El intercambio iónico se efectúa en una cantidad equivalente estequiométricamente por iones del mismo signo.

Ilustrando lo anteriormente mencionado, nos referimos a las siguientes reacciones.

Un intercambiador de cationes:

$$\underline{2\ Na^{+}\ X^{-}} + Ca^{++}\ Cl_2^{-}\ (aq) \quad \underline{Ca^{++}\ X_2^{-}} + 2\ Na\ Cl\ (aq)$$

Un intercambiador de aniones:

$$\underline{2\ X^{+}\ Cl^{-}} + Na_2\ SO_4\ (aq) \quad \underline{X_2^{+}\ SO_4^{=}} + 2\ Na\ Cl\ (aq)$$

La X la unidad estructural ó molecular del intercambiador de iones. La fase sólida es la que se encuentra subrayada, y (aq) significa que el electrolito se encuentra en solución.

Las fases insolubles son compuestos de origen inórganico, como son los silicoaluminatos (llamados Zeolitas) y los compuestos de origen orgánico obtenidos sintéticamente.

Dichos intercambiadores de iones tienen incorporados en sus estructuras moleculares, grupos iónicos de diversas naturalezas, los cuales dotan a dichos compuestos de una actividad intercambiadora. Estos grupos iónicos son los que dotan a las resinas de la capacidad de intercambiar cationes o intercambiar aniones al entrar en contacto con soluciones.

IV. NATURALEZA DE LOS INTERCAMBIADORES DE IONES

Los materiales insolubles que se utilizan para el intercambio iónico, como anteriormente se mencionó, son compuestos inorgánicos y compuestos orgánicos.

Estos compuestos existentes en el intercambio iónico se muestra en seguida.

- INTERCAMBIADORES IONES
  - INORGANICOS
    - NATURALES
    - ARTIFICIALES
  - ORGANICOS
    - RESINAS CARBONACEAS SULFONADAS
    - POLIMEROS POR CONDENSACION
    - POLIMEROS POR ADICION.

A) INTERCAMBIADORES DE IONES INORGANICOS

Los compuestos de origen inorgánico usados en los procesos de intercambio iónico, son materiales cristalinos de silicoaluminato de sodio hidratado. Los intercambiadores de iones naturales se obtienen de depósitos marinos, y se conocen como Arena verde o Gluconita. Estos compuestos sólo son capaces de intercambiar cationes.

El material obtenido de los depósitos naturales, se procesan para refinarlos y acondicionarlos para su uso en equipos de tratamiento de agua.

Las zeolitas naturales pueden describirse en términos de óxidos, por ejemplo:

$$xNa_2O \cdot \quad yAl_2O_3 \cdot \quad zSiO_2 \cdot \quad aH_2O$$

A continuación se dan una serie de silicoaluminatos conocidos:

NOMBRE	FORMULA
Analcita	$Na\left[Si_2\ Al\ O_2\right]_2 \cdot H_2O$
Characita	$(Ca, Na)\left[Si_3\ Al\ O_6\right]_2 \cdot 6\ H_2O$

NOMBRE	FORMULA
Harmotomita	$(K, Bo)\left[Si_5\ Al_2O_{14}\right] \cdot 5\ H_2O$
Heulandita	$Ca\left[Si_3\ Al\ O_8\right] \cdot 5\ H_2O$
Natrolita	$Na_2\left[Si_3\ Al_2\ O_{10}\right] \cdot 2\ H_2O$

Estos materiales tienen una estructura cristalina tridimensional, con canales y cavidades en el cuerpo molecular del silicoaluminato. Los intercambiadores de iones se encuentran en estos intersticios y pueden desplazarse a través del cristal.

Otros silicoaluminatos tienen un arreglo de capas a través de las cuales se desplazan los iones, de este tipo se muestran los siguientes compuestos:

Montomorilonita	$Al_2\left[Si_4O_{10}\ (OH)_2\right] \cdot nH_2O$
Beidelita	$Al_2\left[(OH)_2\ Al\ S_{13}O_9\ OH\right]4H_2O$

Los anteriores materiales actúan como intercambiadores de iones, permaneciendo la estructura cristalina insolubre ante solventes polares como el agua.

B) INTERCAMBIADORES DE IONES INORGANICOS SINTETICOS

Con el fin de mejorar las características de intercambio ionico, se han sintetizado los silicoaluminatos por diversos métodos.

