



Recuperación de energía en el proceso de desalinización mediante membranas

GRUPO 10

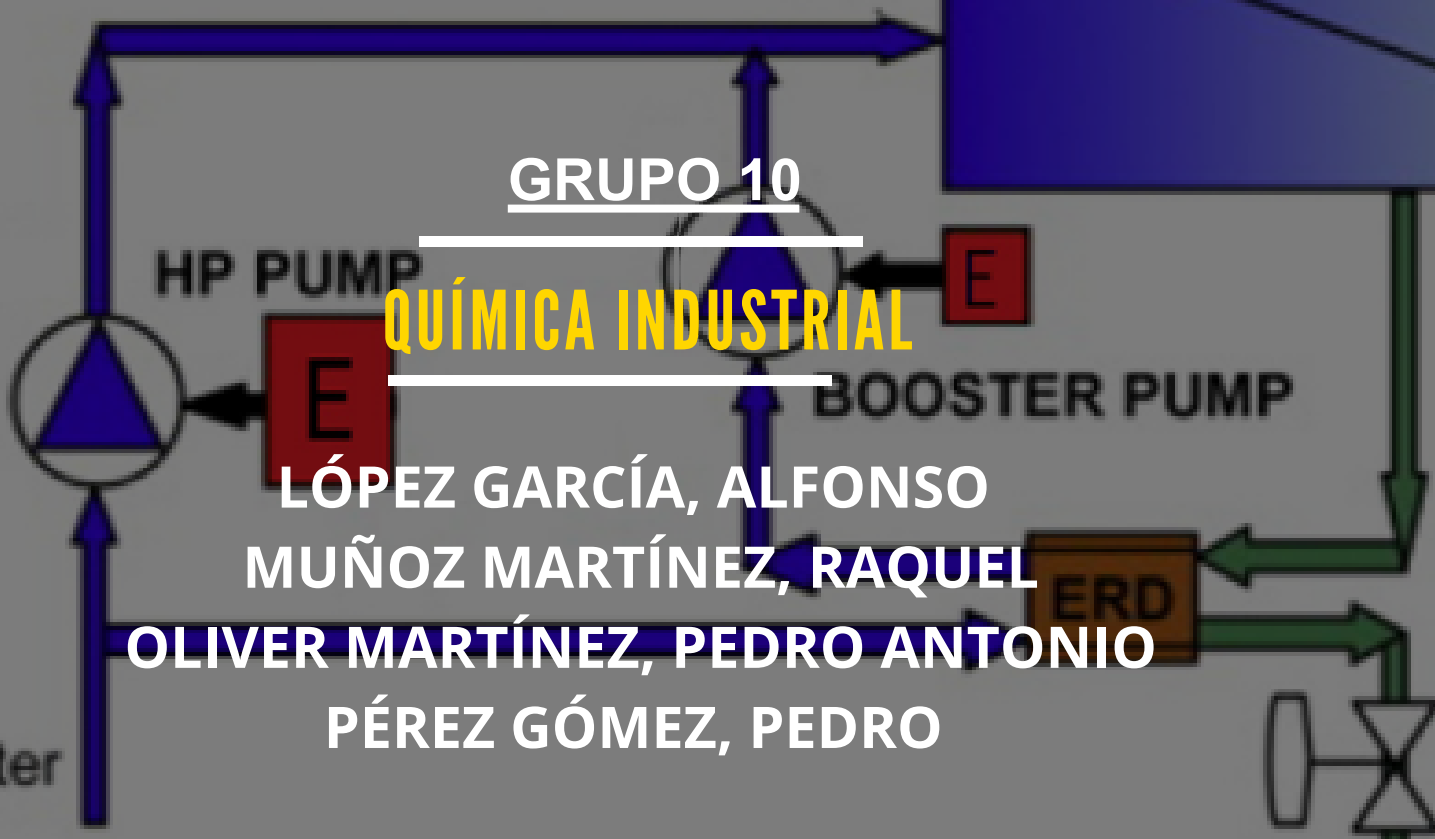
QUÍMICA INDUSTRIAL

LÓPEZ GARCÍA, ALFONSO

MUÑOZ MARTÍNEZ, RAQUEL

OLIVER MARTÍNEZ, PEDRO ANTONIO

PÉREZ GÓMEZ, PEDRO





Contenido

1.Introducción y objetivos3

2. Metodología5

3. Resultados y discusión6

 - Turbinas Pelton7

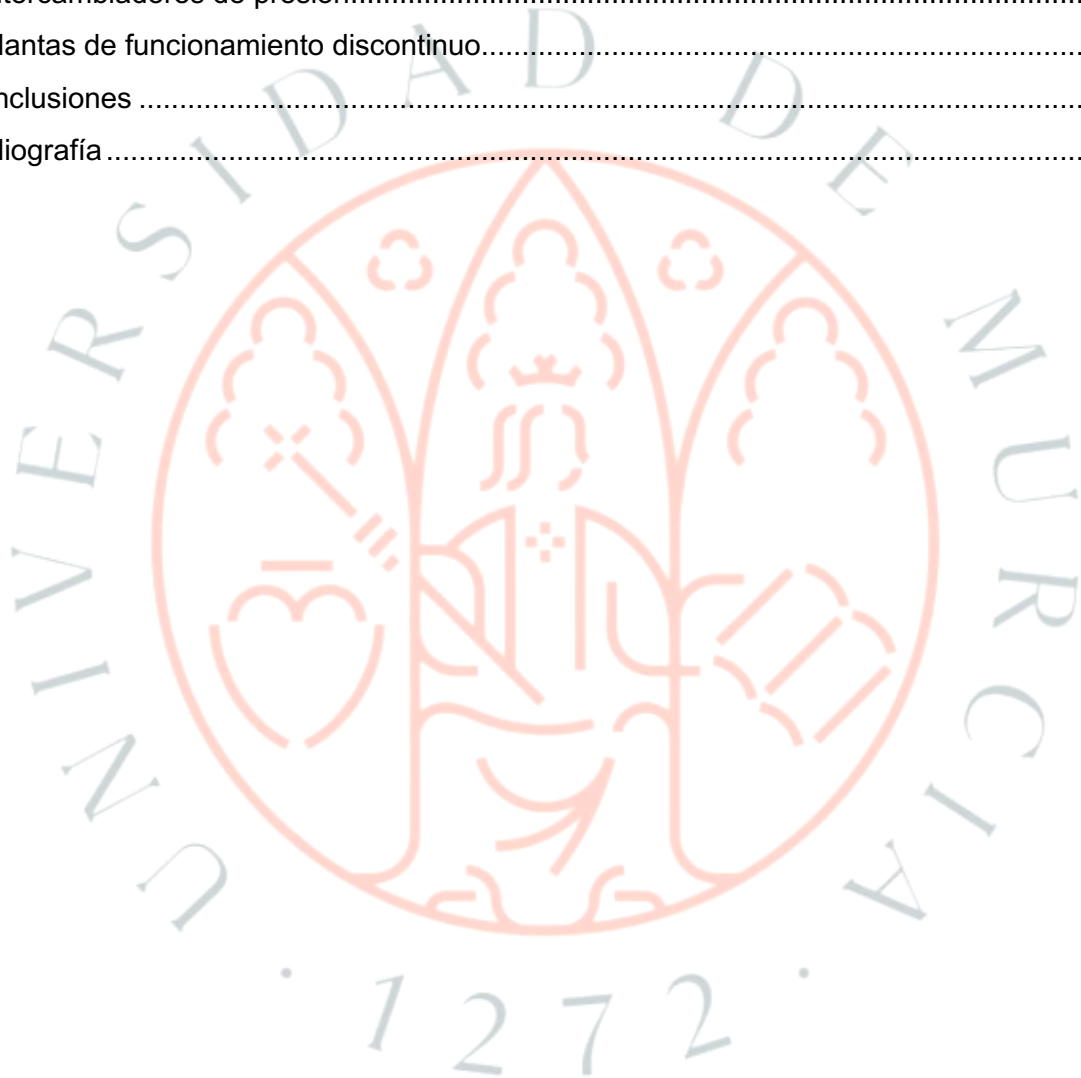
 - Turbobombas8

 - Intercambiadores de presión.....8

 - Plantas de funcionamiento discontinuo.....10

4.Conclusiones10

5.Bibliografía11





1. Introducción y objetivos

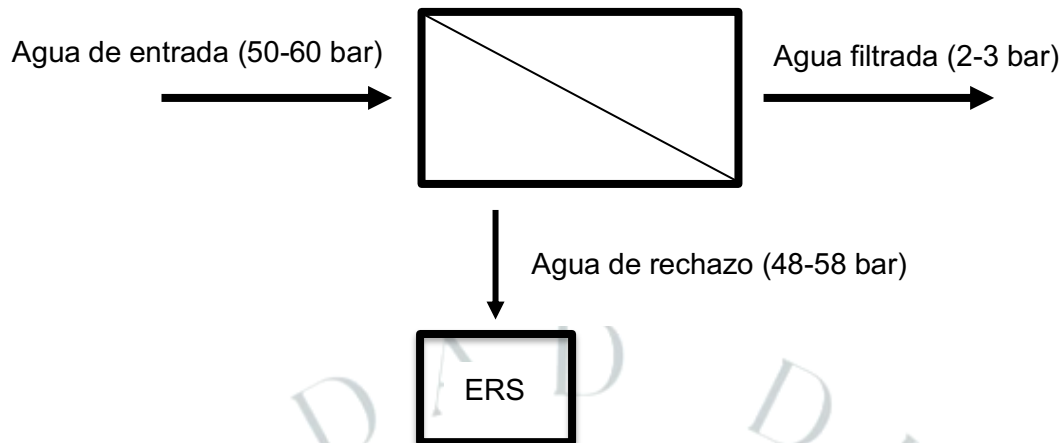
La búsqueda y gestión de información es crítica en la realización de cualquier trabajo de cualquier ámbito. En el ámbito académico, es importante que la información recabada se haya obtenido con cierto nivel de rigurosidad. Existen diversas fuentes de información bibliográfica que garantizan un nivel de rigurosidad adecuado para el ámbito académico. Aprender a utilizar y gestionar dichas fuentes de información es uno de los objetivos de este trabajo.

La desalinización del agua es un procedimiento mediante el cual se consigue obtener agua potable a partir de una fuente de agua natural no potable. Normalmente, la fuente natural es el mar o algún tipo de pozo de agua salobre. La desalinización