

05-008

MODELLING AND ANALYSIS OF A BRINE REMOVAL EVAPORATION SYSTEM BASED ON MECHANICAL VAPOUR COMPRESSION PROCESS

Calleja Cayón, Pablo (1); Vera García, Francisco (1)

(1) Universidad Politécnica de Cartagena

This article focuses on the treatment of brines with high salt concentration ($\geq 170\text{g/kg}$) resulting from previous evaporation distillation processes in evaporation towers, extracting fresh water from this residual brine for agricultural purposes by means of mechanical vapour compression (MVC). This fresh water is obtained by transferring heat (from superheated steam coming out of a compressor) in an evaporator to the brine to be evaporated. The aim of the project that encompasses this study is the generation of treatment plants for effluents with a high nitrate content, as well as other salts, in the area of Campo de Cartagena, with scarce water resources and a high rate of pollution, with the purpose of reversing the effects caused by these effluents in recent years by means of renewable energy sources. The development of the work consists firstly of a study of the fluid of interest, calculating its properties as there are no tables available, followed by the modelling of a generic installation to analyse the behaviour of a small-scale installation of these characteristics in various operating regimes (in static and dynamic conditions).

Keywords: Desalination ; MVC ; Brine ; Distillation ; Heat Recovery

MODELIZACIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE EVAPORACIÓN DE SALMUERA BASADO EN UN PROCESO DE COMPRESION MECÁNICA DE VAPOR

Este artículo se centra en el tratamiento de salmueras con alta concentración de sales ($\geq 170\text{g/kg}$) resultado de procesos de destilación por evaporación previos en torres de evaporación, extrayendo agua dulce de esta salmuera residual para fines agropecuarios mediante compresión mecánica de vapor (MVC). Esta agua dulce se obtiene a través de la cesión de calor (por parte de un vapor sobrecalentado saliente de un compresor) en un evaporador a la salmuera que se quiere evaporar. El objetivo del proyecto que engloba este estudio es la generación de plantas de tratamiento de efluentes con alto contenido en nitratos, así como otras sales, en el entorno del Campo de Cartagena, con escasos recursos hídricos y un alto índice de contaminación, con el objetivo de revertir los efectos causados por dichos efluentes en los últimos años mediante fuentes de energía renovable. El desarrollo del trabajo consta en primer lugar de un estudio del fluido de interés, calculando sus propiedades al no existir tablas disponibles, seguido de un modelado de una instalación genérica que permita analizar el comportamiento de una instalación a pequeña escala de estas características en varios regímenes de operación (en condiciones estacionarias y dinámicas).

Palabras clave: Desalinización ; MVC ; Salmuera ; Destilación, Recuperación de calor

Correspondencia: Pablo Calleja Cayón: pablocallejacayon@gmail.com

Francisco Vera García. Correo: francisco.vera@upct.es



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

En la actualidad, existe una problemática a la hora de gestionar el tratamiento de aguas residuales con altas concentraciones de sales, siendo la osmosis inversa el procedimiento más extendido para obtener una materia prima útil de este tipo de residuos.

Sin embargo, el residuo que se obtiene tras este tratamiento aún posee una gran cantidad de agua. En zonas costeras, este residuo es vertido al mar para diluir en sus aguas la alta concentración de sales que posee, pero en zonas alejadas de la costa el tratamiento es más complejo.

La necesidad de ser transportado a plantas de tratamiento especializado, así como el volumen que ocupan dichos residuos, genera en ocasiones conflictos de intereses que pueden acabar en vertidos ilegales. Esta situación es la que encontramos en el Campo de Cartagena (Región de Murcia, España), ubicado en una zona climática seca, prácticamente desértica por las escasas precipitaciones que recibe a lo largo del año, que esconde bajo su superficie acuíferos salobres. Si bien estas aguas no son aptas para su uso agropecuario, es frecuente encontrar pozos que conducen estas aguas a pequeñas plantas desalinizadoras que emplearán esta agua para fines agrícolas. El residuo generado, en cambio, es vertido en muchas ocasiones en ramblas que desembocan en el Mar Menor (Región de Murcia, España).

