



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño de una instalación para la recuperación y reutilización de 80 m³/día de salmuera procedente de la fabricación de queso mediante destilación por membranas.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Química

AUTOR/A: Loja Barreto, Jonnathan Ismael

Tutor/a: Vincent Vela, Maria Cinta

Cotutor/a: Cuartas Uribe, Beatriz Elena

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE 80 m³/DÍA DE SALMUERA PROCEDENTE DE LA FABRICACIÓN DE QUESO MEDIANTE DESTILACIÓN POR MEMBRANAS

AUTOR: JONNATHAN ISMAEL LOJA BARRETO

TUTORA: MARIA CINTA VINCENT VELA

COTUTORA: BEATRIZ ELENA CUARTAS URIBE

Curso Académico: 2022-23

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y a mi novia por toda la paciencia y apoyo que me han dado durante todos estos años de estrés y alegría.

A mis tutores por toda disponibilidad y buena atención que me han dado durante estos meses de desarrollo del trabajo.

RESUMEN

La leche ha sido durante muchos años un alimento esencial en nuestra dieta y por lo tanto la fabricación del queso se ha convertido en un proceso cotidiano. Su producción a gran escala implica gestionar los residuos que se generan, además de encontrar una manera de reutilizar dichos residuos de manera eficaz y viable tanto medioambientalmente como económicamente. El residuo del que trata este Trabajo de Fin de Grado es en concreto la salmuera.

En este trabajo se diseña una instalación para la recuperación y reutilización de 80m³/día de salmuera procedente de la fabricación de queso mediante destilación por membranas. Para ello, se analizan varias alternativas para la recuperación de salmuera en base a diferentes fuentes bibliográficas. Tras esta búsqueda bibliográfica se realiza una breve descripción de las diferentes tecnologías de tratamiento. Para finalmente seleccionar los tratamientos más adecuados. En particular se elige la destilación por membranas permitiendo reutilizar el agua y materias primas presentes en la salmuera generada en la fabricación del queso. Concretamente, se utiliza el proceso de ultrafiltración como pretratamiento de la salmuera antes de pasar por el proceso de destilación osmótica por membranas.

Finalmente se realiza el diseño del proceso y el presupuesto.

RESUM

La llet ha sigut durant molts anys un aliment essencial en la nostra dieta i per tant la fabricació del formatge s'ha convertit en un procés quotidià. La seua producció a gran escala implica gestionar els residus que es generen, a més de trobar una manera de reutilitzar aquests residus de manera eficaç i viable tant mediambientalment com econòmicament. El residu del qual tracta aquest Treball de Fi de Grau és en concret la salmorra.

En aquest treball es dissenya una instal·lació per a la recuperació i reutilització de *80m³/dia de salmorra procedent de la fabricació de formatge mitjançant destil·lació per membranes. Per a això, s'analitzen diverses alternatives per a la recuperació de salmorra sobre la base de diferents fonts bibliogràfiques. Després d'aquesta cerca bibliogràfica es realitza una breu descripció de les diferents tecnologies de tractament. Per a finalment seleccionar els tractaments més adequats. En particular es tria la destil·lació per membranes permetent reutilitzar l'aigua i matèries primeres presents en la salmorra generada en la fabricació del formatge. Concretament, s'utilitza el procés d'ultrafiltració com a pretractament de la salmorra abans de passar pel procés de destil·lació osmòtica per membranes.

Finalment es realitza el disseny del procés i el pressupost.

ABSTRACT

Milk has been an essential food in our diet for many years and therefore cheese making has become an everyday process. Their large-scale production involves managing the waste that is generated, as well as finding a way to reuse such waste efficiently and economically. The residue dealt with in this Final Degree Project is specifically the brine.

In this work, an installation is designed for the recovery and reuse of 80m³/day of brine from the manufacture of cheese by means of membrane distillation. To this end, several alternatives for brine recovery are analyzed based on different bibliographic sources. This bibliographical search is followed by a brief description of the different treatment technologies. To finally select the most suitable treatments. In particular, membrane distillation is chosen to reuse the water and raw materials present in the brine generated in the manufacture of cheese. Specifically, the ultrafiltration process is used as a pretreatment of the brine before going through the osmotic membrane distillation process.

Finally, the process design and the budget are performed.

ÍNDICE GENERAL

- MEMORIA
- PRESUPUESTO
- PLANOS

MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1	OBJETIVOS.....	5
2	OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	5
3	JUSTIFICACIÓN.....	6
4	INDUSTRIA DE LA PRODUCCIÓN DEL QUESO.....	7
4.1	MATERIA PRIMA PRINCIPAL.	7
4.2	EL PAPEL DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LA LECHE.	8
4.3	ETAPAS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL QUESO.	10
4.3.1	RECEPCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA LECHE.	10
4.3.2	COAGULACIÓN DE LA LECHE.....	11
4.3.3	CORTE DE LA CUAJADA Y DESUERADO	12
4.3.4	MOLDEADO	12
4.3.5	PRENSADO	12
4.3.6	SALADO	13
4.3.7	MADURACIÓN Y CONSERVACIÓN	13
5	CARACTERÍSTICAS DE LA SALMUERA.	14
6	INTERES EN LA RECUPERACIÓN DE SALMUERA.....	14
7	INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS.....	15
7.1	TIPOS DE MEMBRANAS Y SU FUNCIONAMIENTO.	16
7.2	FUNCIONAMIENTO DE MEMBRANAS DE DESTILACIÓN (MD).	17
7.2.1	TIPOS DE MEMBRANAS DE DESTILACIÓN	18
8	DISEÑO DE LA INSTALACIÓN	19
8.1	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN DE TRATAMIENTO ELEGIDA:	20
8.2	PROCESO DE LIMPIEZA	24
8.2.1	LIMPIEZA MEMBRANA DE UF	24
8.2.2	LIMPIEZA MEMBRANA DCMD.....	25
8.3	CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO	25
8.3.1	CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS DE MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN.....	25
8.3.2	CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS DE MEMBRANA DCMD.	29
8.3.3	DIMENSIONADO DE LOS DEPOSITOS	29
8.3.4	DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS.....	35
8.3.5	INTERCAMBIADORES DE CALOR	42
8.3.6	BOMBAS.....	44
8.3.7	VÁLVULAS	45
9	CONCLUSIONES.....	45
10	BIBLIOGRAFÍA	46

1 OBJETIVOS

Debido a la gran escala de producción del queso a nivel mundial y por lo tanto el gran gasto de agua que este proceso conlleva y de la necesidad de gestionar correctamente la salmuera, existe la gran necesidad de recuperar tanto el agua por un lado y la sal utilizada en este proceso para así reducir el impacto medioambiental debido al alto consumo de agua.

El objetivo es diseñar una instalación para la recuperación y reutilización de 80 m³/día de salmuera procedente de la fabricación del queso mediante destilación por membranas. (MD).

Para conseguir este objetivo principal deben alcanzarse los siguientes objetivos secundarios:

- Reducir los costes de producción haciendo así el proceso más eficiente medioambientalmente.
- Minimizar el vertido de salmuera con sustancias susceptibles de ser valorizadas.
- Reducir los costes de transporte de gestión de salmueras, y por ende los costes económicos.

2 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) son 17 objetivos establecidos en 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas (AG-ONU), que han sido redactados para poner fin a la pobreza, proteger el planeta, garantizar un estilo de vida digno y una perspectiva de vida mejor para todas las personas del mundo. Los objetivos se establecieron en 2015 con el fin de alcanzarlos en 2030. (sostenible, 2023).

El sexto de estos objetivos (ODS 6) es “Agua limpia y saneamiento”, y tiene como fin garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todas las personas. En el último siglo la demanda de agua a nivel mundial ha aumentado exponencialmente debido al alto crecimiento demográfico, la urbanización, el desarrollo económico y el alto consumismo de muchos países. Además, esta demanda es intensificada por el cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos cada vez más frecuentes e intensos. (Española, s.f.).

Este objetivo quiere conseguir un acceso universal y equitativo al agua potable y mejorar la calidad del agua a nivel mundial.

Las empresas juegan un rol fundamental en el cumplimiento de este objetivo, gestionando de forma sostenible los recursos hídricos que utilizan y apostando por la educación y la innovación en la temática.

Por lo que en este proyecto uno de sus objetivos es obtener agua pura y reducir su gasto.

El noveno objetivo es “industria, innovación e infraestructura” (ODS9), y pretende crear una industrialización inclusiva y sostenible, que pueda crear puestos de trabajo, promover nuevas tecnologías y permitir un uso apto de los recursos. Siguiendo este objetivo, en este proyecto se quiere crear una industria inclusiva, con infraestructuras sostenibles y con un impacto medioambiental lo más reducido posible.

El doceavo objetivo es “Producción y consumo responsable” (ODS12), y aspira a parar la destrucción ambiental creada por el ser humano que pone en peligro nuestra supervivencia y desarrollo futuro. Con este objetivo se quiere garantizar el acceso a bienes esenciales como agua, alimentos y energía. Se quiere llegar al cumplimiento de este objetivo a través de una producción y modelo de consumo sostenibles. Empresas como la que se proyecta en este TFG pueden contribuir de diferentes maneras

para acercarse al cumplimiento de este objetivo, por ejemplo, optimizando el uso del agua y reutilizando el agua en todos los procesos que lo permitan. (Naciones Unidas, 2022).

3 JUSTIFICACIÓN

En el proceso de producción del queso es necesaria añadir sales en el proceso para mejorar la conservación y el sabor del queso. Es necesario mantener la concentración de sal constante ya que el queso al mismo tiempo que libera agua absorbe sal, por lo que es necesario añadir más sal.

Este concentrado de agua con sal que se drena es la salmuera, el cual es un residuo que hoy en día no se aprovecha en el proceso si no que se transporta y se trata externamente. Por lo que es una forma poco sostenible de tratar dichas salmueras a un precio bastante elevado.

En este trabajo se aborda el problema de las salmueras con un diseño que combina los procesos de ultrafiltración (UF) con destilación de membranas (MD), recuperando la salmuera en una corriente y obteniendo agua pura en otra.

Este tratamiento de la salmuera conlleva un ahorro en costes de transporte de agua residual, permitiendo instalar este tratamiento en el mismo lugar de producción del queso, por lo que también hay un ahorro en infraestructuras, reducción del consumo de agua ya que se recupera agua pura y en general un ahorro en toda la industria del queso.

En el desarrollo del trabajo de fin de grado se han empleado ciertas competencias adquiridas durante el grado de ingeniería química.

-Conocimientos para la realización de mediciones, cálculos, valoraciones, tasaciones, peritaciones, estudios, informes.

-Resolver problemas con iniciativa propia y con espíritu emprendedor.

-Tomar decisiones y razonar de forma crítica.

-Diseñar equipos, instalaciones y servicios en la industria química.

Los cálculos necesarios para el diseño se han realizado aplicando conocimientos adquiridos en diferentes asignaturas como *Calor y Frío* y *Mecánica de Fluidos*.

Para el presupuesto se han aplicado los conocimientos aprendidos en la asignatura *Proyectos de Ingeniería Química* y para el diseño de planta los conocimientos adquiridos en la asignatura de *Procesos Industriales en Ingeniería Química*.

4 INDUSTRIA DE LA PRODUCCIÓN DEL QUESO.

4.1 MATERIA PRIMA PRINCIPAL.

Las materias primas para la producción de queso son las siguientes:

LECHE:

La leche es la materia prima principal en la producción del queso, puede provenir de vacas, ovejas o cabras principalmente, por este motivo existen varios factores afectan a la calidad del queso como por ejemplo la pureza de la leche, la cantidad de proteínas solubles, el balance de sal o el pH. (Gutierrez, y otros, 2013) .

Para ser utilizada para la producción del queso, la leche tiene que cumplir ciertas características:

- Debe contener un índice bajo de bacterias para facilitar el desarrollo de las bacterias lácticas y sus enzimas.
- No tiene que contener sustancias tales como pesticidas, medicamentos, toxinas microbianas, etc., las cuales son perjudiciales para el consumo.
- Debe tener una baja carga microbiana para que la conservación del producto final pueda ser más prolongada. (Gutierrez, y otros, 2013)

Otro punto por destacar es la acidificación de la leche que es importante para la etapa de desuerado, para la durabilidad del queso, su consistencia y su maduración. (Gutierrez, y otros, 2013).

AGUA:

Ayuda al crecimiento microbiano y a la maduración, también afecta a la textura y la vida del queso, se reduce la acidez realizando lavados a la cuajada para conseguir quesos como Gouda o Havarti y también se añade la misma cantidad de agua que se le quite de suero para conseguir diferentes aspectos de queso. (Gutierrez, y otros, 2013)

SAL:

El cloruro de sodio es otro compuesto principal en la producción del queso ya que mejora la capacidad de formar el cuajo además de intervenir en el sabor, la textura y la durabilidad del queso (Gutierrez, y otros, 2013).

CUAJO:

Esta sustancia tiene la propiedad de coagular la caseína de la leche, hay varios tipos; el cuajo natural, microbiano, genético o vegetal. Así se pueden diferenciar los diferentes tipos de cuajo:

- Dentro de los cuajos naturales se pueden encontrar principalmente el de cabra, de oveja y de ternero (Fernandini, 2006).

- El cuajo genético nació gracias a la ingeniería genética que empezó a usar genes de ternero para producir quimosina, que fue la primera enzima artificial permitida por la FDA. (agencia de alimentos y medicamentos) de Estados Unidos. En los últimos años los problemas de destrucción de la aflatoxina o de genes resistentes a los antibióticos han sido resueltos. Producir queso con cuajo genético es muy parecido a la producción con cuajo natural. (Quijano, 2010).
- El cuajo microbiano es producido a través de mohos capaces de producir enzimas proteolíticas. Dichos mohos son producidos en un fermentador y están concentrados y purificados para evitar la contaminación con sustancias nocivas que se pueden producir durante el proceso de crecimiento del moho. (Quijano, 2010).
- Entre los distintos tipos de cuajo vegetal, el más funcional procede de la flor del cardo, al principio se utilizaba la leche de higuera, el lampazo o el galio, pero era difícil de utilizar y de conservar. (Estrada Korta, 2019).