es un procedimiento cuyo uso ha estado en expansión durante las últimas décadas debido a la creciente escasez de agua potable como consecuencia del incremento de la población y de la actividad industrial. En algunos lugares del planeta con climas desérticos y acceso al mar, la desalinización es ideal para suministrar agua potable.

No hay un único método de desalinización del agua. Existen métodos basados en destilación, intercambios iónicos, energía solar, congelación y membranas, principalmente. Todos ellos tienen ventajas e inconvenientes, pero los métodos basados en membranas son los que mayor expansión han experimentado en los últimos años, especialmente la ósmosis inversa.

La ósmosis inversa consiste en hacer pasar una disolución a través de una membrana cuyos poros permiten el paso a las moléculas del disolvente (agua, en este caso) pero no permiten el paso a moléculas más grandes, como las sustancias disueltas [2]. Para conseguir que el agua pase a través de las membranas, hay que suministrarle una presión superior a la presión osmótica de las sales disueltas, que suele ser de unos 27 bar en el agua de mar. Como en las plantas de ósmosis inversa se filtra aproximadamente el 50% del agua de entrada (porcentaje de recuperación del 50%), la concentración de sales en el lado de la membrana que corresponde al agua salada es el doble del agua de entrada y, por tanto, su presión osmótica también es aproximadamente el doble. Por ello, es necesario suministrar al agua de entrada una presión de entre 50 y 60 bar aproximadamente.

Al pasar a través de la membrana, el agua pierde la mayor parte de su presión. Por eso, el agua filtrada tiene una presión relativamente baja. Sin embargo, el agua de rechazo abandona el sistema con una presión muy parecida a la del agua de entrada, al no haber pasado a través de la membrana. A continuación, se muestra un diagrama conceptual del sistema de filtrado:



El agua de rechazo, aproximadamente la mitad del caudal del agua de entrada, contiene todavía una gran cantidad de energía hidráulica. Aprovechar, en la medida de lo posible, esa energía hidráulica, hará que el sistema en su conjunto funcione de forma más eficiente. Esa es precisamente la temática del estudio que se va a realizar a continuación, los sistemas de recuperación de energía (ERS – Energy Recovery Systems) en plantas de desalinización de agua mediante ósmosis inversa.

Por último, tan importante como la obtención y el tratamiento de la información es su divulgación. En la era de la información en la que nos encontramos, existen numerosas vías de comunicación entre personas.