En los últimos años, se están volviendo frecuentes los eventos de eutrofización de las aguas del Mar Menor, que va acompañada de la muerte a gran escala por asfixia de las especies que habitan este ecosistema poco frecuente por estas latitudes. Para evitar que este ecosistema desaparezca de forma definitiva, se quiere apostar por el tratamiento de los efluentes que llegan a través de las ramblas a la laguna, concatenando una serie de procesos especializados que permitirán fragmentar por etapas el tratamiento de cada uno de los elementos presentes en el efluente y generar así nuevas materias primas a partir de este residuo, siguiendo los principios de Belessiotis, Kalogirou y Delyannis (2016).

El trabajo que se va a comentar desarrolla el sistema basado en compresión mecánica de vapor (MVC, abreviatura del inglés *Mechanical Vapour Compression* (Kucera, 2014)), proceso posterior al de la torre de refrigeración de Gómez García (2020), generando un modelo básico para entender las limitaciones del sistema, obtener un orden de magnitud de demanda energética para este proceso (Calleja Cayón, 2021) y dar pie a la futura modelización de un sistema completo de estas características en el proyecto LIFE-Desirows (2019). Con ello, se pueden extrapolar resultados para instalaciones de mayor tamaño y reducir la inversión necesaria para obtener datos para el modelado.

En su conjunto, la ejecución del proyecto LIFE-Desirows busca aportar soluciones viables a esta problemática que causan los vertidos de salmuera que perjudican al ecosistema, obtención de agua dulce en una zona desértica (permitiendo aumentar la autosuficiencia del territorio produciendo agua a partir de un residuo) y fomentar la economía circular (la obtención de materias primas a partir de residuos existentes en el entorno fomenta nuevas ideas de negocio en la zona).

2. Objetivos

Los objetivos de este trabajo son tres:

- Obtener tablas termodinámicas en las condiciones de trabajo para el fluido de estudio.
- Estudiar y analizar el comportamiento de un sistema de COMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR (MVC) y las variables dependientes más influyentes.
- Sentar las BASES PARA LA MODELIZACIÓN DE UN SISTEMA BASADO EN COMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR (MVC).

3. Metodología y caso de estudio

Un fluido (en este caso es la salmuera) va a ser la entrada de todo este sistema, mientras que dos fluidos diferentes (destilado y otra salmuera, concentrada) van a ser las salidas del mismo.

