

# Alta recuperación de agua con electrodiálisis reversible

JUAN C. DE ARMAS (\*)

**RESUMEN** Para muchos usuarios de desalación, la necesidad de conseguir una máxima recuperación de agua es una primera prioridad. Para algunos la fuente de agua es limitada. Para otros, el coste del agua bruta puede representar una parte substancial de su coste total de agua tratada. En muchos casos, las capacidades de la EDR están ayudando a muchos usuarios en aplicaciones donde una alta recuperación de agua es importante para la conservación del recurso y control de costes.

La EDR es un proceso electromecánico donde las sales son transferidas a través de una membrana semipermeable. La inversión periódica de la polaridad del potencial continuo permite al proceso operar con corrientes supersaturadas hasta límites específicos sin ninguna o muy pequeña adición de reactivos para prevenir el "scaling".

Específicamente, se pueden conseguir altas recuperaciones de agua en aguas con mucha sílice porque a pH bajo 9,5 la sílice es esencialmente no iónica y no se retira por EDR.

Se muestran algunos ejemplos de plantas operando en las Canarias con recuperaciones del rango del 83-88% (principalmente para agua potable y uso agrícola): MASPALOMAS I, arrancada en 1986, con 20.000 m<sup>3</sup>/día. El PORRÓN, arrancada en 1987, con 1.200 m<sup>3</sup>/día. ARUCAS, arrancada en 1990, con 1.100 m<sup>3</sup>/día. CHIO, arrancada en 1993, con 2.160 m<sup>3</sup>/día, entre otras.

## HIGH WATER RECOVERY WITH ELECTRODIALYSIS REVERSAL (EDR)

**ABSTRACT** For many desalination users, the need to achieve maximum water recovery is a prime priority. For some, source water is limited. For others, the raw water cost can represent a substantial portion of their total treated water cost. In many cases, the capabilities of the EDR process are helping many users in applications where high water recovery is important for resource conservation and cost control.

EDR is an electrochemical separation process where salts are transferred through semipermeable membranes. The periodic reversal of the DC power polarity allows the process to operate with supersaturated concentrate streams up to specific limits without or little chemical additions to prevent scaling.

Specifically, high water recoveries can be achieved on high silica waters because at pH below 9.5 silica is essentially nonionic and is not removed by EDR.

Some examples of plants in operation in the Canaries with recoveries in the range of 83-88% will be shown (mainly for potable and agriculture usage): MASPALOMAS I, started up in 1986, with 20,000 m<sup>3</sup>/day. El PORRÓN, started up in 1987, with 1,200 m<sup>3</sup>/day. ARUCAS MUNICIPALITY, started up in 1990, with 1,100 m<sup>3</sup>/day. CHIO, started up in 1993, with 2,160 m<sup>3</sup>/day, among others

**Palabras clave:** Recuperación; Electrodiálisis reversible; Semipermeable; Polaridad; Sílice.

## INTRODUCCIÓN

Para muchos usuarios de sistemas de desalinización por membranas, su máxima prioridad es conseguir una recuperación de agua lo más alta posible.

Para algunos, la fuente de agua es limitada, fijada o regulada.

Se sabe que en muchos acuíferos la extracción supera a la recarga natural, con la consiguiente disminución del nivel freático y el añadido de la intrusión máxima en las áreas costeras.

Los recursos superficiales pueden también ser limitados tal y como ha sido evidente en el reciente período de sequía que hemos padecido.

Los usuarios de sistemas de desalinización que no poseen agua propia, están experimentando subidas continuas de los precios, lo que se traduce en una mayor incidencia dentro del costo total del agua desalinizada.

El vertido del concentrado es cada vez más caro y complicado ya que las Normativas que intentan preservar la calidad de los suministros de agua y del medio ambiente, son cada día más estrictas.

Los permisos para efectuar vertidos superficiales son cada vez más difíciles o imposibles de conseguir.

Los sistemas de Descarga Cero, donde el 100% de los residuos líquidos son reutilizados, poseen un costo tremendamente alto.

La Electrodiálisis Reversible (E.D.R.) es un proceso de desalinización en el que las sales pasan a través de las membranas en vez del agua tal y como ocurre en la Osmosis Inversa (O.I.)

