

2 Ej. No. 43



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

UTILIZACION DE RESINAS INTERCAMBIADORAS DE  
IONES EN EL TRATAMIENTO DE CONDENSADOS  
( PULIDO )



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

TESIS MANCOMUNADA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A N

JORGE RAYMUNDO LOPEZ LOPEZ  
JOSE FRANCISCO GONZALEZ MUÑOZ

MEXICO, D. F.

1984



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.

## I N D I C E

CAPITULO 1	INTRODUCCION	1
CAPITULO 2	GENERALIDADES	7
CAPITULO 3	TRATAMIENTO DE CONDENSADOS POR INTERCAMBIO IONICO	36
CAPITULO 4	DISEÑO Y CALCULO DE UNA UNIDAD PULIDORA	77
CAPITULO 5	CONCLUSIONES	102
CAPITULO 6	TABLAS Y GRAFICAS	105
CAPITULO 7	GLOSARIO Y BIBLIOGRAFIA	126

## C A P I T U L O 1

### I N T R O D U C C I O N .

El agua que utiliza cualquier industria contiene contaminantes químicos, independientemente de cual sea la fuente de su suministro: un pozo, un río o un lago.

Estos contaminantes se encuentran presentes en el agua en forma disuelta o como materia en suspensión. Si tales contaminantes no son eliminados antes de que el agua sea utilizada en los equipos que la requieren, puede causar serios problemas.

La Tabla 1.1 indica los contaminantes que pueden estar -- presentes, su naturaleza química, los problemas que ocasionan y los procedimientos que existen para su eliminación con sus limitaciones.

El definir cuales de estos contaminantes deben ser eliminados del agua y en que proporción, depende del uso que se vaya a dar a ésta última, por ejemplo la Tabla 1.2 indica las características recomendadas para el agua de alimentación a Calderas en función de la presión de operación.

De los procedimientos utilizados actualmente para la eliminación de los contaminantes indeseables, el de uso mas generalizado es el de Desmineralización por Intercambio Iónico, debido a su alta eficiencia y a sus bajos costos (10). Este procedimiento es un proceso de tipo químico y se describe en detalle en el Capítulo 2 del presente trabajo.

El proceso de desmineralización por intercambio iónico normalmente va precedido por un pretratamiento del agua, en el que

se elimina la materia en suspensión mediante la adición de -- reactivos que permiten el crecimiento de las partículas en sus -- suspensión, para su eliminación posterior por sedimentación.

En el proceso de desmineralización por intercambio iónico se eliminan las impurezas iónicas del agua, el bióxido de carbono, el sílice y el hierro, con el propósito de evitar corrosión e incrustaciones en los equipos que utilizan agua como ma -- teria prima. La corrosión y las incrustaciones provocan una -- pérdida de eficiencia y mayores gastos de operación, así como problemas constantes de funcionamiento en los equipos (3).

Las impurezas iónicas son principalmente:

- a) Cationes: calcio, magnesio, sodio y potasio.
- b) Aniones: carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos, fosfa -- tos, cloruros, sulfatos y nitratos.

En el presente trabajo enfocaremos nuestra atención en -- las características del agua que se requiere para la generación de vapor.

En estos sistemas de generación de vapor, debemos destacar lo siguiente (3):

a) Grandes volúmenes de agua son evaporados y condensados, éstos últimos a su vez tienen que recircularse y aunque -- son en esencia, agua destilada de alta pureza, siempre tienen contaminantes presentes. Estos contaminantes son generalmente trazas de electrolitos introducidos a través de alguna fuga en los condensadores; o bien, se deben al arrastre de especies me -- tálicas insolubles producto de la corrosión del equipo y las -- tuberías por las que se circula tanto el vapor como el condensado.

CONTAMINANTE	NATURALEZA QUIMICA	PROBLEMAS CAUSADOS	TIPO DE TRATAMIENTO	LIMITACIONES DEL TRATAMIENTO (conc.)
Dureza	Sales de Ca y Mg	Incrustación en equipos de intercambio de calor, calderas, tuberías, etc.	Suavización cal - carbonato en frío o caliente e intercambio iónico.	Cal carbonato: Frío 16 ppm Caliente 10 ppm Intercambio cero
Alcalinidad	Bicarbonato, carbonato e hidróxido.	Espuma y arrastre de sólidos en el vapor.	Suavización: cal carbonato, tratamiento ácido; desmineralización, ciclo hidrógeno, resina aniónica.	Cal carbonato: Caliente 35 ppm Frío 17 ppm Ciclo H <sub>2</sub> Aniónica cero 10 ppm
Acidez mineral	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HCl etc.	Corrosión	Neutralización con álcalis, intercambio iónico.	Intercambio: cero
Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Incrustación de sulfato de calcio.	Desmineralización	cero
Fierro y manganeso	Fe <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup> Mn <sup>2+</sup>	Depósitos en líneas de agua, calderas, etc.	Aereación, oxidación, coagulación, filtración, intercambio catiónico.	Aereación y filtración: 0.3 - 0.1 ppm Intercambio catiónico: cero

Tabla 1.1

CONTAMINANTE	NATURALEZA QUIMICA	PROBLEMAS CAUSADOS	TIPO DE TRATAMIENTO	LIMITACIONES DEL TRATAMIENTO (conc)
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	Corrosión	Aereación, deaeración, neutralización.	Desgasificador 5 ppm Deaeración cero
Sílice	SiO <sub>2</sub>	Incrustación en calderas y sistemas de enfriamiento. Incrustación en alabes de turbinas por vaporización de sílice en calderas de más de 42 kg/cm <sup>2</sup> .	Intercambio aniónico	cero

Belco Pollution Control Corporation, "Water and its impurities", New Jersey 1977.