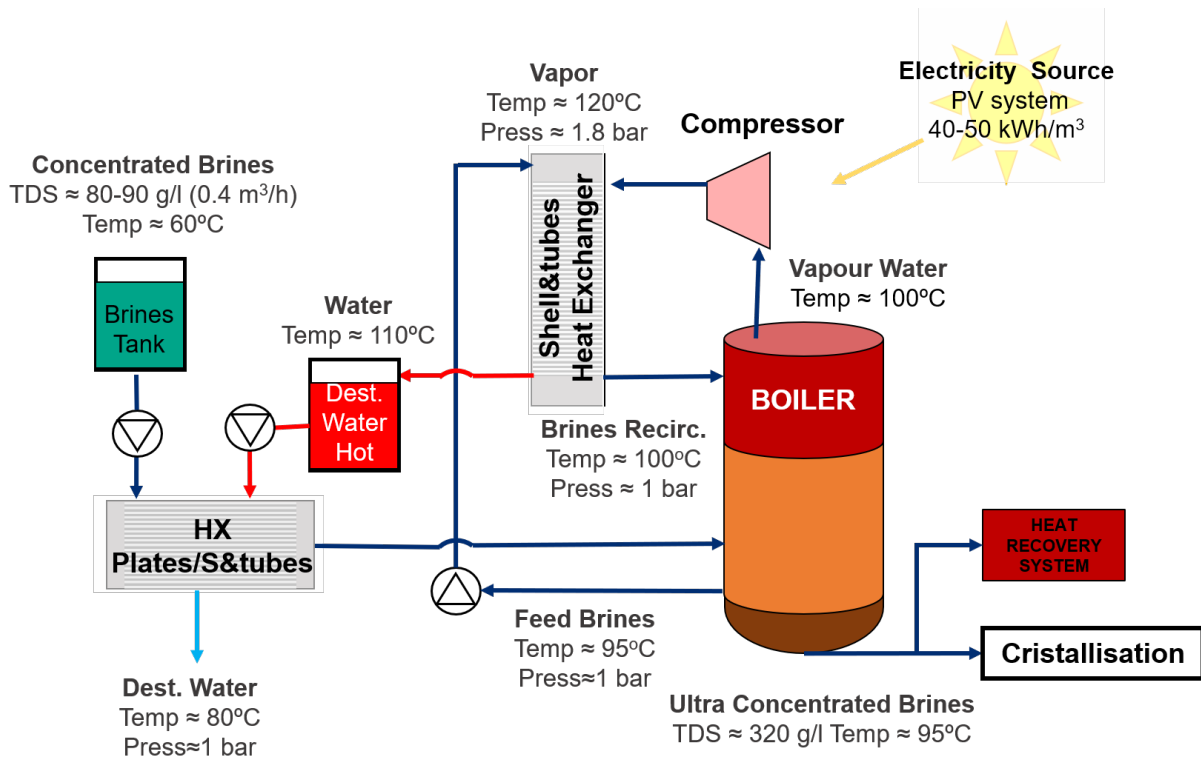
Para esta investigación, las variables necesarias para modelar el funcionamiento de todo el sistema son pocas: eficacia de ambos intercambiadores de calor, temperatura, presión y concentración de NaCl de la salmuera de entrada, temperatura de la salmuera de entrada a la cámara de evaporación, presión de funcionamiento en el interior de la cámara y velocidad de compresión del compresor.

A la hora de ejecutar el modelado, es necesario determinar cuáles van a ser los componentes necesarios para generar el sistema básico. Una vez seleccionados, se procede a identificar de forma individual cuales son las variables de entrada y de salida en cada uno de los elementos. Algunas de estas variables son la temperatura, la presión, el caudal másico y la concentración de la salmuera, pero existen otras variables que se emplean en el modelo, como la entropía, que son dependientes de estas variables que se han definido previamente.

También es necesario identificar los fluidos que participan en cada una de estos elementos del sistema y el estado en el que se encuentran (líquido o gaseoso). Además, deben de identificarse las ecuaciones que conforman cada uno de los procesos existentes en cada uno de los elementos a fin de simular de la forma más fidedigna posible el sistema. Debe de hacerse especial hincapié en las etapas en las que se producen cambios de fase, pues no solo se produce un cambio de estado de la materia, sino que aparecen nuevos fluidos de trabajo (destilado y salmuera de mayor concentración a la inicial) que poseen tanto propiedades termodinámicas como ecuaciones distintas en función del tipo de fluido al que se hace referencia.

A continuación, se explicará el camino seguido para obtener el resto de variables (Figura 1). La salmuera que entra en este sistema accede al intercambiador de calor 1 (*HX Plates/S&tubes* en la Figura 1) como fuente fría, mientras que el destilado final actuará como fuente caliente de este intercambiador. El objetivo de este paso es actuar como precalentador de la salmuera entrante al sistema, mejorando la eficiencia de todo el sistema extrayendo el calor de uno de los productos finales obtenidos, que tiene una alta temperatura y se utilizará a temperatura ambiente. De no hacerlo, sería necesario aplicar más energía (electricidad) al sistema, así como gastar más dinero en equipos de mayor potencia, para obtener el destilado que se utilizará como agua de jardinería como resultado. Además, si esa agua destilada está demasiado caliente en la salida del sistema, puede provocar daños tanto a la infraestructura empleada para almacenar este fluido como al entorno en caso de ser vertido al medio ambiente. Enfriar el destilado obtenido es un requisito, por lo que es una forma eficiente de reducir su temperatura y ahorrar energía en el proceso.

