

DESALACIÓN DE AGUA DE MAR, SOLUCIÓN DEL FUTURO

Luisa Mayra Vera Cabezas, Yailyn Pan, Yuliet Gómez

Universidad Central Martha Abreu de Las Villas. Facultad de Química Farmacia

Uno de los más graves problemas que se avecina en este siglo es la escasez de agua, entendiéndose por ello un agua en cantidad y calidad apta para el consumo humano.

La tendencia observada de la disminución de precipitaciones como consecuencia del efecto invernadero, va a obligar en un futuro no muy lejano a la construcción de plantas desaladoras, que obviamente pueden ser utilizadas no sólo para condiciones de escasez de recursos convencionales.

La desalación es en algunos países la única fuente de recursos hídricos, con gran cantidad de plantas desaladoras y funcionamiento plenamente satisfactorio. Debido a nuestra situación Geográfica es necesario el estudio de esta alternativa como posible fuente.

En este trabajo se realiza un análisis de las tecnologías de desalación existentes en el mercado comparándolas desde el punto de vista de la calidad del agua obtenida, energético y ambiental.

Una de las tecnologías más favorables es la de Ósmosis Inversa (OI), en base a su menor coste, fiabilidad posibilidad de ampliación e impacto ambiental.

Palabras clave: Ósmosis Inversa, desalación, plantas desaladoras, invernadero.

The trend of declining rainfall due to the greenhouse effect, will force a not too distant future the construction of desalination plants, which obviously can be used not only to conditions of scarcity of conventional resources.

Desalination is in some countries the only source of water, with lots of operating desalination plants and fully satisfactory. Because of our geographical location is necessary to study this alternative as a possible source.

In this paper an analysis of existing desalination technologies on the market compared in terms of water quality obtained, energy and environment. One of the most favorable technologies is Reverse Osmosis (RO), based on its lower cost, reliability, scalability and environmental impact.

Key words: reverse osmosis, desalation, bleak plants, greenhouse.

Introducción

La desigualdad patente entre los recursos y el consumo hídrico en las diferentes zonas del planeta provoca situaciones de insostenibilidad muy claras, en aquellos lugares con menores recursos hídricos renovables que su consumo demanda.

Queda claro que es necesario ahorrar agua en todos los sectores consumidores, desde la utilización de técnicas de riego más avanzadas que eviten el despilfarro de la misma, el ahorro en el consumo humano, con su posterior depuración y hasta reutilización.

Pero aún así hay zonas del planeta (muy áridas o aisladas) que tienen una dependencia de fuentes externas de agua para su desarrollo. La desalación es un proceso que permite au-

mentar dichos recursos, pero tiene un costo económico que sólo pueden asumir los países ricos, por lo tanto esta solución a la falta de agua es una de las razones que no permite un desarrollo equitativo de la sociedad, al igual que un trasvase intercuenas de zonas más pobres a las más ricas. La purificación de aguas consumidas anteriormente también es una nueva fórmula para incrementar los recursos, que suele conllevar un proceso de similares características al utilizado para la desalación.

En este trabajo se resumen los principales métodos de desalación existentes en la actualidad, incidiendo más detalladamente en aquellos procesos con una mayor implantación dentro del panorama mundial de la desalación.

Desarrollo

En la desalación se puede separar el agua de las sales ó viceversa. Por lo tanto la primera clasificación de los métodos de desalación se atenderá a la

forma de separación de sales y agua. Las siguientes clasificaciones se harán según el tipo de energía utilizada para el proceso, y finalmente por el proceso físico de la desalación. La tabla 1 muestra dicha clasificación de los métodos existentes.

Tabla 1

SEPARACION	ENERGIA	PROCESO	METODO	
AGUA DE SALES	TÉRMICA	EVAPORACIÓN	DESTILACIÓN SUBITA	
			DESTILACIÓN UL TIEFEC.	
			TERMOC. DE VAPOR	
			DESTILACIÓN SOLAR	
		CRISTALIZACIÓN	CONGELACIÓN	
			FORM. DE HIDRATOS	
		FILT. Y EVAP.	DESTILACIÓN CON MEMEBRANAS	
		MECANICA	EVAPORACION	COMP. MECA. DEL VAPOR
			FILT RACIÓN	ÓSMOSIS INVERSA
		SALES DE AGUA	ELECTRICA	FILT RACIÓN SELECTIVA
	QUÍMICA	INTERCAMBIO	INTERC. IÓNICO	

Es necesario centrar la atención en el consumo energético necesario para obtener agua dulce en condiciones de potabilidad. Si obtenemos agua pura evaporando agua salada (desde luego uno de los métodos mas ineficientes), la cantidad de energía necesaria para dicho cambio de fase es nada menos que 2,258 kJ/kg a presión atmosférica. Ello supone 0,627 kwh/kg.