Con relación a todo lo anterior, los objetivos de este trabajo son:

- Realizar una búsqueda bibliográfica inicial de forma rigurosa.
- Realizar un estudio científico-técnico acerca del aprovechamiento de energía en procesos de desalinización mediante membranas, basado en la información obtenida previamente
- Crear contenido audiovisual que sirva para transmitir de manera efectiva y amena lo más relevante de lo hallado sobre el tema en cuestión.

Cabe mencionar que este trabajo se ha realizado en el marco del Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6, “Agua limpia y saneamiento”, de entre los Objetivos de Desarrollo Sostenibles establecidos en 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, proyectados para ser alcanzados en 2030 [14].



2. Metodología

Como en toda revisión bibliográfica, el primer paso es definir el objetivo de investigación. En este caso, el objetivo es estudiar las ventajas y desventajas de los sistemas de recuperación de energía más usados en plantas de desalinización de agua mediante ósmosis inversa, así como el grado de recuperación de energía de cada sistema.

A continuación, se definió la estrategia de búsqueda. Para ello, se estableció un conjunto de palabras clave con el objetivo de obtener los resultados de búsqueda adecuados para la temática del trabajo. Las palabras clave seleccionadas para la búsqueda bibliográfica son las siguientes: “reverse”, “osmosis”, “desalination”, “plant”, “energy”, “recovery”.

A continuación, se seleccionó el motor de búsqueda. Se eligieron Google Scholar y Web of Science por su facilidad de acceso. Las frases de búsqueda utilizadas fueron “reverse osmosis energy recovery” y “desalination plant energy recovery”.

Para la criba de los artículos encontrados se tuvieron en cuenta las recomendaciones de la Declaración PRISMA para revisiones sistemáticas en su versión de 2020 [1]. En una primera aproximación se establecieron los siguientes criterios de inclusión: artículos que aporten datos sobre eficacia de los diferentes sistemas de recuperación de energía en plantas de ósmosis inversa y/o de la distribución de uso de cada uno de ellos. Sin embargo, dada la rápida evolución del sector de la desalinización de agua y la gran cantidad de artículos existentes sobre el tema, se decidió añadir el siguiente criterio de inclusión: artículos publicados a partir del año 2018. Este criterio no se aplicó a los artículos encontrados por fuentes secundarias, que suponen una minoría.

3. Resultados y discusión

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para cada una de las frases de búsqueda en cada una de las bases de datos:

Frase	Google Scholar	Web of Science
reverse osmosis energy recovery	21400 aprox,	1267
desalination plant energy recovery	18500 aprox.	792

Los resultados se cribaron en primer lugar por título, eliminando la mayor parte de ellos, y en segundo lugar por abstract. Se incluyeron algunos artículos de fuentes secundarias.

La ósmosis inversa es, actualmente, el método más utilizado para desalinizar agua [3]. Hasta 2019, torno al 70% de todo el volumen de agua desalada globalmente se producía mediante ósmosis inversa [4]. En la siguiente imagen se muestra la evolución de la desalinización como método para la producción de agua potable en las últimas décadas:

E. Jones et al. / Science of the Total Environment 657 (2019) 1343–1356

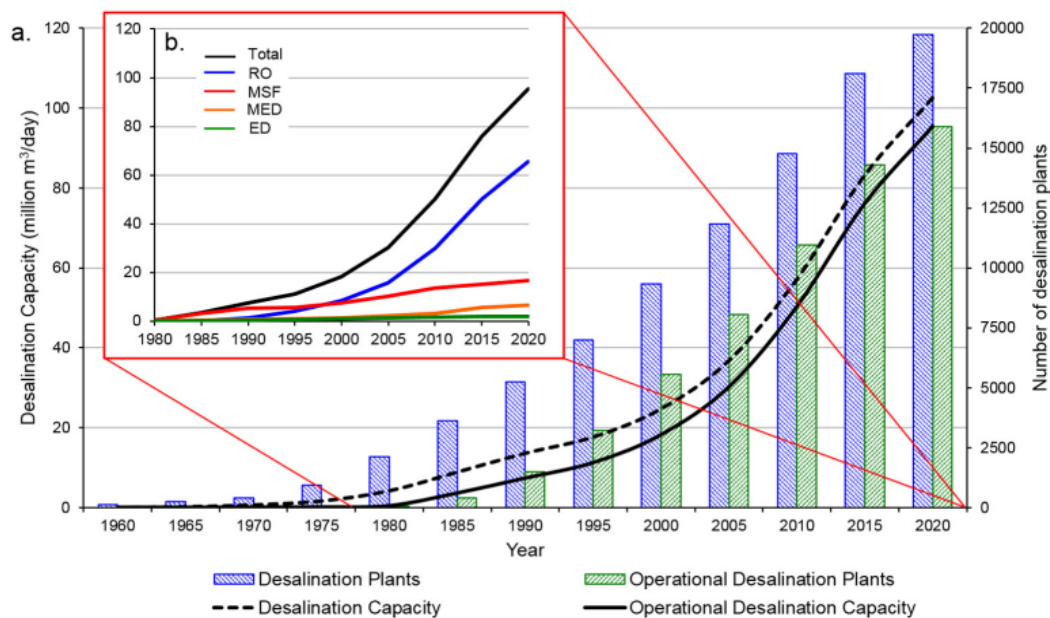


Ilustración 1: evolución histórica de la desalación de agua.

Como puede observarse, la desalinización no ha dejado de aumentar y la ósmosis inversa se ha consolidado firmemente como el método más usado. En cuanto al consumo energético, desde los años 1970 hasta la actualidad, se ha reducido en aproximadamente un factor de 10 en la ósmosis inversa [11]. Este hecho ha sido posible gracias a los sistemas de recuperación de energía (ERS).

En cuanto a los ERS, existen diferentes tipos. Algunos se basan en convertir la energía hidráulica del agua de rechazo en energía eléctrica, como es el caso de las turbinas Pelton y las turbinas Francis. Otros se basan en convertir la energía hidráulica del agua de rechazo en energía hidráulica del agua de entrada, como es el caso de las turbobombas o los intercambiadores de presión. A continuación, se hace un estudio de cada uno de los métodos más usados. Teóricamente se ha calculado que la cantidad mínima de energía para conseguir purificar el agua de mar con un factor de recuperación del 50% es de aproximadamente $1,07 \text{ kWh/m}^3$ [12]. Teniendo en cuenta ese valor, se puede dar un factor de eficacia a cada uno de los ERS existentes. Cabe destacar que ese valor es muy superior al necesario para potabilizar agua superficial mediante los métodos tradicionales, entre $0,2$ y $0,4 \text{ kWh/m}^3$ [12], lo cual acentúa todavía más la importancia de los ERS en los procesos de desalinización de agua de mar mediante ósmosis inversa.

- Turbinas Pelton



Ilustración 2: turbina Pelton.

La turbina Pelton es un tipo de turbina que evolucionó directamente de los antiguos molinos de agua. Consta de una rueda con numerosas *cazoletas* dispuestas perimetralmente que reciben uno o varios chorros de agua a presión en dirección tangencial a la rueda, haciendo que ésta gire. El eje se acopla solidariamente a un alternador, que produce energía eléctrica. Esa energía se puede utilizar para suplir a las bombas de alimentación, o para cualquier otro fin que se considere oportuno.

El motivo por el que se usa la turbina Pelton y no la turbina Francis o la turbina Kaplan es que éstos dos últimos tipos de turbina, por

motivos de diseño, requieren grandes caudales de fluido hidráulico y presiones bajas o medias, mientras que la turbina Pelton requiere caudales medios o bajos y presiones altas, haciéndola ideal para esta aplicación.

Carta de aplicación de turbinas

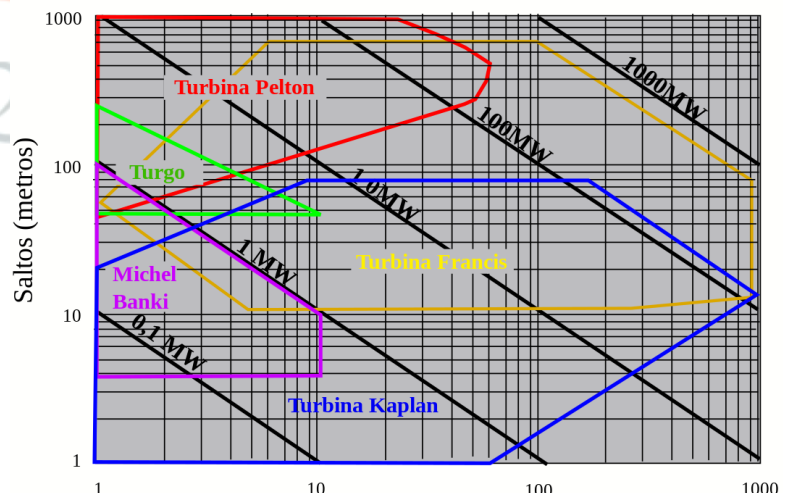


Ilustración 3: características de diferentes tipos de turbinas.



