

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

TITULO DEL TEMA:

DIVERSOS USOS DE LAS RESINAS INTERCAMBIADORAS  
DE IONES.

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

JESUS GONZALEZ PEREZ

CARRERA:

INGENIERIA QUIMICA.

AÑO:

1976

211



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

LAS Jesil  
AGE 1970  
PCNA \_\_\_\_\_  
MOC PL  
S \_\_\_\_\_  
213



QUIMIA

PRESIDENTE, Prof. JORGE SPAMER GARCIA CONDE

V O C A L , Prof. ALICIA BENITEZ DE ALTAMIRANO

SECRETARIO, Prof. ALBERTO OBREGON PEREZ

Jurado asignado

originalmente -

según el tema.

1er SUPLENTE Prof. GUTBERTO RAMIREZ CASTILLO

2do SUPLENTE Prof. MARTHA RODRIGUEZ PEREZ

Sitio donde se desarrollo el tema : Facultad de Química

Nombre completo y firma del sustentante :

JESUS GONZALEZ PEREZ

Nombre completo y firma del asesor del tema :

I.Q. ALBERTO OBREGON PEREZ



DEDICO ESTA BREVE INVESTIGACION  
A QUIENES CON SU ALEGRIA Y - -  
SENCILLEZ INTERIOR , - HICIERON  
FELIZ - ALGUN DIA DE MI VIDA.

- - - - -

JESUS GONZALEZ P.

	PAG.
I.- INTRODUCCION	1
a).- Origen del agua para la industria.	1
b).- Consumo del agua en la industria.	2
c).- Calidad del agua	3
d).- Algunos problemas importantes que acarrea la mala calidad del agua.	4
1.- Corrosión.	
2.- Incrustaciones.	
e).- Qué es un tratamiento de agua.	5
f).- Diversos métodos de tratamiento de agua.	5
1.- Análisis del método cal-carbonato en frío.	
II.- PRINCIPIO DEL INTERCAMBIO DE IONES.	11
III.- CLASIFICACION Y PREPARACION DE LAS RESINAS INTERCAMBIADORAS DE IONES.	14
a).- Intercambiadores de cationes débilmente ácidos.	14
b).- Intercambiadores de cationes fuertemente ácidos.	14
c).- Intercambiadores de aniones débilmente básicos - (tipo aminas) .	15
d).- Intercambiadores de aniones fuertemente básicos- ( tipo amonios cuaternarios ).	16
IV.- EMPLEO DE LOS INTERCAMBIADORES EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA.	17
a).- Ablandamiento del agua-(por intercambio neutro)	17
b).- Desmineralización parcial-(descarbonatación y - ablandamiento).	17
c).- Desmineralización total-(con ó sin eliminación - de sílice).	21
d).- Desmineralización total-(con ó sin eliminación - de sílice, empleo de un lecho mixto.)	24
V.- APLICACION PRACTICA DE LOS INTERCAMBIADORES IONICOS EN EL CAMPO HIDROMETALURGICO.	25
a).- Punto de partida.	25
b).- Antecedentes.	25
c).- Descripción de técnicas aplicables.	26
d).- Exposición y símbolos en la técnica de columna.- (industrialmente y de laboratorio.)	27
e).- Resolución práctica a un problema de separación de - cationes.	33
f).- Otras resinas aplicables al mismo problema.	35
VI.- PERSPECTIVAS.	36
VII.- CONCLUSION.	38
VIII.- BIBLIOGRAFIA.	39

## INTRODUCCION .-

El desarrollo de esta tesis lo justifica la importancia que tienen actualmente las instalaciones de intercambio iónico, y las posibilidades de aplicar este sistema a otras plantas donde su uso sea rentable, y el empleo del agua, requiera este tratamiento .

La ocupación de estos intercambiadores es extenso, y el principio en el que se basan es sencillo, esto ha dado como resultado, que problemas de tratamiento de agua, recuperación de minerales y otros problemas, que años atrás eran difíciles de resolver ahora se solucionen con facilidad -- por este método: ampliándose con esto un aspecto más de la Química.

El agua para usarse industrialmente, debe ajustarse a ciertas normas pero antes de relacionar estas, hay que conocer su origen.

### a).- Origen del agua para la industria.-

El agua que utiliza toda industria, procede indirectamente de la lluvia que al caer en tierra parte se filtra y parte se evapora, eliminándose mayor cantidad de agua en la evaporación . Por otra parte según fuentes geológicas, el agua que se filtra puede clasificarse en ; subálvea y superficial.

Agua subálvea.- Se le encuentra en zonas saturadas de arena, grava y rocas porosas, muchas veces aflora en forma de manantiales acuíferos. La alimentación de estos lugares se hace también a gran distancia por filtración ó debido a la existencia de venas acuíferas de ríos cercanos.

Agua superficial.- Es más importante que el agua subálvea, por contribuir con un mayor porcentaje al consumo industrial. La constituyen los ríos y lagos.

En México gran cantidad de industrias están establecidas donde la captación del agua les es fácil y en enormes volúmenes, otras industrias -

no tienen estas ventajas y se ven obligadas a recircularla, previo tratamiento de la misma, presentándose la necesidad de emplear procesos que garanticen su eficiencia.

Lo expresado está en función del relieve mexicano que determina en ocasiones una alimentación escasa ó insignificante y en otras lo contrario

b).- Consumo del agua en la industria.-

El abastecimiento de agua en una industria significa un renglón importante en su economía, esto se debe a las diversas cualidades que presenta el agua, dentro de las cuales cabe destacar, la transmisión de calor en sistemas de refrigeración, su aplicación en acondicionamiento de aire además de ser insustituible en la generación de vapor. La acción como disolvente queda descrita al nombrarsele disolvente universal.

Los volúmenes aproximados que se consumen en la elaboración de ciertos productos, se especifican en la tabla # 1 .

TABLA # 1

Industria ó producto	Consumo aproximado
Alcohol industrial	. . . 64 litros por litro de alcohol
Pólvora	. . . 750000 litros por tonelada de explosivo.
Oxígeno líquido	. . . 265 litros por m <sup>3</sup> de oxígeno.
Sosa	. . . 57000 litros por tonelada de carbonato de sodio al 58%.
Acido sulfúrico-(mét. de contacto)	15000 litros por tonelada de ácido sulfúrico al 100%.
Cerveza	. . . 1800 litros por barril de cerveza.
Embutidos	. . . 2000 litros por unidad de embutido.
Leche - (receptora y embotelladora)	. . . 450 litros por 100 litros de leche.
Remolachas - azúcar	. . . 75000 litros por tonelada de azúcar.
Lana - (lavado)	. . . 150000 litros por tonelada de mercancía.
Coque -(subproductos)	. . . 5700 litros por tonelada de coque.
Acero	. . . 75000 litros por tonelada de acero.
Petróleo -(refinería)	. . . 3000 litros por barril de crudo.

La tabla # 1, junto a la industria química en general, representa un claro panorama del consumo industrial del agua.

c).- Calidad del agua.-

La calidad del agua se especifica por las impurezas que lleva en su corriente, y se determina por su composición química, la cual depende del suelo por donde corre, de fluctaciones en el clima y cambios en las estaciones durante el año.

En ríos, lagos, manantiales y pozos, las características analizadas son la dureza y alcalinidad, además de su temperatura y  $p^H$ .

La dureza proviene de la existencia de iones incrustantes, como  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Fe^{++}$ ,  $BA^{+}$ . Se distinguen tres tipos diferentes de dureza.

Dureza total.- Corresponde a la suma de los cationes incrustantes que crean la dureza.

Dureza temporal.- Debida a los cationes incrustantes que estan combinados con el ión bicarbonato y que puede eliminarse por simple calentamiento.

Dureza permanente.- Originada por los cationes  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ , que se unen a iones distintos al bicarbonato, generalmente son sulfatos alcalino-terreos.

En México y muchos otros países la dureza se mide en ppm de  $CaCO_3$ . - en Alemania se expresa en grados dH, un grado dH 10 mg CaO por litro.

Las aguas se clasifican en duras y blandas, dependiendo de las ppm de  $CaCO_3$  que contienen; así un agua blanda es aquella que tiene menos de 60 ppm, mientras que las que poseen arriba de 180 ppm son duras.

Alcalinidad.- La existencia de los iones  $OH^-$ ,  $CO_3^{--}$  y  $HCO_3^-$ , provoca en el agua un alto valor de  $p^H$  y por consecuencia la basicidad en la misma.

d).- Algunos problemas importantes que acarrea la mala calidad del agua.

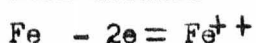
La mala calidad del agua crea dificultades en la industria, como son los fenómenos de corrosión e incrustaciones.

La corrosión sobre materiales metálicos, especialmente en los sistemas de tuberías y en las superficies de los intercambiadores en el equipo afectado.

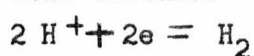
Analizando electrolíticamente la corrosión y usando como ejemplo al hierro, esto puede explicarse por la formación de iones positivos de hierro que pasan a disolución, mientras iones  $H^+$  se adhieren a las paredes formando una película molecular sobre la superficie del metal.

Reacciones:

Zona anódica



Zona catódica



La película protege al metal siempre que no haya en el agua oxígeno disuelto, ya que si existe, reaccionará con el hidrógeno eliminándose esta capa protectora.

Por otro lado también el oxígeno reacciona directamente con el hierro para formar  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ , incrementándose estas últimas reacciones con la temperatura.

Incrustaciones.- Estas se provocan debido a la precipitación de sólidos insolubles y proliferación bacteriológica. La constitución de una incrustación no es uniforme, las sustancias pueden ser,  $CaCO_3$ ,  $CaSO_4$ , silicatos,  $Fe(OH)_2$ ,  $FeCO_3$ , sales de bario,  $Mg(OH)_2$  y materias orgánicas, estas al depositarse lo hacen formando una especie de "tubérculo" que no se disuelve con los lavados químicos que son practicados en ocasiones.

Al tratar los problemas específicos de corrosión e incrustaciones se observa que la solución está en función de la elección de una "buena" agua ó de su tratamiento adecuado.

e).- Que es un tratamiento de agua.-

En un tratamiento de agua se intenta extraer impurezas perturbadoras que provocan fenómenos físicos y reacciones químicas. Con frecuencia el -- tratamiento tiene por objeto simplemente eliminar del agua los agentes res-- ponsables de la dureza - (ablandamiento) , pero en otros casos no solo -- persigue esto, sino también quitar las sales disueltas - (o sea desminera-- lizar el agua) .

f).- Diversos métodos de tratamiento de aguas.-

Los procedimientos para tratar el agua se basan en aspectos tan -- variados que para hacer la elección correcta de alguno de ellos es necesari-- o trazar un diagrama de flujo donde se dé a conocer a la persona que in-- tenta la elaboración de "X" producto, la relación entre la demanda de agua y la cantidad de material que se manipula, así como el tratamiento que es-- más conveniente para el producto y para su economía.

Entre los procedimientos que usaron en gran escala en épocas pasadas y que actualmente todavía los usan en algunos lugares, esta el método de -- precipitación, en el que los agentes de dureza son separados por adición -- de productos químicos - (cal-carbonato en frío, cal-carbonato en caliente) El bajo precio del  $\text{CaO}$  y del  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sostuvo por mucho tiempo el predomi-- nio de estos métodos .

→ Análisis del método cal-carbonato en frío.- El inicio para la aplica-- ción de este método consiste en hacer un análisis cualitativo y cuantitati-- vo de la composición del agua.