4.2 EL PAPEL DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LA LECHE.

Los principales componentes de la leche son: proteínas, grasa, agua, lactosa, sales minerales y microorganismos. También contiene trazas de otras sustancias como pigmentos, enzimas, vitaminas, fosfolípidos y sales (Byland, López-Gómez, & Madrid, 2003).

Las cantidades de los componentes y los rasgos físico-químicos de la leche, pueden variar según las diferentes razas de las vacas, o incluso en vacas de la misma raza, ya que pueden ser influenciadas por elementos como el curso del periodo de lactación, la edad del animal, su alimentación, su estado de salud etc. (Byland, López-Gómez, & Madrid, 2003).

PROTEINAS DE LA LECHE:

Se identifican 4 diferentes tipos de proteína que son: caseína, albúmina, globulina y proteínas de membrana. La de mayor proporción, con un 80% es la caseína, que es esencial para la elaboración de quesos (del Pilar Galván Díaz, 2005).

El alto contenido de caseína en la leche es muy importante en la industria del queso, ya que se encarga de la coagulación para la formación de la cuajada. (Lobos Ortega & Pavez Andrades, 2021).

GRASA DE LA LECHE:

La grasa de la leche está compuesta por una gran cantidad de ácidos grasos, los triglicéridos. Los triglicéridos están hechos de un alcohol llamado glicerol unido a 3 ácidos grasos. Los ácidos grasos conforman el 90% de la grasa de leche.

La grasa se encuentra en forma de partículas disueltas en glóbulos formados por una membrana integrada por proteínas, rodeados de una capa de fosfolípidos que evitan que la grasa se separe de la parte acuosa-

Estas grasas son el mayor componente de la leche. En el proceso de elaboración del queso tienen un gran papel en la maduración, en el proceso de lipólisis se generan compuestos que intervienen en el sabor y aroma. También interviene en el rendimiento de la proteólisis de las caseínas. (Gómez, Antonio, & Bedoya Mejía, 2005).

LACTOSA:

La lactosa es un disacárido formado por una molécula de glucosa y otra de galactosa, que corresponde en la leche de vaca alrededor del 4,8%. En la elaboración del queso la mayoría de la lactosa se disuelve en la fase acuosa del suero debido a que es muy soluble en agua, alrededor del 2% suele permanecer en el queso, cifra que puede variar según el proceso de maduración. Durante la maduración, la lactosa se convierte en ácido láctico en el queso. Esto afecta la maduración, la textura y las propiedades del queso. (Guimarães, Teixeira, & Domínguez, 2010).

En la maduración la lactosa residual es convertida en ácido láctico en el queso, esta acidificación tiene un efecto en el desarrollo de la maduración y afecta todas las características de textura y propiedades funcionales del queso. (Hou, Hannon, Mcsweeney, Beresford, & Guinee, 2014)

MICROORGANISMOS:

La gran cantidad de nutrientes que contiene la leche provoca que esté llena de una gran variedad de microorganismos. También en el proceso de extracción de la leche de la vaca hay bacterias. Estas bacterias suelen ser inofensivas, pero este proceso se debe realizar cuidadosamente ya que puede aumentar más el número de bacterias y algunas pueden contaminar la leche haciéndola inadecuada para su consumo. (Byland, López-Gómez, & Madrid, 2003)

Los principales grupos de bacterias que se encuentran en la leche son ácido-lácticas, coliformes, ácido-butíricas, bacterias ácido-propiónicas, y bacterias de la putrefacción. Las bacterias ácido-lácticas se encargan de fermentar la lactosa y producir el ácido láctico disminuyendo el pH. Las principales bacterias que se encuentran en la leche son *Lactococcus* sp, *Lactobacillus* sp, *Streptococcus* y *Propionibacterium*. (Quigley, y otros, 2013).

La calidad del queso dependerá en gran medida de la calidad microbiológica de la leche. La cantidad de bacterias que presenta la leche cruda será esencial para obtener un buen queso. (Robinson, 2005).

4.3 ETAPAS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL QUESO.

A continuación, se muestra el diagrama de bloques del proceso de fabricación de queso:

Recepción y tratamiento de la leche

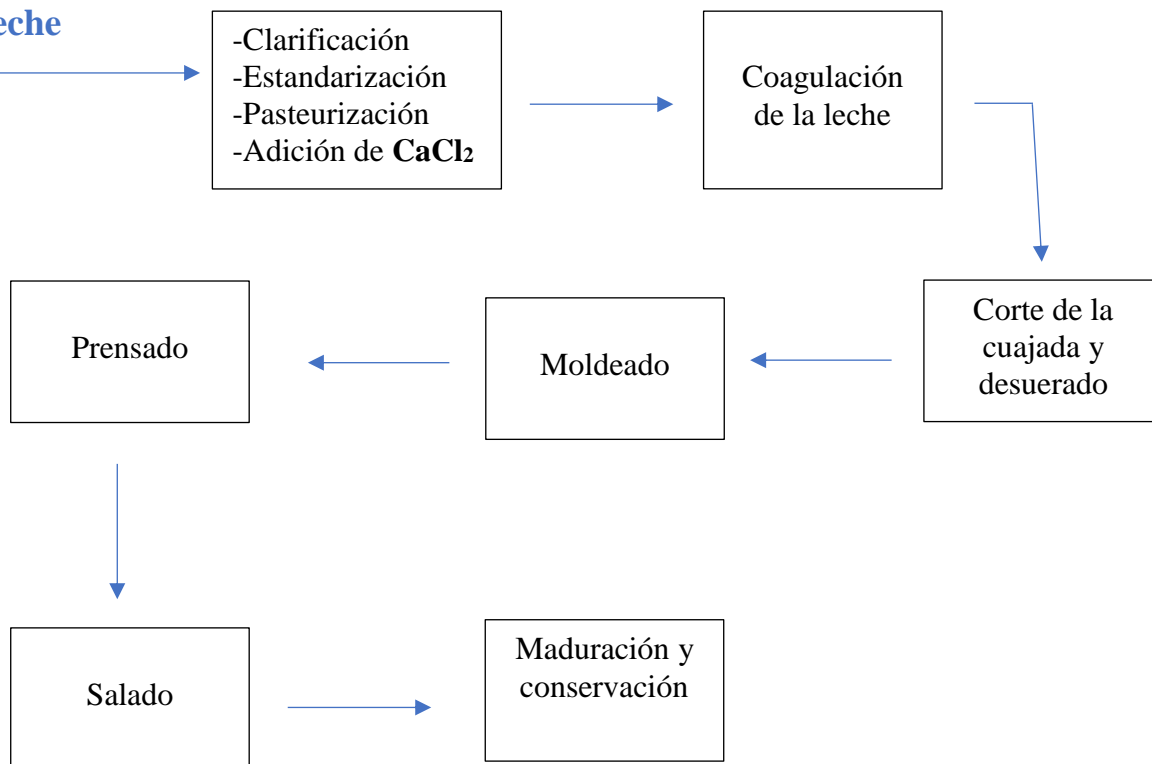


Figura 1. Diagrama de bloques de las etapas de fabricación del queso

Las etapas de las que consta la fabricación de queso se detallan a continuación:

4.3.1 RECEPCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA LECHE.

Previamente a la coagulación de la leche hay varios tratamientos que son la clarificación la normalización de la grasa, la pasteurización y la incorporación de aditivos como el cloruro de calcio.

CLARIFICACIÓN:

Este proceso sirve para eliminar las partículas orgánicas e inorgánicas y los aglomerados de proteínas. Las clarificadoras de leche más empleadas utilizan como sistema de clarificación la centrifugación, esto permite separar partículas de hasta 4-5µm de diámetro. (LÁCTEA).

ESTANDARIZACIÓN:

La leche cruda es bombeada hacia la descremadora para estandarizar el contenido de materia grasa al 2.5 %, separando así la grasa en exceso en forma de crema.

Este tratamiento sirve para conseguir una determinada proporción entre la grasa y la caseína de la leche. Esto se realiza por la necesidad de clasificar los quesos según la cantidad de grasa y la cantidad de sólidos totales. (García Patiño, n.d.).

PASTEURIZACIÓN:

En el proceso de pasteurización se eliminan bacterias patógenas, en la leche se pueden encontrar especies tales como *Salmonella sp*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Escherichia coli*... entre otros, que son perjudiciales para la salud. También se eliminan bacterias que intervienen en el proceso de coagulación de la caseína y la flora, estas pueden causar defectos en el queso como el mal sabor (García Patiño, n.d.).

Existen dos tipos de pasteurización: la pasteurización a baja temperatura (LTHT) y la pasteurización a alta temperatura. (HTST).

- La pasteurización a bajas temperaturas tiene tiempos largos, el proceso se realiza a una temperatura de 65°C durante 30 minutos. Las principales ventajas de este tipo de pasteurización son que conserva mejor el valor nutritivo de la leche y la eliminación de mohos, levaduras y la mayoría de las formas vegetativas de las bacterias. Mientras que, las mayores desventajas son el tiempo de pasteurización muy prolongado y el espacio muy extenso para el tratamiento de volúmenes grandes de leche. (García Patiño, n.d.).
- La pasteurización a altas temperaturas requiere tiempos cortos. En este proceso la leche es impulsada hacia el intercambiador de calor de placas por medio de bombeo, en el intercambiador de placas se realiza el ciclo de pasteurización a 76° C durante 15 segundos, a continuación, se enfría en la sección de enfriamiento del HTST hasta 33-34° C, y luego es impulsada a la tina en donde se elabora el producto. La principal ventaja de este tipo de pasteurización es que casi no modifica la naturaleza física, química y nutritiva de la leche. Mientras que, la mayor desventaja es que debe mantenerse refrigerada para evitar el crecimiento de los gérmenes. (García Patiño, n.d.).

ADICIÓN DE CLORURO DE CALCIO (CaCl₂):

Esta adición es necesaria para lograr una buena coagulación, ya que las micelas de la caseína deben estar saturadas de calcio para no obtener un coágulo blando y evitar pérdidas de partículas de caseína y grasa, además de mejorar proceso en su conjunto. Normalmente se adicionan de 5 a 20 gramos de cloruro de calcio por cada 100 litros de leche. Es importante distribuirlo uniformemente y añadirlo minutos antes del cuajo. (García Patiño, n.d.).

4.3.2 COAGULACIÓN DE LA LECHE.

Este proceso es fundamental en la elaboración del queso y puede haber tres métodos.

- El primero consiste en añadir el cuajo en el cual su principio activo es la renina.
- El segundo consiste en la acidificación de la leche mediante ácidos orgánicos como el ácido cítrico o láctico hasta llegar a pH 4,6- 4,7 (punto isoeléctrico de la caseína). Después habrá que calentar ligeramente.

- El tercer método consiste en la inclusión de los dos anteriores (Lucey, Johnson, & Horne, 2003).

4.3.3 CORTE DE LA CUAJADA Y DESUERADO

Luego de la coagulación de la leche se pueden obtener 2 productos:

- La cuajada, que es la caseína coagulada por acción del cuajo. Esto es lo que da origen a la masa del queso (se entiende por masa del queso el producto obtenido de la elaboración del queso después de que haya transcurrido el período de maduración).
- El suero, que es un subproducto de la cuajada contiene sales, proteínas hidrosolubles, vitaminas, minerales, lactosa y algo de grasa.

Para separar el suero de la cuajada se deberá cortar la cuajada, a través de liras. Esta operación es realizada en un tiempo de aproximadamente 10-15 minutos.

Mientras que el desuerado se da previamente 30 minutos de agitación rápida auxiliado con las palas plásticas y 10 minutos de agitación lenta, después se procede a realizar el desuerado total del producto a 33-34 ° C durante 45 minutos, haciendo drenar todo el suero contenido en él.

Un aspecto a destacar es la importancia de drenar la misma cantidad de suero para cada tipo de queso, normalmente del 35 al 50% del volumen inicial de leche. Controlando esta etapa se regula el extracto seco total exigido por la legislación. (García Patiño, n.d.)

4.3.4 MOLDEADO

Consiste en, después de la eliminación de la mayor parte del suero, colocar la cuajada (33-34 ° C) en moldes de acero inoxidable y prensarlos a 100 PSI en una prensa hidráulica por un periodo de 48 horas, este proceso es el que dará la apariencia final al queso. (Silva, 2004).

4.3.5 PRENSADO

El prensado y desuerado de la cuajada sirve para diferentes finalidades:

- Para dividir el queso en unidades y darle la forma final.
- Para eliminar más residuos de suero.
- Para adquirir una superficie firme que le permite mantener su forma y estructura en los procesos posteriores de salado, maduración, etc.

Dependiendo del tipo de queso, el prensado se lleva a cabo en condiciones distintas de tiempo, temperatura, pH y presión, los cuales son los principales factores que intervienen en esta operación. (Silva, 2004)

4.3.6 SALADO

Este proceso consiste en añadir cloruro de sodio (sal común) al queso. Normalmente se realiza por inmersión directa de los quesos en salmuera o también en un baño de decapado en el cual se añade sal y agua.

Los principales objetivos del salado:

- Se realza el sabor del queso.
- Se evita el crecimiento de microorganismos
- Mejora la apariencia y consistencia de los quesos (Byland, López-Gómez, & Madrid, 2003).

4.3.7 MADURACIÓN Y CONSERVACIÓN

Es la última fase de la fabricación del queso. La cuajada, antes de iniciarse la maduración, presenta una capacidad, volumen y forma ya determinadas. Suele ser ácida en razón de la presencia de ácido láctico. En el caso de los quesos frescos la fabricación se interrumpe en esta fase.