El proceso es completamente opuesto en cuanto a comportamiento a la O.I. y tiene unas características particulares, en especial en lo referente a la cantidad de agua recuperada.

Los sistemas de E.D.R. están ayudando a muchos usuarios municipales e industriales, donde una alta recuperación de agua es importante, tanto para la conservación de los recursos como al control del costo.

## RECHAZO EN E.D.R.

El agua de alimentación a un sistema de E.D.R., se divide en 3 flujos tal y como se observa en la Figura 1.

El flujo mayor es el del agua a tratar, el cual pasa por las pilas de desalación, saliendo como agua desalada o comúnmente denominada "producto".

El segundo flujo llamado "aportación", se introduce en un bucle de agua concentrada que se recircula a través del sistema.

Al objeto de mantener constante el volumen del bucle, un caudal de agua concentrada igual al de aportación se elimina como "rechazo".

El caudal de aportación controla el número de concentraciones del bucle de agua concentrada y por lo tanto es el medio de controlar el rechazo de un sistema de E.D.R.

El tercer y último flujo es el "agua de electrodos", encargada de retirar los gases formados en los mismos, y que normalmente supone solo un 1% del caudal total de alimentación.

(\*) IONICS IBÉRICA, S.A. Gran Canaria (España).



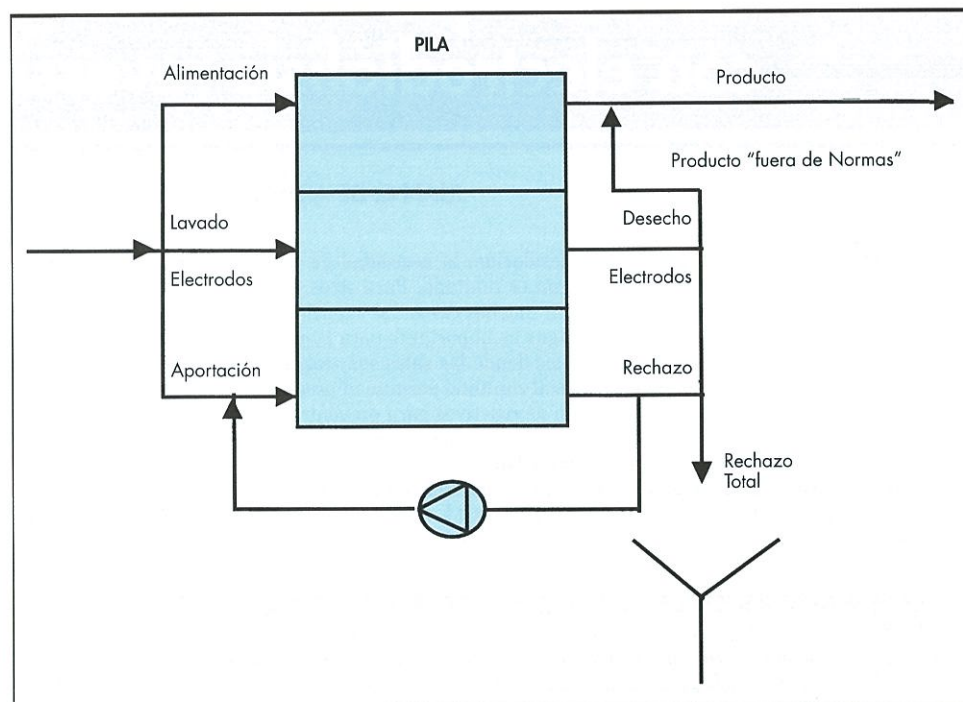


FIGURA 1. Diagrama de Flujo.

Normalmente este flujo se elimina pero si se desea, se puede reutilizar una vez desgasificado, bien como aportación o como alimentación.

Durante la fase de reversibilidad, que dura alrededor de medio minuto y ocurre cada 15 minutos, el agua producida no posee la calidad especificada, por lo que se elimina mediante una válvula de 3 vías controlada por conductividad.

Este producto "Fuera de Normas" representa del 2 al 4% del rechazo total del sistema y su salinidad depende de la alimentación y de la del concentrado.