Por el método de fusión se obtuvo el primer compuesto sintético, mezclando y fundiendo feldespar, caolín, arena y carbonato de sodio; pero ya es obsoleto este método.

El método húmedo o tipo Gel, consiste en la formación de un gel de silicoaluminado de sodio. Este gel es prensado y después se seca cuidadosamente.

La capacidad de esta Zeolita se mejoró al doble de la que se obtenía por el método de fusión.

La desventaja principal de estos materiales es que sólo operan dentro de rangos muy estrechos de pH.

También algunos silicoaluminatos pueden actuar como intercambiadores de aniones, como ejemplos tenemos:

Sodalita $Na_4 \left[Si_3Al_3Cl\ O_{12} \right]$

Pero los que se han usado prácticamente son:

Apatita $\left[Ca_5\ (PO_4)_3 \right] F$

Hidroxilapatita $\left[Ca_5\ (PO_4)_3 \right]\ OH$

Una desventaja de los materiales inorgánicos es que son relativamente suaves y no muy resistentes a la abrasión por lo cual han sido desplazados por otros materiales.

C) RESINAS ORGANICAS SINTETICAS

Cuando se requirieron materiales de mayor capacidad de intercambio ionico, se desarrollaron resinas orgánicas que mejorarán las características de operación de los materiales inorgánicos.

Las resinas orgánicas originalmente fueron hulla sulfonada, ésta es la resina orgánica más simple que se ha fabricado. Esta resina mejoró las características de operación que se buscaban pero no podían actuar como intercambiadores de aniones, sólo intercambiaban cationes.

La materia prima para la obtención de las resinas Carbonaceas es la hulla, y para convertirlos a intercambiadores de cationes, tipo hidrógeno, se sulfona con ácido sulfúrico fumante, con lo cual se fijan a la estructura del carbón grupos sulfúricos que actúan como grupos iónicos y para introducir un grupo iónico más, dichos carbones se oxidan produciendo grupos carboxílicos ácidos (-COOH).

Estos compuestos aumentaron casi al doble la capacidad de intercambio respecto a los compuestos inorgánicos. Una de las desventajas que se le encuentra a estas resinas, es que son muy vulnerables a la oxidación, en la misma forma que el carbón activado.

Pero lo más sorprendente en el intercambio iónico son las resinas que se obtienen por vía sintética, partiendo de hidrocarburos aromáticos, los cuales han dado un gran impulso al intercambio iónico.

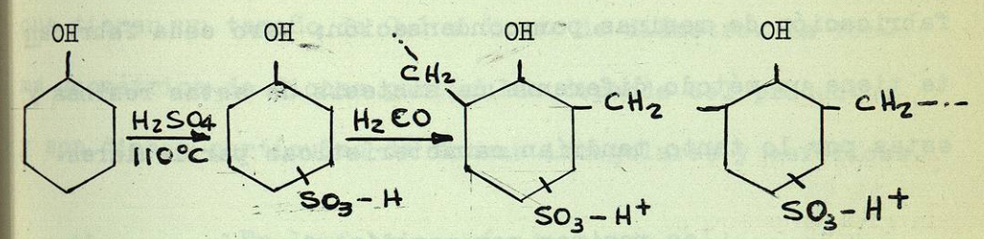
En la síntesis de las resinas de intercambio iónico se han logrado producir resinas tanto aniónicas como catiónicas.

RESINAS CATIONICAS

Estas resinas se sintetizan por dos métodos, los cuales dan productos con características similares, pero con diferentes capacidades de intercambio iónico, así como características de operación.

Estos dos métodos se distinguen como polimerización por condensación y polimerización por adición.

En el grupo de polimeros por condensación tenemos las resinas fenolformaldehido sulfonadas. Un método básico para la obtención de estas resinas se muestra en la siguiente reacción:



Los grupos sulfúricos son los que son llamados grupos iónicos y son los portadores de los iones intercambiables, en este caso particular, es un intercambiador de cationes puesto que el hidrógeno es un ión posi

tivo o catión, y el cual puede cambiarse por otro ión positivo.

Los grupos iónicos están unidos a una macromolécula que actúa como fase hidrofobica, lo cual dota al material de una característica necesaria para el intercambio iónico de tratamiento de agua.