Los demás tipos de queso se someten a un proceso de maduración más o menos pronunciada, en este proceso ocurren tres grandes fenómenos:

- Fermentación de la lactosa con producción de ácido láctico, menor cantidad de ácido acético, ácido propiónico diacetilo y dióxido de carbono.
- Hidrolisis de grasa que interviene en el sabor y aroma del queso.
- Hidrolisis de las proteínas que también afectan al sabor del queso y su textura.

Según el tipo de queso se pasa por un tipo u otro de maduración:

- Los quesos duros: maduran en condiciones que eviten el crecimiento superficial de microorganismos y disminuyan la actividad de los microorganismos y enzimas del interior. La maduración ha de ser un proceso lento y uniforme en toda la masa del queso, no debe afectar el tamaño.
- Los quesos blandos: se mantienen en condiciones que favorezcan el crecimiento de microorganismos en su superficie, tanto mohos (*Penicillium amemberti* en queso Camembert), como bacterias (*Brevibacterium linens* en queso Limburger). Las enzimas producidas por estos microorganismos se difundirán hacia el interior del queso, progresando la maduración en esta dirección. La forma plana y el tamaño relativamente pequeño de estos quesos favorecen dicho proceso.
- Un sistema intermedio sería el utilizado en los quesos madurados internamente por mohos (quesos azules). Al inicio, los microorganismos y sus enzimas son responsables de cambios en

el interior del queso. Posteriormente se favorece la penetración de aire al interior del queso, introduciéndose, de forma natural o mediante inoculación, ciertos mohos como *Penicillium roqueforti*, responsable del sabor y aspecto característicos de estos quesos. (García Patiño, n.d.).

5 CARACTERÍSTICAS DE LA SALMUERA.

La salmuera es agua con una alta concentración de sal que se utiliza en la industria del queso para mejorar su sabor, consistencia y conservación.

Esta salmuera está compuesta principalmente por agua y sal común, además se le añade cloruro cálcico y ácido láctico (de cloruro cálcico se utiliza alrededor 1 ml por 20 litros y de ácido láctico 3 ml por 20 litros).

En la fabricación del queso se usan en el proceso de salado, un baño de una salinidad de aproximadamente 220/230 g/L, que equivalen a una concentración de 16° Baumé. La sal que contiene el queso no depende solo de la concentración de sal de la salmuera sino también de su temperatura, del tamaño del queso y su porosidad.

Por ejemplo, para quesos de alrededor de 1 kg se suelen dar 6-8 horas de salado en salmuera refrigerada de 6 a 8°C y a una concentración de 16° Baumé.

Cuando se prepara una salmuera se suele añadir cloruro cálcico (que se utiliza para la elaboración del queso) y ácido láctico para evitar que en los primeros usos de la nueva salmuera salgan quesos más húmedos que tardan más en secar. (Yanguicela, 2016)

6 INTERES EN LA RECUPERACIÓN DE SALMUERA.

En el proceso de fabricación del queso se libera una salmuera. Para mantener constante la concentración de sal, esta se añade periódicamente al baño y se desecha parte de la salmuera. Esta salmuera es un residuo que contiene una concentración de 200-220 g/l de cloruro de sodio además de material orgánico (proteínas, lactosa, principalmente), calcio y magnesio. Este residuo se transporta y trata en otras instalaciones de desalinización a un coste bastante elevado. Por lo que no solo es un problema económico sino también medioambiental.

Las instalaciones de desalinización de salmueras del queso son sistemas utilizados para eliminar la sal y otros compuestos presentes en la salmuera. Existen varias tecnologías disponibles, como la osmosis inversa, la electrodiálisis y la evaporación. La elección de una tecnología u otra depende de varios factores, como la calidad de la salmuera, el volumen de salmuera a tratar, los requerimientos del agua final y su viabilidad económica. Es importante destacar que la implementación de estas instalaciones puede ser costosa y requerir un buen mantenimiento. Por lo tanto, es fundamental evaluar la viabilidad económica.

OSMOSIS INVERSA: Este proceso utiliza una membrana semipermeable para eliminar los iones y las partículas de sal y otros compuestos presentes en la salmuera. La presión es aplicada a la solución de la salmuera para forzar el paso del agua a través de la membrana, mientras que los iones y las partículas más grandes quedan retenidos.

ELECTRODIÁLISIS: Esta tecnología utiliza una serie de membranas selectivas para separar los iones presentes en la salmuera. La salmuera fluye a través de las membranas mientras que una corriente eléctrica es aplicada, lo que permite que los iones se muevan hacia las membranas cargadas eléctricamente y sean separados del agua.

EVAPORACIÓN: La evaporación es otra técnica utilizada para eliminar el agua de la salmuera y concentrar los sólidos, incluyendo la sal. El proceso de evaporación se lleva a cabo aplicando calor a la salmuera, lo que provoca la evaporación del agua. El vapor de agua se condensa y se recoge, mientras que los sólidos concentrados en la salmuera se desechan. (De Armas, Pérez, & von Gottberg, 1999)

Mediante la destilación por membranas se pueden tratar concentraciones de sal mucho más altas y a un coste mucho menor en comparación a los métodos utilizados hoy en día, mencionados anteriormente.

7 INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS.

Esta tecnología se basa en el uso de membranas semipermeables o selectivas que actúan como barreras de separación para diferentes solutos. Existen varios tipos de membranas cada una con distintas propiedades y aplicaciones.

El funcionamiento de las membranas se basa en la difusión y la energía de los gradientes de concentración a través de la membrana. Puede haber diferentes fuerzas impulsoras, hay procesos de membrana donde la única fuerza impulsora es la presión, o la fuerza impulsora es la diferencia de concentración. En otros es el potencial eléctrico.

Al aplicar una presión a una solución, los componentes más pequeños y solubles pasan a través de la membrana mientras que los más grandes y menos solubles quedan atrás. El material de la membrana, junto con la presión aplicada, determinará la selectividad y el flujo de los solutos a través de la membrana. (Novak, 1996).

La destilación por membranas tiene distintas características:

- La membrana tiene que ser porosa e hidrófoba y con una baja conductividad térmica para reducir las pérdidas de calor por conducción.

- La membrana debe tener una buena resistencia química, térmica y mecánica para aumentar su tiempo de vida.
- Los poros de la membrana tienen que ser impermeables a los líquidos y no se debe producir condensación capilar dentro de ellos.
- La membrana no debe modificar el equilibrio líquido-vapor de los componentes.
- Por lo menos un lado de la membrana debe estar en contacto directo con el líquido.

La fuerza motriz de este proceso, para cada componente, es la diferencia de presiones parciales de vapor entre los lados de la membrana.

Las etapas del proceso de transporte son:

- La evaporación en el lado caliente de la membrana.
- El transporte en forma de vapor a través de los poros de la membrana.
- La condensación una vez llegados al lado del permeado (condensación que puede ocurrir al interior o exterior) (Correa Marin, 2003).

7.1 TIPOS DE MEMBRANAS Y SU FUNCIONAMIENTO.

MEMBRANAS DE ULTRAFILTRACIÓN (UF):

Son membranas porosas que separan compuestos según su tamaño. Las membranas de UF se utilizan principalmente en la separación de proteínas y lípidos de la leche y suero, clarificación de cerveza y vino y tratamiento de aguas residuales.

Reúne grandes moléculas y macromoléculas cuyo peso molecular está entre un valor de 1000 y de 200,000 Da, por lo cual la membrana tiene un diámetro de aproximadamente de $0,01\mu\text{m}$ de poro. Se efectúa a valores de presión inferiores 1000 kPa.

El proceso de ultrafiltración también se utiliza para separar polímeros y almidones, dispersiones coloidales de arcillas, partículas de látex, microorganismos y mezclas de proteínas de diferentes pesos moleculares. El corte molecular de la membrana (MWCO) es el peso molecular de las proteínas globulares que son retenidas en un 90% por la membrana. Las moléculas que no traspasan la membrana son material retenido o concentrado, mientras que los materiales disueltos de bajo peso molecular son disolventes, sales, azúcares y agua que pasan a través de la membrana por una fuerza impulsora de presión hidrostática relativamente baja (1- 10 bar). Esta corriente que se forma se conoce como permeado o **filtrado**. (Solís, Vélez, & Ramírez-Navas, 2017).

MEMBRANAS DE OSMOSIS INVERSA (OI):

Estas membranas utilizan una presión específica para separar el agua y los solutos de la solución original. Este proceso se utiliza para desalación de agua de mar, tratamiento de agua potable, eliminación de metales tóxicos y producción del suero en la industria del queso.

El tamaño de los poros está entre $0,0005 - 0,0015\mu\text{m}$ y permite obtener residuos con un contenido de 30% de sólidos como máximo. (Solís, Vélez, & Ramírez-Navas, 2017)

MEMBRANAS DE NANOFILTRACIÓN (NF):

Son similares a las de OI, pero tienen un tamaño de poro ligeramente más grande. Son utilizadas para la eliminación de bacterias y virus en agua potable, eliminación de color y olor en procesos de tratamiento de agua y en la separación de competentes de soluciones complejas. Separa las partículas que tienen un diámetro de poro inferior a $0,001\mu\text{m}$ (1nm). Retiene la lactosa y otros componentes de gran tamaño, permitiendo permear sólo iones minerales monovalentes y agua. (Solís, Vélez, & Ramírez-Navas, 2017).

MEMBRANAS DE MICROFILTRACIÓN (MF):

Estas membranas tienen poros más grandes que las membranas de UF.

Las partículas que separa tienen un tamaño comprendido entre $0,05$ y $10\mu\text{m}$, y usa presiones entre los $0,5$ y los 3 bar . Usualmente se utiliza para separar bacterias y partículas sólidas de la industria alimentaria y farmacéutica: por lo tanto, se emplea como etapa de limpieza, de concentración o como pretratamiento para la nano filtración o a la ósmosis inversa. (Solís, Vélez, & Ramírez-Navas, 2017).

MEMBRANAS DE DESTILACIÓN (DM):

Las membranas que se utilizan para procesos de destilación suelen ser de poli tetrafluoretileno (PTFE), polipropileno (PP) o de di-fluoruro de polivinilideno (PVDF), los tamaños de los poros de estos materiales suelen variar entre $0,1$ y $1\mu\text{m}$ y sus porosidades entre el 60 y 90% . Hay distintas maneras de fabricar las membranas microporosas e hidrófobas como la extrusión, la inversión de fase, la separación de fase inducida térmicamente... (Lawson & Lloyd, 1997).

Existen muchas variedades de módulos diseñados para los procesos de destilación en membranas. Gran parte de los módulos usados en los laboratorios son diseñados para ser utilizados con membranas planas, ya que son más versátiles que otras, además son más fáciles de reemplazar y con el mismo contactor se pueden realizar ensayos con diferentes tipos de membrana, pero un problema que presenta es que el área de transporte eficaz es pequeña.

Mientras que por ejemplo las membranas tubulares y las de fibra hueca son difíciles de reemplazar, ya que suelen ser parte integrante del módulo, además en la mayoría de los casos se pueden utilizar solo con la modalidad de contacto directo, pero a diferencia de las membranas planas el área es mayor. (Wu, Kong, Lin, Liu, & Xu, 1992).

7.2 FUNCIONAMIENTO DE MEMBRANAS DE DESTILACIÓN (MD).

La destilación por membrana (MD) es un proceso de separación debido a un gradiente de temperatura que separa la alimentación evaporando a través de los poros y condensando posteriormente. Opera a una temperatura moderada y usa la diferencia de presión de vapor a ambos lados de la membrana como fuerza motriz. La alimentación líquida a tratar mediante MD, debe estar en contacto directo con una de las superficies de la membrana y no penetra a través de los poros secos de la membrana, ya que al ser hidrófoba solo permite el paso de moléculas en estado vapor. (El-Bourawi, 2006)

Las mayores ventajas de la MD son, que además de ser un proceso evaporativo, no tiene límites debidos la presión osmótica (cosa que pasa en la Osmosis Inversa, por ejemplo), esto aumenta su potencial para el aumento del factor de recuperación, y la alimentación no necesita pre-tratamiento químico. (Bello Puerta, 2011).

El tipo de destilación en membranas depende de la composición del permeado, flujo y volatilidad de los compuestos a separar.

7.2.1 TIPOS DE MEMBRANAS DE DESTILACIÓN

Diferenciamos 4 tipos principales de procesos de DM.

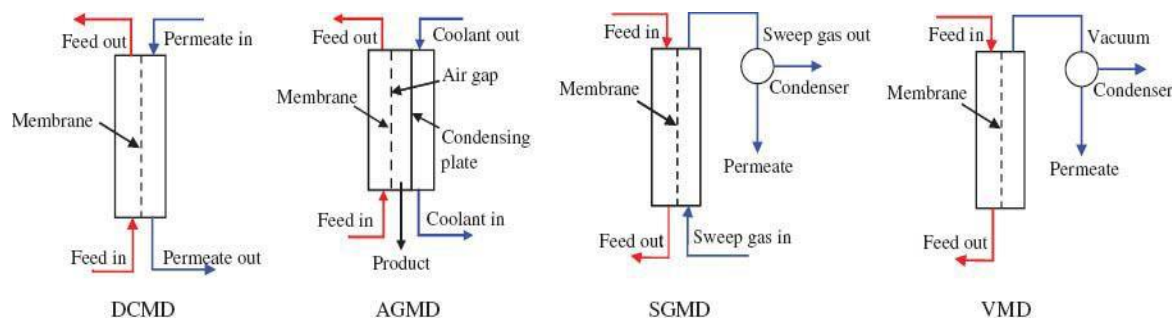


Figura 2. Diferentes Configuraciones en MD (El-Bourawi, 2006)

DESTILACIÓN POR MEMBRANAS EN CONTACTO DIRECTO (DCMD): Es la más simple, la principal ventaja de este sistema es que puede usarse con cualquier configuración de membranas (planas, tubulares, capilares...). Esta modalidad se emplea para solutos no volátiles, consiste en conservar una solución acuosa que está a menor temperatura que la alimentación en contacto directo con la superficie permeada de la membrana. La diferencia de temperaturas transmembranal induce a una diferencia de presiones que es la fuerza impulsora. Consecuentemente, las moléculas volátiles se evaporan en el interfaz líquido/vapor caliente, cruzan la membrana en estado vapor y condensan en la interfaz líquido/vapor frío dentro del módulo de MD. (El-Bourawi, 2006).

