

## INTERCAMBIO IÓNICO

### 7.0 RESINAS INTERCAMBIADORAS DE IONES

Todas las aguas en la naturaleza contienen una cierta cantidad de sales disueltas. Estas sales se encuentran homogéneamente distribuidas en el líquido, no pueden ser detectadas a simple vista y se presentan en formas de iones o partículas cargadas positivamente o negativamente.

El exceso de estas sales en solución pueden hacer no adecuada el agua para su consumo directo o para un uso específico, por lo que se requiere de darle un tratamiento para remover completamente, o disminuir a valores tolerables el contenido de sales en solución.

En ocasiones es necesario remover o separar del agua ciertos componentes no deseables, y en otros usos se requiere remover el total de sales disueltas en el agua.

Como ejemplo del primer caso, un agua con un alto contenido de calcio y magnesio (o dureza), deberá ser tratada para disminuir este contenido de dureza a valores tolerables, para su empleo en usos específicos donde el exceso de dureza es indeseable.



**Figura 1:** Problemas causados por la alta dureza del agua. Aunque el exceso de sales de calcio, magnesio y otros metales no representa daños a la salud, si causa grandes inconvenientes en el uso del agua.

La industria de manufactura de componentes electrónicos requiere de agua ultrapura para la limpieza de los circuitos producidos, por lo que el agua deberá tener un proceso de tratamiento para remover todos los componentes naturales del agua, incluidos las sales disueltas. Para esto, como paso final del agua a emplear, se da un tratamiento Osmosis Inversa-Resinas de Intercambio Iónico, y de esta manera se obtiene agua con un alto grado de pureza.

Una forma de disminuir la cantidad de iones presentes en el agua, en forma selectiva (ablandamiento del agua), o de manera total (desmineralización del agua), es empleando resinas de intercambio iónico.

Las resinas de intercambio tienen muchos usos y aplicaciones, no solo en tratamiento de aguas sino también en química y bioquímica.

La cromatografía de intercambio iónico tiene aplicaciones tan amplias como son:

- ⇒ la separación y purificación de aminoácidos,
- ⇒ la recuperación de metales traza por resinas con grupos funcionales que forman complejos de coordinación con elementos específicos,
- ⇒ Separación de radionúclidos
- ⇒ purificación de jugos y concentrados de extractos de frutas
- ⇒ catálisis química
- ⇒ industria farmacéutica

**Antecedentes de las resinas de intercambio iónico:** Se tiene documentado en la Biblia y en escritos de los griegos, de que desde entonces se conocía el hecho de que existían tierras naturales que eran capaces de remover la sal de las aguas de mar o de salmueras. Los primeros estudios científicos de tal fenómeno datan de 1850, cuando dos químicos Ingleses: Thompson y Way, hicieron observaciones del fenómeno de intercambio, encontrando entre otras cosas lo siguiente:

1: El fenómeno observado es una reacción de intercambio químico entre iones.

2: El intercambio de iones es equivalente.

3: Algunos iones son más fácilmente intercambiables que otros.

4: El agente activo en el intercambio, es un silicato de aluminio, presente en la tierra que se empleó en el experimento.

Posteriormente se tuvieron nuevos descubrimientos sobre el intercambio iónico, y en 1905, Gans, un químico alemán, descubrió que el aluminosilicato de sodio, después de calentarse a altas temperaturas, es un agente de intercambio de alta eficiencia, pudiendo remover o intercambiar calcio y magnesio de aguas que contienen estos cationes, por iones sodio, resultando una solución con mayor contenido de sodio y mucho menor contenido de calcio y magnesio.

El uso de las zeolitas (como se llaman estos minerales), se extendió a aplicaciones prácticas, por lo que en 1913 fueron comercializadas a gran escala por la compañía Permutit en Estados Unidos y posteriormente, en los siguientes años se siguió investigando para encontrar nuevos medios de intercambio para ponerlos a disposición del gran mercado que demandaba este producto.

La tendencia en años posteriores fue a la producción de medios de intercambio a partir de materiales sintéticos, derivados del petróleo, los cuales son baratos y abundantes.

Adams y Holmes en Inglaterra, desarrollaron una resina sintética a partir de productos de condensación del fenol y formaldehído, los cuales tienen una gran eficiencia en la remoción de cationes y aniones, pero algunos compuestos que se desea remover como ácido silícico y ácido carbónico no son retenidos completamente por la resina.

Finalmente en 1944 D'Alerio en Estados Unidos desarrolló una resina sintética a partir de la condensación del estireno y del divinilbenceno. Esta resina tratada con los grupos funcionales adecuados, es capaz de remover todos los cationes y los aniones disueltos en el agua, y a la fecha es el tipo de resina mas ampliamente empleado.

Durante el proceso de fabricación se mezclan el estireno y el divinilbenceno. Cuando se agrega peróxido de benzoilo y se agita la mezcla a alta velocidad, se forman un gran número de pequeñas esferas de alrededor de un milímetro de diámetro en promedio, las cuales son insolubles en agua. Estas esferas son tratadas posteriormente con grupos funcionales específicos, que son los sitios activos de intercambio, por cationes o aniones, según sea la carga superficial del material de la resina.

