

Las aguas de conductividades medias y su tratamiento

BRONSOMS PLANAS, M.
Aqualogy MA. Responsable Dominio Tratamiento Aguas.
 ESCAMILLA DE AMO, A.
Aqualogy. Director Mercado Golf.
 FERRANDIZ RUIZ, A.
Aqualogy MA. Responsable Técnico Levante.
 GIL LODOS, M.
Aqualogy MA-Canaragua. Resp. Operaciones Canarias.
 RIBES FERNANDEZ, D.
Aquagest Levante. Jefe Servicio Calidad Agua y Potabilización.

La escasez de recursos hídricos está obligando a los campos de golf a la utilización de aguas con mayor contenido en sales, bien sea por la salinización de los acuíferos por sobreexplotación cuando el origen es de agua subterránea, o por la utilización de aguas residuales regeneradas. En especial,

el agua que se suministra cómo regenerada únicamente cumple con parámetros higiénicos (micro-biológicos y físico-químicos) que vienen exigidos desde el RD 1620/2007 de Aguas Regeneradas, y con otros parámetros marcados en la autorización de vertidos que debe cumplir la EDAR. Por tanto, en la gran mayoría de los casos, el suministrador de agua regenerada, titular de la Estación de Regeneración de Aguas (ERA), no tiene obligación de entregar el agua con la conductividad deseable para el uso en nuestros campos de golf.

El uso de agua con salinidad media-alta (>2000µS/cm) para riego presenta serias dificultades en su manejo, sobre todo en determinadas especies cespitosas más susceptibles como *Agrostis*. En muchos casos, no sólo es necesario un cambio en la gestión del riego para

adaptarla a las nuevas condiciones, si no que acaba siendo necesario el tratamiento de éstas aguas para rebajar el contenido en sales. Existen diferentes tecnologías, y para que cualquier inversión que se realice en este sentido pueda cumplir con el objetivo de reducción de sales al menor coste posible es necesario cono-



cerlas, valorar sus ventajas e inconvenientes, sus costes de instalación y mantenimiento, etc.

En el artículo, se hará un pequeño estudio comparativo y se realizarán una serie de recomendaciones para la adopción de los tratamientos más convenientes técnica y económicamente para el tratamiento de aguas con conductividad media-alta.

TRATAMIENTOS DISPONIBLES

Actualmente existen en el mercado, como soluciones probadas, tres tecnologías para reducir la salinidad del agua de riego:

- Evaporación.
- Ósmosis inversa.
- Electrodialisis reversible.

La Evaporación es una tecnología que tan solo se utiliza para reducir la salinidad en agua de mar; en países donde la disponibilidad energética es muy alta. Mientras que las otras tecnologías listadas reducen su consumo energético con la salinidad del agua, la evaporación gasta la misma energía en desalar un litro de agua de mar, con

ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES	EXIGIDOS AL TITULAR DE ERA* RD 1620/2007 AGUAS REGENERADAS uso 4.1. Campos de Golf
Sólidos en Suspensión	✓
Sólidos en Disolución	
Turbidez	✓
Compuestos Orgánicos Biodegradables	✓
Compuestos Orgánicos Estables	
Patógenos	✓
Nutrientes	
Metales Pesados	
pH	
Cloro	

* En cualquier caso, deberá cumplir con los parámetros de la Autorización de Vertidos

FUENTE: Elaboración propia



un contenido en sales de 40 g/l, que un litro de agua salobre con una salinidad de 4 g/l. Existen experiencias de desalación por evaporación por medios solares sin embargo requieren de una gran superficie de implantación para poder abastecer el riego de un campo de golf; de hecho la primera experiencia en desalación a nivel industrial, data de 1872 en la explotación minera de Salinas (en Chile) donde se aprovechaba la energía solar para desalar el agua de los pozos salobres y así dar de beber a las mulas de carga.