Normalmente, la fracción de mejor salinidad se recicla a la alimentación.

La reversibilidad del sistema basada en la inversión periódica de la polaridad de los electrodos junto al intercambio de las soluciones, de tal forma que los espaciadores que llevan agua de alimentación en polaridad positiva pasan a llevar concentrado en polaridad negativa y viceversa es el fundamento de la alta tasa de recuperación de agua mostrada por la E.D.R.

|                                                  |                              |
|--------------------------------------------------|------------------------------|
| 631,00 m <sup>3</sup> /h                         | Alimentación EDR             |
| 593,00 m <sup>3</sup> /h                         | Producto EDR                 |
| 94,00 %                                          | Recuperación EDR             |
| <b>VALORES DE RECHAZO</b>                        |                              |
| 11,90 m <sup>3</sup> /h                          | Producto fuera de normas EDR |
| 19,70 m <sup>3</sup> /h                          | Aportación                   |
| 6,40 m <sup>3</sup> /h                           | Lavado de Electrodos         |
| 38,00 m <sup>3</sup> /h                          | Rechazo total                |
| <b>Planta de Suffolk<br/>Resumen de Caudales</b> |                              |

TABLA 1.

La traducción al campo químico de lo anterior significa que es posible operar con agua sobresaturada sin riesgo de producir incrustaciones.

### ALGUNOS EJEMPLOS

La Planta con la mayor recuperación es una instalación de 14.200 m<sup>3</sup>/día existente en Suffolk (Virginia).

La Planta opera con una recuperación del 94% y en la Tabla 1 se puede observar los diferentes componentes del rechazo total.

Esta Planta no posee adición química.

Otra Planta de 20.000 m<sup>3</sup>/día situada en Gran Canaria "Maspalomas I" está operando desde hace 12 años con una recuperación mínima del 85% con un agua que oscila entre los 5000 y los 7000 mg/l.

En la Tabla 2 se puede apreciar el balance de flujos.

La recuperación de esta Planta podía ser mayor pero está limitada por dos factores físicos.

|                                                          |                          |
|----------------------------------------------------------|--------------------------|
| 92,98 m <sup>3</sup> /h                                  | Alimentación EDR         |
| 79,02 m <sup>3</sup> /h                                  | Producto EDR             |
| 85,00 %                                                  | Recuperación EDR         |
| <b>WASTE SOURCES</b>                                     |                          |
| 1,77 m <sup>3</sup> /h                                   | Producto fuera de Normas |
| 11,25 m <sup>3</sup> /h                                  | Aportación               |
| 0,93 m <sup>3</sup> /h                                   | Lavado de Electrodos     |
| 13,95 m <sup>3</sup> /h                                  | Rechazo total            |
| <b>Maspalomas I<br/>Resumen de Caudales de un módulo</b> |                          |

TABLA 2.



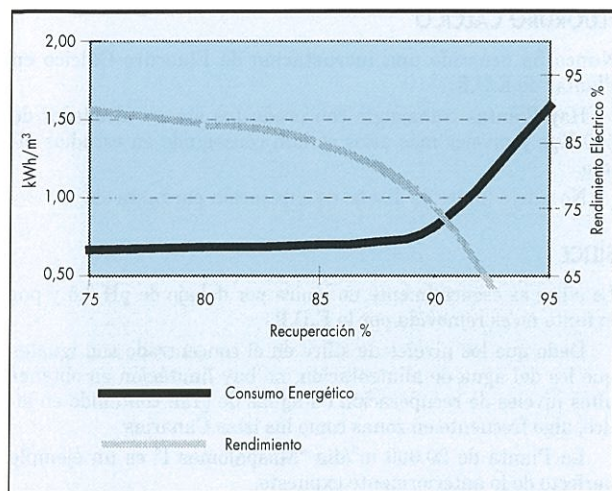


FIGURA 2. Rendimiento y Consumo energético en función de la recuperación.

El primero llamado "cortocircuito" es un fenómeno que ocurre cuando el concentrado tiene una conductividad muy alta, y que origina el que la corriente circule horizontalmente, dirigiéndose al colector vertical de concentrado, en vez de circular verticalmente.