Para producir una resina catiónica se trata la resina obtenida de la copolimerización del estireno con el divinilbenceno, con ácido sulfónico o alguno de sus derivados, lo cual produce grupos sulfónicos cargados negativamente, adheridos a la superficie del polímero  $R-HSO_3^-$  (R representa un grupo funcional alquilo)

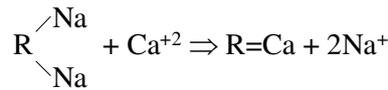
Una resina aniónica se produce a partir del mismo copolímero empleado en resinas catiónicas, pero la activación superficial se hace por clorometilación seguido de una aminación del polímero. El resultado son grupos amino superficiales  $R_3-N^+$ , los cuales están cargados positivamente y son susceptibles de intercambiarse por aniones que se ponen en su contacto.

### **7.1 CINÉTICA Y EQUILIBRIO DEL INTERCAMBIO IÓNICO:**

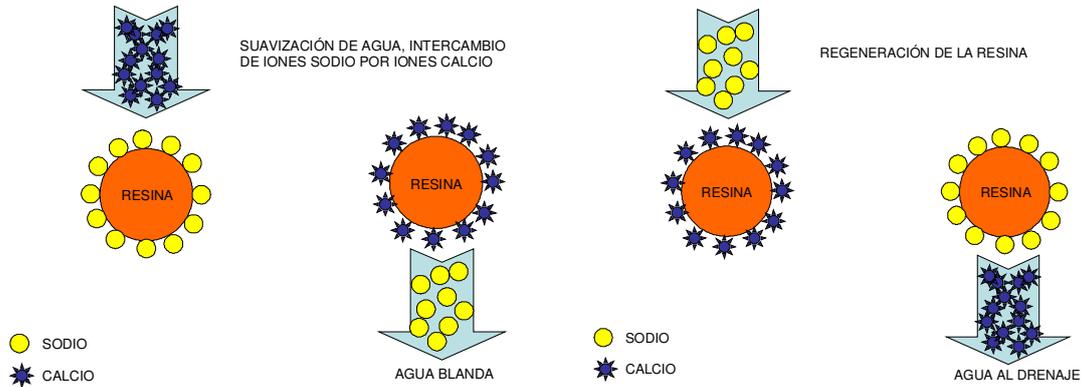
Una reacción de intercambio iónico es aquella en la cual un átomo o una molécula que han ganado o perdido un electrón, y que por lo tanto adquiere una carga positiva o negativa, se intercambia por otra partícula de igual signo pero de naturaleza diferente. Esta última partícula inicialmente está ligada a la superficie de un cuerpo sólido inerte y pasa a solución y su lugar es ocupado por otra partícula que queda retenida (temporalmente) en la superficie del polímero o soporte.

Este soporte sólido puede ser una zeolita natural o un polímero sintético, aunque en la actualidad por su mayor capacidad de intercambio y menor costo, casi siempre se emplea una resina sintética.

Una reacción de intercambio en una resina puede ser representada de la siguiente manera:



R es la fase estacionaria o soporte (el copolímero de divinilbenceno) y  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{+2}$  son las especies que reaccionan.

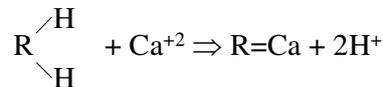


**Figura 2:** resina de intercambio iónico en ciclo sodio, en proceso de suavización del agua y durante el paso de regeneración de la capacidad de intercambio de la resina

En esta reacción química, el calcio  $\text{Ca}^{+2}$  se intercambia por su equivalente que son dos iones sodio  $\text{Na}^+$ . Químicamente esta reacción es de intercambio o desplazamiento y el grado o extensión en que se lleva a efecto tal reacción depende de factores tales como: temperatura, pH, concentración de la especie en solución y naturaleza del ión. Para la reacción anterior, la constante de equilibrio sería:

$$K_1 = \frac{[\text{Na}^+]^2}{[\text{Ca}^{+2}]} \quad (1)$$

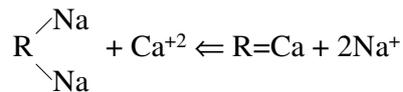
Para una temperatura determinada K, la constante de equilibrio, tiene un valor fijo que depende de la naturaleza del ión que es desplazado y del que se adhiere a la superficie del polímero. Por ejemplo, si sobre la superficie de la resina se tienen iones hidrógeno la reacción sería:



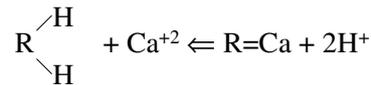
El valor de la constante de equilibrio es:

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{Ca}^{+2}]} \quad (2)$$

Es evidente que  $K_1$  y  $K_2$  serán diferentes para las dos reacciones anteriores. También, el desplazamiento o sentido de la reacción, de acuerdo al principio de Le Chatellier, dependerá de la concentración de las especies en solución, y este hecho se aplica para la regeneración de la resina intercambiadora. Por ejemplo: para regenerar una resina saturada en calcio se revierte el equilibrio incrementando sensiblemente la concentración de sodio y la reacción sería:



En otras palabras, si a una resina saturada en calcio se le agrega una solución de alta concentración de sodio, los iones sodio desplazan el calcio de los sitios activos de la resina y la resina se "regenera". De igual manera, si a una resina saturada en calcio se le agregan iones hidrógeno en alta concentración, los sitios activos son ocupados por hidrógeno y la resina vuelve a su condición original.