La turbina Pelton permite reducir el consumo de energía hasta aproximadamente 3,1 kWh/m³ cuando se utiliza agua de mar como alimentación [5]. Si se utiliza agua salobre, la recuperación de energía es despreciable ya que, al ser menor la concentración de sales en el agua de entrada, se consiguen porcentajes de recuperación mucho mayores [5]. Este hecho no sólo sucede con las turbinas Pelton, sino, en general con todos los ERS que se utilizan en la actualidad.

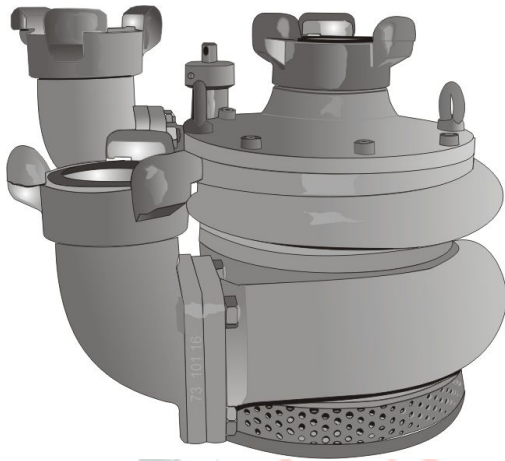


Ilustración 4: turbobomba.

- Turbobombas

Las turbobombas son dispositivos en los que una turbina está acoplada solidariamente a una bomba centrífuga. En esencia es una turbina Pelton en la que, en lugar de un alternador, lo que hay es una bomba.

Hasta principios del siglo XX, el 98% de todas las plantas de desalinización utilizaban dispositivos de tipo centrífugo para recuperar energía [6].

A diferencia de las turbinas, las turbobombas no producen energía eléctrica porque no están conectadas a un alternador, sino que únicamente transfieren energía hidráulica entre el agua de rechazo y el agua de alimentación. Eso hace que sean menos polivalentes, pero hay evidencias de que permiten reducir el consumo energético hasta valores en torno a 2,74 kWh/m³ [5], una reducción mayor que las turbinas Pelton.

- Intercambiadores de presión

Este grupo de ERDs incluye varios tipos. Los más utilizados son los intercambiadores de presión de tipo pistón, en los que la presión del agua de rechazo se utiliza para mover un pistón que, a su vez, aumenta la presión del agua de alimentación [7]. Al igual que sucede con las turbobombas, este intercambio de presión no es suficiente para darle al agua de alimentación toda la presión necesaria, pero reduce considerablemente el consumo de la bomba de alta presión.

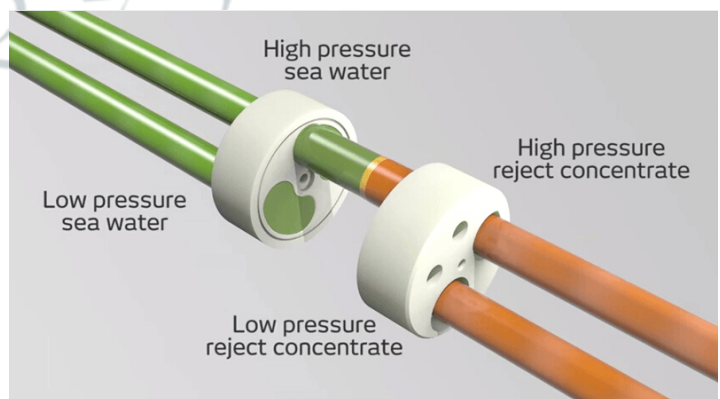


Ilustración 5: intercambiador de presión.