DESTILACIÓN POR MEMBRANAS CON GAP DE AIRE (AGMD): Tiene una superficie fría dentro del compartimento donde se condensan los vapores transportados a través de la membrana. Está compuesta por un hueco relleno de aire entre la membrana y la superficie de condensación que sirve para reducir las pérdidas de calor por conducción a través de la membrana. Esta es la principal ventaja frente a la DCMD. Pero esto lleva a una producción menor de destilado porque se crea una mayor resistencia a la transferencia de masa. Otro inconveniente es que solo se pueden usar membranas planas o tubulares debido a la necesidad de una superficie de condensación por lo que la relación volumen de la célula frente al área de la membrana es mayor que en la DCMD. Este es el tipo de destilación más generalista ya que puede ser usada en cualquier aplicación. (El-Bourawi, 2006).

DESTILACIÓN POR MEMBRANAS POR ARRASTRE DE GAS (SGMD): Se usa una corriente de gas inerte para arrastrar los vapores, los cuales se condensan fuera de la célula. El estudio de

transferencia de calor en esa modalidad es mucho más complejo. Se observaron flujos más altos que en el caso de la AGMD e independientes de la temperatura del gas inerte, además las pérdidas de calor a través de la membrana son comparables a las de los experimentos con AGMD. (El-Bourawi, 2006).

DESTILACIÓN POR MEMBRANAS A BAJA PRESIÓN (VMD): Consiste en aplicar una bomba de vacío en el lado de la membrana que está en contacto con el permeado, la presión de vacío que se aplica es más baja respecto a la presión de saturación de las moléculas volátiles que atraviesan la membrana. La condensación también ocurre fuera de la membrana. (El-Bourawi, 2006).

8 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

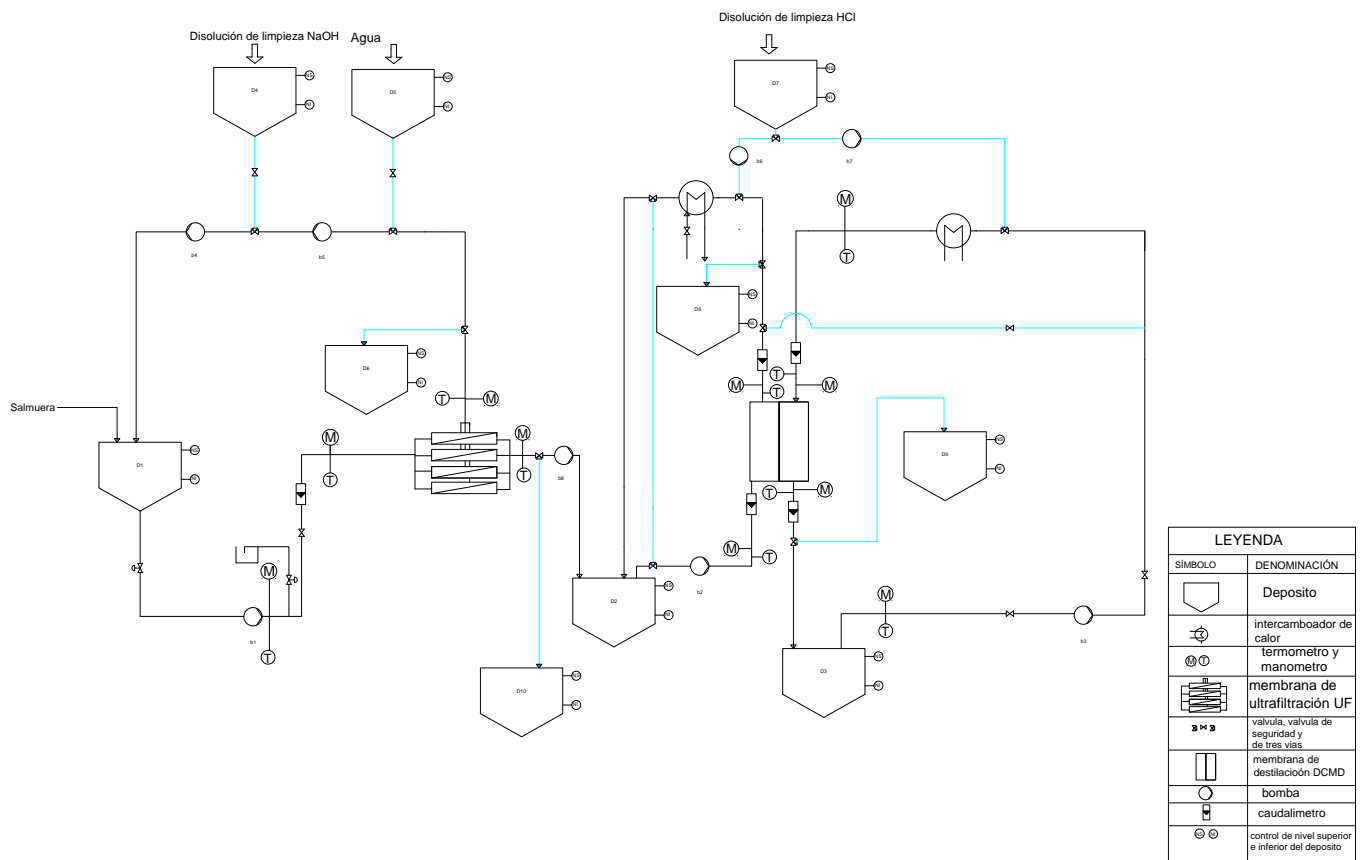


Figura 3. Diagrama de flujo de la instalación.

8.1 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN DE TRATAMIENTO ELEGIDA:

En la Figura 3 se puede observar el proceso completo. La salmuera se acumula en el tanque de salmuera, a esta salmuera se le realiza un pretratamiento con membranas de ultrafiltración donde el permeado pasa al tanque de permeado de la membrana de ultrafiltración y el rechazo vuelve al tanque de salmuera.

El permeado pasa a la membrana de destilación donde hay dos corrientes, una donde se recoge el agua pura y otra donde el rechazo de la membrana de destilación vuelve al tanque de permeado de la membrana de ultrafiltración.

El proceso se detalla en los siguientes puntos.

A continuación, se muestra un diagrama de bloques del tratamiento elegido:

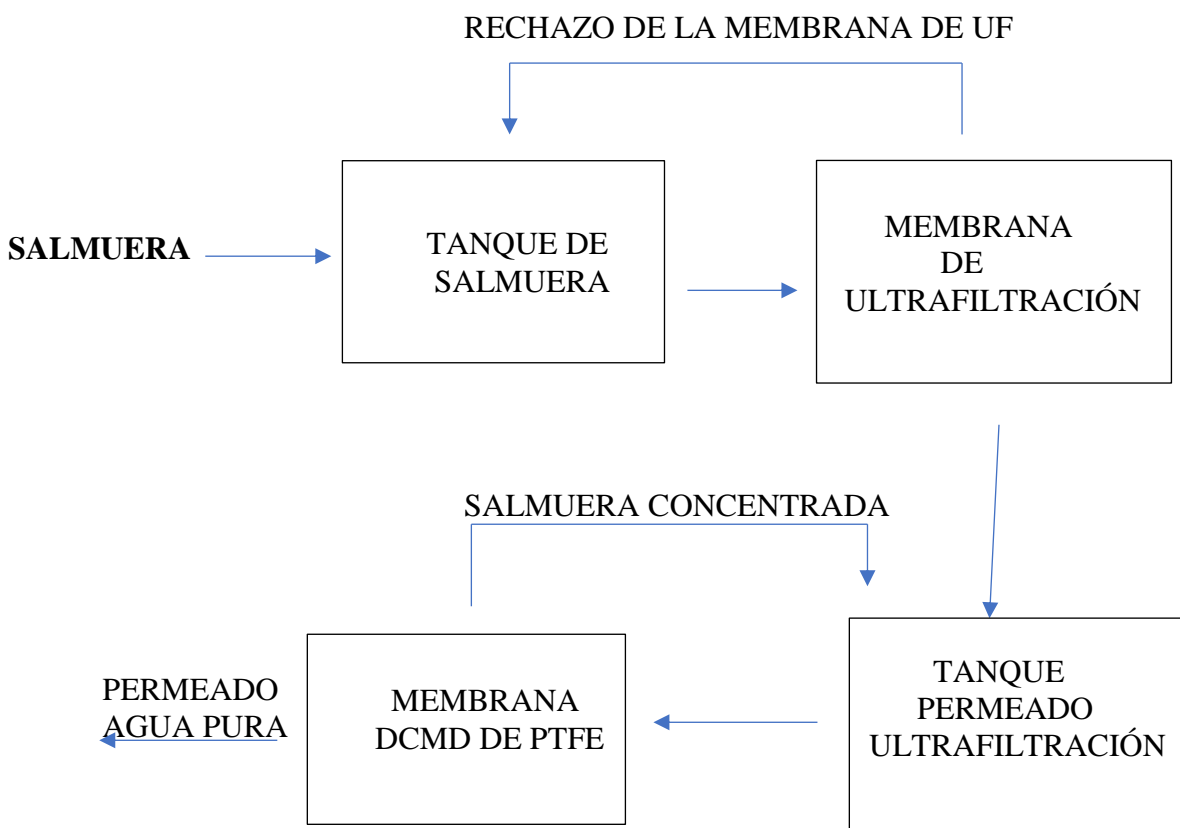


Figura 4. *Diagrama de bloques de la instalación.* (Eykens, De Sitter, Boeckaert, Boeckx, & Borgmans, 2018)

El pretratamiento con membranas de ultrafiltración es necesario para reducir los problemas de ensuciamiento en la membrana de destilación. Con la ultrafiltración se consigue eliminar compuestos orgánicos según su tamaño molecular, sólidos en suspensión, y ciertas partículas. En este caso se ha elegido una membrana de ultrafiltración de fibras huecas de la serie SFP de módulos de ultrafiltración DOW está construida con fibra PVDF exterior-interior con 0,03 μm de diámetro de poro nominal. Se

ha elegido esta membrana por su amplia variedad de aplicaciones de tratamiento, tanto para aguas residuales industriales como para agua de mar. (<https://es.pureaqua.com/dow-ultrafiltracion-sfp-2860/>, s.f.)

Las fibras huecas se caracterizan por su alta capacidad de limpieza, bajo consumo de productos químicos, alta recuperación y una combinación superior de propiedades mecánicas y resistencia química. Los módulos son los SFP-2860 recomendados para la eliminación de bacterias, virus y partículas, incluidos coloides, y así proteger procesos posteriores que este caso es la destilación por membranas en concreto DCMD.

Tabla 1. *Especificaciones de la membrana de UF Dow Chemical*

Especificaciones	
Modelo	SFP-2860
Área de membrana (m ²)	51
Volumen del módulo (L)	35
Peso (vacío/lleño de agua) (kg)	48/83

Tabla 2. *Parámetros de operación de la membrana de UF Dow Chemical.* (<https://es.pureaqua.com/dow-ultrafiltracion-sfp-2860/>, s.f.)

Especificaciones	
Fujo de filtrado ($\frac{L}{h \cdot m^2}$)	40-120
Rango de flujo ($\frac{m^3}{h}$)	2-6,1

Temperatura (°C)	1-40
Presión máxima del módulo de entrada (bar)	6,25
Presión máxima de retrolavado (bar)	2,5

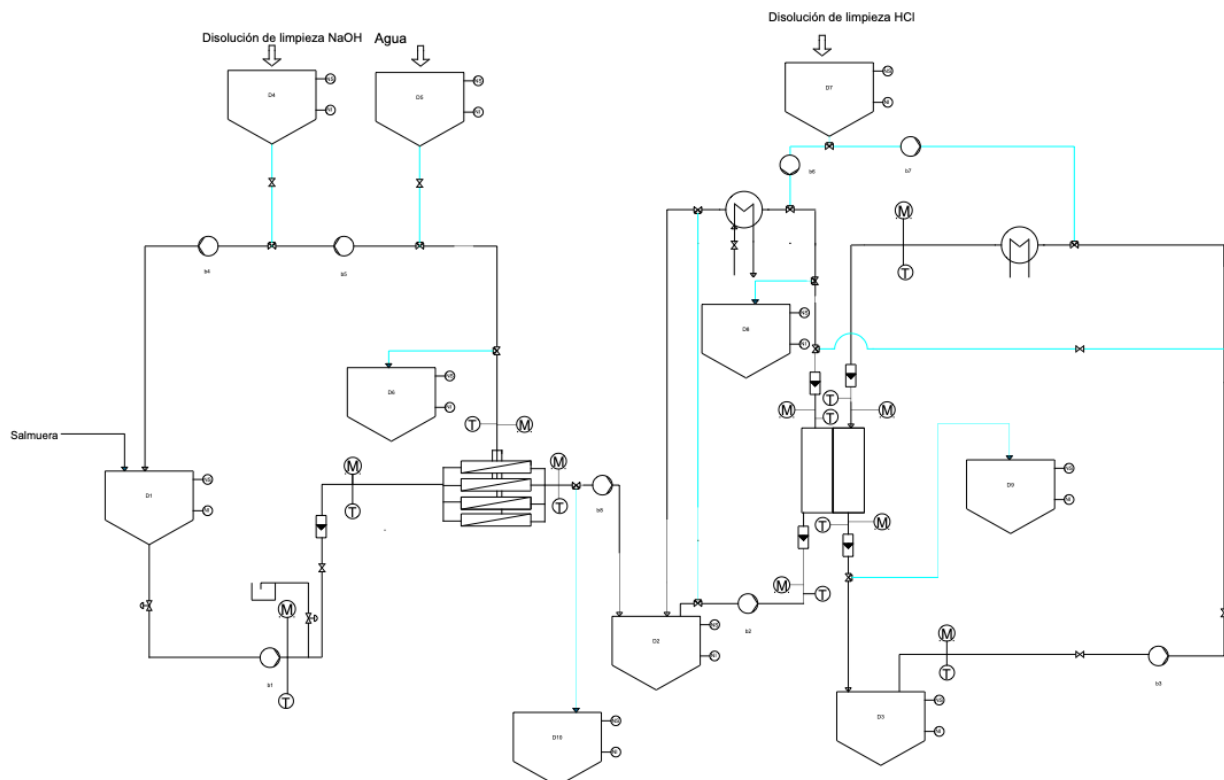
El modelo de membrana de destilación elegida es el MD6040S de material PTFE

Tabla 3. *Especificaciones de la membrana de MD.* (<https://www.hydrobluemem.com/product/ptfe-membrane-distillation-module/>, s.f.)