La gran densidad de corriente en las inmediaciones del colector origina una alta temperatura que llega a derretir los espaciadores.

El segundo factor está motivado por las características de las membranas en lo referente al rendimiento eléctrico.

La Figura 2 muestra el consumo de corriente y el rendimiento eléctrico de una membrana en función de la recuperación para una unidad desalinizando una solución de 2000 mg/l de NaCl a 334 mg/l.

El rendimiento de una membrana está relacionado con la diferencia de normalidad entre los flujos de alimentación y concentrado.

A medida que la recuperación aumenta, la normalidad del concentrado se incrementa y el rendimiento de la corriente disminuye, creciendo por tanto el consumo energético.

La Planta de Suffolk puede operar con el 94% de recuperación de agua debido al relativamente bajo nivel de salinidad del agua de alimentación, lo que origina una pequeña diferencia entre las normalidades de alimentación y concentrado.

La Planta "Maspalomas I" posee una mayor diferencia de normalidades por lo que el consumo de energía sube abruptamente a partir del 86% de recuperación.

Las membranas han sido mejoradas substancialmente desde que la Planta "Maspalomas I" se construyó en el año 1995, habiéndose incrementado su rendimiento y consumo energético.

Otro ejemplo reciente es la Planta denominada "Cruz de Tarifes", de 1.900 m³/día, situada en la isla de Tenerife y que usa las nuevas membranas, habiendo comenzado su operación en 1995.

La recuperación de esta Planta es del 90% con posibilidad de subir al 94%.

Las características de esta agua son similares a la de Suffolk aunque algo más salina.

Se efectúa una adición de ácido sulfúrico para bajar el índice de Langelier desde + 3 hasta + 1,8 y asimismo el nivel de saturación del Fluoruro Cálcico es del 900% sin que haya habido problemas de incrustación en los 2 años de operación.

### LÍMITES DE INCRUSTACIÓN DEL CONCENTRADO

El límite de recuperación de agua en las Plantas de E.D.R. está condicionado por el potencial de precipitación que poseen las sales de baja solubilidad presentes en el concentrado.

La reversibilidad de la E.D.R. origina una serie de fenómenos físicos de desincrustación que permiten operar en un sistema alternante de incrustación-desincrustación.

El sistema, por tanto, puede manejar fluidos supersaturados hasta límites específicos, sin necesidad de añadir productos químicos para prevenir la incrustación.

Lógicamente, si se añaden productos químicos se pueden conseguir mayores niveles de supersaturación.

### CARBONATO CÁLCICO

El límite de diseño para el Carbonato Cálcico sin usar anti-incrustantes es de un Índice de Langelier (I.L.) de + 1,8.

La precipitación comienza alrededor de un I.L. de +2,2.

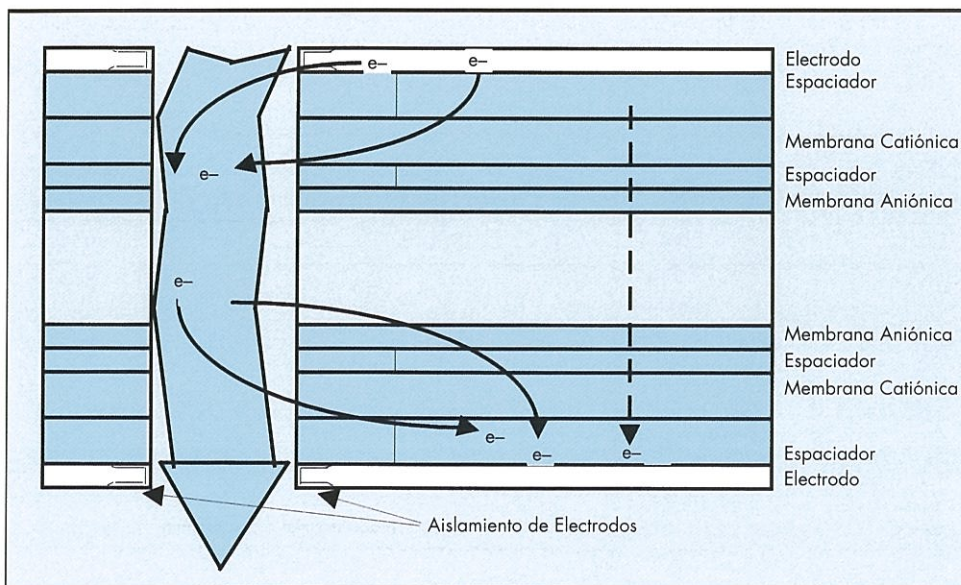


FIGURA 3. Cortocircuito de una pila de EDR.



