

**MÓDULO: GESTIÓN DE RESIDUOS**

**TEMA: DESMINERALIZACIÓN**

**DOCUMENTACIÓN ELABORADA POR:**

**NIEVES CIFUENTES**

## ÍNDICE

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. INTERCAMBIO IÓNICO**
- 3. ELECTRODESIONIZACIÓN**
- 4. BIBLIOGRAFÍA**

## 1. INTRODUCCIÓN

La desmineralización consiste en la eliminación de las sales de un agua. Es el último proceso para la reutilización del agua, en el que obtenemos agua ultrapura.

Existen distintas tecnologías de desmineralización, si bien nos vamos a centrar en el Intercambio Iónico (II) convencional y en la Electrodesionización (EDI).

## 2. INTERCAMBIO IÓNICO

En el intercambio iónico se utilizan resinas de intercambio, formadas por una matriz en forma de red tridimensional y grupos iónicos. Las resinas son capaces de intercambiar iones con el agua.

El intercambio iónico es:

- Estequiométrico: se intercambia una cantidad estequiométricamente equivalente de iones del mismo signo.
- Reversible

Llega un momento en que la resina se satura al agotarse los grupos de intercambio. En ese momento es necesario llevar a cabo el proceso de regeneración, por medio del cual la resina recupera su capacidad de intercambio.

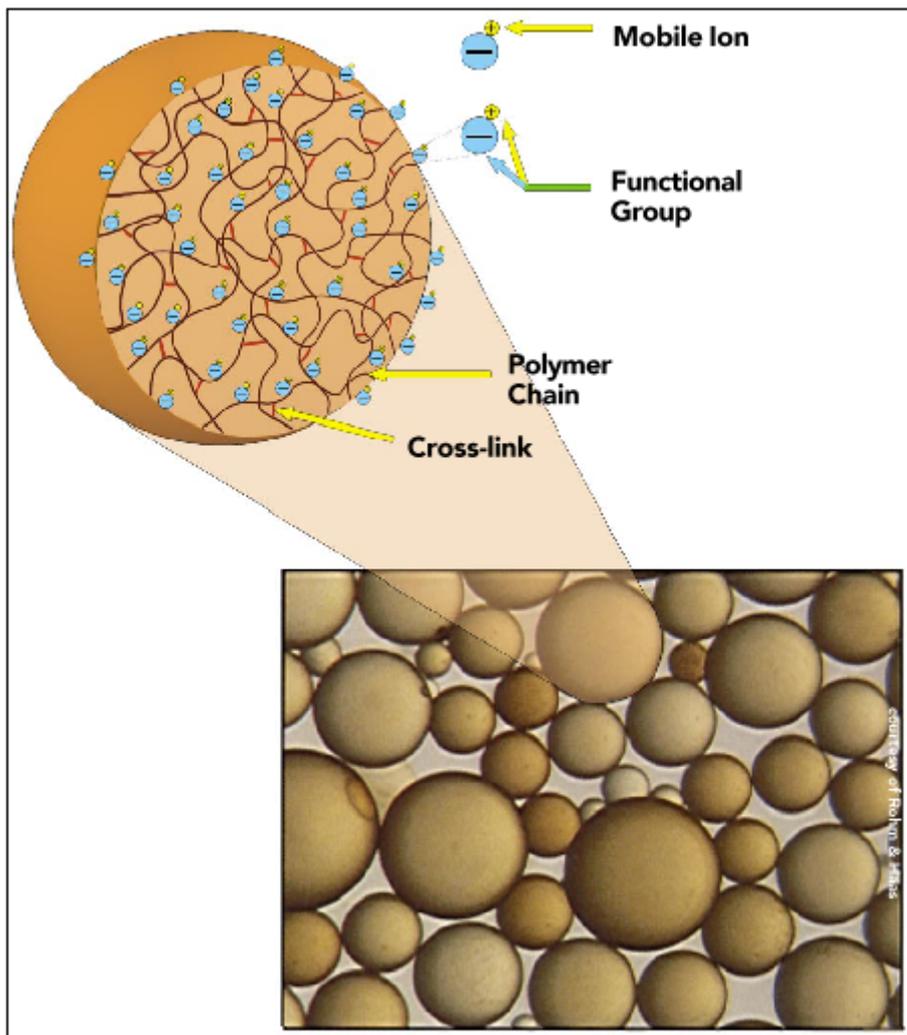
La capacidad de intercambio de una resina hace referencia al contenido que ésta tiene en iones intercambiables.