Figura 1: Representación de los elementos que conforman el sistema de compresión mecánica de vapor (LIFE-Desirows, 2019)



Una vez precalentada, la salmuera entra en la cámara del evaporador (*Boiler* en la Figura 1). Este evaporador tiene dos modos de funcionamiento diferentes: uno para condiciones estacionarias y otro para transitorias. Si las condiciones son estacionarias, el calor necesario para evaporar la salmuera proviene del propio destilado generado en el interior del evaporador, pero una vez que ha pasado por el compresor, permitiendo que el vapor aumente su presión y temperatura (vapor sobrecalentado). Para las condiciones transitorias, el calor es generado por una resistencia eléctrica hasta que la salmuera comienza a evaporarse, permitiendo que el compresor inicie las condiciones estacionarias.

El resultado de la etapa de evaporación es la presencia de dos nuevos fluidos en el sistema: el destilado y la salmuera concentrada (superior a la inicial, ya muy concentrada). El destilado va directamente al compresor, mientras que la salmuera concentrada se convierte en el residuo del sistema y sale de él hacia otra planta de tratamiento (aunque existe la posibilidad de emplear esta salmuera en otro sistema de recuperación de calor, como se presenta en la Figura 1).

El compresor es el componente más importante de este sistema: la energía que se aplica al destilado es la que necesita la salmuera en el evaporador para evaporarse. Ese proceso se desarrolla en el intercambiador de calor 2 (*Shell&tubes heat exchanger* de la Figura 1, se encuentra en el interior del *boiler* pero está representado en el exterior para visualizar mejor lo que ocurre en el interior).

En condiciones óptimas, el destilado entra en el compresor a la temperatura de saturación y sale del intercambiador de calor 2 también a esa temperatura. En ese momento de salida del intercambiador de calor, el destilado está en estado líquido y transfiere calor a la salmuera en el intercambiador de calor 1 (actúa de foco caliente del *HX Plates/S&tubes* de la Figura 1).

En cada una de las etapas previamente nombradas, se tendrá en cuenta la ley de conservación de la energía y los cambios de fase, así como del tipo de fluido de trabajo en cada etapa para obtener un modelado lo más cercano posible al de un sistema completo.

4. Resultados

Como consecuencia de aplicar el método previamente explicado, se procede a ejecutar la parte más interesante del análisis: dar significado a los valores obtenidos.

En primer lugar, obtenemos las variables termodinámicas del fluido de trabajo. Los datos disponibles de salmueras no llegan a tener las concentraciones de trabajo con las que debe trabajar el sistema (Nayar, Sharqawy & Lienhard, 2016). Se procede a extrapolar valores con mayores concentraciones para obtener ecuaciones de ajuste más cercanas a nuestras condiciones iniciales.

Tabla 1: Presión de evaporación de la salmuera con concentraciones superiores a los 120g/l [kPa]

Temp. °C	Salinity [g/kg]						
	130	140	150	160	170	180	190
0	0.56	0.55	0.55	0.55	0.54	0.54	0.53
10	1.12	1.11	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07
20	2.13	2.12	2.10	2.09	2.07	2.05	2.04
30	3.87	3.84	3.82	3.79	3.76	3.73	3.70
40	6.74	6.69	6.64	6.59	6.54	6.49	6.44
50	11.27	11.18	11.10	11.02	10.93	10.85	10.77
60	18.19	18.06	17.93	17.79	17.66	17.52	17.39
70	28.46	28.25	28.04	27.83	27.62	27.41	27.20
80	43.25	42.93	42.61	42.29	41.97	41.65	41.33
90	64.03	63.55	63.08	62.61	62.13	61.66	61.19
100	92.52	91.84	91.16	90.47	89.79	89.10	88.42
110	130.81	129.84	128.87	127.91	126.94	125.97	125.00
120	181.26	179.92	178.58	177.24	175.90	174.56	173.22