El agua comunmente puede tener :  $\text{OH}^-$  ,  $\text{HCO}_3^-$  ,  $\text{CO}_3^{--}$  ,  $\text{Cl}^-$  ,  $\text{SO}_4^{--}$   $\text{O}_2$  disuelto,  $\text{CO}_2$  ,  $\text{SiO}_2$  ,  $\text{Fe}^{++}$  ,  $\text{Ca}^{++}$  ,  $\text{Mg}^{++}$  ,  $\text{Na}^+$  ,  $\text{H}^+$  , y sólidos.

Un tratamiento cal-carbonato en frío elimina con buena eficacia a -- los iones que dan la dureza .

Ejemplo :

Equivalentes químicos.	Iones	ppm	epm	epm de $\text{Ca}(\text{OH})_2$	epm de $\text{Na}_2\text{CO}_3$	agua trata da. ppm	trata da. epm
50	Alcalinidad total	140	2.8			105	2.1
17	$\text{OH}^-$					17	1.0
30	$\text{CO}_3^{=}$	21	0.7		- 0.7	33	1.1
61	$\text{HCO}_3^-$	128	2.1	2.1	- 2.1		
48	$\text{SO}_4^{=}$	86	1.8			431	9.0
35.5	$\text{Cl}^-$	89	2.5			89	2.5
30	$\text{SiO}_2$	54	1.8			6	0.2
8	$\text{O}_2$	5	0.6				
22	$\text{CO}_2$						
	Comprobación	<u>314</u>	<u>7.1</u>			<u>576</u>	<u>13.6</u>
28	$\text{Fe}^{++}$						
20	$\text{Ca}^{++}$	46	2.3		2.3	8	0.4
12.1	$\text{Mg}^{++}$	42	3.5	3.5	3.5	7	0.6
23	$\text{Na}^+$	30	1.3			290	12.6
1	$\text{H}^+$						
	Comprobación	<u>118</u>	<u>7.1</u>			<u>305</u>	<u>13.6</u>
50	Dza. total	290	5.8			50	1.0
50	Dza. permanente	185	3.7			40	0.8
50	Dza. temporal	105	2.1			10	0.2
	Coagulante			7.2	7.2		
	Exceso de reactivo			0.4	1.1		
	Sólidos totales	432				881	
	Suma total			<u>13.2</u>	<u>14.1</u> <u>- 2.8</u> <u>11.3</u>		
	$\text{H}^+$ $\text{P}$	9.2				11	



Desarrollo del problema.-

1).- Para la dureza total :

$$\text{Suma de epm de } \text{Ca}^{++} \text{ y } \text{Mg}^{++} = 2.1 + 3.5 = 5.8 \text{ epm}$$

Para la dureza temporal :

$$\text{Debida al anión } \text{HCO}_3^- = 2.1 \text{ epm}$$

Para la dureza permanente :

Es la diferencia entre la dza. total y la temporal.:

$$5.8 - 2.1 = 3.7$$

2).- Análisis del agua original :

La suma de aniones debe ser igual a la suma de cationes, o sea :

$$0.7 + 2.1 + 1.8 + 2.5 = 7.1 \text{ (aniones)}$$

$$2.3 + 3.5 + 1.3 = 7.1 \text{ (cationes)}$$

3).- Tratamiento del agua :

Supóngase que la dureza total residual que se desea es de 1 epm. Del análisis tenemos que ;  $\text{Mg}^{++} = 60\%$  ,  $\text{Ca}^{++} = 40\%$

Luego entonces para  $\text{Ca}^{++}$  final residual será = 0.4 epm y para  $\text{Mg}^{++}$  final residual = 0.6 epm.

$$\begin{aligned} \text{OH}^- \text{ finales} &= 0.6 \text{ epm de } \text{Mg}^{++} \text{ residual} \\ &\quad \underline{0.4 \text{ epm de exc. de reactivo.}} \\ &1.0 \text{ epm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_3^{=} \text{ finales} &= 0.4 \text{ epm de } \text{Ca}^{++} \text{ residual} \\ &\quad \underline{0.7 \text{ epm de exc. de reactivo.}} \\ &1.1 \text{ epm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SO}_4^{=} \text{ finales} &= 1.8 \text{ epm de } \text{SO}_4^{=} \\ &\quad 7.2 \text{ epm de } \text{SO}_4^{=} \text{ que vienen del } \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \\ &\quad \underline{\hspace{1.5cm}} \\ &9.0 \text{ epm} \end{aligned}$$

$\text{Cl}^-$  finales = 2.5 epm, o sea quedan igual.

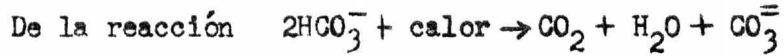
$$\begin{aligned} \text{Na}^+ \text{ final} &= 1.3 \text{ epm, existente en el análisis del agua original.} \\ &\quad \underline{11.3 \text{ epm, añadido como } \text{Na}_2\text{CO}_3} \\ &12.6 \text{ epm} \end{aligned}$$

Teniendo los datos anteriores del tratamiento del agua, nuevamente se hace coincidir la suma de cationes con la suma de aniones, es decir :

$$12.6 + 0.4 + 0.6 = 13.6 \text{ (cationes)}$$

$$9 + 2.5 + 1.1 + 1 = 13.6 \text{ (aniones)}$$

4).- Suma de sólidos totales :



y de la tabla de datos  $128/2 = 64$  ppm de  $\text{HCO}_3^-$   
(según estequiometría de la reacción.)

$$\text{Luego : } \text{CO}_3^{=} = 21$$

$$\text{HCO}_3^- = 64$$

$$\text{SO}_4^{=} = 86 \quad \text{Ca}^{++} = 46$$

$$\text{Cl}^- = 89 \quad \text{Mg}^{++} = 42$$

$$\text{SiO}_2 = 54 \quad \text{Na}^+ = 30$$

$$\frac{314 \text{ ppm}}{\quad} + \frac{118 \text{ ppm}}{\quad} = 432 \text{ ppm}$$

Quando el agua es tratada la secuencia es la misma, ó sea ;  $576 + 305 = 881$  ppm.

5).- Cálculo de reactivos.- ( Para  $1000 \text{ m}^3$  de agua ).

$$\text{Valor de la tonelada de } \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 500.00 \text{ pesos}$$

$$\text{" " " " " Ca(OH)}_2 = 150.00 \text{ "}$$

$$\text{" " " " " Na}_2\text{CO}_3 = 900.00 \text{ "}$$

$$\text{PM del Ca(OH)}_2 = 74, \text{ su equivalente} = 37$$

$$\text{PM del Na}_2\text{CO}_3 = 106, \text{ su equivalente} = 53$$

$$\text{PM del FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 278, \text{ su equivalente} = 139$$

$$\text{Ca(OH)}_2 \text{ utilizado} = 37 \times 13.2 = 488.4 \text{ mg/litro}$$
$$488.4 \text{ Kg/1000 m}^3$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ utilizado} = 11.3 \times 53 = 598.9 \text{ mg/litro}$$
$$598.9 \text{ Kg/1000 m}^3$$

$$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \text{ utilizado} = 139 \times 7.2 = 1000 \text{ mg/litro}$$
$$1000 \text{ Kg/1000 m}^3$$

- - - - -

6).- Precios.-

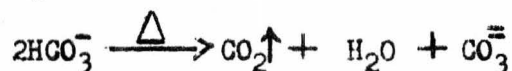
$\text{Ca(OH)}_2$	=	150 - 1000		
	x	- 488.4	x = 73.20 pesos	
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	=	900 - 1000		
	x	- 598.9	x = 540.00 pesos	
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	=	500 - 1000		
	x	- 1000	x = 500.00 pesos	
Total	=		1113.20 pesos	

7).- Reacciones que se efectúan durante el tratamiento cal - carbonato en frío.

- 1.-  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2$
- 2.-  $2\text{H}^+ + \text{Ca(OH)}_2 \longrightarrow \text{Ca}^{++} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 3.-  $\text{FeSO}_4 + \text{Ca(OH)}_2 \longrightarrow \text{Fe(OH)}_2 + \text{Ca}^{++} + \text{SO}_4^{--}$
- 4.-  $4\text{Fe(OH)}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{Fe(OH)}_3$
- 5.-  $2\text{HCO}_3^- + \text{Ca(OH)}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{--}$
- 6.-  $\text{CO}_3^{--} + \text{Ca}^{++} \longrightarrow \text{CaCO}_3$
- 7.-  $\text{Mg}^{++} + \text{Ca(OH)}_2 \longrightarrow \text{Mg(OH)}_2 + \text{Ca}^{++}$
- 8.-  $\text{Ca}^{++} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{Na}^+$

El uso del coagulante que aparece en el ejemplo  $-(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ , es preciso para lograr un tratamiento más completo, englobándose grandes partículas que no pueden eliminarse con otros reactivos.

Otro problema es deshacerse de la sílice-  $(\text{SiO}_2)$ , la importancia de que no exista, radica en la protección de equipo muy caro, como son calderas, bombas y tuberías en general, ya que un 0.1 mm de espesor en una caldera provoca una explosión en la misma. Por otro lado la diferencia que existe entre el tratamiento cal-carbonato en frío y el tratamiento cal-carbonato en caliente, es que en este último no es necesario agregar  $\text{CaO}$  para eliminar los bicarbonatos, según la reacción :



Las aguas tratadas por resinas orgánicas en las que los cationes metálicos que contienen son sustituidos por iones  $H^+$  ( intercambiadores de cationes ) , y los aniones por iones hidroxilos ( intercambiadores de aniones ) , - fig. # 1 , son aguas que dan reacción neutra.