En la práctica o en el "mundo real", los iones que se adhieren a los sitios activos de la resina son de muy diferente tipo y pueden ser removidos total o parcialmente durante el proceso de regeneración. Si la naturaleza o la concentración de los iones en solución son similares, el orden de preferencia o la selectividad de la resina para los diferentes iones es la que se presenta en la Tabla I.

**Tabla I:** Orden de selectividad decreciente de los iones en resinas de intercambio iónico, a igual concentración de la especie en solución.

| <i>CATION</i>              | <i>ANION</i>                              |
|----------------------------|---|
| Fierro Fe <sup>+3</sup>    | Cromato CrO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>    |
| Aluminio Al <sup>+3</sup>  | Sulfato SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>     |
| Plomo Pb <sup>+2</sup>     | Sulfito SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>     |
| Bario Ba <sup>+2</sup>     | HPO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>            |
| Estroncio Sr <sup>+2</sup> | CNS <sup>-</sup>                          |
| Cadmio Cd <sup>+2</sup>    | CON <sup>-</sup>                          |
| Níquel Ni <sup>+2</sup>    | Nitrato NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>      |
| Zinc Zn <sup>+2</sup>      | Nitrito NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>      |
| Cobre Cu <sup>+2</sup>     | Yoduro I <sup>-</sup>                     |
| Fierro Fe <sup>+2</sup>    | Bromuro Br <sup>-</sup>                   |
| Manganeso Mn <sup>+2</sup> | Cloruro Cl <sup>-</sup>                   |
| Calcio Ca <sup>+2</sup>    | Cianuro CN <sup>-</sup>                   |
| Magnesio Mg <sup>+2</sup>  | Bicarbonato HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| Potasio K <sup>+</sup>     | HSiO <sub>3</sub> <sup>-</sup>            |
| Amonio NH <sup>+</sup>     | Hidróxido OH <sup>-</sup>                 |
| Sodio Na <sup>+</sup>      | Fluoruro F <sup>-</sup>                   |
| Hidrógeno H <sup>+</sup>   |   |
| Litio Li <sup>+</sup>      |   |

La cinética o velocidad con que se efectúa la reacción de intercambio se ha observado que es sumamente rápida y ocurre en segundos, cuando el catión o el anión tienen contacto con el grupo funcional de la resina. Esta alta velocidad de reacción se debe a que no es necesario romper enlaces químicos para que proceda la reacción. La velocidad de intercambio está en función de la movilidad del ión o su facilidad a difundirse en la estructura de la resina.

La estructura tipo gel de la resina y el grado de porosidad obtenido en el proceso de polimerización, es lo que determina la eficiencia de la resina en su capacidad de intercambiar iones con el agua en su contacto.

## 7.2 APLICACIONES DE LAS RESINAS INTERCAMBIADORAS EN ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS

**Ablandamiento o suavización:** Una de las principales aplicaciones de las resinas intercambiadoras de iones es para el ablandamiento o suavización de las aguas de proceso.

El término "dureza" se refiere a la dificultad que se tiene en aguas con alto contenido de calcio y magnesio para producir espuma en el jabón. El calcio y el magnesio forman estearatos de calcio y de magnesio que impiden que el jabón disuelva las grasas de suciedad en la ropa, por lo que desde hace años se clasificó como aguas duras (difíciles, problemáticas), las que presentan éste problema.

La dureza es causa de los siguientes problemas:

a).- Desagradable sensación de resequedad en la piel y en el cabello después de un baño con esta agua o después de usarla continuamente.

b).- La ropa lavada con un agua de alta dureza, tiene apariencia desagradable al tacto y a la vista.

Una clasificación de dureza y contenido de ésta en partes por millón de  $\text{CaCO}_3$  (ppm) es la que se presenta en la Tabla II.

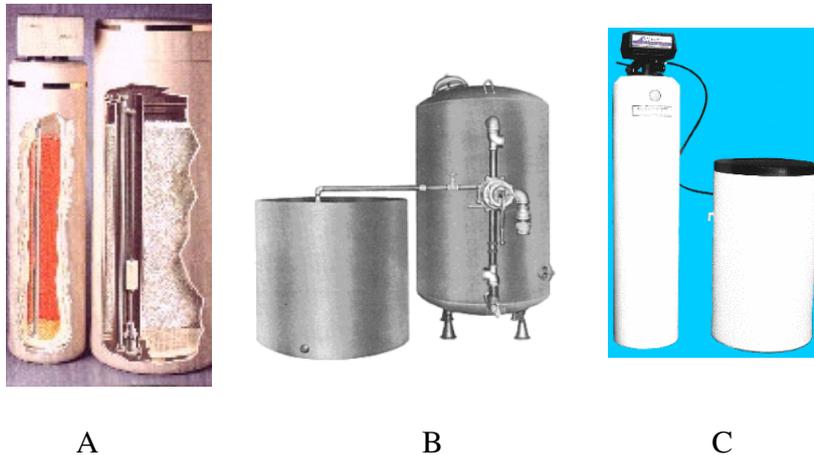
También, la formación de precipitados de calcio y magnesio en platos, tazas, vasos, cuchillería y demás utensilios de cocina la hacen objetable.