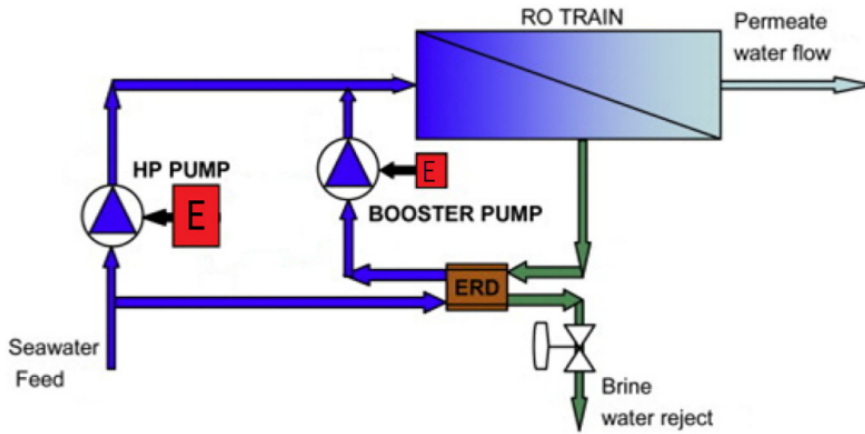


Ilustración 6: esquema general de un intercambiador de presión.

Los intercambiadores de presión permiten reducir el consumo energético hasta valores de $2,46 \text{ kWh/m}^3$ [5]. Otros estudios sugieren consumos de $2,2 \text{ kWh/m}^3$ para los intercambiadores de presión [8]. En general se considera que los intercambiadores de presión son más eficaces

que las turbobombas y las turbinas Pelton. Por ello, su uso se ha incrementado en los últimos años. En la imagen se muestra un esquema general del funcionamiento de los intercambiadores de presión [9].

El siguiente gráfico muestra el nivel de consumo que se puede conseguir con los diferentes ERS analizados en este trabajo:

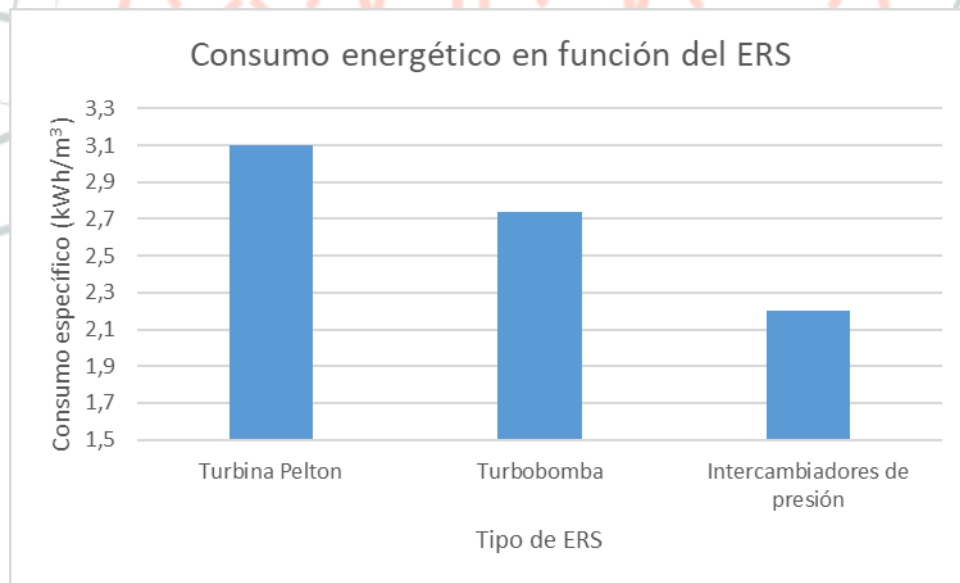


Ilustración 7. Consumo energético en función del ERS



- Plantas de funcionamiento discontinuo

Aunque no se trata de un ERS, cabe mencionar el papel de la operación discontinua en las plantas de ósmosis inversa. Esta tecnología, todavía inmadura, podría llegar a ser más eficiente que las analizadas anteriormente, ya que, al trabajar con sistemas de volumen variable, no se produce pérdida de energía en el agua de rechazo [10].

El principio básico de funcionamiento es simple. En primer lugar, se introduce un volumen concreto de agua salada en una cámara de alta presión de volumen variable, cerrada por las membranas. Un pistón genera la presión suficiente para hacer que el agua se filtre a través de las membranas, moviéndose a medida que el agua atraviesa las membranas, reduciendo el volumen en el interior de la cámara de presión. La concentración de sales en el interior de la cámara de presión aumenta a medida que se reduce su volumen, siendo el porcentaje de recuperación igual al porcentaje de reducción de volumen. Cuando se ha conseguido el porcentaje de recuperación deseado, el pistón deja de hacer presión y se deja salir el agua de rechazo a presión atmosférica. Como el agua de rechazo sale de la cámara a presión atmosférica, no porta energía hidráulica y, por tanto, las pérdidas de energía son mínimas. Recientemente se han propuesto diseños que contemplan la operación en régimen semicontinuo como posible alternativa a la operación continua para ahorrar energía [13]. El esquema muestra el funcionamiento básico de la ósmosis inversa discontinua.

