominan obras por administración aquellas en las que las gestiones que se precisan para su realización las lleva directamente el promotor, bien por sí mismo, por un representante suyo o por mediación de un contratista. Las obras por administración se clasifican en dos modalidades:

- Obras por administración directa.
- Obras por administración delegada o indirecta. Según la modalidad de contratación, en el contrato de obra se regulará:
  - Su liquidación.
  - El abono al contratista de las cuentas de administración delegada.
  - Las normas para la adquisición de los materiales y aparatos.
  - Responsabilidades del contratista en la contratación por administración en general y, en particular, la debida al bajo rendimiento de los obreros.

### **3.7. Indemnizaciones**

La indemnización por retraso en la terminación se establecerá en un porcentaje del importe total de los trabajos contratados o cantidad fija, que deberá indicarse en el contrato suscrito entre contratista y promotor por cada día natural de retraso, contados a partir del día de terminación fijado en el calendario de obra. Las sumas resultantes se descontarán y retendrán con cargo a la fianza o a la retención.

### **3.8. Seguro y conservación de la obra**

El contratista está obligado a asegurar y conservar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva.

### **3.9. Retención en concepto de garantía**

Del importe total de las certificaciones se descontará un porcentaje, que se retendrá en concepto de garantía.

Este valor no deberá ser nunca menor del 5% y responderá de los trabajos mal ejecutados y de los perjuicios que puedan ocasionarle al promotor.

Esta retención en concepto de garantía quedará en poder del promotor durante el tiempo designado como periodo de garantía, pudiendo ser dicha retención “en metálico” o mediante un aval bancario que garantice el importe total de la retención.

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el director de obra, en representación del promotor, los ordenará ejecutar a un tercero o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

La fianza retenida en concepto de garantía será devuelta al contratista en el plazo estipulado en el contrato, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra. El promotor podrá exigir que el contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas atribuibles a la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros o subcontratos.

### **3.10. Plazos de ejecución de la obra**

En el contrato de obra deberán figurar los plazos de ejecución y entregas, tanto totales como parciales. Además, será conveniente adjuntar al respectivo contrato un planning de la ejecución de la obra donde figuren de forma gráfica y detallada la duración de las distintas partidas de obra que deberán conformar las partes contratantes.

### **3.11. Liquidación económica de las obras**

Simultáneamente al libramiento de la última certificación, se procederá al otorgamiento del acta de liquidación económica de las obras, que deberán firmar el promotor y el contratista.

En este acto se dará por terminada la obra y se entregarán, en su caso, los manuales, los correspondientes boletines debidamente cumplimentados de acuerdo a la normativa vigente, así como los proyectos técnicos y permisos de las instalaciones contratadas.

Dicha acta de liquidación económica servirá de acta de recepción provisional de las obras, que será conformada por el promotor, el contratista, el director de obra y el director de ejecución de la obra, quedando desde dicho momento la conservación y custodia de las mismas a cargo del promotor.

La citada recepción de las obras, provisional y definitiva, queda regulada según se describe en las disposiciones generales del presente pliego.

### **3.12. Liquidación final de las obras**

Entre el promotor y contratista la liquidación de la obra deberá hacerse de acuerdo con las certificaciones conformadas por la dirección de obra. Si la liquidación se realizara sin el visto bueno de la dirección de obra, esta solo mediará en caso de desavenencia o desacuerdo, en el recurso ante los tribunales.

Si el promotor no efectuase el pago de las obras ejecutadas dentro del mes siguiente al que se hubiere comprometido, el contratista tendrá el derecho de percibir la cantidad pactada en el contrato suscrito con el promotor, en concepto de intereses de demora, durante el espacio de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación. Si aún transcurrieran dos meses a partir del término de dicho plazo de un mes sin realizarse dicho pago, tendrá derecho el contratista a la resolución del contrato, procediéndose a la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados.

## **4. Pliego de condiciones legales**

### **4.1. Contrato de obra**

El contratista, con carácter general, está obligado a ejecutar esmeradamente todas las obras que se le asignan, así como a cumplir rigurosamente todas las condiciones estipuladas en este pliego o en el contrato. De la calidad y buena ejecución de las obras contratadas, el contratista será el único responsable, no teniendo derecho a indemnizaciones en el caso de mayor precio que pudiese costarle la obra, ni por las erradas maniobras que cometiera durante la construcción, siendo a su cuenta y riesgo independientemente de la inspección que de ellas haya podido haber hecho el técnico director de obra.