### 2.1. Estructura de las resinas de intercambio iónico

Las resinas de intercambio iónico están formadas por una matriz y unos grupos activos:

- La matriz es una estructura insoluble en todos los disolventes y elástica, lo que permite su expansión. Tienen gran superficie de contacto y gran número de poros de tamaño no uniforme. La matriz está formada generalmente por polímeros lineales y divinilbenceno (DVB) formando una estructura tridimensional. La composición y características de la matriz influye en gran medida en la estabilidad de la resina.

- Los grupos activos se alojan en la matriz y son los responsables del intercambio. Los grupos activos determinan la capacidad y selectividad de la resina.



## 2.2. Tipos de resinas

### Resinas catiónicas

Son las que son capaces de intercambiar cationes. Generalmente adsorben los cationes presentes en el agua liberando grupos  $H^+$ .

Dentro de ellas se distinguen tres subtipos:

- Fuertemente ácidas: trabajan en todo el rango de pH pero su regeneración es difícil.
- Débilmente ácidas: trabajan a pH por debajo de 4 pero se regeneran fácilmente.

- Quelatantes: poseen grupos funcionales formadores de quelatos que retienen selectivamente los metales pesados.

### **Resinas aniónicas**

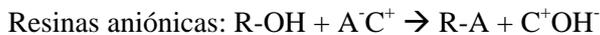
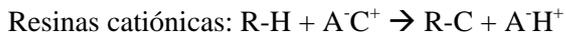
Son las que son capaces de intercambiar aniones. Generalmente adsorben los cationes presentes en el agua liberando grupos OH<sup>-</sup>.

Dentro de ellas se distinguen dos subtipos:

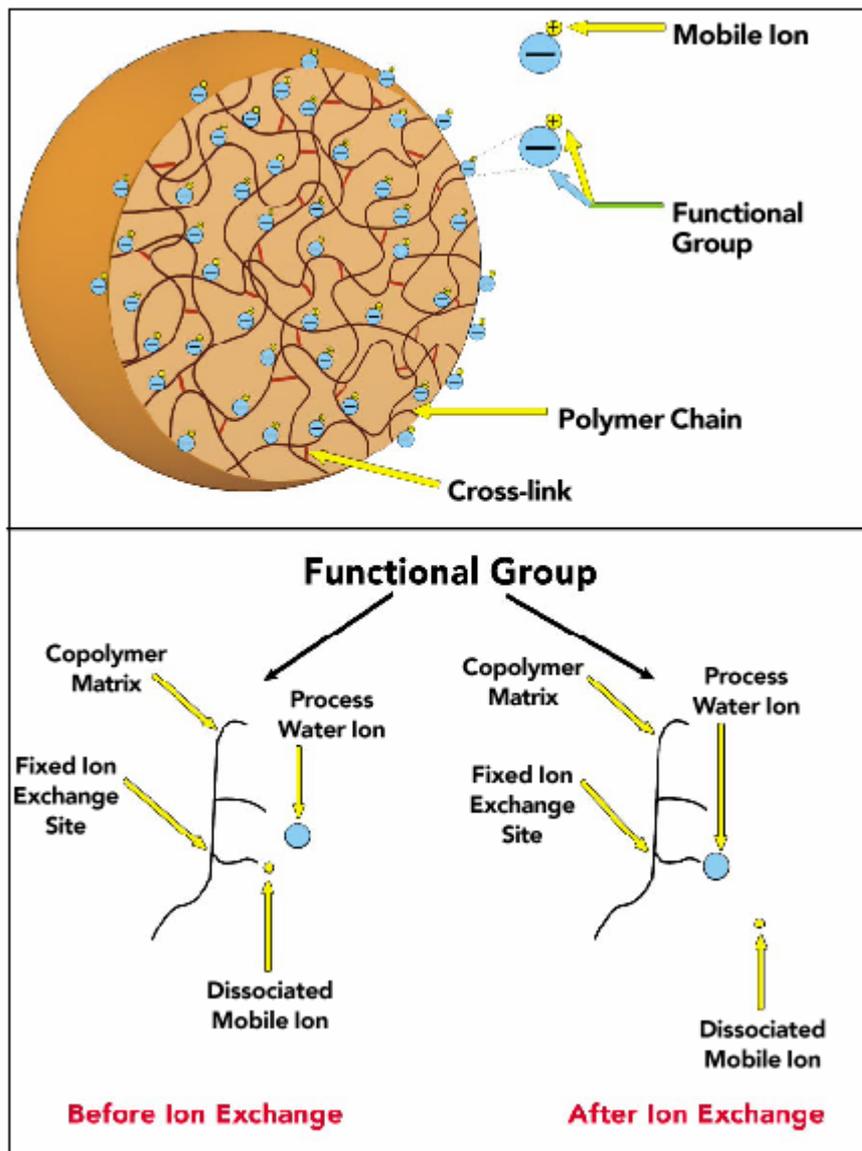
- Fuertes: trabajan en todo el rango de pH pero su regeneración es difícil.
- Débiles o intermedias: trabajan a pH superior a 4 pero se regeneran fácilmente.