Una vez obtenida la tabla 1, podemos crear una ecuación que ajuste la relación Presión-Temperatura para cada concentración para, de esta forma, obtener el calor específico y entalpías necesarias para realizar las operaciones de cálculo del modelo. Otra alternativa es tomar la hipótesis de que esta salmuera es el resultado de mezclar agua pura con NaCl sólido, somos capaces de obtener el calor específico de la parte sólida siguiendo la fórmula que se muestra en el libro es hora de aplicar las fórmulas del libro *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics* (Smith et al., 2018, pág. 657). Sabiendo la concentración de esta salmuera, se puede obtener el calor específico de la mezcla si sumamos la multiplicación de la proporción de agua por su calor específico más la proporción de NaCl por su calor específico.

$$C_p \text{ salmuera} = C \cdot C_p \text{ NaCl} + (100 - C) \cdot C_p \text{ agua} \quad (1)$$

Este paso es importante a la hora de obtener las ecuaciones de ajuste de la energía, que acaban resultando de la siguiente forma:

$$\text{Ecuación global en estado líquido} \rightarrow \Delta\dot{Q} = \dot{m}_{\text{entrada}} \cdot C_{p\text{salmuera}} \cdot (T_{\text{sat}} - T_{\text{in}}) \quad (2)$$

$$\text{Ecuación global en cambio de fase} \rightarrow \Delta\dot{Q} = \dot{m}_{\text{vapor}} \cdot \lambda = \dot{m}_{\text{vapor}} \cdot (h_{\text{vap}} - h_{\text{liq}}) \quad (3)$$

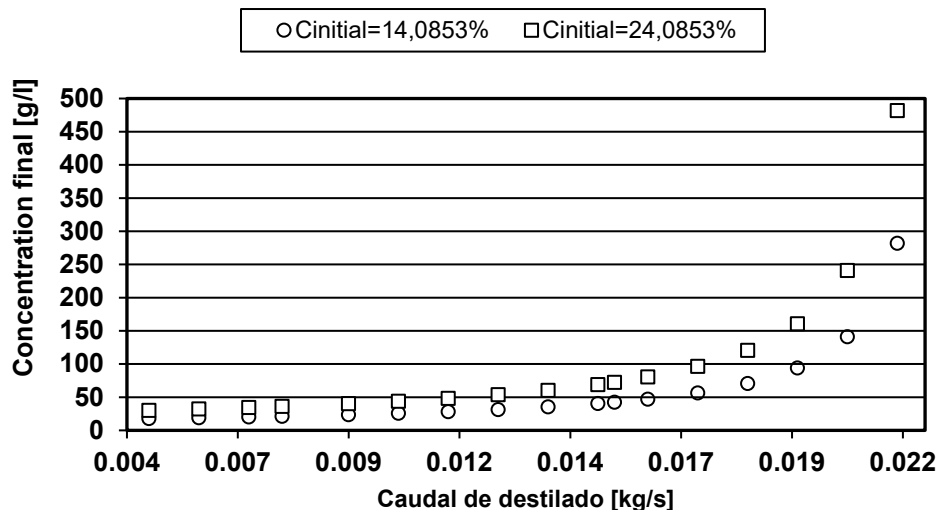
Aplicando la ley de la conservación de la energía y a partir de los resultados obtenidos más adelante, se observará que la concentración inicial es crucial para el correcto funcionamiento del sistema y la importancia de tener la ecuación de ajuste para estas altas concentraciones de salmuera (se facilita el estudio paramétrico a partir de la variación de concentraciones iniciales). Estas observaciones se pueden realizar gracias a los resultados que se obtienen a través del programa *EES* (F-Chart Software, 1987).

Siendo este un sistema tan sensible, los parámetros del fluido de entrada deben de ser conocidos con exactitud. En caso contrario, es posible que el sistema no genere las condiciones necesarias para comenzar el proceso de destilado mediante compresión mecánica de vapor. El gradiente de temperatura entre la entrada y salida es reducido, por lo que una ligera variación de esta concentración inicial puede desembocar en que no se alcance la temperatura de ebullición de la salmuera concentrada.