Lógicamente, a este precio sólo podría pagarse el agua para la ingestión, pero no para el resto de usos cotidianos. Por lo tanto, en todos métodos son especialmente importantes los sistemas de recuperación de energía, para evitar este consumo tan desmesurado que haría impensable utilizar técnicas de desalación.

Tan sólo existen unos pocos procesos tecnológicamente viables a escala industrial: Evaporación súbita por efecto flash (MSF), des-

tilación múltiple efecto (MED), termocompresión de vapor (TVC) y compresión de vapor mecánica (CV), ósmosis inversa (OI) y electrodiálisis (ED).

En la tabla 2 se realizar un análisis comparativo de las ventajas e inconvenientes de cada uno de estos métodos tecnológicamente avanzados para la producción de agua desalada.

A la vista de esta tabla, queda claro que la ósmosis inversa es en conjunto la tecnología más favorable, en base a su mejor precio de obtención del agua, su ampliabilidad, y su fiabilidad. La calidad del agua es peor que el resto de tecnologías, si no se contempla la posibilidad de añadir un segundo paso para reducir esa concentración salina residual tras un único paso por las membranas.

Tabla 2

CARACTERÍSTICAS	MSF	MED-TVC	CV	OI	ED
TIPO DE ENERGÍA	TÉRMICA	TÉRMICA	ELÉCTRICA	ELÉCTRICA	ELÉCTRICA
CONSUMO ENER. PRIMARIO(Kj/Kg)	ALTO > 200	ALTO/MEDIO 150-200	MEDIO 100-150	BAJO < 80	BAJO < 30
COSTE INSTALAC.	ALTO	ALTO/MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO
CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN (m ³ /día)	ALTO > 50 000	MEDIO < 20 000	BAJA < 5 000	ALTO > 50 000	MEDIA < 30 000
POSIBILIDAD DE AMPLIACIÓN	DIFÍCIL	DIFÍCIL	DIFÍCIL	FÁCIL	FÁCIL
FIABILIDAD DE OPERACIÓN	ALTA	MEDIA	BAJA	ALTA	ALTA
DESALACIÓN AGUA DE MAR	SI	SI	SI	SI	NO
CALIDAD AGUA DESALADA (PPM)	ALTA < 50	ALTA < 50	ALTA < 50	MEDIA 300-500	MEDIA < 300
SUPERFICIE REQUERIDA PARA INSTALACIÓN	MUCHA	MEDIA	POCA	POCA	POCA

Calidad obtenida con la desalación

Se ha constatado que la calidad del agua producto requerido, así como la del agua bruta aportada al proceso de desalación, es fundamental a la hora de elegir uno u otro proceso.

La calidad del agua requerida depende claramente de su uso. Así, para ciertos procesos industriales aguas de hasta 5,000 ppm pueden usarse pero en otros como centrales eléctricas el límite máximo es ínfimo. En la agricultura, algunos cultivos toleran hasta las 2,000 ppm, aunque ello depende de la tierra, clima, composición del agua salobre, método de riego y fertilizantes aplicados.

En cuanto al consumo humano, su límite es de 1,000 ppm, aunque en climas excesivamente cálidos un aporte extra de sales (si son principalmente cloruro sódico) puede ser beneficioso para el cuerpo humano. Aunque el consumo humano es de sólo unos 2-3 litros para ingestión, la desalación no sería ningún problema para este uso, si hubiera otro sistema de abastecimiento de agua de peor calidad para otros servicios propios tales como lavado, riego de jardines, cocinado, etcétera.

La tabla 3 muestra la calidad media del agua obtenida por los procesos de OI de un único y doble paso, y los procesos de evaporación.