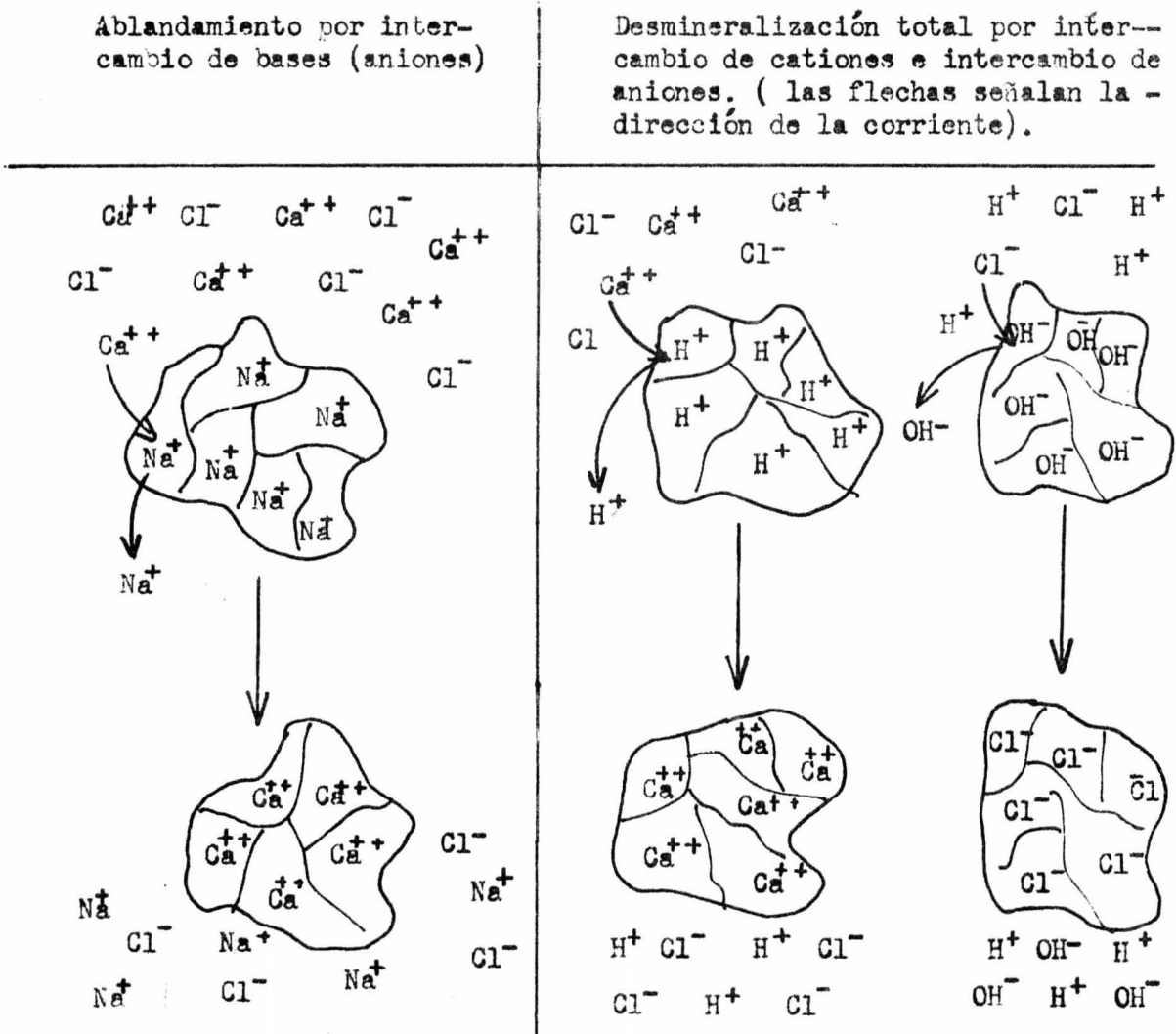


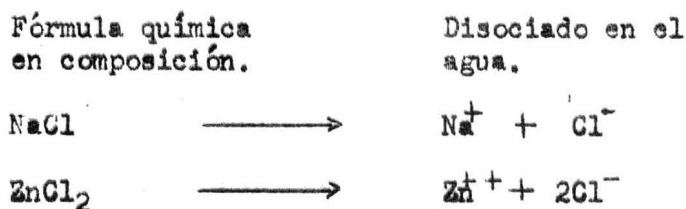
Fig. # 1 .- Representación esquemática de los procesos de ablandamiento del agua con intercambiador de bases (izquierda) y de desmineralización total con intercambiador de cationes y de aniones (derecha).

Las aguas tratadas por este procedimiento son tema específico de esta tesis y serán estudiadas con más detalle a partir del capítulo # II.

## II.- PRINCIPIO DEL INTERCAMBIO DE IONES.-

La teoría de Arrhenius, expuesta en el año 1887, explica el fenómeno de la ionización ó la disociación electrolítica; el hecho radica en que al disolver un electrolito en el agua se producen radicales llamados iones - cargados electricamente.

Al colocar en la solución 2 electródos se observa que los iones se orientan ; los electropositivos son atraídos por el polo negativo ó cátodo por lo que se les denomina cationes , mientras que los electronegativos se dirigen al ánodo ó polo positivo y se nombran aniones , ejemplos :



Los intercambiadores de iones son materias sólidas e insolubles; se trata de polielectrólitos de un elevado peso molecular que pueden cambiar sus iones móviles por los del medio que los rodea. Este intercambio de iones es reversible y estequiométrico.

El desplazamiento de iones en el proceso sólo se efectúa entre iones de la misma carga, por lo que entonces, intercambiadores de cationes sólo cambian cationes y los intercambiadores de aniones sólo aniones, el tiempo necesario para realizar la operación es corto.

El buen rendimiento del proceso se ve favorecido con la eliminación previa de impurezas orgánicas, de tal manera que se evite su incrustación en los intercambiadores.

Por otra parte estas impurezas orgánicas provenientes de aguas residuales ó soluciones acuosas pueden eliminarse también por intercambiadores de iones macroporosos desarrollados especialmente para este efecto y ser cedidas de nuevo en forma reversible.

El proceso de intercambio iónico en resinas tiene en su desarrollo -  
varias facetas por las cuales se explica el proceso en cinco pasos:

- 1.- La difusión de los iones a través de la solución a la superficie de las partículas intercambiadoras.
- 2.- Difusión de estos iones a través de la partícula.
- 3.- El intercambio de estos iones -- dentro del intercambiador.
- 4.- Difusión de los iones desplazados a través del intercambiador.
- 5.- Difusión de los iones a través de la solución.

Luego entonces la velocidad total de intercambio iónico es determinada por las reacciones de difusión. La medida de las velocidades de inter -- cambio dependen también de factores como :

- 1.- La concentración de la solución - en contacto con la resina.
- 2.- Velocidad de agitación ó mezcla.
- 3.- Diámetro de la partícula de la - resina.
- 4.- Velocidades de difusión de los - iones involucrados.
- 5.- Grado de reticulación en la resina.
- 6.- Temperatura en el sistema.

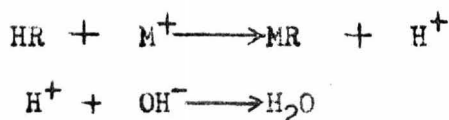
Por otra parte la estructura física del intercambiador tiene una - pronunciada influencia sobre las velocidades de difusión y por tanto sobre las velocidades de intercambio; también de gran importancia el el grupo -- intercambiador y el ión que se va a intercambiar.

Otra consideración que requiere atención en el intercambio iónico es el equilibrio químico, tanto para cationes como para aniones, es decir analizar la naturaleza de los grupos intercambiadores en las resinas, lo cual puede ser examinado por curvas de titulación.

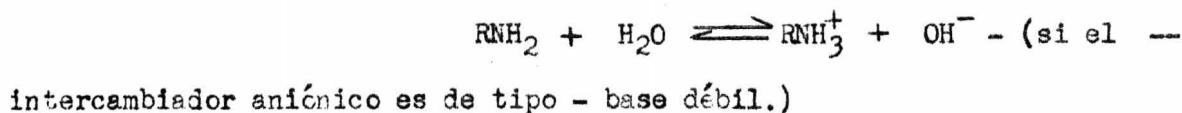
Las características ácido-base de varios grupos intercambiadores (cationes), tales como - sulfónico nuclear ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ), sulfónico metileno ( $-\text{CH}_2\text{SO}_3\text{H}$ ), carboxílico ( $-\text{COOH}$ ), fosfónico ( $-\text{PO}_3\text{H}_2$ ), fosfonoso ( $-\text{PO}_2\text{H}_2$ ) y fenólico ( $-\text{OH}$ ), tienen curvas de titulación bastantes similares a las curvas de ácidos solubles, de ahí que las constantes  $p^{\text{K}}$  pueden ser calculadas con la relación :

$$p^{\text{H}} = p^{\text{K}} + \log \frac{\text{sal}}{\text{ácido}}$$

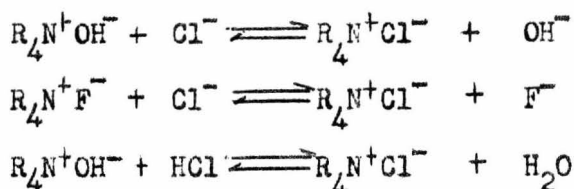
Las reacciones que tienen lugar y que obedecen al intercambio catiónico en las resinas son :



El intercambio de aniones llevado a cabo principalmente por resinas-tipo aminas tiene un equilibrio similar denotado por la reacción :



En el caso de las resinas aniónicas tipo - base-fuerte , el mecanismo puede describirse como :



Por lo que la reacción de intercambio en el equilibrio determina el grado en la curva de titulación.

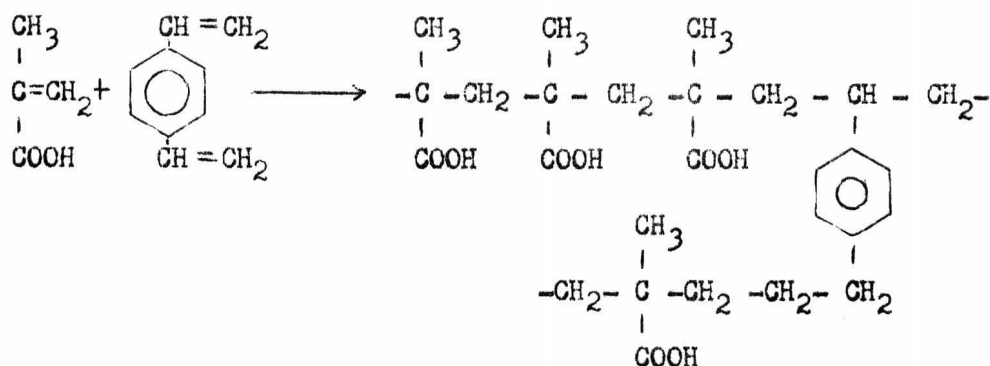
- - - - -

### III.- CLASIFICACION Y PREPARACION DE LAS RESINAS INTERCAMBIADORAS.

La clasificación se hace según el grupo funcional que esté unido al material de intercambio.

#### a).- Intercambiadores de cationes débilmente ácidos.-

En este caso el grupo funcional es del tipo carboxilo (-COOH), su preparación se logra a base de diferentes materias como ; fenol, formaldehído, NaOH, etc. , aunque más directamente estas pueden ser preparadas por la copolimerización del ácido metacrílico, ó acrílico con divinil-benceno, según reacción :



Y se aplican principalmente para eliminar los cationes de soluciones básicas, la regeneración se hace por medio de HCl.

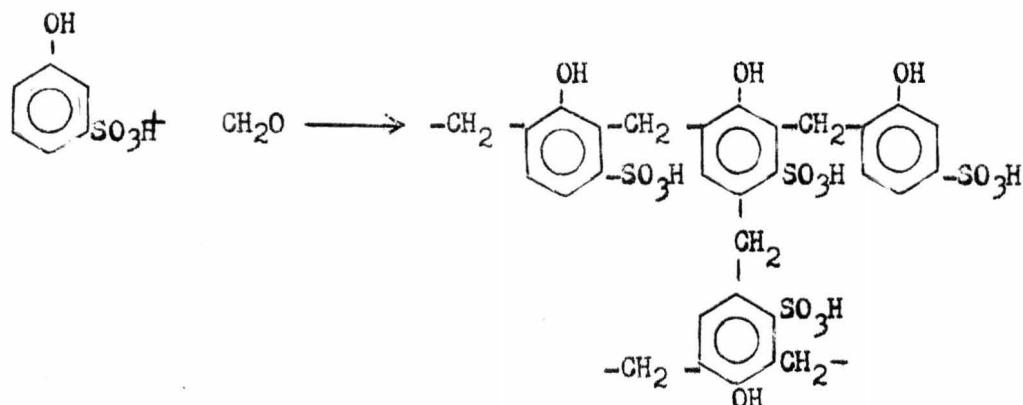
#### b).- Intercambiadores de cationes fuertemente ácidos.-

Los grupos funcionales de estos intercambiadores son del tipo ácido sulfónico (-SO<sub>3</sub>H) , su importancia en la industria es grande, debido a que se emplean casi siempre para el ablandamiento del agua. La regeneración se efectúa con una sal común, en el caso de ser intercambiadores Na<sup>+</sup> , ó con un ácido, al ser intercambiadores H<sup>+</sup> .

Esta resina puede ser preparada entre otras maneras por la reacción de condensación del ácido m-fenilsulfónico con el formaldehído.