### **2.3. Funcionamiento del proceso**

Durante el intercambio iónico tiene lugar el siguiente proceso:



En la figura siguiente se esquematiza el proceso:



La afinidad de los grupos activos de las resinas por los distintos iones depende de:

- La carga del ion: cuanto mayor sea la carga, más fácilmente se separarán.
- El radio del ion hidratado: cuanto mayor sea este radio peor.
- Si el ion forma complejos en la solución, siendo en este caso difícil de extraer.

La selectividad de la resina frente a un determinado ion se mide por el coeficiente de distribución de dicho ion:

$$C_A = \frac{[A]_R}{[A]_S}$$

Siendo:

- $C_A$ :                    Coeficiente de distribución del ion A.  
 $[A]_R$ :                  Concentración del ion A en la resina.  
 $[A]_S$ :                  Concentración del ion A en la solución.

#### 2.4. Cinética del intercambio

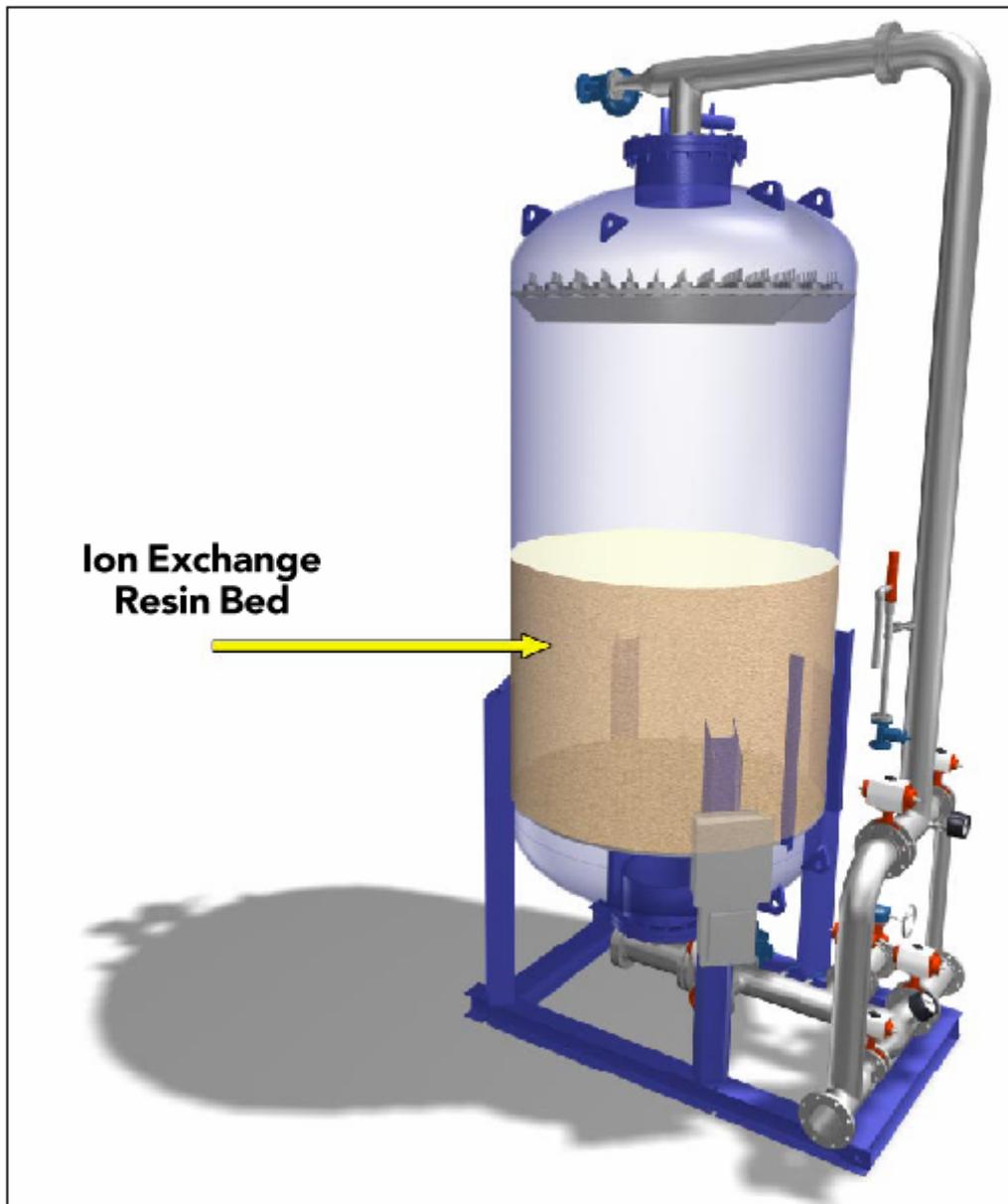
El intercambio iónico tiene lugar en tres fases:

1. Difusión del ion a retener hasta los grupos activos
2. Intercambio en los grupos activos
3. Difusión del grupo liberado por la resina hasta la solución

Mientras que la reacción química de intercambio es muy rápida la difusión es muy lenta. La eficiencia del proceso aumenta a menor tamaño de resina, menor velocidad de paso y cuando aumente la temperatura, ya que aumenta la velocidad de difusión.

#### 2.5. Funcionamiento del proceso

El proceso de intercambio iónico se lleva a cabo en columnas de intercambio iónico. Éstas consisten básicamente en tanques que contienen las resinas y un sistema de bombeo que hace que la solución a tratar pase a través de las mismas. En la figura siguiente se muestra una columna de intercambio iónico.



Según las resinas que contengan las columnas pueden ser irónicas, catiónicas o mixtas, cuando contienen resinas catiónicas y aniónicas. En este caso es habitual que lleven unas resinas inertes separándolas.

Existen dos secuencias de operación en el proceso:

1. Carga: la solución con el ion a separar se hace pasar a través de la resina, produciéndose el intercambio iónico. Llega un momento en que la resina está colmatada por que se han agotado todos los grupos de intercambio. Esto se detecta porque la calidad del agua empieza a disminuir. En este momento se procede a la regeneración

2. **Regeneración:** se hace pasar por la resina una concentración concentrada del ion de intercambio. De esta manera los iones separados pasan a la solución regenerante y la resina recupera su capacidad de intercambio. En tratamiento de agua las soluciones regenerantes suelen ser ácidos concentrados para las resinas catiónicas y bases concentradas para las aniónicas.

Por tanto, con este proceso se consigue que el ion que estaba muy diluido en la solución de partida queda en el pequeño volumen de regenerante utilizado mucho más concentrado.

Las etapas de la regeneración son:

1. Lavado a contracorriente para expandir el lecho y eliminar los sólidos en suspensión.
2. Regeneración.
3. Lavado de la resina para eliminar los restos de regenerante.

Generalmente se trabaja con dos columnas, una en servicio y la otra en regeneración. A veces éstas se disponen en serie.