Los parámetros de entrada que podemos controlar son tres: temperatura, concentración inicial y caudal másico. En función del parámetro de entrada que queramos parametrizar (el de estudio se varía, el resto cambian respecto a esa modificación), podemos realizar tres estudios paramétricos diferentes. En nuestro caso, al partir de la hipótesis de que el fluido de entrada se encuentra a temperatura ambiente, se ha optado por realizar dos estudios paramétricos: uno en el que se varía la concentración inicial a caudal másico constante y otro en el que se varía el caudal másico con concentración inicial constante.

En el caso del estudio paramétrico a concentración inicial constante observamos que, a mayor concentración inicial, mayor será la concentración final para mismas cantidades de destilado extraído de la salmuera.

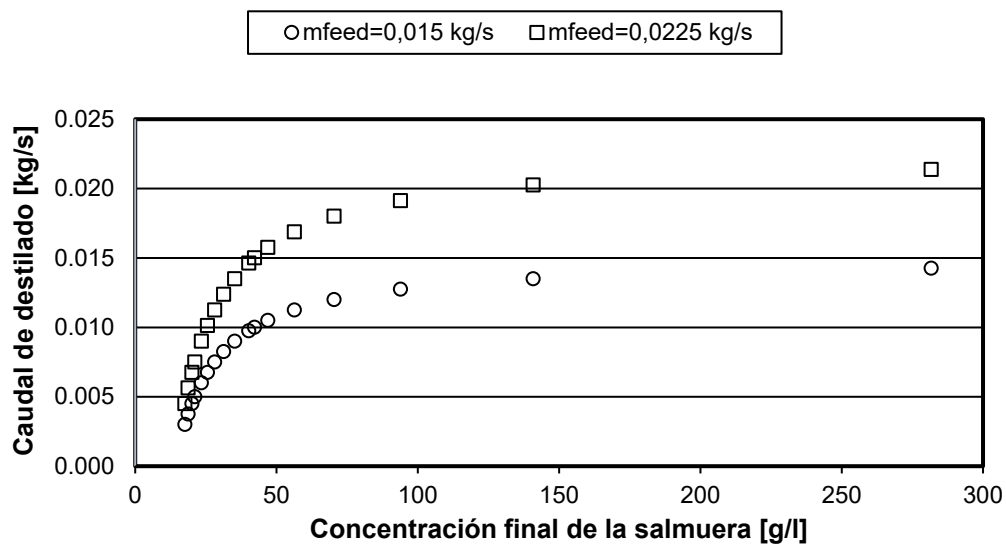
Figura 2: Producción de destilado vs Concentración final



Analizando la figura 2, se observa que a partir de caudales superiores a 0,020 kg/s la salmuera aumenta de forma drástica la concentración final de esa salmuera, por lo que se deberá evitar alcanzar caudales de destilado superiores si se quieren realizar trabajos continuados. De no ser así, obstrucciones y calcificaciones pueden aparecer antes de tiempo, lo que causaría la parada de la instalación hasta la corrección del problema.

La otra alternativa de estudio paramétrico pasa por mantener condiciones de flujo de entrada constantes, lo que permite observar que, a mayor caudal inicial, mayor será el caudal de destilado para mismas concentraciones finales de salmuera.

Figura 3: Producción de destilado vs. Concentración final salmuera



Analizando la figura 3, se observa que a partir de concentraciones superiores al 100g/l, la cantidad de destilado que se obtiene al aumentar dicha concentración final se estabiliza, por lo que se deberá evitar alcanzar concentraciones superiores si se quiere evitar tener altos consumos energéticos intentando aumentar esta concentración final.

Tabla 2: Resultados para varias presiones de trabajo

Presión de Evaporación [bar]	Potencia Óptima (kW)	Energía Consumida [kWh/m ³]	ΔT (T _{evap} -T _{cond}) [°C]
0.5	1.83	33.94	18.29
0.6	1.34	24.75	13.68
0.7	0.92	17.13	9.68
0.8	0.57	10.63	6.12
0.833	0.47	8.69	5.02

Otra relación que cabe destacar es la de los consumos de energía en función de las presiones de trabajo del evaporador. Esta presión, que viene dada por el evaporador empleado, nos devolverá la diferencia de temperatura que puede existir en el evaporador, así como la energía consumida para obtener ese gradiente de temperatura.