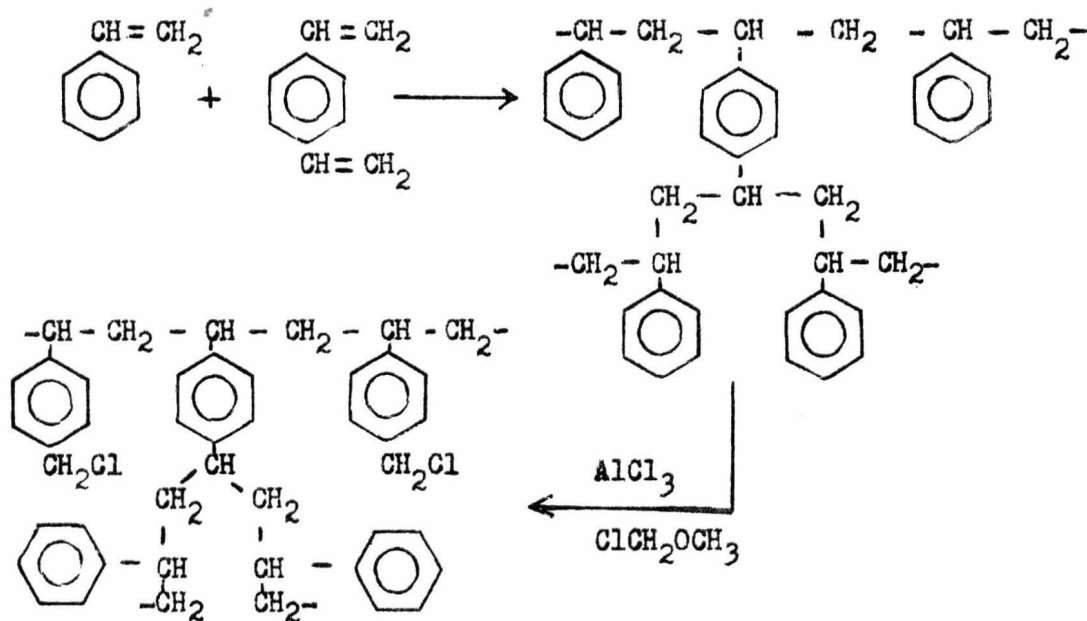
reacción :



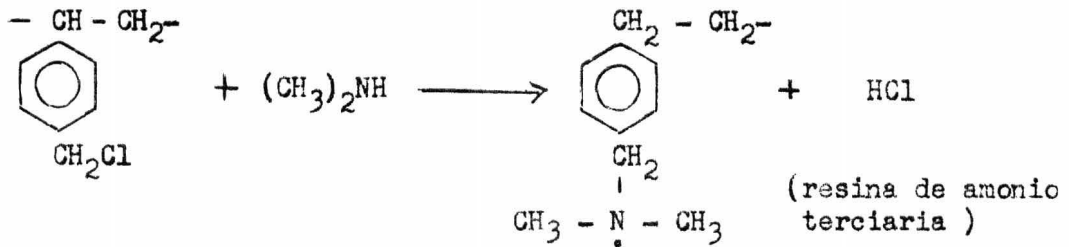
c).- Intercambiadores de aniones débilmente básicos - tipo aminas.-

Constituidos por grupos funcionales;  $-NH_2$  ,  $NH$  , y  $N$  , intercambian aniones tales como  $Cl^-$  ,  $SO_4$  , mientras que los aniones de ácidos débiles  $H_3SiO_4^-$  ó  $HCO_3^-$  , se intercambian muy poco debido a la ínfima basicidad que presentan estos intercambiadores. La regeneración tiene lugar con  $NaOH$  ,  $Na_2CO_3$  ,  $NH_4OH$  , por otro lado su campo de aplicación es reducido.

La preparación de estas resinas se puede hacer empleando diversas técnicas, una de ellas usa el copolímero del estireno y el divinil-benceno, el cual es clorometilado con eter-clorometil, llevando según Friedel-Crafts  $ZnCl_2$  ,  $AlCl_3$  , ó  $SnCl_4$  como catalizador .



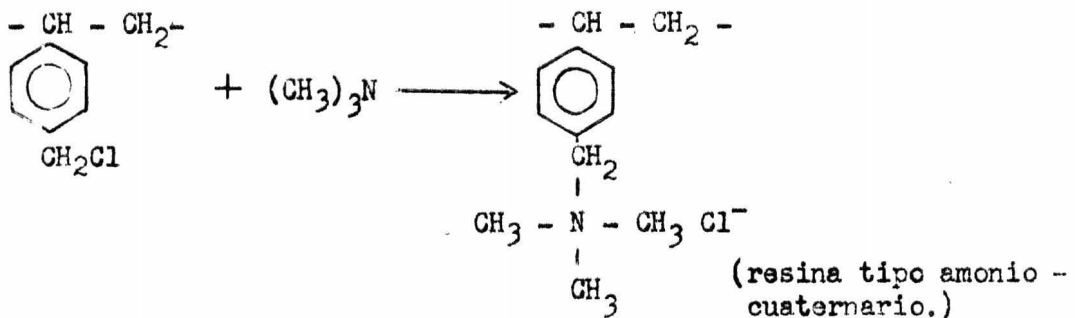
Teniendo el copolímero clorometilado, puede ser usado para preparar la resina de intercambio por aminación, adicionando el grupo funcional  $-NH_2$ ,  $=NH$ , ó  $\equiv N$ , . Por lo tanto si se toma una unidad del polímero formado y se trata con  $(CH_3)_2NH$ , la reacción será :



d).- Intercambiadores de aniones fuertemente básicos, - tipo amonios-cuaternarios.-

Su amplio rango de intercambio los hacen selectos para aniones de los ácidos minerales fuertes, además de utilizarse también para los aniones de ácidos minerales débiles, o sea  $H_3SiO_4^-$  y  $HCO_3^-$ .

Después de emplearse pueden regenerarse solamente con NaOH. Su preparación se logra al reaccionar una amina terciaria con un polímero halogenado deseado, por ejemplo, utilizando nuevamente el copolímero clorometilado:



Dentro de las características importantes de estas resinas destacan su carácter iónico, su estabilidad frente al calor y su solubilidad en el agua.

#### IV.- EMPLEO DE LOS INTERCAMBIADORES EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA.-

Considerando el análisis previo del agua que se desea tratar, es posible aplicar diferentes métodos, de los cuales se escoge el más indicado y se adapta a las condiciones que especifica el análisis.

- a).- Ablandamiento - por intercambio neutro.
- b).- Desmineralización parcial - (descarbonatación y - ablandamiento ).
- c).- Desmineralización total - ( con ó sin eliminación de sílice )
- d).- Desmineralización total - ( con ó sin eliminación de sílice, ), empleando un lecho mixto.

##### a).- Ablandamiento del agua - por intercambio neutro.-

La manera como funciona este método puede ser comprendido al observar la fig. # 2, donde los cationes que endurecen el agua, ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  principalmente ), son remplazados por iones de Na .

El intercambio se lleva a cabo por un intercambiador de cationes -- fuertemente ácido - (intercambiador de sodio ), por lo que la regeneración se realiza con NaCl .

##### b).- Desmineralización parcial - (descarbonatación y ablandamiento).-

Cuando el agua contiene una parte considerable de dureza en carbonatos, pueden emplearse dos métodos con el fin de descarbonatar y ablandar -- al mismo tiempo. El análisis de los dos procedimientos esta representado en las figuras #s 3 y 4 .

En la fig. # 3 el agua natural es dividida en dos corrientes, las -- cuales son dirigidas a dos intercambiadores de cationes fuertemente ácidos-- uno de ellos intercambiador de  $\text{Na}^+$  y el otro intercambiador de  $\text{H}^+$  . Al pasar el agua por el intercambiador de  $\text{Na}^+$  se elimina del agua la dureza, -- pero permanece el ión carbonato, por el lado del intercambiador de  $\text{H}^+$  sale el agua exenta en cationes excepto  $\text{H}^+$  y aniones de ácido libres.

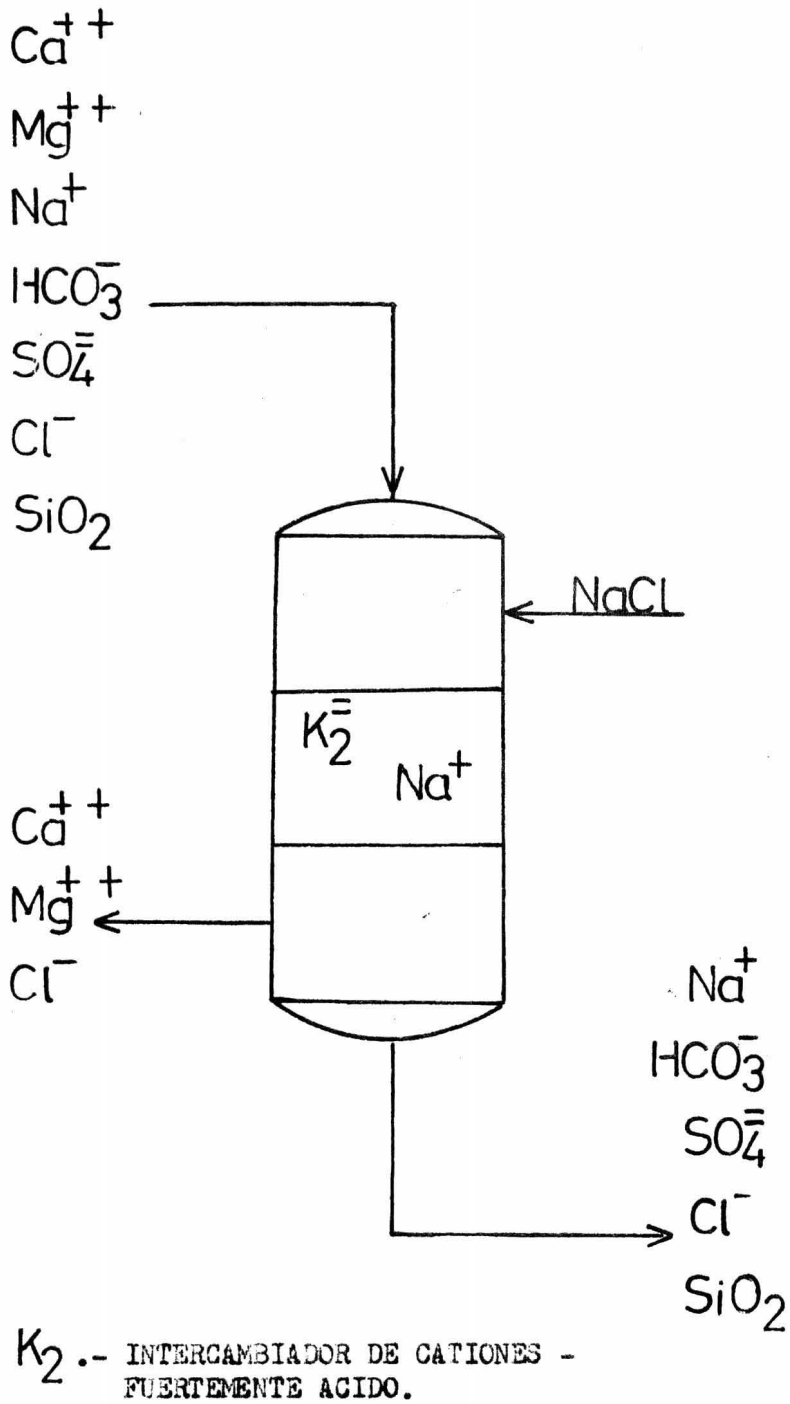


FIG. No. 2

$K_2$  .- INTERCAMBIADOR DE CATIONES  
FUERTEMENTE ACIDO.