c).- Aumento en el consumo de jabón debido a que el calcio y el magnesio que causan la dureza reaccionan con el jabón produciendo estearatos de calcio y de magnesio los cuales son insolubles en el agua y precipitan como tales.

d).- Las tuberías se obstruyen en un tiempo mas corto de lo normal, debido a la formación de depósitos de sulfatos y carbonatos de calcio y magnesio principalmente. En ocasiones esta oclusión es tan persistente que es más conveniente cambiar toda la tubería que limpiar ésta, con el consiguiente gasto que involucra dicha situación.

Aún y cuando no se llegue a tales extremos, los depósitos de sarro en líneas y tuberías de por ejemplo una casa habitación son indeseables.

e).- Si un agua de alta dureza es utilizada sin un tratamiento previo en: calderas, humidificadores, sistemas de enfriamiento, intercambiadores de calor, calentadores de agua domésticos, etc. seguramente se formarán depósitos o incrustaciones en el equipo.



**Figura 3:** Equipos comerciales de suavizadores. A: Detalle de un tanque de salmuera y tanque de resinas. B: Sistema de regeneración manual con válvula de multipuertos. C: Sistema de regeneración automática

Debido a que la conductividad térmica de los depósitos de calcio y magnesio es sumamente baja, para calentar el agua se requiere de cantidades excesivas de calor, el metal se sobrecalienta y se desgasta prematuramente por fatiga mecánica.

Estas son las razones por las cuales es conveniente disminuir la dureza a valores aceptables.

El proceso de ablandamiento generalmente es por medio de precipitación química o por medio del uso de resinas intercambiadoras de iones en ciclo sódico.

**Tabla II:** Clasificación del grado de dureza para diferentes aguas.

|                         |                |
|-------------------------|----------------|
| Agua Suave              | 0-150 ppm      |
| Agua Poco Dura          | 150-250 ppm    |
| Agua Dura               | 250-600 ppm    |
| Agua Excesivamente Dura | Mas de 600 ppm |

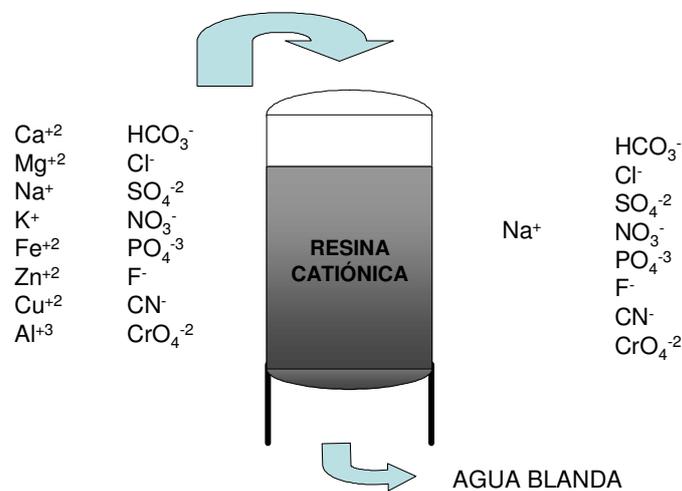
### 7.3 RESINAS INTERCAMBIADORAS EN CICLO SÓDICO:

Las resinas intercambiadoras de iones son hoy en día ampliamente utilizadas en el ablandamiento de aguas. Como ya se ha mencionado anteriormente, éstas consisten de esferas de polímeros de polivinilbenceno las cuales tienen terminales de grupos sulfónicos. Estos son grupos funcionales que tienen capacidad de intercambio, donde se pueden fijar especies químicas tales como  $H^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ , etc.

Cuando se pone en contacto una solución que contiene como cationes  $H^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^+$  y  $K^+$ , los cationes serán removidos selectivamente en orden a su relación tamaño/carga del ión (Tabla I), así como en función de la concentración del catión. La selectividad aumenta a medida que disminuye la relación tamaño/carga y también se incrementa con la concentración de la especie.

Si la resina está en contacto con una solución de igual concentración (igual normalidad) de iones  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ , y  $Na^+$ , el orden de selectividad es  $Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^+$  y de esta forma el calcio y el magnesio serán removidos antes que el sodio.

En una resina intercambiadora de iones en ciclo sódico, las terminales activas de las esferas de PVB (Polivinilbenceno) tienen grupos sodio, los cuales se intercambian por los iones  $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$ , en ese orden. El agua que ha estado en contacto con la resina ya no tiene cantidades apreciables de calcio y magnesio y se dice que el agua es blanda.