5. Conclusiones

El objetivo del modelo se ha cumplido: generar un modelo sencillo de una planta desalinizadora basada en la tecnología de compresión mecánica de vapor (MVC) para obtener un orden de magnitud de referencia a la hora de modelar una instalación completa. No se puede aportar una estimación económica del proyecto ya que, debido a la inestabilidad

energética que sufrimos en la actualidad, el precio de la energía es muy volátil e inestable, siendo la estimación de la energía consumida el único valor que se puede aportar para hacer dicho cálculo económico (en función del precio de la energía en ese momento y la cantidad de agua empleada). Además, se obtienen valoraciones a tener en cuenta a la hora de ejecutar este sistema completo:

- Modelar todos los elementos que emplearán en la instalación para crear un modelo matemático del comportamiento teórico del sistema de MVC lo más ajustado posible.
- Obtener la eficacia del sistema teórico en función de diferentes variables de entrada puede ofrecer resultados no deseados. Es preferible que dicha eficacia sea una de las variables de entrada para obtener los rangos de temperatura de trabajo aceptados por el sistema.
- Tener en cuenta la existencia de pérdidas de presión a lo largo del modelo. Tampoco se ha considerado la presencia de fugas en las válvulas, enlaces y tubos, lo que reduciría el rendimiento de la instalación y la energía consumida en el proceso.
- Los consumos de energía mostrados son los valores mínimos, de los elementos básicos. En el modelo completo habrá que añadir, entre otros, los consumos de las bombas y los derivados de las pérdidas de presión y calor cedido al ambiente.
- La salmuera y el destilado no son los únicos fluidos que intervienen en el sistema completo. Es necesario refrigerar elementos del sistema para su correcto funcionamiento, por lo que hay que introducir a las variables de entrada una fuente de agua dulce en unos casos y aire comprimido en otros.
- La hipótesis que se ha tenido en cuenta a la hora de considerar la temperatura de entrada de la salmuera al sistema la misma que la del ambiente solo es válida en caso de que dicha salmuera proceda de un tanque que almacene dicha salmuera antes de ser empleada. Si proviene directamente de un proceso de operación previo, se deberá igualar la temperatura de entrada al sistema de MVC a la temperatura de salida de la salmuera de esa operación.
- Se puede aumentar la eficiencia global del sistema si se recupera parte del calor de la salmuera residual en el proceso de precalentamiento del fluido de entrada.

Realizando una reflexión sobre el impacto que este trabajo podría tener en la resolución del problema de la contaminación de las aguas del Mar Menor, vemos que se centra en la principal fuente de contaminación de este ecosistema: los efluentes de las ramblas que vierten sus aguas en la laguna salada. La contaminación procede de la escorrentía de productos existentes en el terreno del campo de Cartagena, cuya transición hacia un cultivo de regadío intensivo ha causado que lo que un día fueron ramblas que encauzaban el agua de fenómenos puntuales de precipitaciones intensas se hayan convertido en caminos de desagüe de las salmueras procedentes del rechazo de pozos.

El agua del acuífero Cuaternario es salobre, por lo que tradicionalmente este entorno poseía una agricultura de secano (zona árida sin acceso a mucha agua dulce). El uso del acuífero en el cultivo intensivo necesita de un aporte de fertilizantes que tras el proceso de ósmosis inversa se retienen en la salmuera y el efluente resultante provoca un aporte de nitratos excesivo a la laguna salada.

El proyecto LIFE-Desirows estudia una posible solución al tratamiento de los efluentes provocados en la producción de salmueras, procedentes de la osmosis inversa con agua derivada de los pozos procedentes del acuífero de Cuaternario (este acuífero se encuentra en toda la riera del Mar Menor, que conforma el llamado Campo de Cartagena). Aunque esta salmuera no es un problema por su concentración en sal (concentración similar a la del Mar Menor), sí es un problema la concentración de nitratos almacenados. Este proyecto se centra

en la eliminación de este tipo de efluente, para evitar el vertido de fertilizantes en exceso a la laguna y reducir así el proceso de eutrofización.