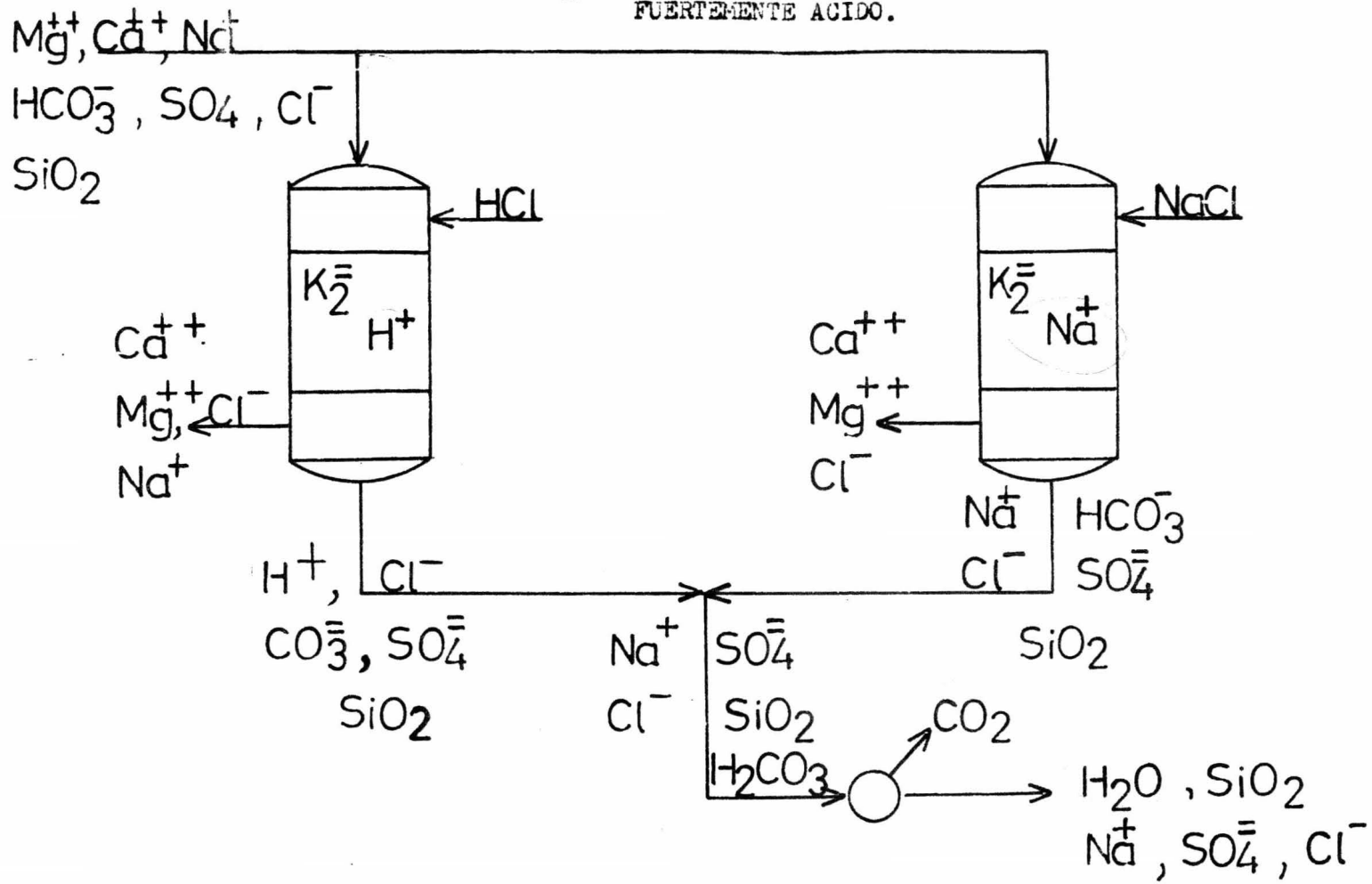
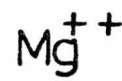
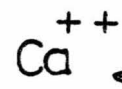
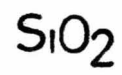
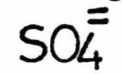
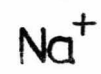
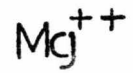
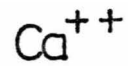


FIG. No. 3



$K_1$  .- INTERCAMBIADOR DE CATIONES DEBILMENTE ACIDO.

$K_2$  .- INTERCAMBIADOR DE CATIONES FUERTEMENTE ACIDO.

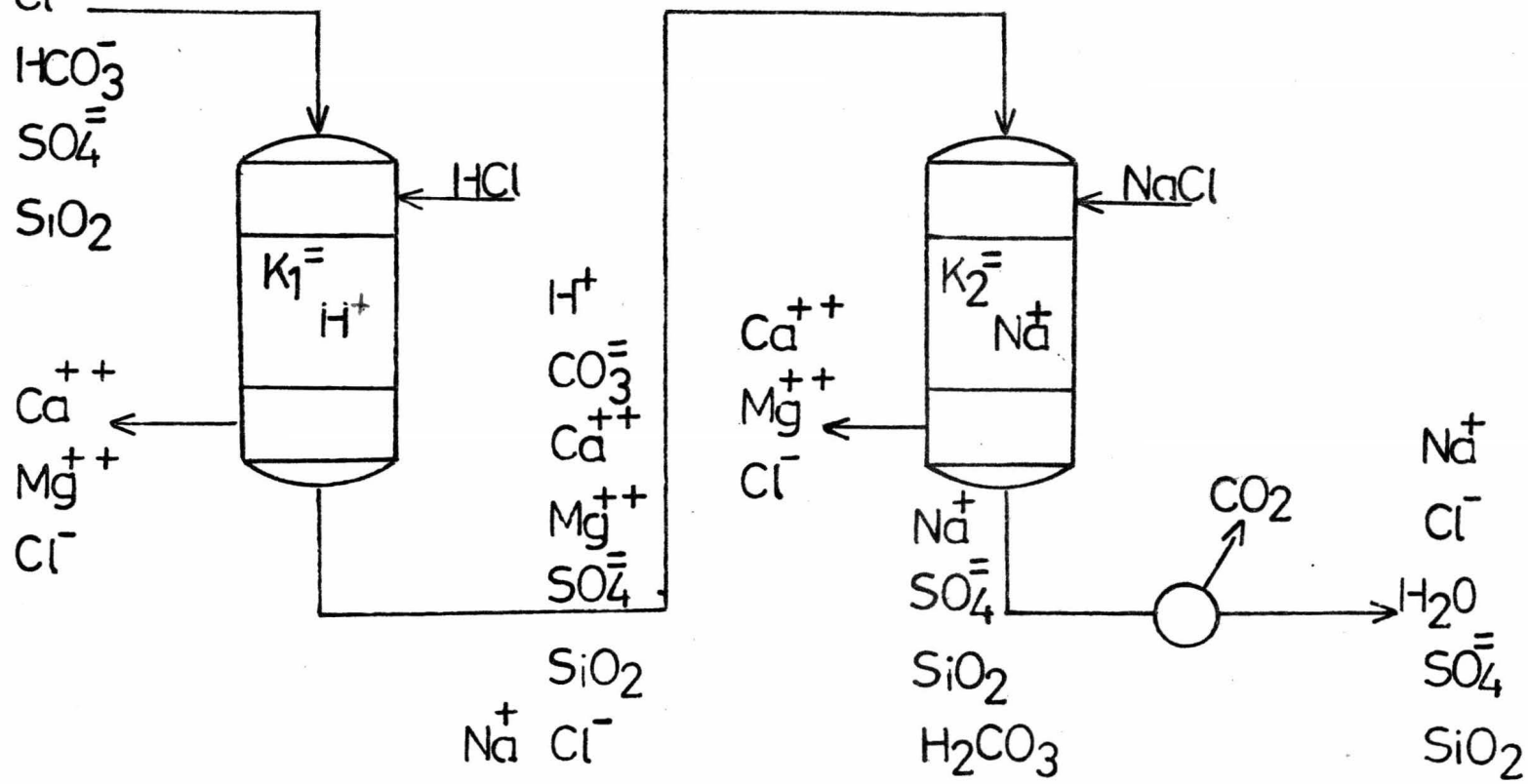


FIG. No. 4

Al ponerse en contacto ambas corrientes de salida el ión bicarbonato se neutraliza formando  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , finalmente se elimina el  $\text{CO}_2$  por aereación, y se obtiene una agua blanda neutra, cuyo contenido de sal es reducido a una cantidad igual al contenido de dureza de carbonatos del agua natural.

Al utilizar dos intercambiadores de cationes conectados en serie -uno débil y el otro fuertemente ácido - (fig. # 4), se logra el mismo objetivo que en el procedimiento de la fig. # 3. El agua natural es enviada primero a un intercambiador  $\text{H}^+$  - (débilmente ácido), con el que se elimina nada más la dureza de carbonatos, el agua al salir de este intercambiador, lleva -- ácido carbónico libre, pero no ácidos minerales libres. Cuando esta agua pasa por el intercambiador  $\text{Na}^+$  - (fuertemente ácido), la dureza restante desaparece. El paso final para este método consiste en separar el ácido carbónico, el cual como se indicó se descompone en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , eliminándose el  $\text{CO}_2$  por aereación.

c).- Desmineralización total -(con ó sin eliminación de sílice).-

Las exigencias en un gran número de instalaciones industriales es - efectuar una desmineralización total con eliminación de sílice, sin embargo existe un procedimiento en donde no se elimina la sílice, como el que se muestra en la fig. # 5, en donde el agua natural es introducida primero a - un intercambiador de cationes fuertemente ácido, produciéndose ácidos minerales que son eliminados por un intercambiador de aniones débilmente básico colocado en serie con el anterior.

El agua que se obtiene, aún contiene ácido carbónico y ácido silícico pudiéndose eliminar el  $\text{CO}_2$  en un separador.

Para tener la seguridad de que el agua obtenida es neutra se prevé - un filtro, el cual esta constituido de una materia intercambiadora débilmente ácida.

Ca<sup>++</sup>  
Mg<sup>++</sup>  
Na<sup>+</sup>

K<sub>2</sub> .- INTERCAMBIADOR DE CATIONES FUERTEMENTE ACIDO.  
A<sub>1</sub> .- INTERCAMBIADOR DE ANIONES DEBILMENTE BASICO.  
P .- FILTRO.