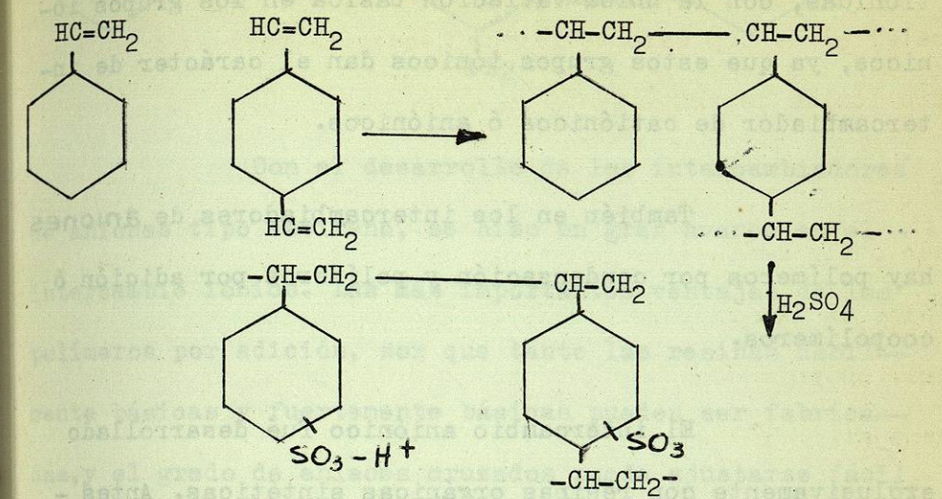
Esta macromolécula además se hace reaccionar con otros compuestos orgánicos para así obtener enlaces cruzados en las macromoléculas en una estructura tridimensional, obteniéndose una partícula sólida insoluble y fácil de manejar.

La anterior es una reacción típica para la fabricación de resinas por condensación; pero cada fabricante tiene un método diferente de síntesis de estas resinas y estas por lo tanto tendrían características particulares.

Las resinas por copolimerización son poliestirenos, las cuales son sintetizadas partiendo del vinilbenceno y del divinil benceno. Para obtener características particulares de intercambio iónico y apariencia física de la resina, las relaciones de vinilbenceno y divinil benceno, variarán de-

pendiendo del fabricante.

A continuación se dá la reacción básica de síntesis de este grupo de resinas.



Estas resinas se fabrican en partículas que tienen un tamaño de 0.1 a 1 mm. de diámetro. La forma geométrica de dichas partículas depende del producto, y son dichas partículas de formas irregulares y esféricas.

En la fabricación de estas resinas se busca tengan alta porosidad para lo cual se han elaborado varias técnicas para obtener dicha porosidad.

RESINAS ANIONICAS

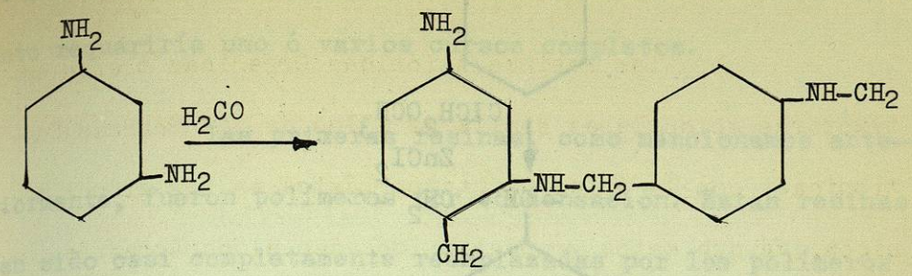
Las resinas Aniónicas Orgánicas tienen estructuras moleculares similares a las de las Resinas Catiónicas, con la única variación básica en los grupos iónicos, ya que estos grupos iónicos dan el carácter de intercambiador de catiónicos ó aniónicos.

También en los intercambiadores de aniones hay polímeros por condensación y polímeros por adición ó coopolímeros.

El intercambio aniónico fué desarrollado exclusivamente con resinas orgánicas sintéticas. Antes de estas resinas no se desarrolló ningún intercambiador de aniones con propiedades satisfactorias.