## **2.6. Aplicaciones**

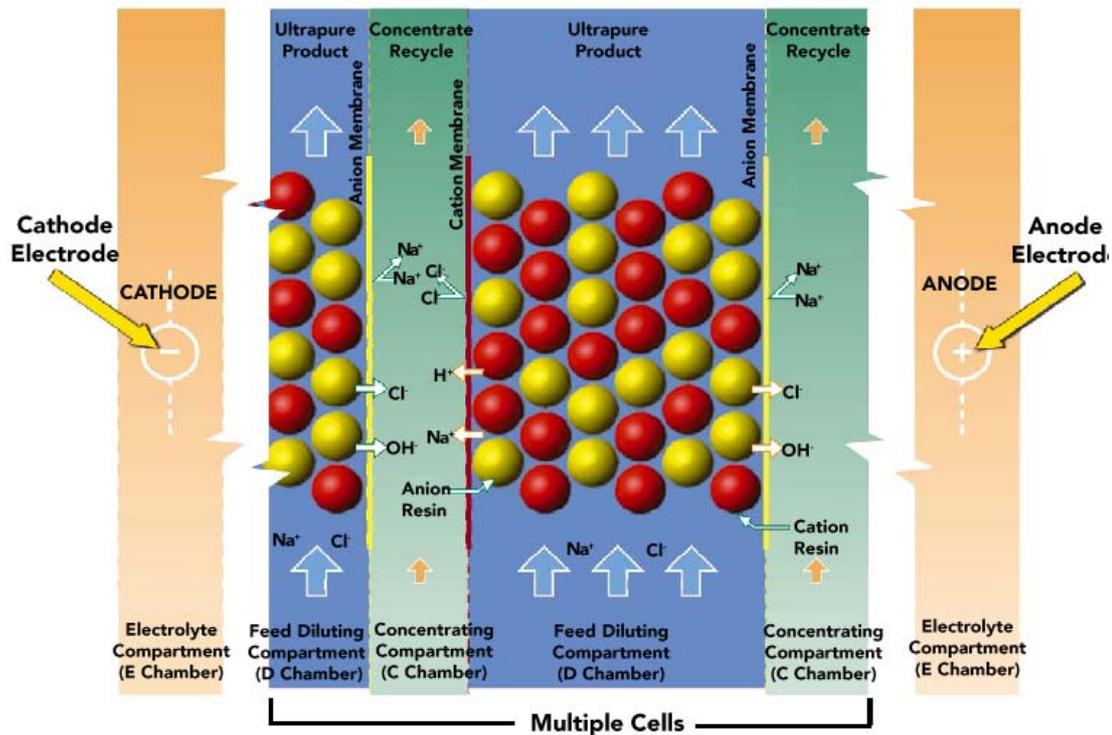
- Ablandamiento del agua: eliminación de calcio y magnesio.
- Desmineralización del agua total o parcial.
- Eliminación de metales pesados del agua.
- Recuperación de productos valiosos.

## **3. ELECTRODESIONIZACIÓN**

La Electrodesionización es la evolución del proceso de intercambio iónico convencional. Mediante la EDI puede producirse de manera continua agua desmineralizada con un rendimiento mínimo del 90%. Al igual que en el intercambio iónico convencional, los cationes y aniones del agua tratada son cambiados por grupos  $H^+$  y  $OH^-$  por resinas de intercambio iónico, produciéndose la desmineralización del agua. La diferencia fundamental es que en la EDI las resinas se están regenerando en continuo mediante energía eléctrica, mientras que en la convencional es necesario interrumpir el proceso de desmineralización para llevar a cabo la regeneración utilizando productos químicos.

En la EDI la regeneración en continuo es posible al existir membranas selectivas de iones y un campo eléctrico permanente.