Especificación	Fibra #1
Material de la membrana	PTFE
Diámetro interior de fibra (mm)	0.52
Diámetro exterior de fibra (mm)	1
Porosidad (%)	45
Presión de penetración del agua (bar)	>4.5
Flujo ($\frac{L}{h \cdot m^2}$)	3-8

Tabla 4. *Especificaciones de la membrana MD.* (<https://www.hydrobluemem.com/product/ptfe-membrane-distillation-module/>, s.f.)

Especificación/modelo	MD6040S
Área efectiva (m ²)	28
Flujo del módulo (L/h)	84-224
Material de la membrana	PTFE
Material de la carcasa	CPVC
Dimensión del modulo	φ160-1230mm
Tamaño de puerto (mm)	DN40



El proceso funciona por cargas. La salmuera se descarga en el depósito D1, donde a partir de ahí es transportada hacia la membrana de ultrafiltración atravesando una válvula e impulsada mediante una

bomba y un caudalímetro para asegurar que el caudal de 5 m³/h llega a los módulos de membrana de ultrafiltración, ahí se hace un pretratamiento a la salmuera para eliminar sólidos en suspensión, compuestos orgánicos y ciertas partículas y así evitar que la membrana de destilación sature.

El caudal de 5 m³/h de salmuera se calcula a partir del caudal de 80 m³/día que se quieren recuperar, se ha hecho el cálculo para una jornada de trabajo de 16 horas (un día de trabajo).

$$Q \frac{L}{h} = 80 \frac{m^3}{día} \cdot \frac{1 día}{16 \text{ horas de trabajo}} \cdot \frac{1000L}{1m^3} = 5000 \frac{L}{h} \quad (Ec. 1)$$

El permeado de la membrana de ultrafiltración pasa a través de una válvula al depósito D2 a partir de aquí es bombeado a la membrana de destilación DCMD, donde se ve en el plano del proceso que hay dos zonas, una zona de fluido caliente donde se calienta el fluido a 70°C con un intercambiador de calor y otra zona donde está el fluido frío a 20°C. Estas temperaturas se han tomado de referencia de un trabajo realizado con membranas de destilación en la que se realiza un proceso similar con salmueras provenientes de la fabricación del queso (Eykens, De Sitter, Boeckaert, Boeckx, & Borgmans, 2018)

La salmuera atraviesa la membrana de destilación en la zona del fluido caliente, el agua de la salmuera se evapora y atraviesa la membrana que es hidrófoba. La salmuera que es el soluto no volátil no puede atravesar la membrana, por lo que solo pasa el vapor de agua.

En el otro lado de la membrana está el fluido frío, que es agua y condensará las partículas de agua en estado vapor provenientes de la salmuera que han atravesado la membrana. El destilado impulsado por la gravedad entrará en el tanque de destilado D3.

El caudal de salmuera proveniente de la fabricación del queso que se tiene que tratar es de 80m³/día. El tratamiento a diseñar combina ultrafiltración como pretratamiento con membranas de destilación como tratamiento final para su recuperación y reutilización de esta salmuera. En los cálculos realizados con el programa wave el caudal de permeado es de 4,5m³/h

8.2 PROCESO DE LIMPIEZA

8.2.1 LIMPIEZA MEMBRANA DE UF

La limpieza de la membrana de ultrafiltración consiste en dos lavados uno con agua y otro con una disolución alcalina de hidróxido de sodio al 1% (p/v). La limpieza se realiza a todo el ciclo del pretratamiento, se hace una limpieza cada mes que tiene tres fases, aclarado, limpieza y otra vez aclarado. Se realiza un aclarado con agua durante 15 minutos, a continuación, una limpieza con la disolución de hidróxido de sodio durante 30 minutos y para finalizar otro aclarado de agua durante 15 minutos.

El residuo de lavado se recoge en un depósito de residuos D6 y se lleva a gestión.

La limpieza se realiza de forma periódica, se ha establecido hacer una limpieza cada mes.

8.2.2 LIMPIEZA MEMBRANA DCMD

Para la limpieza de la membrana de destilación se ha establecido una frecuencia de limpieza diaria. Esta se realiza al final de cada jornada.

La limpieza consiste en dos lavados de 10 minutos, uno con agua pura y otro con una disolución de ácido clorhídrico al 5% durante 10 minutos cada uno. Para el lavado con agua se aprovecha el mismo depósito D3 de agua pura del proceso de destilación por membranas y se recogen los residuos en otro depósito de residuos D9.

Para el lavado de HCL hay otro depósito D7 conectado a ambos lados del ciclo de destilación por membranas, en el tramo del fluido frío los residuos se recogen en el depósito de residuo D9 que se lleva a gestión. Para el ciclo del fluido caliente hay otro depósito de residuo D8 donde también se recogen los residuos del ciclo caliente y se lleva a gestión.

8.3 CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO

8.3.1 CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS DE MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN.

El modelo de membrana de ultrafiltración elegida es la SFP-2860. El área de los módulos de ultrafiltración es de 51 m^2

A continuación, se muestran las capturas de pantalla del programa wave que se ha utilizado para realizar los diferentes cálculos de la membrana de ultrafiltración.

El número de módulos calculados coincide con el número de módulos que muestra el programa wave. La membrana se ha elegido teniendo en cuenta los datos proporcionados por el programa wave.

$$\text{Área} = \frac{Q_p}{J_p}$$

$$Q_p = 4,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad \text{Donde } Q_p \text{ es el caudal de permeado de la membrana de UF}$$

$$J_p = 27,1 \frac{\text{L}}{\text{h}\cdot\text{m}^2} \quad \text{Donde } J_p \text{ es el flujo de permeado de la membrana de UF que proporciona el software diseñado por los fabricantes de la membrana según estas condiciones de operación.}$$

$$\text{ÁREA} = \frac{Q_p}{J_p} = \frac{4500\text{L}}{27,1 \frac{\text{L}}{\text{h}\cdot\text{m}^2}} = 166,05 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec.2})$$

$$\text{área módulo} = 51\text{m}^2$$

$$\text{NÚMERO DE MÓDULOS MEMBRANA UF} = \frac{\text{Área}}{\text{área módulo}} = \frac{166,05 \text{ m}^2}{51 \text{ m}^2} = 3,26 \quad (\text{Ec. 3})$$

Por lo que el número total de módulos serán = 4

$$\text{ÁREA TOTAL REAL} = 4 \times 51 \text{ m}^2 = 204 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 4})$$

The screenshot displays the 'Feed Water - Stream 1' configuration page in the WAVE software. It includes sections for 'Stream Definition', 'Feed Parameters', 'Solid Content', 'Organic Content', 'Temperature', 'Cations', 'Anions', and 'Neutrals'. The 'Feed Parameters' section shows 'Water Type' as 'Waste Water' and 'Suggested Sub-type' as 'NTU ≥ 30, TSS ≥ 40, TOC ≥ 25'. The 'Solid Content' section shows 'Turbidity' at 65.30 NTU, 'Total Suspended Solids (TSS)' at 58.00 mg/L, and 'SDI₁₅' at 4.00. The 'Organic Content' section shows 'Organics (TOC)' at 0.00 mg/L. The 'Temperature' section shows 'Minimum' at 10.0 °C, 'Design' at 25.0 °C, and 'Maximum' at 40.0 °C. The 'Cations' table lists concentrations for NH₄, K, Na, Mg, Ca, Sr, and Ba. The 'Anions' table lists concentrations for CO₂, HCO₃, NO₂, Cl, F, SO₄, Br, and PO₄. The 'Neutrals' table lists concentrations for SiO₂, B, and CO₂. Summary statistics at the bottom include 'Total Dissolved Solids: 247,227.955 mg/L', 'Charge Balance: -0.000009 meq/L', and 'Estimated Conductivity: 306,117.88 μS/cm'.

Symbol	mg/L	ppm CaCO ₃	meq/L
NH ₄	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000
Na	95,400.000	207,664.244	4,149.666
Mg	137.000	564.162	11.273
Ca	1,360.000	3,396.342	67.868
Sr	0.000	0.000	0.000
Ba	0.000	0.000	0.000
Total Cations:	96,897.000		4,228.807

Symbol	mg/L	ppm CaCO ₃	meq/L
CO ₂	0.000	0.000	0.000
HCO ₃	0.000	0.000	0.000
NO ₂	0.000	0.000	0.000
Cl	149,519.009	211,054.997	4,217.422
F	0.000	0.000	0.000
SO ₄	284.000	295.895	5.913
Br	0.000	0.000	0.000
PO ₄	517.000	817.274	16.331
Total Anions:	150,320.009		4,239.666

Symbol	mg/L
SiO ₂	0.000
B	0.000
CO ₂	0.000
Total Neutrals:	0.000

Total Dissolved Solids: 247,227.955 mg/L Charge Balance: -0.000009 meq/L Estimated Conductivity: 306,117.88 μS/cm

Figura 5. Captura de pantalla programa WAVE correspondiente a la pantalla de introducción de datos.

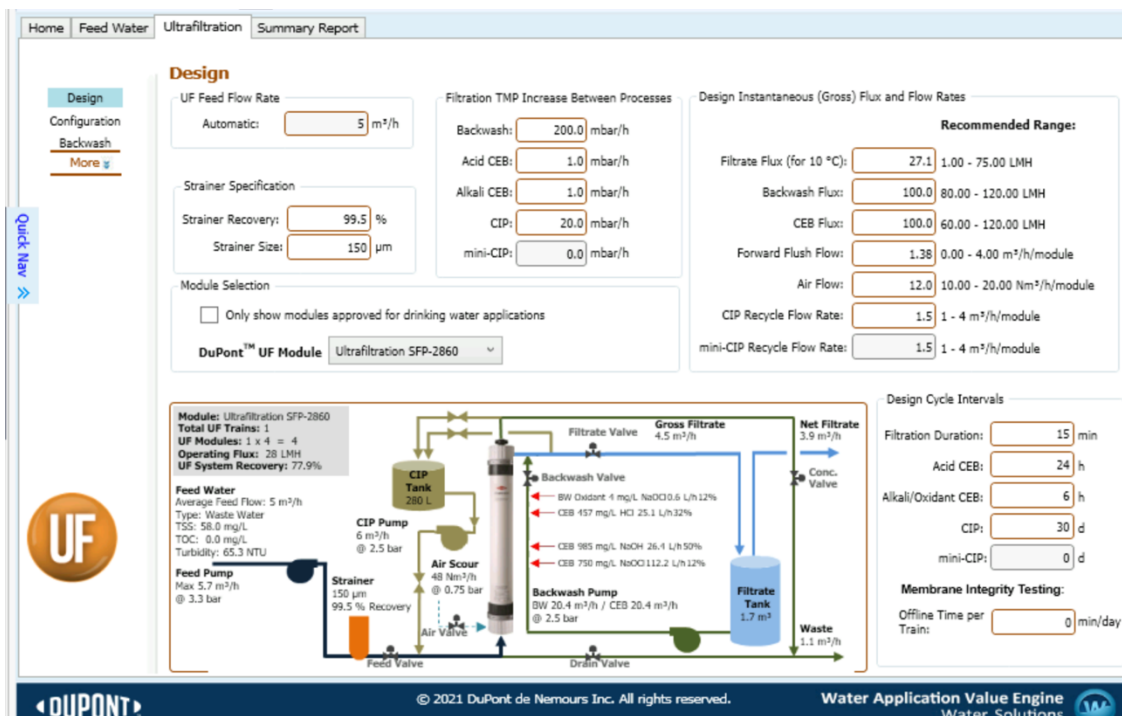


Figura 6. Captura de pantalla programa WAVE. correspondiente a la pantalla de ultrafiltración del proceso

UF Water Quality

Stream Name	Stream 1	
Water Type	Waste Water (10.0 - 40.0 °C)	
	Feed	Expected UF Product Water Quality
Temperature (°C)	25.0	25.0
Turbidity (NTU)	65.3	≤ 0.1
TSS (mg/L)	58.0	-
SDI ₁₅	4.0	≤ 2.5
TDS (mg/L)	247228	247228
pH	5.1	5.1

Figura 7. Captura de pantalla programa WAVE correspondiente a la calidad del agua.