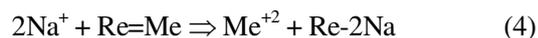
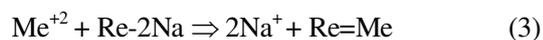
**Figura 4:** Tanque con resinas de intercambio iónico en ciclo sodio, para ablandamiento del agua, al intercambiar sodio por otros cationes, cuando fluye el agua y se pone en contacto con la resina.

Es necesario recalcar que en el tratamiento de resinas ocurre un proceso de intercambio, ya que el calcio y el magnesio se integran a la estructura a la resina y el sodio que se encuentra inicialmente en la resina pasa a la solución acuosa.

Cuando la resina agota su capacidad de intercambio, las terminales activas de ésta se encuentran saturadas de iones de calcio y magnesio principalmente, y ya no es posible remover la dureza del agua que se pone a su

contacto. Para recuperar esta capacidad se efectúa la regeneración de la resina, que consiste en hacer pasar por el lecho de resina una solución de cloruro de sodio de alta concentración y en exceso de la cantidad de sodio requerida estequiométricamente para volver a saturar en sodio los sitios activos de la resina.

La regeneración o recuperación de sodio en los sitios activos de la resina, es posible y explicable por el principio de Le Chatellier, ya que la alta concentración de sodio en la salmuera de lavado produce una reversión en la reacción de intercambio.



$\text{Me}^{+2}$  puede ser:  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Sr}^{+2}$ , etc.  
Re es la terminal activa de la resina

La reacción (3) representa el proceso normal de intercambio, tal y como ocurre cuando el agua a tratar fluye a través de la resina, mientras que la reacción (4) es cuando se agregan cantidades de sodio en exceso y en altas concentraciones, para invertir la reacción y favorecer que esta proceda en sentido inverso.

Cuando la resina opera en una reacción de intercambio de iones sodio por otros iones en solución, se dice que la resina trabaja en ciclo sódico. Es evidente, de acuerdo a la reacción de intercambio, que la cantidad de sólidos disueltos en el agua no disminuye, por el contrario, aumenta ligeramente, ya que el peso equivalente del sodio es 23, mientras que el del calcio es 20 y el del magnesio es 12.15.

*Resinas intercambiadoras de iones en ciclo sódico:* Los filtros de resinas en ciclo sódico tienen como finalidad darle un tratamiento al agua para disminuir la dureza, que principalmente se debe al calcio y magnesio en solución.

Para disminuir la dureza a niveles mínimos, se emplea una resina que retiene el calcio y el magnesio del agua, dejando un agua blanda. Para este propósito, en un filtro de resinas se tiene un recipiente dentro del cual hay un determinado volumen de resina. Mientras mayor sea la cantidad de resina mayor es la capacidad del filtro.

El agua fluye de arriba hacia abajo dentro del filtro, por lo que el agua tiene contacto con la resina y de esta manera son removidos calcio y magnesio, saliendo por la parte inferior del filtro agua blanda o de baja dureza. La resina tiene una cierta capacidad, por lo cual después de que ha pasado un determinado volumen de agua, la resina se satura y ya no es capaz de cumplir su función. El tiempo de duración de la resina cumpliendo su función adecuadamente depende de la dureza del agua tratada así como del volumen de agua que se pase por el filtro. Si la dureza es muy alta, la resina se satura más rápidamente; y de la misma manera: si el volumen de agua es muy alto la resina se satura en menor tiempo

#### **7.4 REGENERACIÓN DE LA RESINA:**

Después de que la resina se encuentra saturada (con el calcio y el magnesio que ha removido del agua ya tratada), es necesario regenerar esta. Para esto se efectúan las siguientes operaciones (Figura 5)

**RETROLAVADO:** En el retrolavado se hace circular el agua de alimentación al filtro, de abajo hacia arriba, al contrario de como circula normalmente cuando el filtro está en operación. Esta agua de retrolavado sale por la parte superior del filtro y es desechada. El retrolavado tiene la finalidad de redistribuir el lecho o cama de resina y evitar que esta se compacte, formando canalizaciones en el agua que fluye, y disminuyendo con esto la eficiencia y capacidad del filtro.

**SALADO:** Después del retrolavado se hace circular una solución de sal a través del lecho de resina. Para esto se prepara una solución de sal en agua y se hace circular en el filtro, fluyendo esta solución de arriba hacia abajo. La cantidad de sal empleada es de aproximadamente 5 Kgs. de sal de grano por cada pie cúbico de resina en el filtro (aprox. 180 grs por litro de resina). Esta sal se disuelve en la cantidad de agua que sea suficiente para su disolución completa y se vierte en el filtro, o se agrega directamente a éste y se disuelve la sal agregando agua al recipiente.

La solución de sal o la sal entera, se puede hacer pasar por el filtro abriendo este por la parte superior vertiendo la sal o solución salina, o también a través de una válvula de paso. En caso de que el volumen de salmuera sea considerable, es conveniente inyectar esta salmuera por medio de una bomba.