En la actualidad, las soluciones que aplican los organismos locales y regionales se basan en la limpieza de playas y la recogida de algas en las etapas tempranas de episodios de eutrofización de las aguas, pero no se ejecutan medidas reales sobre la causa de estos procesos de eutrofización en el Mar Menor (como tratar los efluentes que llegan al Mar Menor).

La solución definitiva al problema del Mar Menor pasaría, por tanto, por ejecutar acciones que devuelvan al Mar Menor a una situación cercana a la original, con acciones de recuperación del impacto realizado (limpieza de fondos, instrucción de diversidad biológica que reduzca el exceso de nutrientes, etc.) y, a su vez, reducir o eliminar los efluentes cargados de nutrientes a la laguna salada (eliminación completa de salmueras y vertidos procedentes tanto de carácter urbano como agrícola o industrial). Son varias las propuestas para conseguir esto, aquí se muestran algunas de las posibilidades:

- Reducir el consumo de agua en el entorno del Campo de Cartagena. La actividad económica presente en la zona debe tomar conciencia del entorno en el que se encuentra y actuar en consecuencia con los recursos que posee de forma natural. Esto se consigue recuperando los cultivos tradicionales de la zona, basados mayoritariamente en secano, reduciendo la producción intensiva basada en el regadío y limitando tanto el crecimiento de las áreas urbanas como el número de cabezas de ganado en estas zonas sensibles.
- Crear una zona de protección cercana al propio Mar Menor y tomar medidas para garantizar lo que se defina en ella. Eliminar de forma definitiva las zonas de regadío próximas a las orillas del Mar Menor, así como asegurar que la actividad económica asentada en este entorno es cómplice de garantizar la salud del entorno en el que se encuentra, son medidas que deben de ejecutarse en la práctica si se quiere garantizar el futuro no solo de este ecosistema, sino de la actividad económica en este entorno.
- Implantar en las fuentes emisoras de efluentes plantas de tratamiento como la planteada en el proyecto LIFE-Desirows. La actividad económica en la zona debe garantizarse, únicamente debe regularse la intensidad de la misma. La presencia de una actividad en cualquier zona genera un efecto que siempre se debe de tener en cuenta, y al ser conocedores tanto de los efectos que provoca como de la solución de los problemas que causa es imprescindible poner en marcha los proyectos que buscan dichas soluciones.
- Tomar medidas preventivas en lugar de correctoras. En el futuro, las acciones deben de realizarse para evitar la aparición de los problemas y no esperar a que los efectos sean visibles para tomar medidas sobre el problema.

El conjunto de medidas presentadas, de aplicarse antes del colapso del ecosistema, puede no solo salvar este entorno, sino impulsar nuevas actividades económicas de gran valor añadido que además de garantizar un futuro sostenible a la zona pueden recuperar de forma gradual el equilibrio natural del Mar Menor y su entorno

Referencias bibliográficas

Belessiotis, V., Kalogirou, S., & Delyannis, E. (2016). *Thermal Solar Desalination: Methods and Systems*. Academic Press.

Calleja Cayón, P. (2021). *Modelling and analysis of a brine removal evaporation system based on Mechanical Vapour Compression process*. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.

F-Chart Software. (1987). EES: Engineering Equation Solver | F-Chart Software. Retrieved from F-Chart Software: <https://fchartsoftware.com/ees/index.php/>

Gómez García, H. (2020). Modelado y análisis mediante TRNSYS de un sistema de eliminación de salmuera mediante la evaporación con torre de refrigeración. Cartagena.

Kucera, J. (2014). Desalination: water from water. Wiley-Scrivener.

LIFEDesirows, (2019). LIFE DESIROWS (LIFE19 ENV/ES/00447) Retrieved from Life Desirows: <https://lifedesirows.eu/>

Nayar, K., Sharqawy, M., & Lienhard V, J. (2016). SEAWATER THERMOPHYSICAL PROPERTIES LIBRARY. MIT.

Smith, J., Van Ness, H., Abbott, M., & Swihart, M. (2018). Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics. Mc. Graw Hill.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