Home | Feed Water | Ultrafiltration | Summary Report

Design
Configuration
 Backwash
 More ▾

Quick Nav >>

Configuration

Design Options

Standby Option: Constant operating flux, variable system output ▾

Storage Tank Option: Backwash + filtrate

Module Selection

Only show modules approved for drinking water applications

DuPont™ UF Module: Ultrafiltration SFP-2860 ▾

Selected Configuration

Number of Trains

Online Trains: 1

Standby Trains: 0

Redundant Trains: 0

Total Trains: 1

Modules/Train: 4

Total Modules: 4

Operating Flux: 28 LMH

Show UF System Diagram

Recommended Configurations

Option	Online Trains	Standby Trains	Total Trains	Max Offline BW/CEB	Modules/Skid	Skids/Train	Modules/Train	Online Modules	Total Modules
1	1	0	1	1	-	-	4	4	4
2	2	0	2	1	-	-	2	4	4

UF

Figura 8. Captura de pantalla programa WAVE correspondiente a los módulos de UF.

8.3.2 CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS DE MEMBRANA DCMD.

El modelo de membrana elegida es el MD6040S de material PTFE con tamaño de poro de aproximadamente $2\mu\text{m}$, su área activa de 28m^2 y flujo de membrana de $8\frac{\text{L}}{\text{h}\cdot\text{m}^2}$

El caudal que le llega a la membrana de destilación es el caudal de permeado (Q_P) de la membrana de ultrafiltración.

Sabiendo que el caudal es constante $Q = 4,5\frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 4500\frac{\text{L}}{\text{h}}$.

$$\text{Flujo de permeado}\left(\frac{\text{L}}{\text{m}^2}\right) = 16\text{ h} \cdot 8\frac{\text{L}}{\text{h}\cdot\text{m}^2} = 128\frac{\text{L}}{\text{m}^2} \quad (\text{Ec. 4})$$

Área activa del fabricante = 28 m^2

$$\text{ÁREA MEMBRANA} = \frac{Q}{\text{Fujo de permeado}} = \frac{4500\frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot 16\text{ h}}{128\frac{\text{L}}{\text{m}^2}} = 562,5\text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\text{NÚMERO DE MÓDULOS DCMD} = \frac{\text{Área total}}{\text{área modulo}} = \frac{562,5\text{ m}^2}{28\text{m}^2} = 20,09 \quad (\text{Ec. 6})$$

Por lo que el número total de módulos serán = 21

$$\text{ÁREA TOTAL REAL} = 21 \times 28\text{ m}^2 = 588\text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 7})$$

8.3.3 DIMENSIONADO DE LOS DEPOSITOS

Todos los depósitos se dimensionarán con un factor de seguridad del 20%, se calcula el volumen de los depósitos teniendo en cuenta que el tiempo de retención de la salmuera en los depósitos será de 1 día (16 horas):

DEPÓSITO DE SALMUERA D1

$$Q_a = 5 \frac{m^3}{h} \quad \text{Caudal de alimentación}$$

$$h = 16 \frac{h}{\text{día}} \quad \text{Horas jornada laboral de un día.}$$

$$V = Q \times h \quad \text{Volumen depósito (Ec. 8)}$$

$$V_{D1} = 5 \frac{m^3}{h} \cdot 16 \frac{h}{\text{día}} \cdot 1,2 = 96 m^3 \quad (\text{Ec. 9})$$

Se ha elegido un depósito de la industria LAPESA, es un depósito horizontal de $100 m^3$. Las dimensiones de este depósito serán de 3 metros de diámetro y 14,84 de largo.

DEPÓSITO PRETRATAMIENTO DE SALMUERA D2

Este depósito recibe el caudal de permeado de la membrana de ultrafiltración y según la membrana y el programa WAVE que se ha utilizado para calcular los datos de funcionamiento de la membrana, los cuales se mostrarán posteriormente el caudal de permeado es de $4,5 m^3$:

$$Q_p = 4,5 \frac{m^3}{h} \quad \text{Caudal de alimentación}$$

$$h = 16 \frac{h}{\text{día}} \quad \text{Horas jornada laboral de un día.}$$

$$V = Q \times h \quad \text{Volumen depósito (Ec. 10)}$$

$$V_{D2} = 4,5 \frac{m^3}{h} \cdot 16 \frac{h}{\text{día}} \cdot 1,2 = 86,4 m^3 \quad (\text{Ec. 11})$$

Se ha elegido un depósito de la industria LAPESA, es un depósito horizontal de $100 m^3$. Las dimensiones de este depósito serán de 3 metros de diámetro y 14,84 de largo.

DEPÓSITO DE PERMEADO DCMD D3

En este depósito tendremos en cuenta el volumen de permeado de la membrana de destilación DCMD y aplicaremos el factor de seguridad del 20%. Teniendo en cuenta el máximo flujo de permeado de las características de la membrana con las 16 horas de trabajo:

$$\text{Flujo de permeado} = 16 \text{ h} \cdot 8 \frac{\text{L}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} = 128 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} \quad (\text{Ec. 12})$$

$$\text{Volumen de permeado} = 128 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} \cdot 28 \text{ m}^2 = 3584 \text{ L} = 3,584 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec. 13})$$

Por lo que el volumen del depósito D3 teniendo en cuenta el factor de seguridad será:

$$V_{D3} = 3,584 \cdot 1,2 \text{ m}^3 = 4,301 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec. 14})$$

Se ha elegido un depósito de la industria LAPESA, es un depósito horizontal de 5 m^3 . Las dimensiones de este depósito serán de 1,75 metros de diámetro y 2,34 metros de largo.

DEPÓSITO LIMPIEZA NaOH D4

Para el depósito de limpieza D4 de disolución de hidróxido de sodio al 1% (p/v), se calcula su volumen teniendo en cuenta el tiempo de necesario de limpieza:

$$Q_a = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad \text{Caudal de alimentación}$$

$$h_{\text{lim}} = 0,5 \text{ h} \quad \text{Tiempo de limpieza}$$

$$V = Q \times h \quad \text{Volumen depósito} \quad (\text{Ec. 15})$$

$$V_{D4} = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0,5 \text{ h} \cdot 1,2 = 3 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec. 16})$$

Se ha elegido un depósito de la industria LAPESA, es un depósito horizontal de 5 m^3 . Las dimensiones de este depósito serán de 1,75 metros de diámetro y 2,34 metros de largo.

DEPÓSITO LIMPIEZA AGUA D5

Para el depósito de limpieza D5 se calcula su volumen teniendo en cuenta el tiempo de necesario de limpieza:

$$Q_a = 5 \frac{m^3}{h} \quad \text{Caudal de alimentación}$$

$$h_{lim} = 0,5 \text{ h} \quad \text{Tiempo de limpieza}$$

$$V = Q \times h \quad \text{Volumen depósito (Ec. 17)}$$

$$V_{D5} = 5 \frac{m^3}{h} \cdot 0,5 \text{ h} \cdot 1,2 = 3 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec. 18})$$

Se ha elegido un depósito de la industria LAPESA, es un depósito horizontal de $5m^3$. Las dimensiones de este depósito serán de 1,75 metros de diámetro y 2,34 metros de largo.

DEPÓSITO DE RESIDUOS RECHAZO UF D6

Para el depósito de residuos de limpieza D6 del ciclo de la membrana de UF se calcula su volumen teniendo en cuenta el tiempo de necesario de limpieza:

$$Q_a = 5 \frac{m^3}{h} \quad \text{Caudal de alimentación}$$

$$h_{lim} = 1 \text{ h} \quad \text{Tiempo de limpieza}$$

$$V = Q \times h \quad \text{Volumen depósito (Ec. 19)}$$

$$V_{D6} = 5 \frac{m^3}{h} \cdot 1 \text{ h} \cdot 1,2 = 6 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec. 20})$$

Se ha elegido un depósito de la industria LAPESA, es un depósito horizontal de $7,5m^3$. Las dimensiones de este depósito serán de 1,75 metros de diámetro y 3,4 metros de largo.

DEPÓSITO LIMPIEZA HCL D7

Para el depósito de limpieza de HCL se calcula su volumen teniendo en cuenta el tiempo de necesario de limpieza que son 10 minutos para las dos zonas de la membrana:

$$Q_a = 5 \frac{m^3}{h} \quad \text{Caudal de alimentación}$$

$$h_{lim} = \frac{20min \cdot 1h}{60min} \quad \text{Tiempo de limpieza}$$

$$V = Q \times h \quad \text{Volumen depósito (Ec. 21)}$$

$$V_{D7} = 4,5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{20min \cdot 1h}{60min} \cdot 1,2 = 1,8 m^3 \quad \text{(Ec. 22)}$$

Se ha elegido un depósito de la industria LAPESA, es un depósito horizontal de $2 m^3$. Las dimensiones de este depósito serán de 1,2 metros de diámetro y 1,9 metros de largo.

DEPÓSITO RESIDUOS CICLO CALIENTE DCMD D8

Para el depósito de residuos de limpieza se calcula su volumen teniendo en cuenta el tiempo de necesario de limpieza que son 10 minutos con agua y 10 minutos con HCL:

$$Q_p = 4,5 \frac{m^3}{h} \quad \text{Caudal de alimentación}$$

$$h_{lim} = \frac{20min \cdot 1h}{60min} \quad \text{Tiempo de limpieza}$$

$$V = Q \times h \quad \text{Volumen depósito (Ec. 23)}$$

$$V_{D8} = 4,5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{20min \cdot 1h}{60min} \cdot 1,2 = 1,8 m^3 \quad \text{(Ec. 24)}$$

Se ha elegido un depósito de la industria LAPESA, es un depósito horizontal de $2m^3$. Las dimensiones de este depósito serán de 1,2 metros de diámetro y 1,9 metros de largo.

DEPÓSITO RESIDUO CICLO FRÍO DCMD D9

Para el depósito de residuos de limpieza se calcula su volumen teniendo en cuenta el tiempo de necesario de limpieza que son 10 minutos con agua y 10 minutos con HCL:

$$Q_a = 5 \frac{m^3}{h} \quad \text{Caudal de alimentación}$$

$$h_{lim} = \frac{20min \cdot 1h}{60min} \quad \text{Tiempo de limpieza}$$

$$V = Q \times h \quad \text{Volumen depósito (Ec. 25)}$$

$$V_{D9} = 5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{20min \cdot 1h}{60min} \cdot 1,2 = 2 m^3 \quad \text{(Ec. 26)}$$

Se ha elegido un depósito de la industria LAPESA, es un depósito horizontal de $2m^3$. Las dimensiones de este depósito serán de 1,2 metros de diámetro y 1,9 metros de largo.

DEPÓSITO RESIDUOS PERMEADO UF D10

Para el depósito de residuos de permeado D10 del ciclo de la membrana de UF se calcula su volumen teniendo en cuenta el tiempo de necesario de limpieza:

$$Q_p = 4,5 \frac{m^3}{h} \quad \text{Caudal de alimentación}$$

$$h_{lim} = 1h \quad \text{Tiempo de limpieza}$$

$$V = Q \times h \quad \text{Volumen depósito (Ec. 23)}$$

$$V_{D8} = 4,5 \frac{m^3}{h} \cdot 1h \cdot 1,2 = 5,4 m^3 \quad \text{(Ec. 24)}$$

Se ha elegido un depósito de la industria LAPESA, es un depósito horizontal de $7,5m^3$. Las dimensiones de este depósito serán de 1,75 metros de diámetro y 3,4 metros de largo.

8.3.4 DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS.

Se considera una velocidad de flujo de 1 m/s. Teniendo en cuenta la velocidad del fluido (v), el caudal (Q) y la sección transversal (S) se obtiene el diámetro de la tubería y partir de ahí teniendo en cuenta las dimensiones de los depósitos a los que están unidas las diferentes tuberías, se obtiene la longitud de cada una de ellas.

Las tuberías que se han seleccionado pertenecen a la empresa **italsan** de material polipropileno PP-R.



Figura 9. Características de la tubería.

Tramo 1 (desde el depósito D1 a la membrana de ultrafiltración)

Sabiendo el caudal de alimentación($Q_a = 5 \frac{m^3}{h}$) y la velocidad del fluido (v=1m/s) se obtiene la superficie S1.

$$S1 = \frac{Q_a}{v} = \frac{5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s}}{1 \frac{m}{s}} = 0,00138 m^2 \quad (Ec. 27)$$

Por lo que el diámetro D1 será:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot S1}{\pi}} = 0,04192 m = 41,92 mm \quad (Ec. 28)$$

Desde la salida del depósito D1, teniendo en cuenta sus dimensiones y las diferentes conexiones como válvulas, bomba y caudalímetro la longitud de este tramo serían unos 12 metros.

Tramo 2 (desde la membrana de ultrafiltración al depósito D1)

Sabiendo el caudal de rechazo ($Q_r = 0,5 \frac{m^3}{h}$) y la velocidad del fluido ($v=1m/s$) se obtiene la superficie.

$$S2 = \frac{Q_r}{v} = \frac{0,5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s}}{1 \frac{m}{s}} = 0,000138 m^2 \quad (Ec. 29)$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot S2}{\pi}} = 0,01326 m = 13,926 mm. \quad (Ec. 30)$$

Desde la salida de rechazo de la membrana al depósito D1 serían otros 12 metros de longitud.

Tramo 3 (desde la membrana de ultrafiltración al depósito D2)

Sabiendo el caudal de permeado ($Q_p = 4,5 \frac{m^3}{h}$) y la velocidad del fluido ($v=1m/s$) se obtiene la superficie.

$$S3 = \frac{Q_p}{v} = \frac{4,5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s}}{1 \frac{m}{s}} = 0,00125 m^2 \quad (Ec. 31)$$

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_3}{\pi}} = 0,03989 \text{ m} = 39,89 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 32})$$

La longitud de tubería en este tramo teniendo en cuenta la membrana, la válvula y las dimensiones del depósito D2 es de unos 6 metros.