### **4.2. Rescisión del contrato**

La rescisión, si se produjera, se regirá por el reglamento general de contratación para la aplicación de la Ley de Contratos de Estado, por el pliego de cláusulas administrativas generales y demás disposiciones vigentes. Serán causas suficientes de rescisión las siguientes:

- Muerte o incapacitación del contratista.
- Quiebra del contratista.
- Alteraciones del contrato por modificación del proyecto, variación en las unidades de obra, incumplimiento del contrato o abandono o suspensión de la obra sin causa justificada.

### **4.3. Formalización del contrato**

La formalización del contrato se verificará por documento privado con el compromiso por ambas partes, propiedad y contratista, de elevarlo a documento público a petición de cualquiera de ellos, como complemento del contrato, los planos y demás documentos del proyecto irán firmados por ambos.

## **5. Pliego de condiciones técnicas**

### **5.1. Condiciones técnicas generales**

Los productos, equipos y sistemas suministrados deberán cumplir las condiciones que sobre ellos se especifican en los distintos documentos que componen el proyecto.

Asimismo, sus calidades serán acordes con las distintas normas que sobre ellos estén publicadas y que tendrán un carácter de complementariedad a este apartado del pliego.

Tendrán preferencia en cuanto a su aceptabilidad aquellos materiales que estén en posesión del documento de idoneidad técnica que avale sus calidades, emitido por organismos técnicos reconocidos.

El contratista será responsable de que los materiales empleados cumplan con las condiciones exigidas, independientemente del nivel de control de calidad que se establezca para la aceptación de los mismos.

El contratista notificará al director de ejecución de la obra con suficiente antelación, la procedencia de los materiales que se proponga utilizar, aportando, cuando así lo solicite el director de ejecución de la obra, las muestras y datos necesarios para decidir acerca de su aceptación.

Estos materiales serán reconocidos por el director de ejecución de la obra antes de su empleo en obra, sin cuya aprobación no podrán ser acopiados en obra ni se podrá proceder a su colocación. Así mismo, aún después de colocados en obra, aquellos materiales que presenten defectos no percibidos en el primer reconocimiento, siempre que vaya en perjuicio del buen acabado de la obra, serán retirados de la obra. Todos los gastos que ello ocasionase serán a cargo del contratista.

En los materiales y equipos con garantía propia se trasladará la garantía que concede el fabricante.

### **5.2. Condiciones técnicas particulares**

El objeto del presente documento es reflejar los requisitos técnicos básicos para realizar la instalación y puesta en marcha de la planta de destilación por membranas para el tratamiento de aguas residuales.

## **5.3. Condiciones técnicas de los elementos**

### **5.3.1. Ámbito de la aplicación**

El objeto del presente pliego de condiciones será la descripción de las especificaciones técnicas de cada uno de los elementos diseñados para la instalación a diseñar en el presente trabajo final de grado.

### **5.3.2. Especificaciones de la instalación eléctrica**

Las instalaciones eléctricas serán ejecutadas por la empresa especializada, en posesión de todos los requisitos que establece la legislación vigente. Toda la documentación acreditativa será presentada por el director de las obras para que pueda emitir la oportuna autorización de comienzo de los trabajos.

Todo el personal que intervenga en cualquier ejecución, en cualquier parte de las instalaciones eléctricas, aunque sea accesoria, deberá estar en posesión de los oportunos certificados de calificación profesional.

Será condición necesaria para que la dirección autorice su intervención en los trabajos, la entrega de una copia autenticada por la empresa especializada, de los certificados mencionados, así como la justificación de estar de alta en el libro de matrícula.

Antes de iniciar la obra, el contratista presentará unos planos de detalle que indiquen preferentemente una situación real de los recorridos de canalizaciones y conductores. Al finalizar la obra presentará los mismos planos corregidos en la forma como se hizo.

### **5.3.3. Especificaciones de la instalación de fontanería**

La planta está compuesta por una red de tuberías que transportan agua industrial y deben cumplir las especificaciones contenidas en los documentos del presente proyecto.