Sin ninguna duda la tecnología de referencia en la desalación de aguas con exceso de sales (ya sea de mar o de pozo salobre) es la Ósmo-

sis Inversa (OI). La ósmosis inversa es una tecnología que aprovecha los procesos de difusión en membrana para separar el agua de las sales. En el proceso natural de ósmosis el agua atraviesa la membrana permeable desde la zona más diluida en sales a la más concentrada; con el objeto de llegar al equilibrio osmótico. Este proceso natural se da en todos los seres vivos y es la base de algunos procesos fundamentales del metabolismo. La ósmosis inversa se caracteriza por revertir este proceso natural mediante la aplicación de presión hidráulica.

La tecnología de los polímeros ha possibilitado que se puedan ejercer hasta presiones de 40 kg/

La tecnología de referencia en desalación de aguas con exceso de sales es la Osmosis Inversa

cm² sobre las finas capas activas de las membranas semipermeables; aunque para aguas salobres, las presiones de trabajo oscilan entre 7-15 kg/cm².

Es importante reseñar que en la tecnología de ósmosis inversa el agua atraviesa la membrana por lo tanto debe de tener un pretratamiento exhaustivo con el fin de preservar la membrana de ósmosis inversa. Este hecho determina en gran medida la aplicabilidad de esta tecnología en según qué tipo de aguas.

Por ultimo destacamos la tecnología de Electrodiálisis Reversible (EDR). Realmente la electrodiálisis fue anterior en el tiempo a la ósmosis inversa sin embargo la evolución en la ciencia de los polímeros permitió un desarrollo mucho



Vista de la instalación en ósmosis inversa de Benitatxell (Alicante)

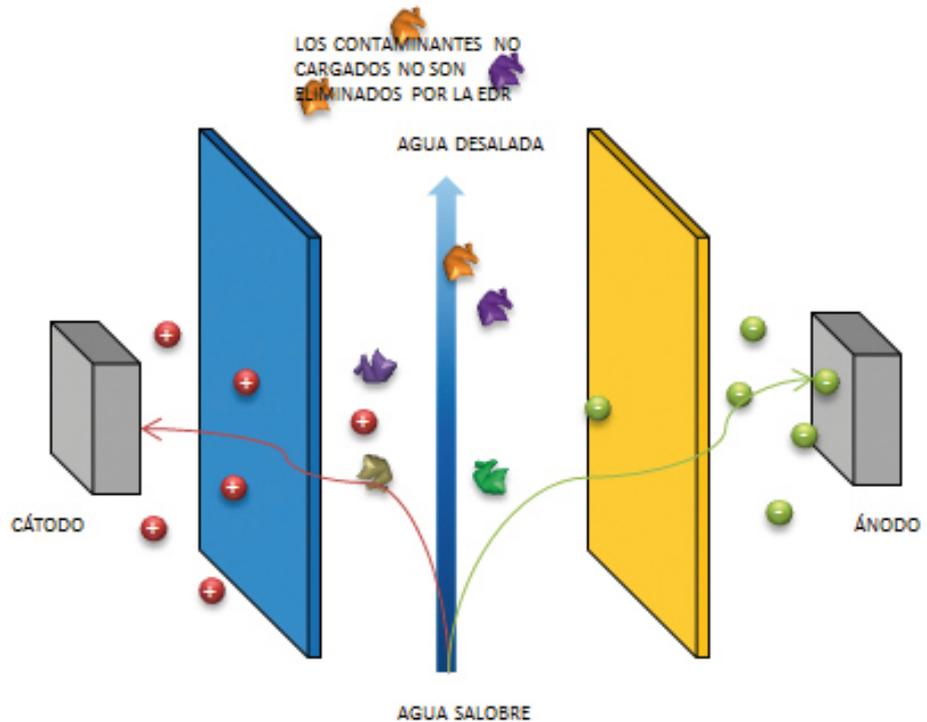
más rápido. La electrodiálisis reversible se desarrolló en Japón para la producción de salmuera para la producción de sal. Aun cuando el desarrollo de esta tecnología ha sido algo más tardío presenta grandes ventajas frente a las anteriores. Esta tecnología se basa en las cargas electrostáticas son atraídas a los electrodos positivos y negativos de manera que se retiran los iones del agua sin necesidad que esta atraviese la membrana. Si en el caso anterior señalábamos que la ósmosis inversa requería de un tratamiento exhaustivo; en la electrodiálisis reversible no es tan crítico el pretratamiento.