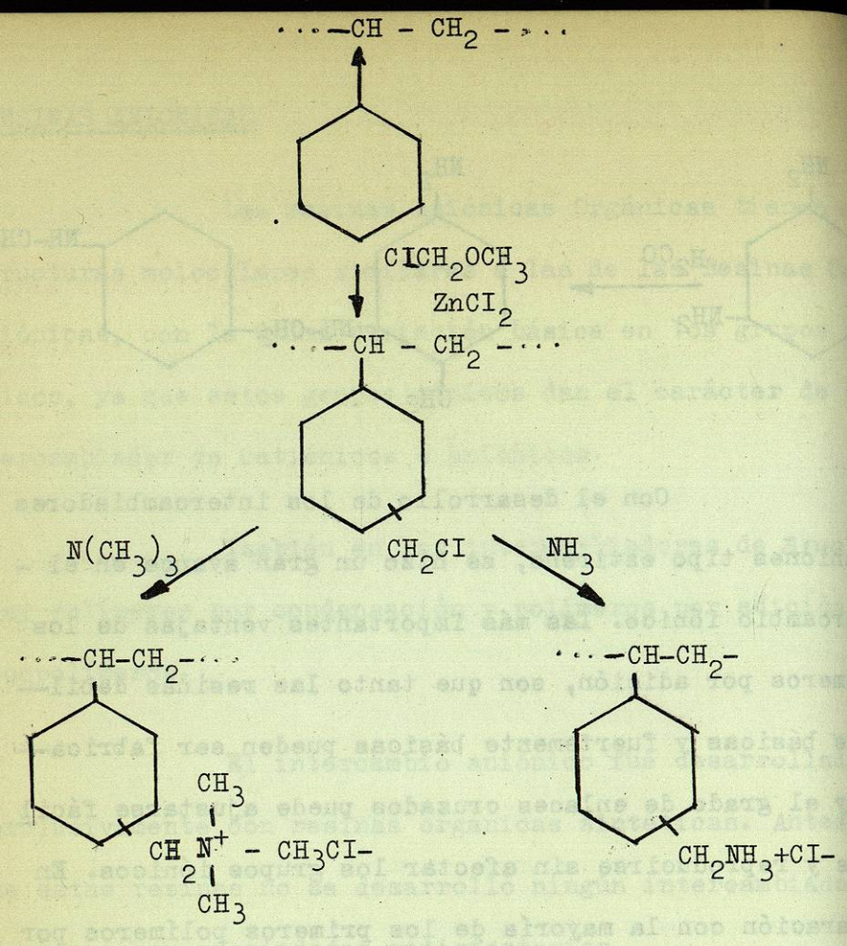
POLIMEROS POR CONDENSACION.

Para ilustrar los polímeros por condensación se da la siguiente reacción, en la cual se parte de la M-Fenilendiamina con la condensación con formaldehido.



Con el desarrollo de los intercambiadores de aniones tipo estireno, se hizo un gran avance en el intercambio iónico. Las más importantes ventajas de los polímeros por adición, son que tanto las resinas debilmente básicas y fuertemente básicas pueden ser fabricadas, y el grado de enlaces cruzados puede ajustarse fácilmente y reproducirse sin afectar los grupos iónicos. En comparación con la mayoría de los primeros polímeros por condensación son polifuncionales, y los enlaces cruzados y los grupos iónicos son interdependientes.

Una reacción básica para la obtención de resinas aniónicas es la que a continuación se muestra.



Como puede apreciarse en ambos casos el grupo amígeno es el que dota a la matriz de sus propiedades de intercambio aniónico.

En esta reacción sólo se muestra la introducción de los grupos iónicos sin mencionar lo referente a los enlaces cruzados, ya que sólo queremos presentar la resina y los grupos iónicos y nó lo referen-

te a la química completa de la resina de intercambio porque ésto requeriría uno ó varios cursos completos.

Las primeras resinas, como mencionamos anteriormente, fueron polímeros por condensación. Estas resinas han sido casi completamente reemplazadas por los polímeros por adición, tanto las resinas intercambiadoras de cationes como las intercambiadoras de aniones.

Sin embargo, aún los mejores polímeros por adición de los intercambiadores de aniones que han sido preparados, no pueden competir con los intercambiadores de cationes, en lo que respecta a la estabilidad química y técnica, así como la vida útil de la resina.

Lo anterior se debe a que los grupos iónicos son menos estables, y también no es de extrañarse que la preparación de estos intercambiadores de aniones presente sus dificultades.

Sumarizando lo anterior, las resinas de intercambio catiónico e intercambio aniónico, consisten de una estructura molecular de hidrocarburos entrelazados tridimensionalmente, los cuales contienen los grupos ácidos ó básicos. La matriz puede ser formada por condensación ó por adición.