Las piezas especiales serán capaces de soportar presiones de prueba y trabajo iguales a las tuberías que tengan que instalarse. El cuerpo principal de estos elementos será del material indicado en los planos y si no se especificase en estos, serán del material que garantice el fabricante de reconocida solvencia nacional, previa aprobación del director de las obras, quien también ha de autorizar los modelos a utilizar. En todo caso, el acabado de las piezas

especiales será perfecto y de funcionamiento, durabilidad y resistencia. Deberán acreditarse mediante los oportunos certificados oficiales.

La superficie interior de cualquier elemento, sea tubería o pieza especial, será lisa, no pudiendo admitirse otros defectos de regularidad que los de carácter accidental o local que queden dentro de las tolerancias prescritas y que no representen ninguna merma de la calidad de circulación de agua. La reparación de tales desperfectos no se realizará sin la previa autorización del director de obras.

Los tubos y demás accesorios de las conducciones y redes estarán bien terminados, con espesores regulares, cuidadosamente trabajados y deberán resistir sin daños todos los esfuerzos que estén llamados a soportar en servicio y durante las pruebas.

#### **5.3.4. Instalación de los elementos de la planta**

Los equipos, instrumentación, tanques, conducciones y plataforma a utilizar en la planta piloto de destilación por membranas para el tratamiento de aguas residuales se deben regir por las características y dimensiones establecidas en los catálogos y fichas técnicas del documento “Anexos”.

Todas las partes de los equipos que deben estar en contacto con los elementos a tratar serán de material inalterable, con superficie lisa y fácilmente limpiable.

Los elementos móviles deberán estar provistos de los debidos dispositivos de protección para el manejo del operador. Si en condiciones de trabajo normales, un equipo, con fuerza de acondicionamiento suficiente y manejado de acuerdo con las instrucciones, no diera el rendimiento garantizado, se comunicará a la casa vendedora para que comunique las deficiencias y haga las modificaciones oportunas. Si en el plazo de un mes estas deficiencias no fueran subsanadas, la casa se hará cargo del equipo, puesta, embalada en la estación más próxima a la residencia del cliente, devolviendo el mismo importe que haya pagado o suministrándole a elección de este, en sustitución del equipo retirado, otro de correcto rendimiento.

Serán de cuenta de la casa suministradora el transporte, embalaje, derechos de aduanas, riesgos, seguros e impuestos hasta que el equipo se encuentre en el lugar de su emplazamiento.

El plazo que, para la entrega de los equipos, pacte el promotor con el vendedor de la misma, no podrá ser ampliado más que por causa de fuerza mayor, como huelgas, cierre

patronal, movilización del ejército, guerra o revolución. Será por cuenta de la entidad vendedora suministrar los aparatos y útiles precisos para ejecutar las pruebas de los equipos y verificar las comprobaciones necesarias, siendo de su cuenta los gastos que originen estas. En cada equipo se establecerá una fecha de prueba con el objeto de poder efectuar la recepción provisional, para el plazo mínimo de garantía de un año, en el que su funcionamiento ha de ser perfecto, comprometiéndose la empresa suministradora a reponer por su cuenta las piezas que aparezcan deterioradas a causa de una defectuosa construcción o instalación y a subsanar por su cuenta las anomalías o irregularidades de funcionamiento que impidan su uso normal.



# 6. Estado de mediciones



## Índice

1. Estado de mediciones.....	2
1.1. Partida 1: Equipos principales.....	2
1.2. Partida 2: Instrumentación.....	2
1.3. Partida 3: Tanques.....	3
1.4. Partida 4: Conducciones.....	3
1.5. Partida 5: Plataforma.....	3



## 1. Estado de mediciones

El presente documento muestra las distintas partes en las que puede dividirse el proyecto, llamadas “Partidas” y que pueden medirse. En el estado de mediciones se debe incluir el número de unidades, la magnitud de medida y las características de cada partida, que servirá como punto de partida para la elaboración del presupuesto final del proyecto.