Tramo 4 (desde el depósito D2 a la membrana de destilación)

Sabiendo el caudal de permeado ($Q_p = 4,5 \frac{m^3}{h}$) y la velocidad del fluido ($v=1m/s$) se obtiene la superficie.

$$S_4 = \frac{Q_r}{v} = \frac{4,5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s}}{1 \frac{m}{s}} = 0,000125 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 33})$$

$$D_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_4}{\pi}} = 0,03989 \text{ m} = 39,89 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 34})$$

La longitud de tubería en este tramo teniendo en cuenta la membrana, la bomba y las dimensiones del depósito D2 es de unos 8 metros.

Tramo 5 (desde la membrana DCMD al depósito D2)

Sabiendo el caudal que atraviesa la zona del fluido caliente de la membrana ($Q_{cal} = 4,276 \frac{m^3}{h}$) y la velocidad del fluido ($v=1m/s$) se obtiene la superficie. Para este caudal se ha tenido en cuenta el flujo del módulo de la membrana y la cantidad de agua que pasara en forma de vapor de agua a través de la membrana a la zona fría.

$$S_5 = \frac{Q_{cal}}{v} = \frac{4,276 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s}}{1 \frac{m}{s}} = 0,001188 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 35})$$

$$D_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_5}{\pi}} = 0,0389 \text{ m} = 38,9 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 36})$$

Para la longitud de este tramo serían unos 12 metros de tubería.

Tramo 6 (desde la membrana DCMD al depósito D3)

Sabiendo el caudal que atraviesa la zona del fluido frío de la membrana ($Q_{frío} = 4,724 \frac{m^3}{h}$) y la velocidad del fluido ($v=1\text{m/s}$) se obtiene la superficie. Para este caudal se ha tenido en cuenta el flujo del módulo de la membrana y la cantidad de agua que pasara en forma de vapor de agua a través de la membrana a la zona fría.

$$S_6 = \frac{Q_{frío}}{v} = \frac{4,724 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s}}{1 \frac{m}{s}} = 0,001312 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 37})$$

$$D_6 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_6}{\pi}} = 0,04088 \text{ m} = 40,88 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 38})$$

Para la longitud de este tramo de tubería serían unos 6 metros.

Tramo 7 (desde el depósito D3 a la membrana de destilación)

Teniendo en cuenta que el caudal ($Q=4,5$) y la velocidad de fluido es de 1m/s calculamos la superficie transversal de la tubería de este tramo y su diámetro.

$$S_7 = \frac{Q}{v} = \frac{4,5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s}}{1 \frac{m}{s}} = 0,00125 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 39})$$

$$D_7 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_7}{\pi}} = 0,03989 \text{ m} = 39,89 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 40})$$

Teniendo en cuenta las dimensiones del depósito, el intercambiador de calor, la bomba y las diferentes conexiones serían unos 12 metros de longitud de tubería.

Tramo 8 (desde el depósito D4 a la tubería que va desde el rechazo de UF al depósito D1)

Teniendo en cuenta que el caudal ($Q=5\text{m}^3$) y la velocidad de fluido es de 1m/s calculamos la superficie transversal de la tubería de este tramo y su diámetro.

$$S_8 = \frac{Q}{v} = \frac{5\text{m}^3 \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{1\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,00138 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 41})$$

$$D_8 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_8}{\pi}} = 0,04192 \text{ m} = 41,92 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 42})$$

Teniendo en cuenta las dimensiones del depósito, y las diferentes conexiones serían unos 2,2 metros de longitud de tubería.

Tramo 9 (desde el depósito D5 a la tubería que va desde el rechazo de UF al depósito D1)

Teniendo en cuenta que el caudal ($Q=5\text{m}^3$) y la velocidad de fluido es de 1m/s calculamos la superficie transversal de la tubería de este tramo y su diámetro.

$$S_9 = \frac{Q}{v} = \frac{5\text{m}^3 \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{1\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,00138 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 43})$$

$$D_9 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_9}{\pi}} = 0,04192 \text{ m} = 41,92 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 44})$$

Teniendo en cuenta las dimensiones del depósito, y las diferentes conexiones serían unos 2,2 metros de longitud de tubería.

Tramo 10 (tubería que une las tuberías de la DCMD del fluido caliente)

Teniendo en cuenta que el caudal ($Q=4,5$) y le velocidad de fluido es de 1m/s calculamos la superficie transversal de la tubería de este tramo y su diámetro.

$$S_{10} = \frac{Q}{v} = \frac{4,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{1 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,000125 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 45})$$

$$D_{10} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{10}}{\pi}} = 0,03989 \text{ m} = 39,89 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 46})$$

Teniendo en cuenta las dimensiones del depósito, el intercambiador de calor, la bomba y las diferentes conexiones serían unos 6 metros de longitud de tubería.

Tramo 11 (desde la tubería que une la membrana de UF y el D1 al depósito D6)

Teniendo en cuenta que el caudal ($Q=5$) y le velocidad de fluido es de 1m/s calculamos la superficie transversal de la tubería de este tramo y su diámetro.

$$S_{11} = \frac{Q}{v} = \frac{5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{1 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,00138 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 47})$$

$$D_{11} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{11}}{\pi}} = 0,04192 \text{ m} = 41,92 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 48})$$

Teniendo en cuenta las dimensiones del depósito, y las diferentes conexiones serían unos 1,8 metros de longitud de tubería.

Tramo 12 (desde la tubería que une la membrana de DCMD del fluido caliente y el D2 al depósito D8)

Teniendo en cuenta que el caudal ($Q=4,5$) y le velocidad de fluido es de 1m/s calculamos la superficie transversal de la tubería de este tramo y su diámetro.

$$S_{12} = \frac{Q}{v} = \frac{4,5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s}}{1 \frac{m}{s}} = 0,000125 m^2 \quad (\text{Ec. 49})$$

$$D_{12} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{10}}{\pi}} = 0,03989 m = 39,89 mm \quad (\text{Ec. 50})$$

Teniendo en cuenta las dimensiones del depósito, y las diferentes conexiones serían unos 1,8 metros de longitud de tubería.

Tramo 13 (desde la tubería que une la membrana de DCMD del fluido frío y el D3 al depósito D9)

Teniendo en cuenta que el caudal ($Q=4,5$) y la velocidad de fluido es de $1m/s$ calculamos la superficie transversal de la tubería de este tramo y su diámetro.

$$S_{12} = \frac{Q}{v} = \frac{4,5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s}}{1 \frac{m}{s}} = 0,000125 m^2 \quad (\text{Ec. 51})$$

$$D_{12} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{10}}{\pi}} = 0,03989 m = 39,89 mm \quad (\text{Ec. 52})$$

Teniendo en cuenta las dimensiones del depósito, y las diferentes conexiones serían unos 1,8 metros de longitud de tubería.

8.3.5 INTERCAMBIADORES DE CALOR

Haremos uso de la siguiente ecuación para calcular la transferencia de energía de los intercambiadores de calor y la membrana:

$$q = m_{frío} \cdot C_{pfrío} \cdot (T_{frío_s} - T_{frío_e}) = m_{cal} \cdot C_{pcal} \cdot (T_{cal_e} - T_{cal_s}) \quad (\text{Ec. 53})$$

La T_{cal_e} es la temperatura de entrada del ciclo caliente = $70^\circ\text{C} = T_{salmuera_e}$

La $T_{frío_e}$ es la temperatura de entrada del ciclo caliente = $20^\circ\text{C} = T_{agua_e}$

$$C_{psalmuera} = 3,936 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \quad (\text{se ha elegido la del agua del mar})$$

$$\rho_{aguamar} = \rho_{salmuera} = 1027 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{pagua} = 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \quad \rho_{agua} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

El gasto masico será:

$$Q\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 0,00138 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (\text{Ec. 54})$$

$$m_{salmuera} = \rho_{salmuera} \cdot Q = 1027 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,00138 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1,41 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \quad (\text{Ec. 55})$$

$$m_{agua} = \rho_{agua} \cdot Q = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,00138 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1,38 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \quad (\text{Ec. 56})$$

$$\text{Flujo de permeado} = 8 \frac{\text{L}}{\text{h}\cdot\text{m}^2} \cdot 16 \text{ h} = 128 \frac{\text{L}}{\text{m}^2}$$

$$At = 0,128 \cdot \pi \cdot 1,23 = 0,495 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 57})$$

$$mCp_{\min} = m_{\text{salmuera}} \cdot C_{p\text{salmuera}} = 1,41 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \cdot 3,936 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} = 5,54 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{K}} \quad (\text{Ec. 58})$$

$$mCp_{\max} = m_{\text{agua}} \cdot C_{p\text{agua}} = 1,38 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \cdot 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} = 5,77 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{K}} \quad (\text{Ec. 59})$$

$$Cr = \frac{mCp_{\min}}{mCp_{\max}} = \frac{5,54 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{K}}}{5,77 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{K}}} = 0,96 \quad (\text{Ec. 60})$$

$$NTU = \frac{At \cdot U}{mCp_{\min}} = 0,179 \quad (\text{Ec. 61})$$

INTERCAMBIO A CONTRACORRIENTE

$$NTU = \frac{1}{1-Cr} \cdot \ln\left(\frac{1-\varepsilon \cdot Cr}{1-\varepsilon}\right) \quad (\text{Ec. 62}) \quad \varepsilon = \frac{1 - e^{(-NTU \cdot (1-Cr))}}{1-Cr \cdot e^{(-NTU \cdot (1-Cr))}} = 0,152 \quad (\text{Ec. 63})$$

$$q_{\max} = mCp_{\min} \cdot (T_{\text{salmuera}_e} - T_{\text{agua}_e}) = 5,54 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{K}} \cdot (70 - 20) = 277 \text{ w} \quad (\text{Ec. 64})$$

$$q = q_{\max} \cdot \varepsilon = 42,104 \text{ w} \quad (\text{Ec. 65})$$

TEMPERATURAS A LA SALIDA DE LA MEMBRANA

$$T_{\text{salmuera}_s} = T_{\text{salmuera}_e} - \frac{q}{m_{\text{salmuera}} \cdot C_{p\text{salmuera}}} = 343 \text{ }^\circ\text{K} - \frac{42,104 \text{ w}}{1,41 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \cdot 3,936 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}}} = 335,41 \text{ K} \quad (\text{Ec. 66})$$

$$T_{\text{agua}_s} = T_{\text{agua}_e} - \frac{q}{m_{\text{agua}} \cdot C_{p\text{agua}}} = 293 \text{ }^\circ\text{K} - \frac{42,104 \text{ w}}{1,38 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \cdot 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}}} = 300,28 \text{ }^\circ\text{K} \quad (\text{Ec. 67})$$

Para mantener el depósito D2 a 335,41K:

$$Q_2 = \left(80 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} - 3,584 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}\right) \cdot \frac{1 \text{ día}}{16 \text{ horas}} \cdot \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ s}} = 0,00133 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (\text{Ec. 68})$$

$$msalmuera_1 = \rho_{salmuera} \cdot Q_2 = 1027 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,00133 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1,36 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \quad (\text{Ec. 69})$$

$$q_2 = msalmuera_1 \cdot C_{psalmuera} \cdot (T_{salmuera_e} - T_{salmuera_s}) \quad (\text{Ec. 70})$$

$$= 1,36 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \cdot 3,936 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} \cdot (343 \text{ } ^\circ\text{K} - 335,41 \text{ K}) = 40,70 \text{ Kw}$$

Para mantener el depósito D3 a 300,28K:

$$Q_3 = \left(80 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} + 3,584 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}\right) \cdot \frac{1\text{día}}{16\text{horas}} \cdot \frac{1\text{hora}}{3600\text{s}} = 0,0015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (\text{Ec. 71})$$

$$magua_1 = \rho_{agua} \cdot Q_3 = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,0015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1,5 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \quad (\text{Ec. 72})$$

$$q_3 = magua_1 \cdot C_{pagua} \cdot (T_{agua_s} - T_{agua_e})$$

$$= 1,5 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \cdot 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} \cdot (300,28 \text{ } ^\circ\text{K} - 293 \text{ } ^\circ\text{K}) = 45,71 \text{ Kw} \quad (\text{Ec. 73})$$

Se han elegido dos intercambiadores de calor HL-B-E-102 A/B de la empresa PROINCAR

8.3.6 BOMBAS

Para la bomba B1 se va a seleccionar una bomba según los datos que indica el programa wave, en el que se requiere una bomba con caudal de 5,7m³/h y una presión de 3,3 bares. La bomba que se ha seleccionado es una bomba de membrana PX10P_XXS_XXX de la empresa ARO, Ingersoll Rand

Para la bomba B2 se necesita una altura geométrica de 38 mca, se otra bomba igual PX10P_XXS_XXX de la empresa ARO, Ingersoll Rand

Para la bomba B3 se necesitan una altura geométrica de 24 mca, se usa una bomba MAGNA1 25-40 Grundfos

Para la bomba B4 se necesita una altura geométrica de 33 mca, se usa una bomba SLV.65.65.09. E.2.50B de la empresa Grundfos.

Para la bomba B5 se necesita una altura geométrica de 38 mca, se otra bomba igual PX10P_XXS_XXX de la empresa ARO, Ingersoll Rand

Para la bomba B6 se necesitan una altura geométrica de 22 mca, se usa una bomba MAGNA1 25-40 Grundfos

Para la bomba B7 se necesita una altura geométrica de 33 mca, se usa una bomba SLV.65.65.09.E.2.50B de la empresa Grundfos.

Para la bomba B8 se necesita una altura geométrica de 38 mca, se otra bomba igual PX10P_XXS_XXX de la empresa ARO, Ingersoll Rand

8.3.7 VÁLVULAS

Se necesitan trece válvulas de tres vías, dos válvulas de seguridad para evitar sobrepresiones y seis válvulas de dos vías.