En cualquiera de los dos casos la solución tiene contacto con la resina y ésta es regenerada. Con esto la resina regresa a su condición original y es capaz de remover nuevamente la dureza de un cierto volumen de agua que pase por el filtro.

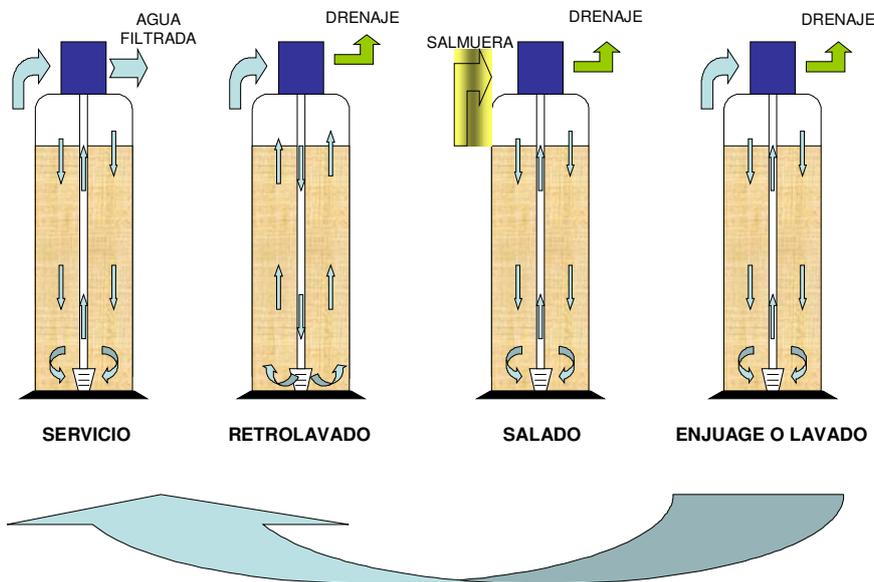
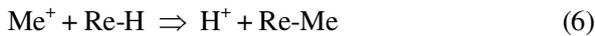
Durante el salado el agua que fluye y sale por la parte inferior del filtro es desechada hacia el drenaje.

**LAVADO:** El lavado tiene como finalidad eliminar toda la solución de salado, que tiene una alta concentración de dureza (calcio y magnesio), para esto se hace fluir agua de alimentación (el agua que entra al filtro para tratamiento) de arriba hacia abajo, es decir, en la forma normal de operación del filtro, y el agua de lavado es desechada hacia el drenaje. Al término de la operación la resina y el filtro están listos para su operación normal.

**7.5 SISTEMA DE RESINAS CATIONICAS/ANIONICAS:**

Cuando la resina de PVB se regenera con ácido, las terminales o sitios activos de la resina adsorben sobre su superficie los iones hidrogeno H<sup>+</sup> que se producen por la disociación del ácido que se emplea para la regeneración de la resina. Estos iones se intercambian fácilmente por iones tales como: Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, Fe<sup>+2</sup>, Sr<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, etc., los cuales, en mayor o menor grado se encuentran en aguas superficiales y subterráneas.

El resultado final en el proceso de intercambio, es un incremento en la concentración de iones hidrógeno en el agua y al mismo tiempo una disminución en la concentración de cationes de otra naturaleza. Esta reacción de intercambio es:



**Figura 5:** Secuencia en la regeneración de la resina en ciclo sodio con una solución concentrada de salmuera.

Me<sup>+2</sup> es un metal tal como: Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, Zn<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup>, Sr<sup>+2</sup>, etc.

Me<sup>+</sup> es un metal monovalente como: K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, etc.

Re es la terminal activa de la resina

Los aniones presentes en el agua como:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , etc. deben removerse en una siguiente etapa de tratamiento. Para esto se emplea una resina aniónica, la cual es también de policloruro de divinil benceno, pero la superficie activa es modificada para adsorber selectivamente los aniones. La reacción de intercambio en una resina aniónica es:



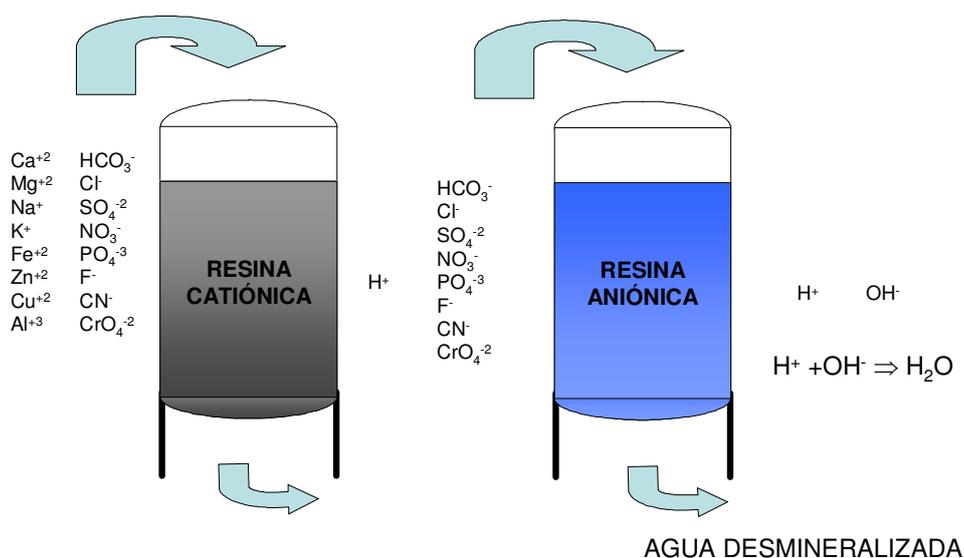
es un anión monovalente tal como:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , etc