Cl<sup>-</sup>  
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>  
SO<sub>4</sub><sup>=</sup>  
SiO<sub>2</sub>

Ca<sup>++</sup>  
Mg<sup>++</sup>  
Na<sup>+</sup>  
Cl<sup>-</sup>

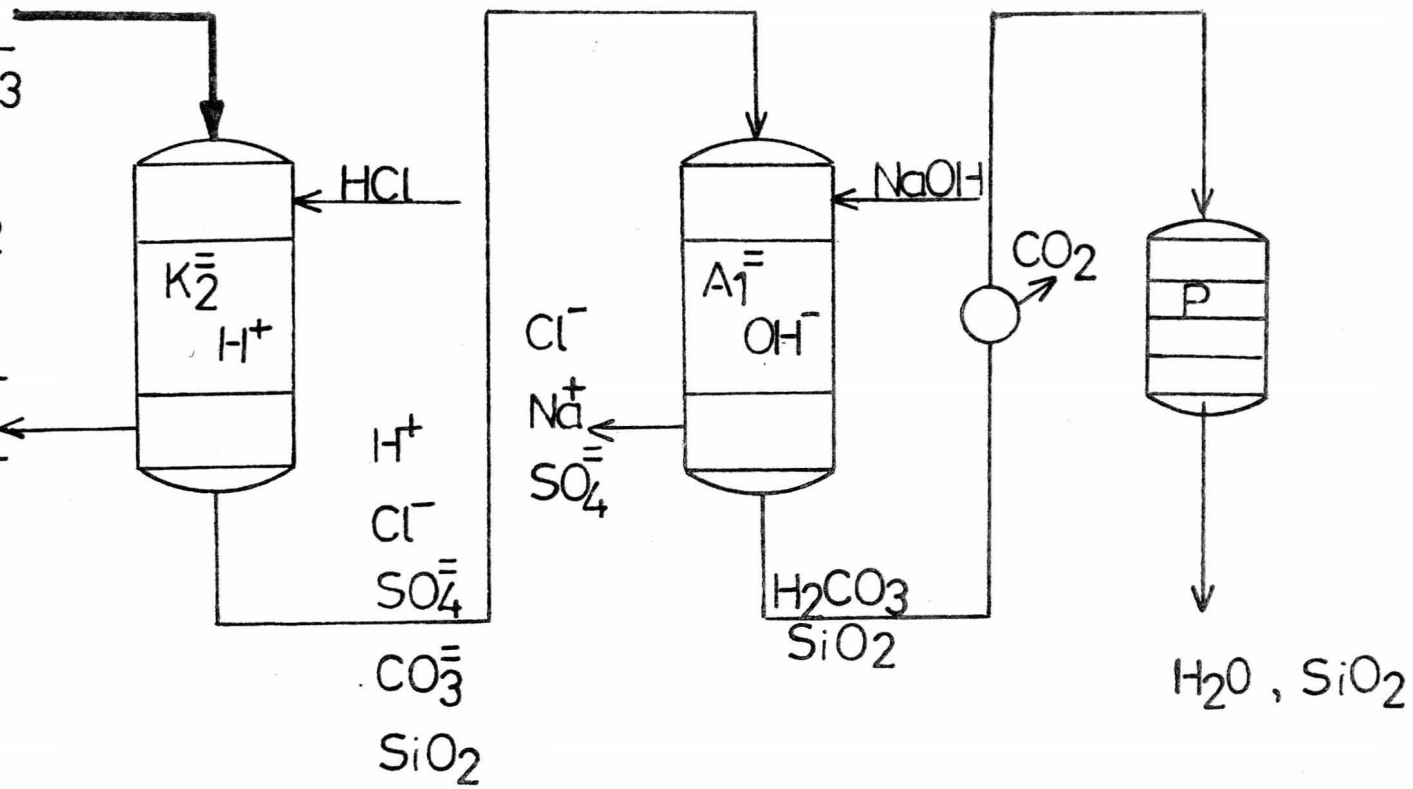


FIG. No. 5



$\text{Ca}^{++}$   
 $\text{Mg}^{++}$   
 $\text{HCO}_3^-$   
 $\text{SO}_4^-$   
 $\text{Na}^+$   
 $\text{Cl}^-$   
 $\text{SiO}_2$

$\text{Ca}^{++}$   
 $\text{Mg}^{++}$   
 $\text{Na}^+$   
 $\text{Cl}^-$

$\text{K}_2$  .- INTERCAMBIADOR DE CATIONES FUERTEMENTE ACIDO.  
 $\text{A}_1$  .- INTERCAMBIADOR DE ANIONES DEBILMENTE BASICO.  
 $\text{A}_2$  .- INTERCAMBIADOR DE ANIONES FUERTEMENTE BASICO.

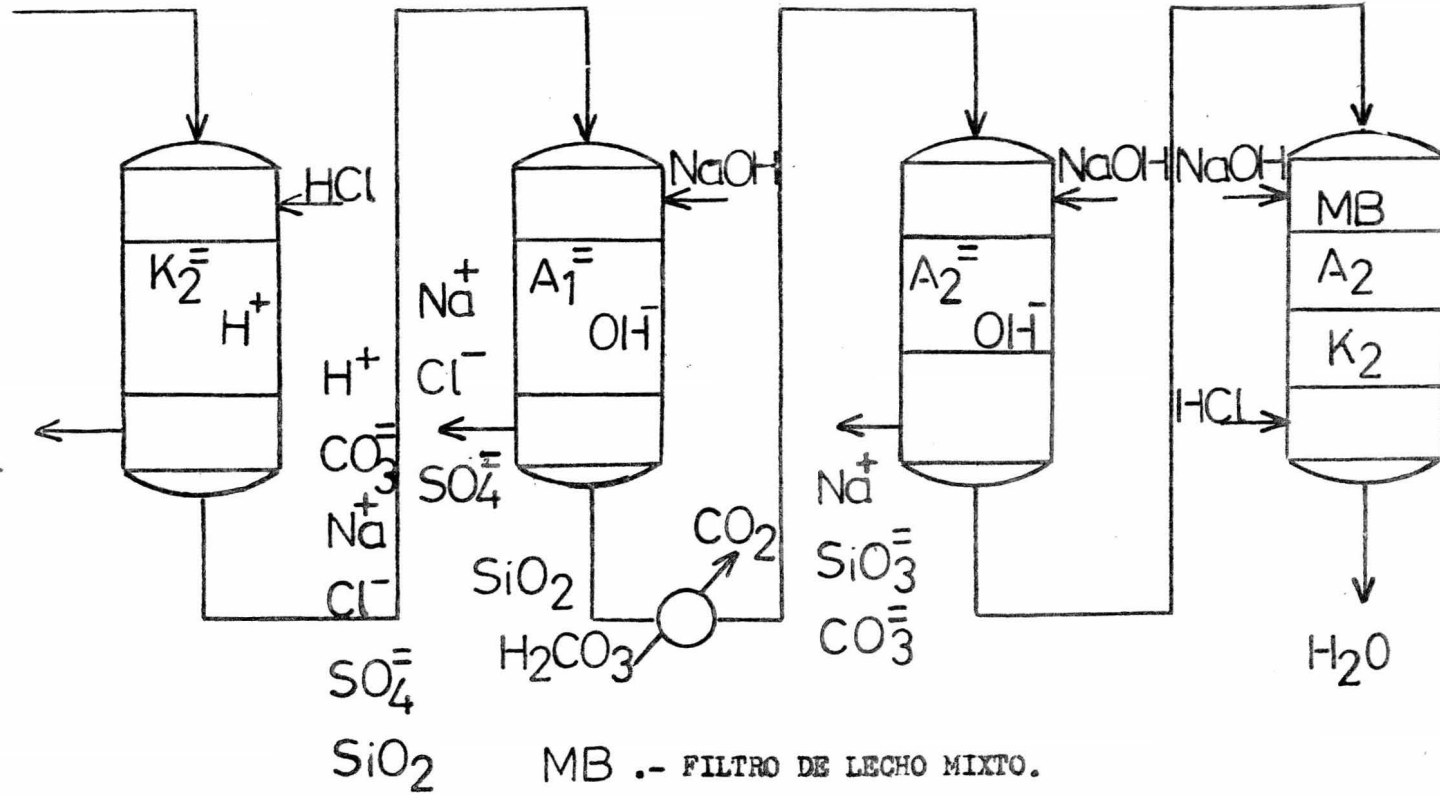


FIG. No 6

d).- Desmineralización total - (con ó sin eliminación de -  
sílice ) - empleando un lecho mixto.

La desmineralización total con eliminación de la sílice, mostrada en la fig. # 6 , se lleva a cabo al colocar en serie un intercambiador fuertemente ácido y tres intercambiadores de aniones, uno débilmente básico y dos más, fuertemente básicos.

En ocasiones existen procesos químicos que exigen una máxima pureza - en el agua, para estos casos se instala un filtro de lecho mixto al final - del procedimiento, con este filtro se consigue eliminar últimas trazas de - iones remanentes, además de equilibrarse el  $p^H$  .

- - - -

V.- APLICACION PRACTICA DE LOS INTERCAMBIADORES IONICOS EN EL CAMPO HIDROMETALURGICO.-

a).- Punto de partida.-

En esta parte se describe la elaboración de una técnica a nivel laboratorio para recuperar hierro, cobre, níquel y cobalto, de aguas residuales existentes en centrales hidrometalúrgicas, y la posibilidad de aplicar esta técnica a los planes de estudio del laboratorio de Ciencia Básica en su fase II, en forma complementaria.

El experimento puede efectuarse por cualquier alumno que tenga nociones elementales de análisis cualitativo así como conceptos inorgánicos básicos. Por otra parte mientras se persigue este objetivo no se descuidará en ningún momento el valor que tiene dentro del mismo trabajo práctico el tratamiento del agua usada en el proyecto.

b).- Antecedentes.-

Anualmente en los reportes que presentan los talleres de galvanizado, electroplatinado, industrias de decapado, así como la minería, se observa que en las operaciones de lavado se descargan aguas residuales con bastantes cationes útiles dentro de los cuales destacan el  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Zn}^{++}$ ,  $\text{Ni}^{++}$  y  $\text{Co}^{++}$

Estas aguas residuales son en la mayoría de los casos soluciones claras, aguas turbias ó líquidos que contienen partículas en suspensión y que al tratarse por intercambio iónico recobran los cationes mencionados además de purificarse el agua que los posee.

Es importante hacer notar que el empleo de las resinas de intercambio depende mucho de la naturaleza de la corriente de desecho y de la disponibilidad de los agentes de regeneración. Así por ejemplo, en la industria textil, el cobre es un elemento que vale la pena recuperarse de las aguas de lavado en la obtención del rayón donde se usa  $\text{CuSO}_4$  en cantidad apreciable, ya que al salir el agua de lavado esta contiene según análisis,  $\frac{0.08\text{g}}{1}$  de cobre.

En el lapso de la segunda guerra mundial los alemanes aplicaron la resina catiónica tipo fenol-ácido sulfónico para recuperar cobre de operaciones de lavado. En la actualidad en los países de Japón y Estados Unidos utilizan una resina tipo carboxílico en la misma operación.

El zinc es otro elemento que también se obtiene de la misma manera -- que el cobre, empleando resinas de intercambio catiónico tipo sulfónico.

La recuperación del níquel y cobalto por intercambio iónico resulta económicamente positivo debido a su valor y escasés, esto se justifica al analizar ciertas aguas residuales de operaciones hidrometalúrgicas, que contienen níquel y cobalto.

Otra característica determinada al analizar las aguas residuales que contienen cobalto y níquel, es el  $p^H$ , este no es muy ácido, por lo que se puede emplear con mucha eficacia una resina de intercambio catiónico tipo carboxilo, la ventaja de esta consiste en ser selectiva para estos cationes al igual que para cobre y zinc.

### c).- Descripción de técnicas aplicables.-

Existen tres técnicas básicas para efectuar el contacto de la solución problema y una resina de intercambio iónico.

- 1.- "Batch-wise" operación - operación por etapas.
- 2.- "Fluidized" ó "moving bed" - lecho fluido
- 3.- "Columnar" ó "Fixed bed" - lecho fijo u operación de columna.

Estos métodos tienen sus ventajas y desventajas, que se explicarán brevemente al mencionar su uso.

1.- Operación por etapas.- Su ejecución es simple, pero con resultados inefficientes. Consiste en poner en contacto la resina intercambiadora con la solución que se va a tratar, luego se espera que se formen dos fases que se separan por medio de filtración, decantación ó centrifugación.