9 CONCLUSIONES

En este trabajo, se muestra que las aguas residuales procedentes de la fabricación del queso se pueden tratar de una manera más eficiente y reduciendo el coste de las instalaciones en un alto grado. En concreto a la hora de tratar la salmuera proveniente de su fabricación, ya que esta se puede recuperar para su reutilización de una manera más eficiente en comparación a los métodos tradicionales, permitiendo un menor gasto de agua, de energía y por lo tanto reduciendo el impacto ambiental.

Por otro lado, se ha estudiado la importancia de la tecnología de membranas de destilación y su viabilidad en los procesos de fabricación del queso. Se ha estudiado la posibilidad de reutilizar y recuperar la salmuera y el agua proveniente de la fabricación del queso mediante membranas de destilación. (Eykens, De Sitter, Boeckaert, Boeckx, & Borgmans, 2018)

Se ha dejado constancia del gran potencial que tienen la destilación por membranas aplicado al proceso de recuperación de salmuera proveniente de la fabricación del queso.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Bello Puerta, A. (2011). Destilación por membranas: situación actual y potencialidades futuras. . *Tecnología del agua*, págs. 42–49.
- Byland, G., López-Gómez, A., & Madrid, V. (2003). *Manual de industrias lácteas*. Manual de industrias lácteas.
- Correa Marin, R. V. (2003). Estudio de los fundamentos de diseño para equipos de pervaporación. del Pilar Galván Díaz, M. (2005). PROCESO BÁSICO DE LA LECHE Y EL QUESO. *Revista Digital Universitaria*, 6.
- El-Bourawi, M. (2006). A framework for better understanding membrane distillation separation process. *Journal of Membrane Science*, págs. 4-29.
- Estrada Korta, O. (2019). Flores de cardo: una alternativa al cuajo animal en la elaboración de queso.
- Eykens, L., De Sitter, K., Boeckaert, C., Boeckx, J., & Borgmans, G. (febrero de 2018). Recovery of brines from cheese making using membrane distillation at lab and pilot scale. *Journal of Food Engineering*, págs. 52-61.
- Fernandini, E. (2006). Elaboración de queso de murcia al vino con cuajo natural en pasta.
- García Patiño, F. (s.f.). *Recepción y tratamiento previo de la leche*. Obtenido de <https://www.academia.edu/>
- Guimarães, P. M., Teixeira, J. A., & Domínguez, L. (2010). Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorization of cheese whey. *Biotechnology Advances*, 375-384.
- Gómez, A., Antonio, D., & Bedoya Mejía, O. (2005). Composición nutricional de la leche de ganado vacuno.
- Gutierrez, R., Ortiz, R., Vega, S., Schettino, B., L. Ramirez, M., & J. Perez, J. (2013). Residues levels of organochlorine pesticide in cow's milk from industrial farms in Hidalgo, Mexico. . *Journal of Environmental Science and Health*, págs. 935-940. .
- Hou, J., Hannon, J. A., Mcsweeney, P. L., Beresford, T. P., & Guinee, T. P. (2014). Effect of curd washing on cheese proteolysis, texture, volatile compounds, and sensory grading in full fat Cheddar cheese. *International Dairy Journal*, págs. 190-198.
<https://es.pureaqua.com/dow-ultrafiltracion-sfp-2860/>. (s.f.).
- LÁCTEA, M. T. (s.f.). AINIA. Obtenido de AINIA: <https://www.ainia.es/>
- Lawson, K., & Lloyd, D. (1997). J. of Membrane Sci. . *Membrane distillation*, 1-25.
- Lobos Ortega, I., & Pavez Andrades, P. (2021). Manual de Quesos para pequeñas queserías de la Región de Los Ríos. *INIA*.
- Lucey, J. A., Johnson, M. E., & Horne, D. S. (2003). Invited Review : Perspectives on the Basis of the Rheology and Texture Properties of Cheese. *Journal of Dairy Science*, págs. 2725-2743.
- Maugas. (2002). Le technologie a membrana applicate al siero di latte. *Il Latte*, 58- 64.
- Novak. (1996). Application of membrane filtration in the production of milk protein concentrates. *IDF bulletin* , 26-30.
- Quigley, L., O'Sullivan, O., Stanton, C., Beresford, T. P., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., & Cotter, P. D. (2013). The complex microbiota of raw milk. *FEMS Microbiology Reviews*, 664-698.
- Quijano, J. (2010). Quimosinas. *revista reciteia*.
- R., P. (1996). Fractionation of milk proteins. . *IDF bulletin* .
- Robinson, R. K. (2005). *Dairy microbiology handbook: the microbiology of milk and milk products*. John Wiley & Sons.
- Silva, G. (2004). *Manual de fabricación de quesos*. Tulancingo: Centro de estudios de la leche A.C.
- Solís, C., Vélez, C., & Ramírez-Navas, J. (2017). Tecnología de membranas: Ultrafiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería, ISSN 1909-8367*, 26-36.

Wu, Y., Kong, Y., Lin, X., Liu, W., & Xu, J. (1992). Surface-modified hydrophobic membranes in membrane distillation. *J. of Membrane Sci.*, págs. 189-196.

Yanguicela, S. (2016). LA SALMUERA DE QUESERIA .

PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL (PEM)	3
1.1. Equipos principales	3
1.2. Equipos secundarios	4
1.3. Mano de obra	5
2. PRESUPUES DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC).....	7
3. PRESUPUES DE EXPLOTACIÓN	8

1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL (PEM)

La obra se ha llevado a cabo en 30 días laborales, en jornadas de 8 horas diarias. Aquí se recogen los costes estimados de la instalación para la construcción en planta.

1.1. Equipos principales

Aquí se recogen los equipos principales de la instalación los cuales se han dimensionado según las necesidades del proceso.

Tabla1. Equipos principales

Denominación del material	Precio (€)	Cantidad (u)	Coste Total (€)
Módulo de membrana MD6040S de material PTFE	1230	21	25830
Depósito LAPESA 100 m3 tipo H	9320	2	18640
Depósito LAPESA 5 m3 tipo H	2300	3	6900
Depósito LAPESA 7,5 m3 tipo H	3200	1	3200
Depósito LAPESA 2 m3 tipo H	1115	3	3345
Intercambiador de calor HL-B-E-102	730	2	1460
Membrana de UF SFP-2860	1020	4	4080
Bomba PX10P_XXS_XXX	2330	4	9320
Bomba MAGNA1 25-40 Grundfos	1010	4	4040

Tuberías de la empresa italsan de material polipropileno PP-R.	5,662 €/m	83,8m	474,46
TOTAL			77289,46

1.2. Equipos secundarios

En la siguiente tabla se recogen los elementos secundarios de la instalación.

Tabla2. *Equipos secundarios*

Denominación del material	Precio (€)	Cantidad (u)	Coste Total (€)
Manómetro 0-16 bar	10,20	8	81,6
Termómetro 0-100 ° C	15,30	7	107,1
Válvulas de dos vías	18,80	6	112,8
Válvulas de seguridad	32,50	2	65
Caudalímetro	250	1	250
Válvulas de 3 vías	56,80	13	738,4
TOTAL			1354,9

1.3. Mano de obra

En este apartado se recogen los costes de la mano de obra necesaria para la instalación del sistema. Los costes unitarios de cada trabajador, las horas de trabajo realizadas y el coste total de cada uno.

Tabla3. *Mano de obra*

Denominación de la mano de obra	Precio (€)	Horas	Coste Total (€)
Oficial 1ª fontanería	13,20	120	1584,00
Oficial 1ª mecánica	12,30	120	1476,00
Oficial 1ª electricista	13,80	120	1656,00
Peón fontanería	10,50	240	2520
Peón electricista	10,30	240	2472,00
Peón mecánica	11,40	240	2736,00
Ingeniero	35	100	3500,00

TOTAL	15944,00
--------------	-----------------

El presupuesto de ejecución material será:

Una vez obtenidos los costes de los equipos, materiales y la mano de obra, se puede obtener el presupuesto de ejecución material como la suma de los anteriores.

Tabla4. *Presupuesto de ejecución material (PEM)*

Designación	Coste Total (€)
Equipos principales	77289,46
Equipos secundarios	1354,9
Mano de obra	15944,00
Presupuesto de ejecución material (PEM)	94588,36

2. PRESUPUES DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)

Para la obtención del presupuesto de ejecución por contrata se calcula el beneficio industrial (6%) y los gastos generales (13%), a partir del presupuesto de ejecución material (PEM)

Tabla5. Presupuesto de ejecución por contrata (PEC)

Designación	Coste Total (€)
Presupuesto de ejecución material (PEM)	94588,36
Beneficio industrial (6%)	5675,302
Gastos generales (13%)	12296,49
Presupuesto de ejecución por contrata (PEC)	112560,15

3. PRESUPUES DE EXPLOTACIÓN

Para obtener el presupuesto de explotación del diseño se aplicará el 21% de I.V.A al PEC que hemos obtenido anteriormente.

Tabla5. *Presupuesto de explotación*

Presupuesto de ejecución por contrata (PEC)	112560,15
I.V.A (21%)	23637,63
Presupuesto de explotación	136197,78

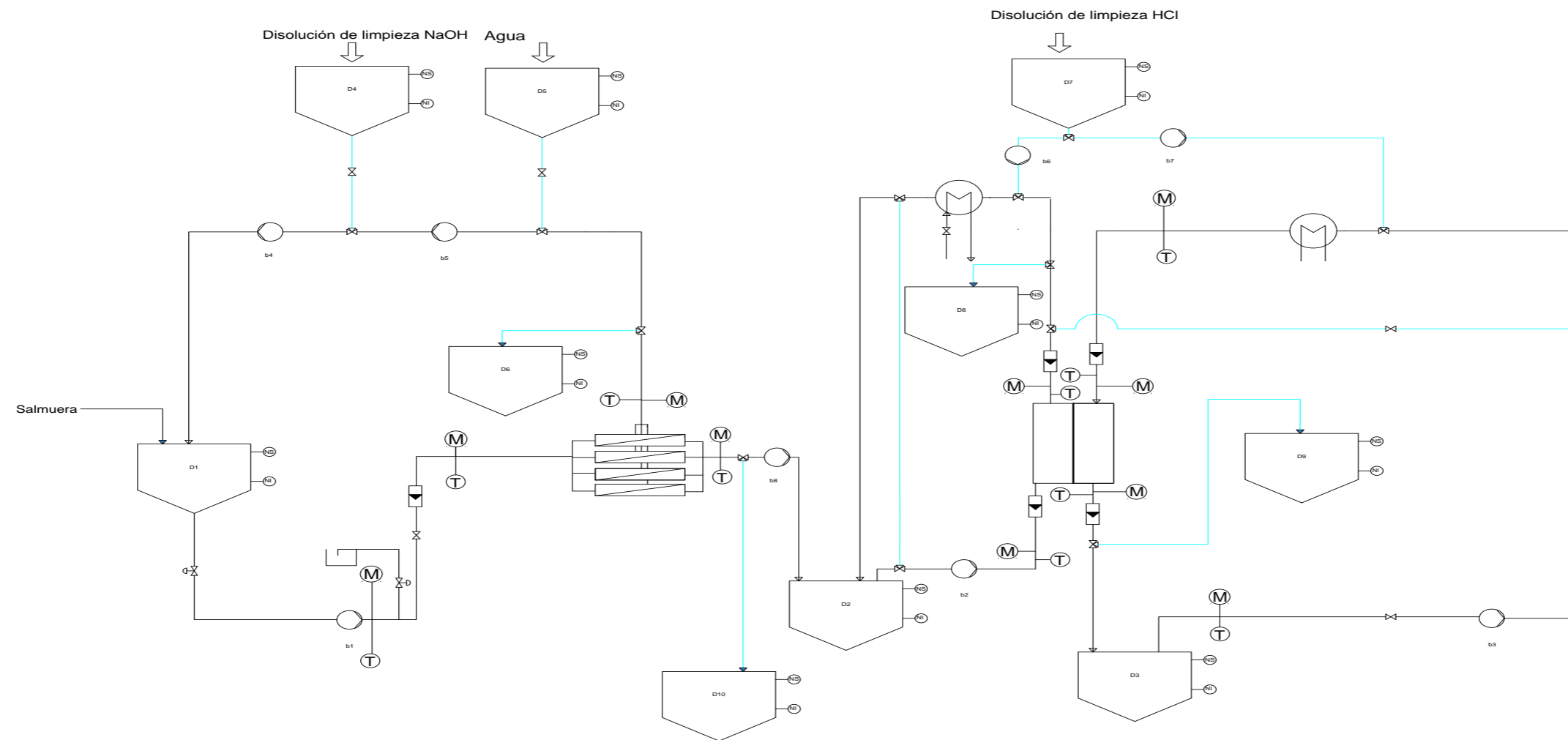
Asciende el presupuesto de explotación a la expresada cantidad de **CIENTO TREINTA Y SEIS MIL CIENTO NOVENTA Y SIETE EUROS CON SETENTA Y OCHO CÉNTIMOS.**

PLANOS

ÍNDICE DEL PLANO

<i>1. PLANO</i>	3
-----------------------	----------

1. PLANO



LEYENDA	
SÍMBOLO	DENOMINACIÓN
	Deposito
	intercambiodor de calor
	termometro y manometro
	membrana de ultrafiltración UF
	valvula, valvula de seguridad y de tres vias
	membrana de destilación DCMD
	bomba
	caudalimetro
	control de nivel superior e inferior del deposito

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA EN TECNOLOGIAS INDUSTRIALES



Proyecto:

Diseño de una instalación para la recuperación y reutilización de 80m³/día de salmuera procedente de la fabricación de queso mediante destilación

Plano:
Diagrama de flujo de la instalación

Autor:
Ismael Loja Barreto

Fecha:
Junio 2022

Escala:
S/E

Nº Plano:

1