En caso de tratarse de un anión divalente tal como:  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , etc., éste ocupará un lugar doble en la superficie de la resina, pero el proceso de intercambio es idéntico.

Las reacciones 5, 6, 7 y 8 muestran que el resultado final en un proceso de intercambio en resinas catiónicas y aniónicas es la disminución de las especies químicas que se encuentran en solución en el agua a tratar, y la formación de iones hidrógeno e hidróxido, los cuales reaccionan inmediatamente para producir agua.



Cuando se desea obtener agua de muy alta pureza, esto es, con un bajo contenido de sólidos, se utiliza un sistema de resinas catiónicas aniónicas, para depurar dichas aguas.



**Figura 6:** Desmineralización del agua por medio de resinas intercambiadoras de iones, una de ellas resina catiónica en ciclo hidrogeno y otra resina aniónica en ciclo hidroxilo.

Una vez que se alcanza el límite de saturación en las resinas, es necesario su regeneración. La regeneración de las resinas, tanto la catiónica como la aniónica, se efectúa de la misma manera que en el ciclo sódico, solo que se emplean diferentes sustancias químicas para su regeneración.

En la regeneración de la resina catiónica o en ciclo ácido, se emplea cualesquier ácido fuerte tal como: nítrico, fosfórico, clorhídrico, sulfúrico, etc. En la práctica los ácidos mas empleados son el clorhídrico y el sulfúrico por su bajo costo y disponibilidad.

En la resina aniónica o en ciclo básico, se emplean como regeneradores carbonato de sodio o hidróxido de sodio. Es frecuente que se produzca agua desmineralizada o deionizada para usos industriales como: sistemas de enfriamiento, en calderas de alta presión, etc. pero no es común que estos sistemas se empleen en tratamiento de aguas potables

## 7.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS RESINAS CATIÓNICAS Y ANIÓNICAS

Como ya se ha mencionado, las resinas sean éstas: catiónicas, aniónicas o se encuentren en ciclo sódico o ácido, tienen una capacidad de intercambio que es limitada.

Una vez que se han ocupado todos los sitios de intercambio de la resina, ésta ya no remueve los cationes o aniones que están a su alcance y se dice que la resina está saturada.

Con el tiempo, la resina envejece y se desgasta y su vida útil es de 5 a 10 años, dependiendo de la calidad del agua y de las condiciones del medio, pero en su periodo de uso normal se puede regenerar y regresar a su condición original. Las características de una resina típica, disponible en el mercado, se describen en la Tabla III.

**Tabla III:** Características de una resina catiónica y de una resina aniónica típica.

### RESINA CATIÓNICA:

| <b>Forma Química</b>           | <b>Sodio Na<sup>+</sup></b>     | <b>Hidrógeno H<sup>+</sup></b>                   |
|--------------------------------|---------------------------------|--|
| Capacidad Total de intercambio | 2.0 eq/lto                      | 1.8 eq/lto                                       |
| Capacidad Total de intercambio | 100 grs. CaCO <sub>3</sub> /lto | 90 grs. CaCO <sub>3</sub> /lto                   |
| Capacidad de retención de agua | 44-48%                          | 50-56%   |
| Densidad                       | 0.85 gr/lto                     | 0.80 gr/lto                                      |
| Regenerante                    | NaCl                            | HCl o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>             |
| Cantidad                       | 80-240 gr NaCl/lto de resina    | 130-200 grs HCl/lto de resina                    |
| Concentración del regenerante  | 10-25% NaCl                     | 2-8% HCl<br>4-10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
| Tiempo de contacto             | 30 minutos mínimo               | 30 minutos mínimo                                |
| Agua de lavado requerida       | 3-6 lts de agua/lto de resina   | 6-15 lts de agua/lto de resina                   |

### RESINA ANIÓNICA:

| <b>Forma Química</b>           | <b>Cloruro Cl</b>              | <b>Hidroxilo OH</b>            |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Capacidad Total de intercambio | 1.2 eq/lto                     | 1.0 eq/lto                     |
| Capacidad Total de intercambio | 60 grs. CaCO <sub>3</sub> /lto | 50 grs. CaCO <sub>3</sub> /lto |
| Capacidad de retención de agua | 53-60%                         | 60-72%                         |
| Densidad                       | 0.69 gr/lto                    | 0.64 gr/lto                    |
| Regenerante                    | NaCl                           | NaOH                           |
| Cantidad                       | 80-240 gr NaCl/lto de resina   | 80-240 gr NaOH/lto de resina   |
| Concentración del regenerante  | 10-25% NaCl                    | 4-5% de NaOH                   |
| Tiempo de contacto             | 30 minutos mínimo              | 30 minutos mínimo              |
| Agua de lavado requerida       | 3-6 lts de agua/lto de resina  | 6-15 lts de agua/lto de resina |

## 7.7 EL INTERCAMBIO IÓNICO EN LA PRÁCTICA:

Son muchas las aplicaciones de las resinas intercambiadoras en los servicios y la industria.