Para calcular el intercambio logrado debe conocerse la constante de equilibrio en el sistema.

El problema consiste esencialmente en alcanzar el equilibrio para -- conocer esa constante, y esto requiere en varias ocasiones repetir la operación cuantas veces sea necesario para alcanzarlo. Así por ejemplo para el equilibrio :



se necesitan considerables contactos, mientras que para el equilibrio : -



sólo se requiere uno.

2.- Lecho fluido.- Esta técnica, aunque no esta perfeccionada para el empleo de resinas intercambiadoras, presenta entre sus principios y mecanismos, ventajas como :

- a).- Ser una operación continua.
- b).- Tener una composición constante en su corriente.
- c).- Emplear poca cantidad de resina.

La principal desventaja radica en su mecanismo, ya que en ensayos -- prácticos no se ha podido controlar como se quisiera, la circulación y -- distribución de partículas de resina en el líquido, debido a que estas partículas se muelen o se aplastan en la operación fluida.

3.- Lecho fijo u operación en columna.- Este método es el más versátil de los tres citados, sus ventajas sobre ellos lo hacen ser el más ampliamente usado.

La eficiencia en el laboratorio y operaciones industriales, se demuestra por buenos resultados obtenidos en el intercambio iónico.

d).- Exposición y símbolos en la técnica de columna - (industrialmente y de laboratorio.)

Exposición.- Las columnas donde se encuentra la resina de intercambio son cerradas casi en su totalidad, hechas de acero y resistentes a altas -

presiones, tienen además un dispositivo uniforme de alimentación y regeneración a través de toda la sección de la resina.

La protección de estas columnas contra la corrosión se hace por medio de un recubrimiento con pintura anticorrosiva ó con un plástico especial. - De ser muy continua la operación y manejarse en la regeneración ácidos y - bases fuertes, la protección se realiza con ebonita.

El tiempo que se necesita en el proceso de intercambio determina la - velocidad de filtración, a la vez que el volumen por unidad de tiempo del - líquido alimentado depende del volumen de la resina de intercambio.

El lavado y la regeneración tienen lugar cuando el intercambiador -- está cargado hasta el límite de su capacidad.

Símbolos.- Al efectuarse un intercambio en la columna los siguientes - símbolos y términos son usados :

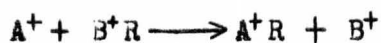
- Desarrollo .- Separación de las especies iónicas adsorbidas - dentro de distintas bandas por el paso de la - solución problema a través de la columna de -- intercambio iónico.
- Elución .- Proceso de extraer los iones adsorbidos.
- Eluante .- Solución empleada para la elución .
- Eluado .- Solución resultante de la elución .
- Influente .- Líquido que entra en la columna de intercambio
- Efluente .- Líquido que sale de la columna de intercambio.
- C .- Concentración del efluente.
- Co .- Concentración del influente.
- Variación de -  
la concen -  
tración .- Gráfica de  $C/Co$  x el tiempo ó volumen del -  
-efluente.
- % de filtra -  
ción .-  $C/Co$  x 100
- Regeneración.- Regresar la resina a su estado original .

Nivel de - regeneración	.- Cantidad de regenerante usado por unidad de volumen del intercambiador.
Nivel de - saturación	.- Cantidad de regenerante necesaria para saturar el intercambiador.
Capacidad de separación	.- Capacidad utilizada en el punto de separación a cualquier nivel de regeneración fijo
Capacidad de - saturación en- la columna.	.- Capacidad de la columna cuando $C = C_0$ .
Eficiencia	.- $\frac{\text{Nivel de regeneración}}{\text{Capacidad de separación}}$

Quando se quiere conocer el curso de la reacción, es necesario seguir a través de la columna al influente hasta la solución del efluente y después construir una gráfica con la relación  $C/C_0$  y volumen.

Aunque parece fácil ejecutarse, esta gráfica depende de factores como a).- nivel de regeneración, b).- naturaleza del equilibrio, c).- velocidad de flujo, d).- profundidad del lecho, e).- concentración y f).- tamaño de la partícula.

El curso de la operación se explica mediante un ejemplo teórico. Supóngese que se va estudiar el equilibrio en un intercambiador catiónico -- según la reacción :



Al inicio sólo hay en la columna cationes  $B^+$ , cuando la solución problema que tiene sólo cationes  $A^+$  es introducida a la columna, los cationes  $A^+$  son adsorbidos y remplazados por los cationes  $B^+$ , por lo que la constante de equilibrio es:

$$K_a = \frac{(B^+)(A^+ \text{ resina})}{(A^+)(B^+ \text{ resina})}$$

Mientras el influente se mueve hacia abajo en la columna, este llega a agotarse en cationes  $A^+$  y se enriquece en cationes  $B^+$ , si el equilibrio es favorable y la columna tiene una longitud adecuada el efluente tendrá solamente cationes  $B^+$ , hasta que la columna llegue a la saturación.

Por lo tanto, si la operación se realiza bajo condiciones de equilibrio y se controlan los factores negativos mencionados, la gráfica de la - variación de la concentración - (  $C/C_0$  y volumen ), es paralela a él eje- "y", y la filtración es buena. (fig. # 7).

Un comportamiento adverso de los factores señalados en el transcurso de la reacción da condiciones de no equilibrio, lo que ocasiona una disminución en la filtración del proceso - fig. # 7.

Dado que el punto principal de este capítulo es la recuperación del material adsorbido, es necesario examinar la parte correspondiente a la -- regeneración ó elución. La elución generalmente involucra el uso de una solución concentrada de un electrolito dado - (recuérdese la regeneración en la clasificación de los intercambiadores), para regenerar la resina con eficiencia en un tiempo corto.

Los iones adsorbidos son desplazados por la solución de elución según la concentración y volumen de esta. Varios tipos de curvas de regeneración ó elución son demostradas en la fig. # 8 .

Las curvas de la fig. # 8 demuestran el tipo de curva que brinda buenos resultados. Si se separa esta curva como se ve en la fig. # 9, y se -- fracciona en secciones A, B y C , la sección "A" corresponde a la porción inicial de la elución que indica el desplazamiento del líquido en el lecho de la resina. La sección "B", contiene la más grande porción de los iones - intercambiados que van a hacer eluidos. La sección "C" son las "colas" de - la elución.

De la fig. # 9, se deduce además que si las pendientes A-B y B-C, en las secciones de la curva son pronunciadas la eficiencia y la economía de - los regenerantes es positiva. Por otra parte el area bajo la curva determina la magnitud de filtración y los más favorables niveles de regeneración.

La interpretación práctica a todo lo expuestó es más clara con la información que presenta el procedimiento aplicado a un problema real y re--- suelto a nivel laboratorio.



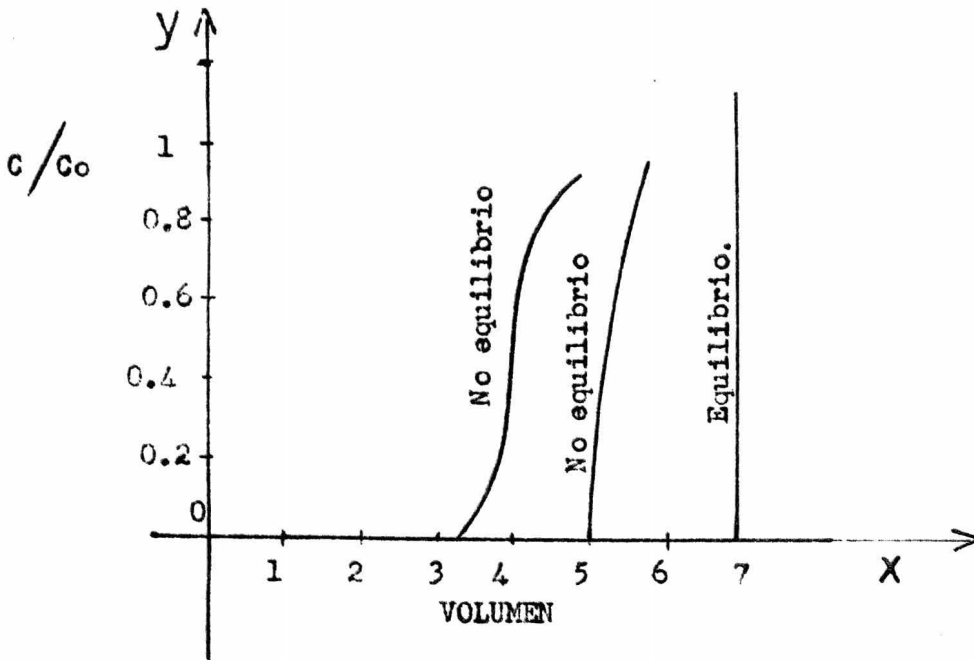


FIG. # 7.- VARIACION DE LA CONCENTRACION.

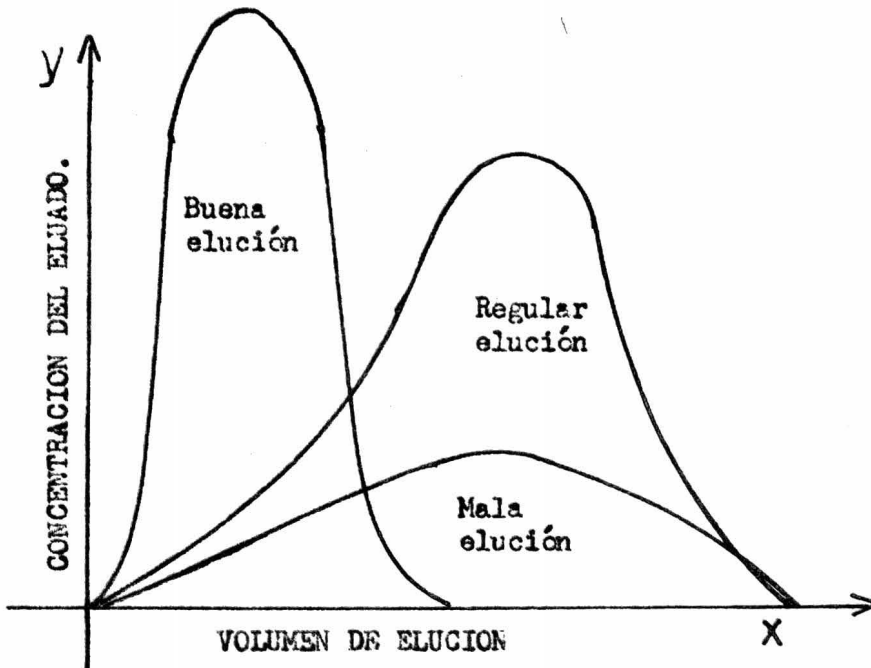


FIG. # 8.- VARIOS TIPOS DE CURVA.