Las partidas que componen el presente proyecto son las siguientes:

- Equipos principales
- Instrumentación
- Tanques
- Conducciones
- Plataforma

### 1.1. Partida 1: Equipos principales

En la tabla E6.1 se muestra el estado de mediciones de los equipos principales que componen la planta.

**Tabla E6.1.** Partida 1: Equipos principales.

Elemento	Unidades	Cantidad
Módulo de membrana	Ud.	1
Intercambiador de calor	Ud.	1
Bomba peristáltica	Ud.	2
Calentador	Ud.	1
Equipo de agua fría	Ud.	1

### 1.2. Partida 2: Instrumentación

En la tabla E6.2 se muestra el estado de mediciones correspondiente a la instrumentación a utilizar.

**Tabla E6.2.** Partida 2: Instrumentación.

Elemento	Unidades	Cantidad
Caudalímetro	Ud.	2
Termopar	Ud.	5
Manómetro	Ud.	2

### 1.3. Partida 3: Tanques

En la tabla E6.3 se muestra el estado de mediciones de los tanques que componen la planta.

**Tabla E6.3.** Presupuesto de partida 3: Tanques.

Elemento	Unidades	Cantidad
Modelo 1	Ud.	2
Modelo 2	Ud.	1

### 1.4. Partida 4: Conducciones

En la tabla E6.4 se muestra el estado de mediciones de las conducciones (tuberías y accesorios) necesarios para la circulación del agua.

**Tabla E6.4.** Partida 4: Conducciones.

Elemento	Unidades	Cantidad
Tuberías de acero galvanizado	m	33
Codos 90° H-H	Ud.	10
Electroválvula de 1/2"	Ud.	6
Unión en "T"	Ud.	5
Reducción 3/4 H - 1/2 H	Ud.	6
Reducción 3/8 M - 1/2 M	Ud.	2
Reducción 1/8 H - 1/2 M	Ud.	2
Reducción 1 H - 1/2 M	Ud.	2
Manguito 1/2 H - 1/2 H	Ud.	4

### 1.5. Partida 5: Plataforma

En la tabla E6.5 se muestra el estado de mediciones de la plataforma que compone la planta.

**Tabla E6.5.** Presupuesto de partida 5: Plataforma.

Elemento	Unidades	Cantidad
Viga IPN 100	Ud.	12
Plataforma de retención	Ud.	9
Barandilla de seguridad	m	16
Viga HEA 140	Ud.	2

# 7. Presupuesto

---



## Índice

1. Presupuesto de ejecución de material.....	2
1.1. Partida 1: Equipos principales.....	2
1.2. Partida 2: Instrumentación.....	2
1.3. Partida 3: Tanques.....	3
1.4. Partida 4: Conducciones.....	3
1.5. Partida 5: Plataforma.....	3
1.6. Partida 6: Mano de obra.....	4
1.7. Presupuesto de ejecución de material total.....	4
2. Presupuesto de ejecución por contrata.....	5
3. Presupuesto total.....	6



## 1. Presupuesto de ejecución de material (PEM)

El PEM representa la suma del presupuesto de cada partida que conforma el proyecto.

Las partidas que conforman el proyecto son las siguientes:

- Equipos principales
- Instrumentación
- Tanques
- Conducciones
- Plataforma
- Mano de obra

### 1.1. Partida 1: Equipos principales

Los equipos principales que forman parte de la partida 1 se muestran en la tabla P7.1.

**Tabla P7.1.** Presupuesto de partida 1: Equipos principales.

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Módulo de membrana	Ud.	1	300,00	300,00
Intercambiador de calor	Ud.	1	1.347,00	1.347,00
Bomba peristáltica	Ud.	2	4.525,50	9.051,00
Calentador	Ud.	1	5.500,00	5.500,00
Equipo de agua fría	Ud.	1	479,00	479,00
			<b>TOTAL</b>	<b>16.677,00</b>

### 1.2. Partida 2: Instrumentación

La instrumentación que forma parte de la partida 2 se muestra en la tabla P7.2.

**Tabla P7.2.** Presupuesto de partida 2: Instrumentación.

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Caudalímetro	Ud.	2	595,00	1.190,00
Termopar	Ud.	5	49,00	245,00
Manómetro	Ud.	2	7,97	15,94
			<b>TOTAL</b>	<b>1.450,94</b>

### 1.3. Partida 3: Tanques

Los tanques que forman parte de la partida 3 se muestran en la tabla P7.3.