Uno de los usos más frecuentes, es para disminuir la dureza de aguas para diferentes usos como son: agua para calderas, para lavanderías, hoteles y servicios, para la industria alimenticia, para casas habitación, etc.

En este caso se emplea una sola columna de intercambio iónico, con resina catiónica en ciclo sódico. El beneficio es intercambiar calcio y magnesio que originalmente se encuentran en el agua, por iones sodio que inicialmente se encuentran adheridos a los sitios activos de la resina. El resultado neto es que las sales de sodio son mucho más solubles que las de calcio y magnesio, por lo que solamente en condiciones

extremas precipitan, y de ser así, las características del precipitado son muy diferentes a las de los precipitados de calcio y magnesio que son duros y difíciles de remover.

Si el agua debe desmineralizarse, o sea disminuir el contenido de sólidos disueltos, se deben emplear dos lechos: uno de resina catiónica y uno de resina aniónica (Figura 6)

El intercambio iónico puede ser empleado en la desmineralización parcial o total del agua. Si el contenido de sales disueltas es muy alto y no se tiene una fuente alterna de suministro, puede desmineralizarse parcialmente el agua para acondicionarla y hacerla adecuada para su consumo

Otros usos del agua reclaman agua de extraordinaria calidad. Por ejemplo, la industria de producción de microchips requiere agua ultrapura, ya que el mínimo contenido de partículas o de sales disueltas podría arruinar la producción de estos componentes electrónicos.

También, las turbinas de alta presión que se emplean en plantas termoeléctricas requieren de agua sin contenido de sales. Otro ejemplo es la industria farmacéutica y los servicios médicos (agua para diálisis), que requieren agua de alta pureza, completamente libre de partículas y de pirógenos.

Aunque un tanque que contiene resina catiónica, resina aniónica o resina mixta (catiónica/aniónica) es similar a un filtro de grava y arena, su diseño no se hace en función del área de filtración, como si ocurre en un filtro granular.

En un filtro de grava y arena se pretende tener un área de filtración bastante grande, por lo que el diámetro del filtro es el parámetro de diseño de importancia, y la altura solo se ajusta a acomodar el material filtrante y a tener un volumen vacío para cuando ocurra el retrolavado se expandan las capas de grava y arena o de material filtrante que se emplea.

En un filtro de resinas, el área de filtración no es lo importante, sino el contacto que tenga el agua que fluye con la resina contenida en el tanque. En este tipo de filtros se emplea un diseño tubular o tipo columna, lo cual hidráulicamente facilita que el agua pase a través de la resina. Cuando la resina se agota y es necesario regenerarla, el retrolavado es muy importante para homogenizar el lecho de resina y que cuando fluya el agua no se formen canalizaciones o rutas preferenciales del agua en su paso por la resina.

También para tener una regeneración mas eficiente, el diseño en columna favorece el contacto del regenerante con el medio de intercambio.

El tamaño del tanque debe ser suficiente para que acomode el volumen de resina necesario y el volumen que ocupa la resina en el tanque no debe ser mayor del 80% del volumen total de este tanque para permitir que la resina se expanda libremente en el proceso de retrolavado.

El tanque puede ser de: polietileno reforzado, fibra de vidrio, acero al carbón, acero inoxidable, o algún otro material resistente a la acción corrosiva del agente regenerante y debe tener una entrada y una salida, así como un arreglo de válvulas y tuberías que lo hacen muy complejo, sobre todo si el proceso de regeneración es automático, ya que cuando el sistema es un desmineralizador, se debe tener todo el arreglo para inyectar el regenerante (ácido o sosa cáustica), así como toda la hidráulica necesaria para las operaciones de: regeneración, lavado y retrolavado.

También, las resinas pueden emplearse para remover ciertos elementos que contaminan el agua. Por ejemplo: si el agua de un pozo tiene valores mayores a los establecidos en la norma en el contenido de plomo y todos los demás parámetros están dentro de los valores normales, puede emplearse un proceso de tratamiento con resinas en ciclo sódico y de esta manera el plomo (y desde luego el calcio y el magnesio) se adhiere a la resina, quedando el agua libre de este contaminante

Cuanto mayor sea la altura de la columna y mejor la distribución del agua que se pone en contacto con el medio de intercambio, mayor será la eficiencia en la operación. Para este fin se procura distribuir el agua uniformemente a lo largo de la columna y la relación entre el gasto y el volumen de resina recomendado deberá estar dentro del rango de 1.5 a 2.5 gpm/ft<sup>3</sup> (galones/min por pié cúbico de resina).