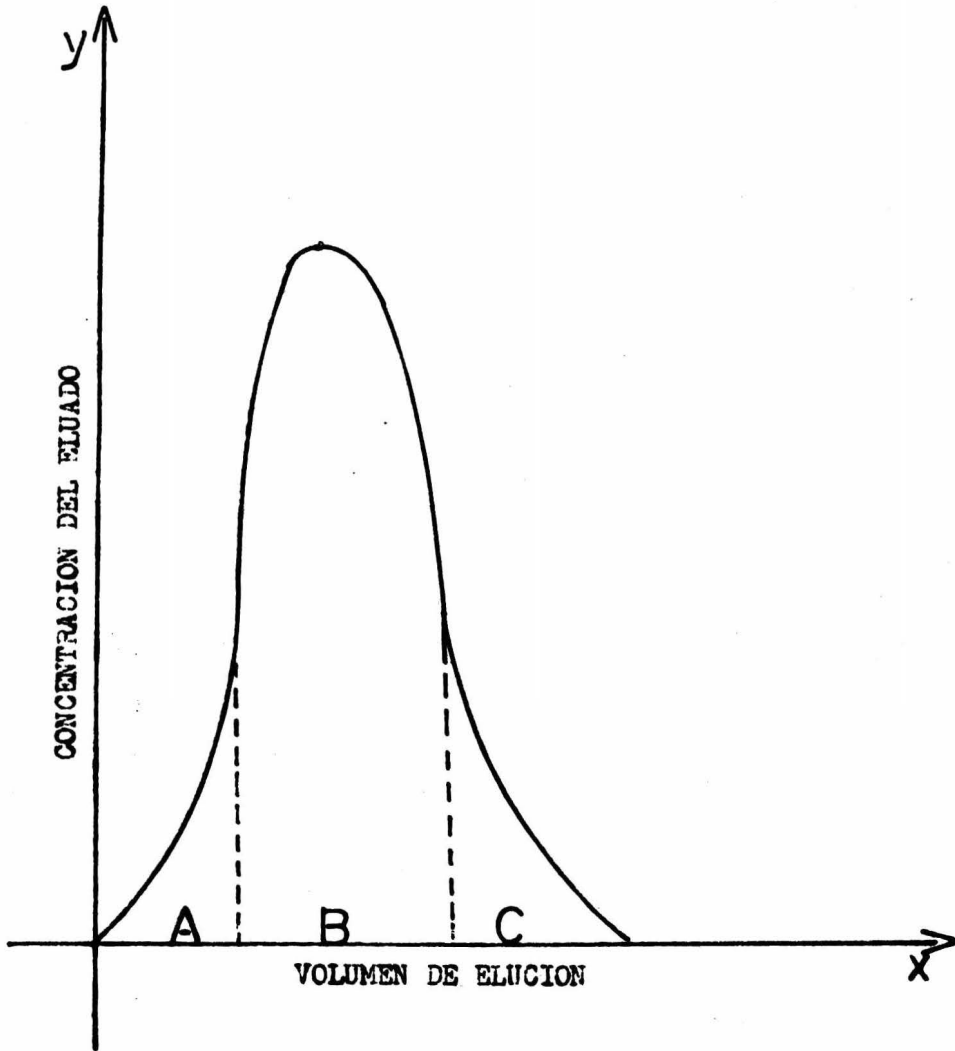


FIG. # 9 .- TIPICA CURVA DE ELUCION

e).- Resolución práctica a un problema de separación de cationes.-

Los cationes a separar son ,  $Fe^{+++}$  ,  $Co^{++}$  ,  $Ni^{++}$  y  $Cu^{++}$  , los cuales se convierten en cloruros complejos, (  $FeCl_4^-$  ,  $CoCl_4^-$  ,  $NiCl_4^-$  ,  $CuCl_4^-$  .) - al usar HCl concentrado.

Los cationes de los cloruros complejos al pasar a travez de la columna se adsorben en las zonas activas de la resina, que es de tipo sulfónico-fuertemente ácida. La elución se hace con HCl de diferentes concentraciones que al fluir por la columna disocia, primero los cloruros complejos menos estables y a medida que se baja la concentración del HCl lo hacen los más estables.

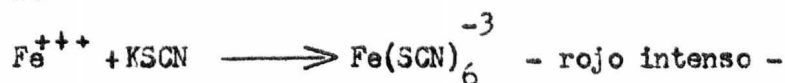
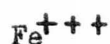
Procedimiento.- Se utiliza una bureta como columna de separación y -- se agrega HCl 9M , dejándose fluir hasta que no hay burbujas de aire por -- debajo de la llave, a la vez que queda una cantidad de 1 a 2 ml. de HCl -- arriba de la llave de la bureta. Luego se coloca una cantidad de fibra de -- vidrio igual al volumen de ácido que se encuentra en la bureta y en el mismo lugar que ocupa este, a fin de que esto sirva de tapón a la resina que -- es de un tamaño pequeño. Se pesan 20 g. de resina de intercambio Dowex -- 50 x 8 - ( nombre comercial ) con la que se hace una suspensión con HCl 9M se pasa a la bureta, observándose que quedé compacta.

Estando el equipo listo se prepara el eluente, HCl de diferentes -- concentraciones :

20 ml. de HCl 9M	Para $Ni^{++}$
30 ml. de HCl 4M	" $Co^{++}$
30 ml. de HCl 2.5M	" $Cu^{++}$
30 ml. de HCl 0.5M	" $Fe^{++}$

La preparación de estas concentraciones se basa en los resultados -- obtenidos por Kurt A. Kraus y George E. Moore, publicados en J. Am. Chem. - Soc. 75 1460 -(1953), según experimentos sobre constantes de elución y trabajos en la separación de esos elementos de transición.





% de filtración para el níquel .-

$$C_0 = 0.01 \text{ g/ml.}$$

$$C^* = 0.008 \text{ g/ml}$$

\*.- Es obtenida por comparación de soluciones de concentración conocida.

$$\therefore \% \text{ de filtración} = C/C_0 \times 100 = 80\%$$

La eficiencia practicamente queda determinada al hacer la comparación ya que partiendo de un 100% se obtiene el 80%, según ensayos prácticos. - Lo hecho para el  $\text{Ni}^{++}$ , se puede hacer para los demás cationes de la práctica.

f).- Otras resinas aplicables al mismo problema.-

Los ensayos por investigadores sobre la aplicación de otras resinas - intercambiadoras a el campo hidrometalúrgico, para recuperar los metales -- mencionados, se puede ampliar, tomándose en cuenta el tipo y el grupo intercambiador.

Así se presentan 10 resinas con su nombre comercial, que pueden ser - empleadas para el mismo problema. La diferencia de estas con respecto a la resina utilizada en el problema es poca.

1.- Amberlite IR - 112

9.- Wofatic KPS-200

2.- Chempro C-21

10.- Montecatini C-100

3.- " C-25

4.- IMAC C-12

Las 10 resinas son - fuertemente ácidas .

5.- Resex P

6.- Lewatit S-100

7.- Ionac C-240

8.- Permutit RS

VI .- PERSPECTIVAS.-

Con la aplicación de los intercambiadores iónicos al campo hidrometalúrgico, se presenta un nuevo uso complementario a su función original que es para el tratamiento del agua.

Sin embargo en la actualidad hay muchas exigencias en problemas múltiples que se precisan resolver especialmente con resinas intercambiadoras.

Se han efectuado, pruebas que revelan nuevas posibilidades y rendimientos en instalaciones y laboratorios, que se exponen en una forma somera mencionándose el ó los tipos intercambiadores elegidos.

USO		TIPO RESINA
1.- Desalinización del agua de mar	...	$K_2, A_2, A_1$
2.- Purificación del azúcar - (refinación) para la caña de azúcar, la remolacha y azúcar del maíz.	...	$A_1, A_2$
3.- Refinación de la glicerina	...	$A_2, A_1$
4.- Recuperación y purificación de uranio, en - aguas residuales lixiviadas.	...	$A_2$
5.- Recuperación de tierras raras y otros minerales.	...	$K_2, A_2$
6.- Recuperación del oro de las aguas minerales lixiviadas.	...	$A_2$
7.- Intercambio iónico en el proceso de flotación, para obtención de minerales.	...	$K_1, A_1$
8.- Ayuda en sistemas de catálisis para :		
a).- Reacciones de esterificación.		
b).- Producción de cumeno.		
c).- Reacciones de epoxidización.		
d).- Inversión de la sacarosa	...	$K_1-K_2, A_1, A_2$
9.- Aplicaciones farmacéuticas en la separación de aminoácidos.	...	$A_2, A_1, K_1$
10.- Aplicaciones en Química analítica, para :		
a).- Concentración de cationes que están en soluciones muy diluidas.		
b).- Fraccionación de iones que poseen propiedades analíticas similares.	...	$K_2, A_2$

11.- Aplicaciones médicas :

- a).- Las resinas como agentes terapéuticos ...
- b).- El uso de las resinas como adsorbentes -  
bacteriales en el tratamiento de algunas-  
infecciones internas.
- c).- El uso de las resinas de intercambio --  
iónico para sustraer, drogas iónicas, y -  
para algunos casos de envenenamiento. ....  $A_1-A_2-K_2$

12.- Las resinas de intercambio iónico en el campo  
de la tecnología de alimentos. ...  $A_1, A_2, K_2^-$

13.- Descontaminación de efluentes radioactivos ...  $K_2, A_2$  .

14.- Aplicación en el campo de la agricultura. ...  $K_2, A_2$

$K_1$  .- Intercambiador de cationes débilmente ácido.

$K_2$  .- Intercambiador de cationes fuertemente ácido.

$A_1$  .- Intercambiador de aniones débilmente básico.

$A_2$  .- Intercambiador de aniones fuertemente básico.

- - -

VII.- CONCLUSION.-

El desarrollo creciente de la tecnología, ha ocasionado ampliaciones en todos los sectores industriales, estas ampliaciones e innovaciones presentan difíciles problemas de abastecimiento de agua.

En los últimos años se ha puesto de manifiesto la necesidad de tratar el agua por métodos eficientes que restrinjan al máximo el consumo de agua y la pérdida de la misma.

Minuciosos estudios han dado por resultado en varias instalaciones -- ( fábrica de automóviles, industria de decapado, industria textil, etc.), -- no sólo la purificación del agua sino también la recuperación de metales -- que van en ella.

Estos estudios involucran el uso de intercambiadores de iones, los -- cuales también cumplen en otros campos industriales, tareas específicas.

Basándose en las experiencias prácticas, se exige hoy en día, una -- determinada calidad del agua, un flujo adecuado, una recuperación de sustan -- cias disueltas en ella, etc. . Por lo que conviene diseñar para quien así -- lo prefiere, un intercambiador de iones de acuerdo con el tiempo de funcio -- namiento deseado, haciendo que la regeneración se efectúe sólo en interva -- los fijos, y el volumen diseñado del intercambiador sea definido por la -- capacidad de la resina, así como también el caudal de agua natural y el -- contenido de iones a intercambiar.



B I B L I O G R A F I A . -

- 1.- Alfrey T., R. Fous , H.Morowetz y H. Rimer,  
J. Am. Chem. Soc., 74 , 438-41, (1952)
- 2.- Brulhart P. y G.U. Marsch , Revista Técnica Sulzer  
4, 245 , (1971).
- 3.- Hess G.G., Química General Experimental,  
201 , (1973)
- 4.- Kent J.A., Química Industrial  
2 , 19-45 , (1964)
- 5.- Kunnin J., Ión Exchange Resins,  
Editorial J. Wiley - (1960)
- 6.- Kraus K.A. y G. E. Moore, J. Am. Chem. Soc.,  
75 , 1460 , (1953)
- 7.- Mörgele B., Revista Técnica Sulzer ,  
4 , 211 , (1973)
- 8.- Muller O. , Revista Técnica Sulzer ,  
2 , 76 , (1974)
- 9.- Rosth A. , Revista Técnica Sulzer ,  
3 , 147 , (1974)
- 10.- Tylmana J., Revista Técnica Sulzer,  
4 , 115 , (1968)
- 11.- Weber J., Revista Técnica Sulzer ,  
3, 145 , (1973)
- 12.- Zmarsck R., Revista Técnica Sulzer,  
4, 219, (1972).

- - -