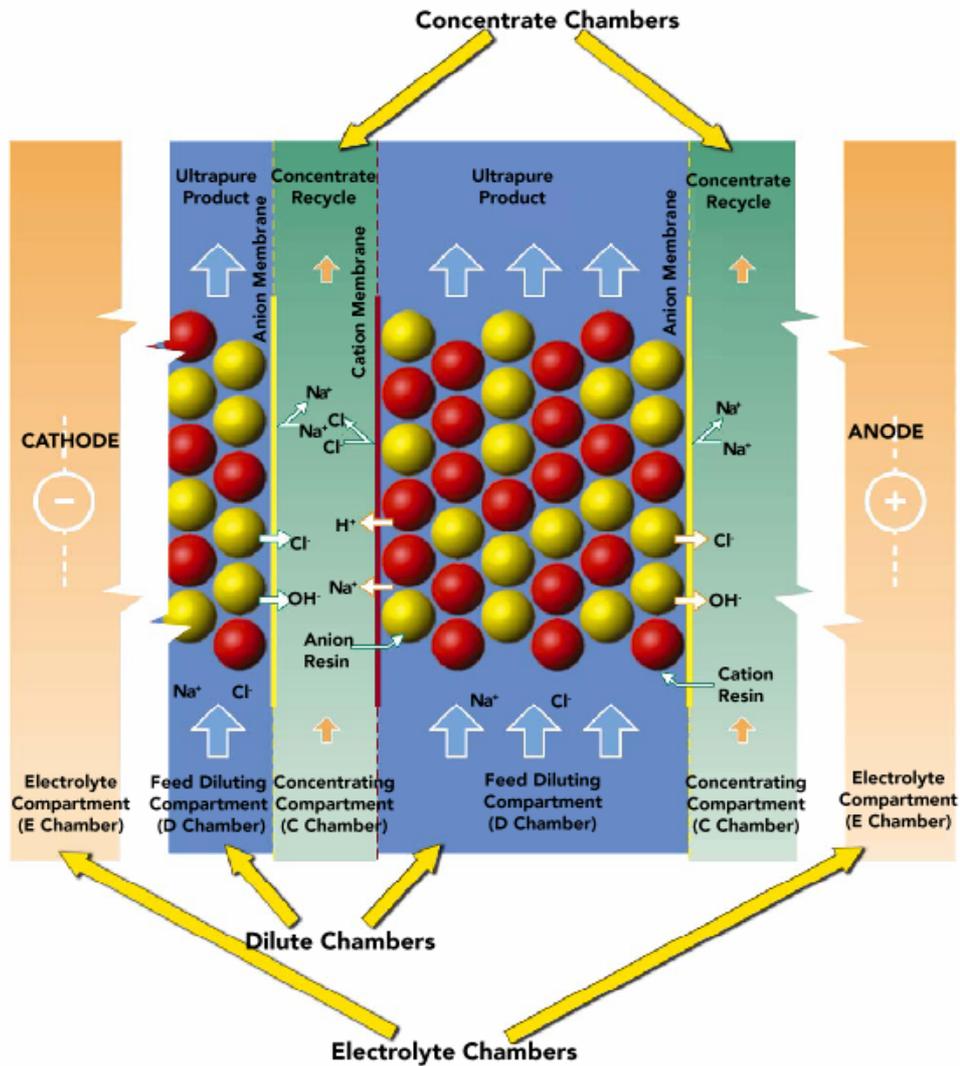
Para comprender el proceso es necesario entender la estructura de los módulos de EDI. Cada módulo de EDI consiste en múltiples compartimentos de resinas de intercambio iónico limitados por membranas, con canales de recogida intermedios entre dos electrodos, tal u como puede verse en la figura siguiente:



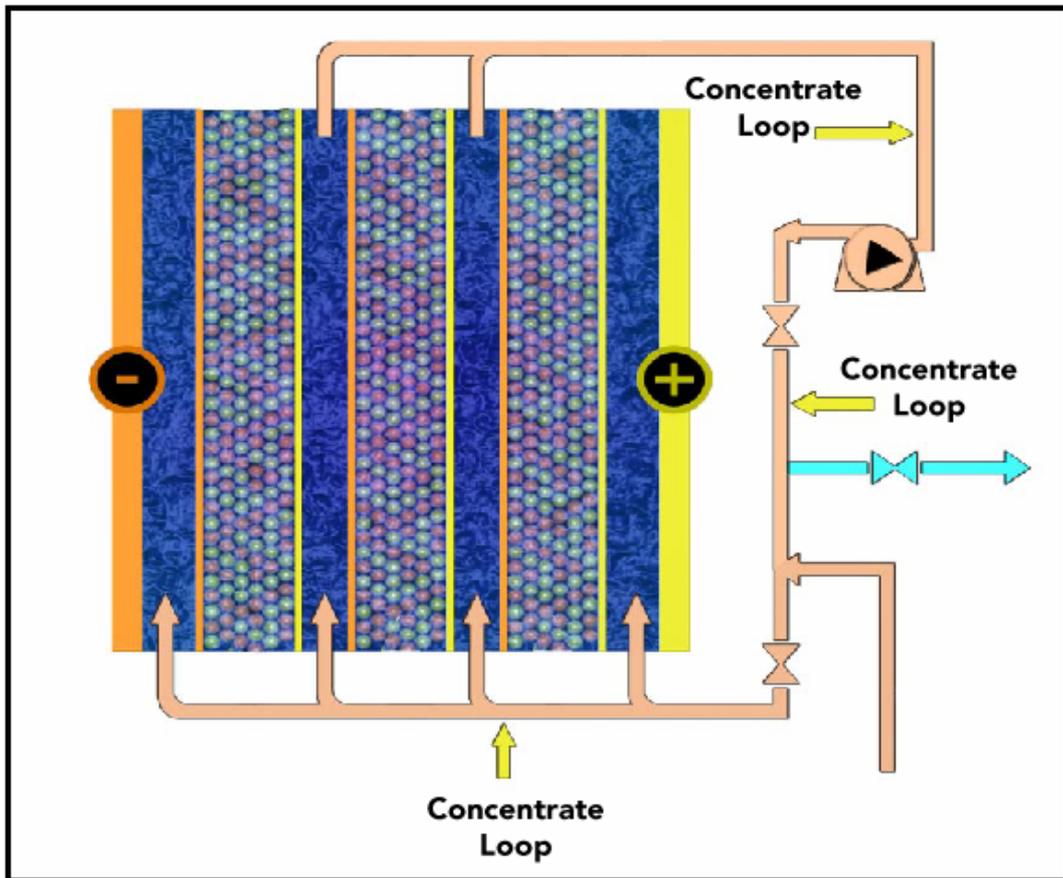
Los electrodos se localizan en los extremos del módulo y generan un campo eléctrico a través del agua que pasa por las celdas. El cátodo, cargado positivamente, atrae a los aniones y el ánodo, de carga negativa, a los cationes.

Las membranas que separan los compartimentos son de dos tipos: membranas aniónicas y membranas catiónicas. Las membranas catiónicas sólo permiten el paso de los cationes o iones positivos mientras que las aniónicas sólo dejan pasar aniones, no dejando pasar ninguna de las dos el agua.

Las membranas se disponen separando los distintos compartimentos. Hay tres tipos de compartimentos: diluido (D), concentrado (C) y electrolito (E), como puede verse en la figura siguiente:



El agua a tratar es alimentada al compartimento diluido, que contiene resinas catiónicas y aniónicas comprimidas entre una membrana catiónica y otra aniónica. Las resinas captan los iones que van moviéndose entre ellas hacia el electrodo de carga contraria. Cuando un ión atraviesa la membrana llega a un compartimento de concentrado, desde donde son extraídos. La mayor parte de éste caudal es recirculado junto con el agua de alimentación con el fin de minimizar el consumo eléctrico, tal y como puede verse en la figura siguiente:



Un módulo de EDI está formado por múltiples celdas, cada una de las cuales consta de un compartimento de diluido (D), otro de concentrado (C) y una membrana catiónica y otra aniónica.

Los últimos compartimentos, que son los más cercanos a los electrodos, son los de electrolito (E). Este compartimento recibe los iones que atraviesan las membranas de los compartimentos adyacentes, formándose en la cámara cercana al cátodo  $H_2$  y en la del ánodo  $Cl_2$ . Para evitar el ataque a las membranas por el cloro formado la corriente de las cámaras de electrolito son extraídas del sistema.