Por esta característica la electrodiálisis reversible está especialmente indicada para aguas sucias como pueden ser las aguas residuales o algunas aguas superficiales. Para estos casos la ósmosis inversa suele requerir de un tratamiento adicional por membrana como es la ultrafiltración, en la que se retiran todos los contaminantes superiores a un tamaño de $0,01\mu\text{m}$.

ESTUDIO COMPARATIVO

Más adelante entraremos en evaluar económicamente las diferencias entre EDR y OI sin embargo existen una serie de diferencias cualitativas que es necesario reseñar. (Tabla 1)

Con el fin de hacer un comparativo de costes real tomaremos como referencia una instalación capaz de producir $42\text{ m}^3/\text{h}$ a partir de un agua residual depurada. Siendo aguas residuales es necesario un pretratamiento por ultrafiltración para la ósmosis inversa mientras que la electrodiálisis reversible no necesita de este tipo de tratamiento. Como referencia hemos tomado una a conductividad aproximada de $2.500\ \mu\text{s}/\text{cm}^2$. Analizaremos tanto los costes de implantación como aquellos de explotación. No entramos a valorar la gestión del rechazo de salmueras por la



Esquema de funcionamiento de la electrodiálisis reversible.



enorme complejidad del caso y la absoluta dependencia de las condiciones particulares de cada situación.

Costes de implantación

Teniendo en cuenta que la ósmosis inversa necesita de una ultrafiltración previa para tener garantías mínimas de funcionamiento la inversión es muy similar, siendo algo menor en la electrodiálisis reversible aún

siendo esta tecnología de coste superior. Tabla 2.

Costes de explotación

Con el fin de analizar los costes de manera fidedigna es necesario distinguir entre costes fijos y costes variables. Fijos son aquellos costes que no dependen de la producción de las instalaciones mientras que los variables son aquellos que dependen de la producción de la planta.

Tabla 1

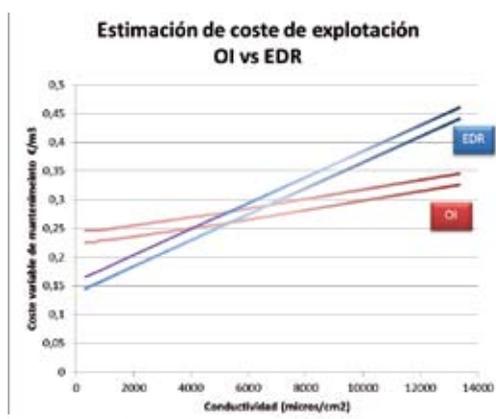
A favor de las EDR	A favor de la OI
En EDR existe un bucle de recirculación de salmuera, lo que permite alcanzar altas recuperaciones.	La OI permite obtener un producto de menor salinidad y, por tanto, un cierto porcentaje de mezcla. Así mismo permite separar caudales de diferentes calidades según la utilización que se vaya a dar a cada una de ellas; permitiendo regar las zonas más sensibles del campo con agua de mejor calidad.
En OI el agua de alimentación tiene que estar totalmente exenta de oxidantes como el cloro (excepto en el caso de las membranas de acetato de celulosa, cada vez en menor uso), mientras que la EDR admite cloro en continuo y choques de limpieza en caso de contaminación orgánica de muchas decenas de ppm.	La OI es una tecnología totalmente extendida en nuestro país. Existen multitud de fabricantes de elementos y recambios y todos ellos están estandarizados. La EDR cuenta con muy pocos fabricantes a nivel mundial. Además los elementos no están estandarizados por lo tanto siempre se tiene que acudir al fabricante del equipo.
El agua de alimentación a la OI debe tener un SDI (índice de taponamiento) de entre 3 y 5, mientras que la EDR puede trabajar con aguas mucho más sucias, incluso con SDI inmedibles.	Los costes de la tecnología OI son en general más bajos que los de EDR.
La vida de las membranas de EDR es siempre mayor que en OI.	
El coste energético de la EDR es menor que el de la ósmosis inversa hasta una conductividad aproximada de unos 8.000 $\mu\text{s}/\text{cm}^2$	La complejidad hidráulica del sistema de EDR necesita de mayores elementos de valvulería y control