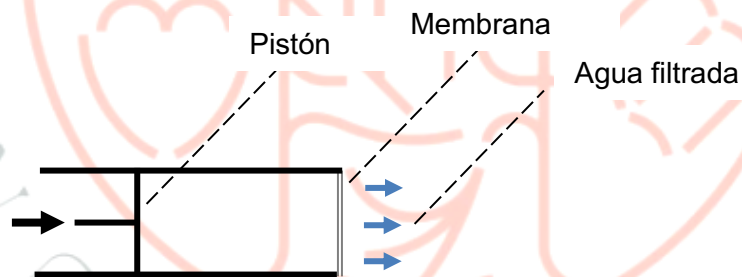


Ilustración 8: esquema básico de una planta de funcionamiento discontinuo.

4. Conclusiones

- En la búsqueda de información, dada la gran cantidad de bibliografía disponible sobre este asunto, seleccionar las fuentes adecuadas supuso la mayor dificultad.
- Tradicionalmente se han utilizado turbinas y turbobombas como métodos principales de recuperación de energía en ósmosis inversa.
- Actualmente, los sistemas que permiten la mayor recuperación de energía son los intercambiadores de presión. Cabe mencionar el uso de plantas de operación discontinua o semicontinua como tecnología emergente.
- Los ERS son mucho más eficaces en la desalinización de agua de mar que en la desalinización de agua salobre, desestimándose su uso en el último caso.



5. Bibliografía

1. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71.
2. PANAGOPOULOS, Argyris; HARALAMBOUS, Katherine-Joanne; LOIZIDOU, Maria. Desalination brine disposal methods and treatment technologies-A review. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 693, p. 133545.
3. VOUTCHKOV, Nikolay, et al. Sustainable Management Of Desalination Plant Concentrate-Desalination Industry Position Paper-Energy And Environment Committee Of The International Desalination Association (IDA). En *The International Desalination Association World Congress on Desalination and Water Reuse*. UAE REF: IDAWC19-Voutchkov, 2019. p. 1-32.
4. JONES, Edward, et al. The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 657, p. 1343-1356.
5. KABIRI, Saeid; MERATIZAMAN, Mousa. Energy, exergy, exergoeconomic, and environmental (4E) and carbon footprint analysis of coupling the various energy recovery devices with seawater and brackish water reverse osmosis desalination. *Desalin. Water Treat*, 2021, vol. 210, p. 103-122.
6. HUANG, Bin, et al. Design, selection and application of energy recovery device in seawater desalination: A review. *Energies*, 2020, vol. 13, no 16, p. 4150.
7. STOVER, Richard L. Seawater reverse osmosis with isobaric energy recovery devices. *Desalination*, 2007, vol. 203, no 1-3, p. 168-175.
8. URREA, Sigrid Arenas, et al. Technical review, evaluation and efficiency of energy recovery devices installed in the Canary Islands desalination plants. *Desalination*, 2019, vol. 450, p. 54-63.
9. PEÑATE, Baltasar; GARCÍA-RODRÍGUEZ, Lourdes. Energy optimisation of existing SWRO (seawater reverse osmosis) plants with ERT (energy recovery turbines): Technical and thermoeconomic assessment. *Energy*, 2011, vol. 36, no 1, p. 613-626.
10. CORDOBA, Sandra, et al. Double-acting batch reverse osmosis configuration for best-in-class efficiency and low downtime. *Desalination*, 2021, vol. 506, p. 114959.
11. PANAGOPOULOS, Argyris. A comparative study on minimum and actual energy consumption for the treatment of desalination brine. *Energy*, 2020, vol. 212, p. 118733.
12. VOUTCHKOV, Nikolay. Energy use for membrane seawater desalination-current status and trends. *Desalination*, 2018, vol. 431, p. 2-14.
13. LI, Mingheng. Dynamic operation of batch reverse osmosis and batch pressure retarded osmosis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2020, vol. 59, no 7, p. 3097-3108.
14. ASSEMBLY, General. Resolution adopted by the General Assembly on 6 July 2017. En *Technical Report A/RES/71/313*. 2017.