Este límite es lo suficientemente alto como para permitir que la mayor parte de las Plantas de E.D.R no necesiten la adición de los productos químicos.

Cuando se usa ácido o dióxido de Carbono, el objeto lógicamente es alcanzar un I.L. de + 1,8.

Cuando se usan anti-incrustantes se suele operar a niveles de I.L. de + 3.

### SULFATO CÁLCICO

El Límite del diseño en E.D.R. para la saturación de Sulfato Cálcico sin adición de anti-incrustante es de un producto iónico de 2,25 x Kps.

El límite real donde comienza la precipitación está alrededor de 4 x Kps.

Una Planta situada en Dell (Texas) opera desde 1975 con un producto iónico de 3,5 x Kps sin adición de anti-incrustantes.

En los años 1981 y 1982 se investigaron los límites de operación usando hexametáfosfato sódico como anti-incrustante.

Se llegó a operar sin problemas de incrustación hasta límites de producto iónico de 12,5 x Kps.

Existen Plantas trabajando con productos iónicos de 6 Kps con la adición de 4,3 ppm de poliacrilato en el bucle de concentrado.

### SULFATO DE BARIO

Se sabe que el punto límite de saturación se encuentra alrededor de un producto iónico de 100 Kps cuando no se usan anti-incrustantes.

El límite con adición de anti-incrustantes es desconocido.

Algunas Plantas están operando con un producto iónico de 150 x Kps y dos Plantas han alcanzado un producto iónico de 225 x Kps con la adición de 2 a 5 mg/l de anti-incrustante en el concentrado.

### SULFATO DE ESTRONCIO

No se han encontrado incrustaciones de Sulfato de Estroncio en ninguna Planta de E.D.R.

Las Plantas que operan a mayor nivel de supersaturación, lo hacen en valores alrededor de 4 Kps.

El límite de diseño del producto iónico sin anti-incrustantes es de 8 Kps.

### FLUORURO CÁLCICO

Nunca ha ocurrido una incrustación de Fluoruro Cálcico en Plantas de E.D.R.

Hay Plantas trabajando con productos iónicos alrededor de 500 Kps y niveles más altos se han conseguido en estudios piloto.

No existe límite de diseño de saturación para esta sal.

### SÍLICE

La sílice es esencialmente no iónica por debajo de pH 9,5 y por lo tanto no es removida por la E.D.R.

Dado que los niveles de sílice en el concentrado son iguales que los del agua de alimentación, no hay limitación en obtener altos niveles de recuperación en aguas de gran contenido en sílice, algo frecuente en zonas como las islas Canarias.

La Planta de 20.000 m<sup>3</sup>/día "Maspalomas I" es un ejemplo perfecto de lo anteriormente expuesto.

El agua de alimentación posee un contenido de sílice entre 50 y 60 mg/l y opera a una recuperación del 85%

La Osmosis Inversa operaría a un costo energético menor con esta agua de alta salinidad, pero su recuperación tendría que ser mucho menor.

Dado que el agua de alimentación tiene un costo alto (55 Ptas./m<sup>3</sup>), la ventaja del costo energético se vería anulada ampliamente por el mayor volumen de agua de alimentación necesaria para producir la misma cantidad de producto.

### CONCLUSIÓN

La máxima recuperación que puede obtenerse con E.D.R. para una fuente de agua determinada depende de una gran variedad de factores.

En la mayor parte de las aplicaciones, la recuperación está limitada por el potencial de precipitación de las sales insolubles presentes en el bucle de concentrado.

La E.D.R. tiene la habilidad de operar con aguas supersaturadas y a su vez no es afectado por la sílice, lo que se traduce en posibilidad de obtener altas recuperaciones de agua sin la adición de productos químicos.