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 2

Partida	Ósmosis inversa	Electrodiálisis
Equipos:	390.000 €	385.000 €
Nave	60.000 €	60.000 €
Depósito de 1.000 m ³ :	150.000 €	150.000 €
Bombeo de elevación:	30.000 €	30.000 €
TOTAL	630.000 €	625.000 €

FUENTE: Elaboración propia



FUENTE: Elaboración propia

Costes fijos:

- Conservación de las instalaciones.
- Término de potencia de la factura eléctrica.

Para una instalación de 1.000 m³/d podríamos evaluar que está en torno a los 5.000 €/anuales.

Costes Variables:

- Productos químicos
- Cambio de membranas, electrodos, lechos de los filtros.
- Mantenimiento de los equipos electromecánicos.

- Control Analítico
- Coste de la energía consumida.

Los cuatro primeros puntos los podemos estimar entre:

- 0,1-0,12 €/m³ para la instalación de UF+OI teniendo en cuenta que nos referimos a aguas residuales regeneradas.

- 0,06-0,08 €/m³ para la instalación de EDR teniendo en cuenta que nos referimos a aguas residuales regeneradas

Aparte estudiaremos el efecto de la conductividad en la potencia necesaria para desalar el agua. El consumo eléctrico va a depender en gran medida de la conductividad de entrada. En el siguiente gráfico vemos el efecto que tiene esta variabilidad en el coste final de mantenimiento:

Como se puede observar tanto en inversión como en mantenimiento la Electrodiálisis Reversible es más ventajosa que la Ósmosis Inversa, para el caso de aguas residuales depuradas y unas conductividades inferiores a 6.000 $\mu\text{s}/\text{cm}^2$.

CONCLUSIONES

Vivimos en el planeta azul que se caracteriza por contener una gran cantidad de agua, pero que esa agua, en muchos casos, no se encuentra ni accesible ni con las características apropiadas para el consumo humano ni para su uso. Por esa razón, ha sido y es necesario desarrollar técnicas y avanzar en el campo de I+D+I para poder tratar esa agua y adaptarla a nuestros requerimientos. Estos avances tecnológicos van acompañados de un incremento de la conciencia mundial en el consumo y uso del agua viéndose respaldada a su vez por políticas más estrictas en este ámbito. Uno de los mejores y más destacados avances en I+D+I en tratamientos de agua ha sido el del campo de la reutilización de aguas regeneradas, que a su vez, ha permitido

La OI y la EDR precisan un menor consumo energético frente a la evaporación, por lo que son tecnologías aptas en todos los casos



su uso en áreas como el riego en campos de golf obteniéndose, por tanto, una mejora de la gestión y optimización del uso del agua haciéndolo sostenible y compatible con el medio ambiente. Este uso de la regeneración de aguas en campos de golf necesita generalmente de un tratamiento adicional para disminuir la conductividad. Hemos realizado una pequeña comparativa de tecnologías disponibles, destacando las siguientes conclusiones:

- Descartamos el uso de la tecnología de Evaporación para campos de golf.
- La Osmosis Inversa (OI) tiene las ventajas de una mayor calidad de agua de salida, con mayor flexibilidad en el caudal tratado, siendo una tecnología muy extendida, de la que se tiene amplia experiencia y que tiene menor complejidad. Si bien sus costes de mantenimiento son muy altos y

están muy condicionados por el coste de la energía.