Tabla 3

	OI (1 PASO)	OI (2 PASO)	EVAPORACION
Ca ⁺⁺ (mg/l)	2	0.1	0,5
Mg ⁺⁺ (mg/l)	6	0.3	1,5
Na ⁺ (mg/l)	128	15	12
K ⁺ (mg/l)	4	0.8	0,5
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	8	0.4	0,1
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	11	0.6	3
CL ⁻ (mg/l)	208	23	22
TDS(mg/l)	367	40	40
SiO ₂ (mg/l)	0.1	0.0	0,0
CO ₂ (mg/l)	23	12	-
PH	5,8	5,2	7,2

Consideraciones medioambientales

En todo proceso desalador, tenemos una porción del agua previamente introducida que es rechazada y devuelta normalmente al reservorio original de donde se aportó el agua bruta a desalar.

El problema de estos vertidos debe tratarse cuidadosamente dependiendo del tipo de proceso utilizado, y de las características del reservorio donde se tira la salmuera de rechazo.

Una planta de conversión media del 45 % y un agua marina de aporte de 38,000 ppm debe verter al mar una salmuera con alrededor de 70,000 ppm. Se sabe que la fauna marina no queda afectada significativamente por la existencia de emisarios de esta agua (gracias por supuesto a su movilidad), incluso hay experiencias de una mayor cuota de captura pesquera alrededor de desagües de plantas desaladoras.

Entre las posibilidades de actuación en cuanto a la evacuación de la salmuera al mar, no hay soluciones concluyentes, sobre todo en cuanto a la cuantificación del efecto de cada una de ellas sobre la flora marina, se muestran aquí las soluciones comúnmente adoptadas:

- Vertido directo al mar a través de ramblas y cauces. Esta posibilidad puede ser la más adecuada en zonas de corrientes y vientos considerables, ya que en zonas cercanas a la costa los oleajes y

la mayor temperatura de las aguas favorecen la mayor dilución de las descargas de salmuera.

- Construcción de emisarios submarinos. Se han realizado estudios sobre la dilución de los emisarios submarinos construidos específicamente para una mejor mezcla con el agua marina, pero la experiencia de laboratorio ha demostrado grandes diferencias con respecto a la dilución real en los fondos marinos, debido fundamentalmente al efecto de las corrientes marinas, oleaje, condiciones del fondo, etcétera, difícilmente reproducibles en condiciones de laboratorio .
- Utilización de emisarios ya existentes de aguas residuales. Se sabe que las aguas residuales urbanas (ARU) tienen un efecto más pernicioso para la flora marina que los rechazos de plantas desaladoras. Por lo tanto un mal menor puede ser verter dichos rechazos a colectores residuales o lugares anejos a ellos, en zonas ya previamente degradadas por el efecto de las ARU.

Otros vertidos

Aunque no tienen la misma importancia que los vertidos de salmuera, gracias a la ínfima relación de volúmenes evacuados (la suma total de ellos no supone más del 1 % del total), existen otro tipo de vertidos en una planta desaladora por OI, que se resumen aquí:

- Agua de lavado de los filtros de arena: constituyen un agua muy cargada de arenas y materia

orgánica, en general se vierte normalmente una vez al día.

- Productos de limpieza de las membranas. Su frecuencia depende mucho del tipo de membrana, pero en general al menos se realiza una vez al año con detergentes de naturaleza biodegradable.
- Aditivos provenientes del pre/post-tratamiento del agua bruta/producto.

Normalmente no deben aparecer en los vertidos ya que se utilizan para incluirse en el agua para consumo (sólo en caso de fugas), pero en todo caso es posible encontrar en menor medida floculantes, antiincrustantes, anticorrosivos y biocidas en las aguas de rechazo. Su carácter poco degradable hace que deban ser controlados periódicamente.

Otros impactos

Las plantas desaladoras consumen gran cantidad de energía. Tanto si consumen energía eléctrica como si extraen energía térmica en el caso de una planta dual, las emisiones de CO₂, NO_x y otros componentes derivados de la combustión de estas centrales térmicas debe asociarse a la planta desaladora. Sólo en el caso de que la energía eléctrica utilizada en procesos desaladores

(OI, ED, CV, bombeo de las MSF y MED) sea de origen renovable, no debe asignarse este impacto ambiental al proceso desalador.

Finalmente, también hay que destacar la contaminación acústica de una planta desaladora, que no suele mencionarse debido a su relativa lejanía de poblaciones y zonas habitadas. Pero debe tenerse en cuenta sobre todo en pequeñas islas o zonas con muy escaso terreno edificable.

Costos de la desalación

Resumiendo, el impacto ambiental derivado de la instalación de una planta desaladora tiene varias afecciones destacables: vertido de salmueras, emisiones, ruidos. Es de otra naturaleza que una gran obra hidráulica, y por lo tanto difícilmente comparables.