**Tabla P7.3.** Presupuesto de partida 3: Tanques.

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Modelo 1	Ud.	2	1.545,00	3.090,00
Modelo 2	Ud.	1	236,00	236,00
<b>TOTAL</b>				<b>3.326,00</b>

### 1.4. Partida 4: Conducciones

Las conducciones (tuberías y accesorios) que forman parte de la partida 4 se muestran en la tabla P7.4.

**Tabla P7.4.** Presupuesto de partida 4: Conducciones.

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Tuberías de acero galvanizado	m	33	3,12	102,96
Codos 90° H-H	Ud.	10	2,16	21,60
Electroválvula de 1/2"	Ud.	6	37,90	227,40
Unión en "T"	Ud.	5	0,56	2,80
Reducción 3/4 H - 1/2 H	Ud.	6	2,13	12,78
Reducción 3/8 M - 1/2 M	Ud.	2	3,03	6,06
Reducción 1/8 H - 1/2 M	Ud.	2	1,33	2,66
Reducción 1 H - 1/2 M	Ud.	2	1,30	2,60
Manguito 1/2 H - 1/2 H	Ud.	4	1,98	7,92
<b>TOTAL</b>				<b>386,78</b>

### 1.5. Partida 5: Plataforma

La plataforma que forma parte de la partida 5 se muestra en la tabla P7.5.

**Tabla P7.5.** Presupuesto de partida 5: Plataforma.

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Viga IPN 100	Ud.	12	141,6	1.699,20
Plataforma de retención	Ud.	9	550	4.950,00
Barandilla de seguridad	m	16	10,94	175,04
Viga HEA 140	Ud.	2	184,8	369,60
<b>TOTAL</b>				<b>7.193,84</b>

## 1.6. Partida 6: Mano de obra

Los costes de la mano de obra, según las estimaciones proporcionadas por el colegio de ingenieros industriales de la Comunidad Valenciana, son un 15% del precio de los equipos principales.

La mano de obra que forma parte de la partida 6 se muestra en la tabla P7.6.

**Tabla P7.6.** Presupuesto de partida 6: Mano de obra.

Elemento	Unidades	Cantidad	Precio total (€)
Mano de obra	%	15	2.501,55
<b>TOTAL</b>			<b>2.501,55</b>

## 1.7. Presupuesto de ejecución de material total

En la tabla P7.7 se muestra el PEM total obtenido de la suma del presupuesto de cada partida.

**Tabla P7.7.** Presupuesto de ejecución de material total.

Partida	Precio total (€)
Partida 1: Equipos principales	16.677,00
Partida 2: Instrumentación	1.450,94
Partida 3: Tanques	3.326,00
Partida 4: Conducciones	386,78
Partida 5: Plataforma	7.193,84
Partida 6: Mano de obra	2.501,55
<b>TOTAL</b>	<b>31.536,11</b>

## 2. Presupuesto de ejecución por contrata (PEC)

El PEC se obtiene teniendo en cuenta el PEM, los gastos generales, que representan el 20% del PEM, y el beneficio industrial, que representa el 6% del PEM. En la tabla P7.8 se muestra el PEC obtenido.

**Tabla P7.8.** Presupuesto de ejecución por contrata.

<b>Elemento</b>	<b>Precio total (€)</b>
PEM	31.536,11
Gastos generales	6.307,22
Beneficio industrial	1.892,17
<b>TOTAL</b>	<b>39.735,50</b>

### 3. Presupuesto total

Finalmente, el presupuesto total se obtiene añadiendo al PEC el 21% de IVA, como se puede ver en la tabla P7.9.

**Tabla P7.9.** Presupuesto total.

<b>Elemento</b>	<b>Precio total (€)</b>
PEC	39.735,50
IVA (21%)	8.344,45
<b>Presupuesto total</b>	<b>48.079,95</b>

Como se puede observar en la tabla P7.9, el presupuesto total del proyecto “Diseño de una planta piloto de destilación por membranas para el tratamiento de aguas residuales” asciende a CUARENTA Y OCHO MIL SETENTA Y NUEVE EUROS CON NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS.