- La Electrodiálisis Reversible (EDR) presenta mayor aprovechamiento de agua (mayor recuperación y menor rechazo de salmueras), acepta mejor aguas de peor calidad, sus equipos tienen mayor vida útil y sus costes de mantenimiento son menores. El coste de inversión en la tecnología es alto.
- Por tanto, para conductividades inferiores a $6.000 \mu\text{s}/\text{cm}^2$ podemos asegurar que la EDR es una alternativa perfectamente válida frente a la OI.

El proceso de evaporación, requiere de un alto consumo energético siendo apropiado únicamente en esos países con suficiencia energética y destinándose únicamente a desalación de agua de mar, obteniéndose un producto de baja calidad respecto la OI y la EDR, por lo que se descarta su uso para los campos de golf. En cambio, OI como EDR, precisan de un menor consumo energético frente la evaporación siendo tecnologías aptas para todos los casos. La OI permite tratar toda la gama de tipologías de aguas (agua de mar, agua residual y agua salobre), frente a EDR que actualmente se emplea sólo para tratar aguas salobres y aguas residuales, pero no aguas de mar.

En cuanto a costes de proceso y de mantenimiento, los costes de EDR son inferiores a los costes de OI debido, fundamentalmente, a la necesidad de filtraciones previas (microfiltraciones, ultrafiltraciones, etc.) que requiere un buen diseño de OI para conductividades medias. Sin embargo, la OI presenta una mayor capacidad de producción de y una mayor capacidad de variabilidad del caudal frente la EDR que es una instalación diseñada para un caudal constante, y un aumento de este, implica un aumento de



líneas de tratamiento y en consecuencia, un incremento de los costes. En este punto, tampoco se debe olvidar que la OI es una técnica mucho más avanzada, con gran número de instalaciones en funcionamiento y donde se ha adquirido una experiencia documentada respecto la EDR que es una tecnología que no goza de este grado de referencias.

El nivel de calidad del producto obtenido, el agua regenerada a partir de OI presenta una mayor calidad frente de la EDR, no solamente en contenido de sales sino también en lo que respecta a la desinfección y contenido de otros contaminantes como materia orgánica, pequeñas trazas de antibióticos entre otros. Si bien la EDR permite la entrada de aguas de peor calidad y por tanto permite trabajar con aguas que

Antes de afirmar las bondades de una tecnología frente a otra, se debe realizar una caracterización previa y exhaustiva de las aguas a tratar y regenerar

presentan gran fluctuación en su calidad.

Antes de afirmar las bondades de una tecnología frente a otra en una determinada situación, es imprescindible realizar una caracterización previa y exhaustiva de las aguas que quieren ser tratadas y regeneradas. Evaluar dónde se requiere implementar este tipo de tratamiento, qué calidad de agua regenerada es necesario alcanzar, y cuáles son los factores económicos y energéticos que nos limitan. Este enfoque global

alejado de fabricantes y distribuidores sólo puede realizarse por especialistas con experiencia y conocimiento en el mundo del agua. Para continuar avanzando en este tipo de tecnologías que permitan una mejora de los usos del agua regenerada y una optimización de su gestión, es imprescindible no renunciar a la evolución y mejora continua en el campo de I+D+I para lo que es necesaria una constante colaboración entre usuarios y proveedores de soluciones. ■

Rimesa



INSTALACIONES Y MANTENIMIENTO



SIEMENS

RAIN BIRD

Lama

AQUATROLS

Masport

CTX
Committed To Reliability

TORO

HONDA

Schneider
Electric

PLASSON

Tel. 95 281 49 44
Fax. 95 281 18 41