La tecnología MED y MSF consume adicionalmente energía eléctrica para la circulación de los flujos de alimentación, salmuera, destilado y retorno del condensado. Las plantas MSF necesitan una bomba adicional del recirculado de salmuera, que incrementan su consumo ostensiblemente con respecto a la tecnología MED. En la tabla 4 se muestra el consumo específico.

Tabla 4

TECNOLOGIA EVAPORACION	CONSUMO ESPECIFICO (Kwh/m ³)
MSF	3,5-4
MED-TVC	1,5-2,0
CV	9-11

Se ha incluido aquí la tecnología CV, que consume energía eléctrica solamente para su compresor volumétrico y las bombas de alimentación y de recogida del rechazo y del destilado. Hay que reseñar que el coste del kWh necesario para las tecnologías MSF y MED es menor que el de las tecnologías CV, ya que la electricidad se obtiene de la misma planta dual y no es necesario comprarla a la compañía eléctrica correspondiente, a precio siempre mayor que el de la generación pura.

En la desalación de aguas marinas, las plantas de ósmosis inversa de tamaño considerable son la opción más barata con diferencia en la situación actual del mercado energético. Los costos de inversión ya están por debajo de las técnicas evaporativas, por lo que se supone que será predominante en los próximos años. La evolución tecnológica de los diversos tipos de membranas va a contribuir seguro a un abaratamiento de costos del agua desalada por OI impensable unos años atrás.

Conclusiones

Con las membranas de osmosis inversa se reducen hoy día la concentración de sales del agua del mar en unas 100 veces, es decir, se pasan de 35,000 mg/L a unos 350 mg/L. Utilizando en la osmosis inversa membranas de alta presión y recuperando la energía se consume del orden de 4 a 5 kWh/m³ de agua generada, partiendo de agua del mar y unos 15 kWh/m³ si se sigue el proceso de evaporación.

La investigación sobre membranas ha aumentado su eficacia y ha reducido los costos tanto de operación como de inversión. Con la osmosis inversa se emplean equipos modulares que presentan la ventaja de no necesitar grandes depósitos para almacenar el agua producida.

Bibliografía

1. Abu Qdais, H. A. (1999) Environmental Impacts of Desalination Plants on the Arabian Gulf. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA, 1999.
2. Afgan, N. H., Darwish, M., Carvalho, M. G. (1999) Sustainability Assessment of Desalination Plants for Water Production. Desalination 124, pp. 19-32.
3. Alawadhi, A. A. (1999) Regional Report on Desalination. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
4. Al-Gobaisi, D. M. K. (1997). Sustainable augmentation of fresh water resources through appropriate energy and desalination technologies. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. Madrid, España.
5. Al-Shammiri, M., Safar, M. (1999) Multi-effect Distillation Plants: State of the Art. Desalination 126, pp. 45-99.
6. Andrews, T., Shumway, S. A. (1999). Design Study of a 20,000 m³/day Seawater Reverse Osmosis Work Exchanger Energy Recovery System. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
7. Barendsen, W. C., Moch, I. (1999). Privatization of Seawater Reverse Osmosis Plants in Antigua. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
8. Botero, E. (2000) Valoración exergética de los recursos naturales. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Zaragoza.
9. Calder (1999). Pelton Wheel Energy Recovery Turbines. Comunicación privada.
10. Cánovas, J. (2000) Agricultura y desalación en la cuenca del Segura. I Congreso AEDyR, Murcia.
11. Cortés, T. (2000) Aprovechamiento integral directo de efluentes depurados en la comarca de Campo de Dalías. I Congreso AEDyR, Murcia.
12. De Armas, J. C., Pérez, J. L., von Gottberg, A. J. M. (1999). Desalination of Municipal Sewage Effluent with Electrodialysis Reversal in Tenerife. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
13. Echaniz, J., Rodero, A., Sallangos, O., Santamaria F. J. (1997). Dhekelia (Cyprus) Seawater Desalination Plant Design, Construction and Commissioning of the 20,000 m³/day R.O. Plant. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. Madrid, España. Vol. II, pp. 371-392.
14. El-Nashar, A. M. (1999). Cost Allocation in a Cogeneration Plant for the Production of Power and Desalted Water – Comparison of the Exergy Cost Accounting Method with the WEA Method. Comunicación privada.
15. El-Sayed, Y. M., Silver, R. S. (1980). Fundamentals of Distillation. Academic Press Inc.