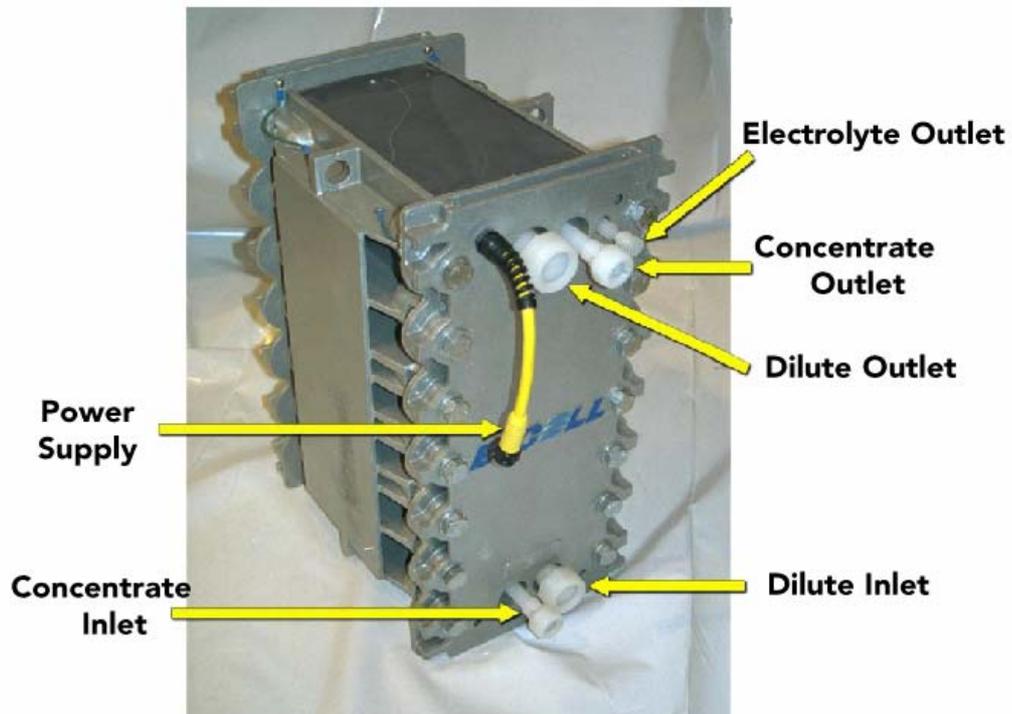
La regeneración de las resinas se produce de manera continua ya que el campo eléctrico hace que el agua se hidrolice y los iones resultantes sean adsorbidos por las resinas desplazando otros iones.

En comparación con el intercambio iónico convencional, la EDI tiene la ventaja de que no requiere productos químicos para la regeneración, por lo que no se producen corrientes contaminadas que sea necesario neutralizar. Además, es un proceso continuo en el que la calidad del agua producida se mantiene constante. El único punto débil de esta tecnología es que requiere un pretratamiento intensivo, generalmente una ósmosis inversa.

	EDI	INTERCAMBIO IÓNICO (LECHOS MIXTOS)
Necesidad de regeneración de resinas con químicos	NO	SI
Reactivos necesarios	Según el fabricante, solución concentrada de cloruro sódico, por lo que hay que instalar un pequeño tanque de dosificación. Limpiezas químicas anuales.	Ácido y sosa para regenerar
Efluentes del sistema	Purga salina que puede recircularse a cabeza de OI y una salmuera que hay que verter	Vertido de regeneración que precisa neutralización
Rendimiento	90%	98%
Calidad	Constante	Varía desde una calidad muy buena hasta que llega a los valores límite que disparan la regeneración
Operación	Continua	Cada cierto tiempo hay que regenerar.
Funcionamiento	Automático	Automático, si bien requiere controles visuales en la regeneración
Reposición	Es necesario reponer las pilas cada cierto tiempo (el periodo de garantía suele ser de 5 años)	Se reponen las resinas cada 4-5 años

El sistema de EDI consta de los siguientes elementos:

- Módulos de EDI en número suficiente para tratar el caudal necesario. La capacidad de tratamiento de cada módulo depende del fabricante. En la fotografía siguiente se muestra un módulo:



- Fuente de alimentación eléctrica
- Bombas
- Tuberías y válvulas
- Sistema de almacenamiento y dosificación de salmuera (según fabricantes)
- Sistema de limpieza química (puede ser común para la OI)

En la fotografía siguiente se muestra un sistema de este tipo capaz de tratar 24 m<sup>3</sup>/h de agua (3 m<sup>3</sup>/h por módulo):



Al igual que con el resto de tecnologías, periódicamente (1 ó 2 veces al año) es necesario realizar la limpieza química de los módulos, para lo que se utiliza un tanque de limpieza que puede ser común a la OI.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

- [http://www.dow.com/products\\_services/industry/water.htm](http://www.dow.com/products_services/industry/water.htm)
- <http://www.gewater.com/library/tp/index.jsp>
- [www.ondeo.com](http://www.ondeo.com)
- [www.ionics.com](http://www.ionics.com)
- <http://www.deisa.es>
- [www.veoliawater.com](http://www.veoliawater.com)