Tabla 1.1 (Cont.)

Tabla 1.2

Calidad del agua de alimentación

Presión (psi)	Intervalo de SiO <sub>2</sub> (ppm)	Dureza total	Máximos (ppm)		
			Oxígeno	Fierro*	Cobre*
100	15-25	75.00	-	-	-
200	10-20	20.00	-	-	-
300	7.5-15	2.00	-	-	-
500	2.5-5.0	2.00	0.030	-	-
600	1.3-2.5	0.20	0.030	-	-
750	1.3-2.5	0.10	0.030	0.050	0.020
900	0.8-1.5	0.05	0.007	0.020	0.015
1000	0.2-0.3	0.05	0.007	0.020	0.015
1500	0.3 máx	0.00	0.005	0.010	0.010
2000	0.1 máx	0.00	0.005	0.010	0.010
2500	0.05 máx	0.00	0.003	0.003	0.002
3200	0.02 máx	0.00	0.002	0.002	0.001

\*En las calderas industriales de hoy en día, que manejan altas velocidades de transferencia de calor, estas concentraciones deben ser esencialmente cero.

Mc Coy J., "The Chemical Treatment of Boiler Water", Chemical Publishing Co. Inc. 1981



b) La recirculación de condensados en estos sistemas es parte fundamental de la economía de los mismos.

c) El agua que se requiere como repuesto para compensar las pérdidas en dichos sistemas debe suministrarse con la calidad adecuada, dependiendo ésto de las condiciones de generación del vapor. En la mayoría de los casos, ésta calidad solo puede lograrse si el efluente de la unidad desmineralizadora se trata nuevamente con una resina intercambiadora de iones para llevar las concentraciones de éstos a los valores que establecen los fabricantes de equipo y que se requieren para reducir al mínimo los problemas de incrustación que ya mencionamos. Este último sistema es lo que se conoce como "Unidad Pulidora".

Por lo anteriormente expuesto, resulta que en un sistema como los que mencionamos, la atención debe fijarse tanto en el tratamiento del agua de reposición, como en el condensado que se recircula.

Una "Unidad Pulidora", cubre éstos dos objetivos: normalmente trata el efluente de la desmineralizadora para reducir en éste la concentración de iones presentes al valor que se requiera de acuerdo al nivel de presión de generación del vapor, y si la concentración de iones en el condensado que se recircula llega a valores por encima de los permitidos, además de alimentarle el agua de reposición puede recibir el condensado del sistema con el mismo propósito.

En éste trabajo, describiremos algunos aspectos de la utilización de las resinas intercambiadoras de iones para el tratamiento de éstas aguas de reposición y de los condensados que se recirculan en estos sistemas de generación de vapor.

## C A P I T U L O 2

### G E N E R A L I D A D E S .

Antes de tratar todo lo relacionado con la utilización de las resinas intercambiadoras de iones en el tratamiento de los condensados, es necesario considerar algunas cuestiones generales sobre la naturaleza del Intercambio Iónico y las características de los materiales que se utilizan con éste propósito.

#### 2.1 EL INTERCAMBIO IONICO

Las sales disueltas en agua se disocian en iones cargados positivamente o cationes e iones cargados negativamente o aniones. Esto permite a la solución conducir la electricidad y por ello a las sustancias disueltas se les conoce como electrolitos. Estas soluciones se encuentran en un estado de electroneutralidad, lo que significa que el número de cargas positivas es igual al número de cargas negativas.

De la misma forma, los intercambiadores de iones contienen grupos cargados positivamente y grupos cargados negativamente en una condición de electroneutralidad. Estos intercambiadores difieren de las soluciones en que sólo una de las dos especies iónicas es móvil o mejor dicho, intercambiable (5). Por ejemplo, un intercambiador catiónico del tipo sulfónico, tiene un gran número de sitios intercambiadores inmóviles. Estos sitios son precisamente los radicales aniónicos  $\text{SO}_3^-$  en los que puede intercambiarse el catión  $\text{H}^+$  por otro catión móvil como el  $\text{Na}^+$  presente en alguna solución que se ponga en contacto con el material de intercambio. A éste tipo de reacción se le conoce como reacción de intercambio iónico. Un intercambiador aniónico similarmente tiene sitios catiónicos inmóviles a los

cuales se unen aniones  $\text{OH}^-$  (hidróxido) intercambiables. Cuando el intercambio iónico ocurre, los cationes ó los aniones en la solución son intercambiados por aquellos en el intercambiador, pero la solución y el intercambiador permanecen en una -- condición de electroneutralidad.

En el caso de los intercambiadores catiónicos, por ejemplo un catión calcio que tiene dos cargas positivas ( $\text{Ca}^{2+}$ ), debe reemplazar en el intercambiador a dos cationes hidrógeno, ya que cada uno de éstos, cuenta con una sola carga positiva --- ( $2 \text{H}^+$ ).

El intercambio iónico entre un intercambiador sólido y una solución que contenga electrolitos, ocurre sin que existan cambios estructurales en el material sólido (5); esto es, el sólido no pasa a la solución disolviéndose. Los iones en la solución se difunden rápidamente en la red molecular del intercambiador, alcanzando los sitios de intercambio donde ocurre éste.

Los iones del intercambiador se difunden igualmente del intercambiador a la solución.

El mecanismo de intercambio iónico puede describirse en 5 pasos:

- 1.- El ión en la solución se difunde a la superficie del sólido ó resina.
- 2.- El ión se difunde dentro de la estructura de la resina.
- 3.- Se produce el intercambio iónico.
- 4.- Los iones intercambiados emigran a la superficie de la resina.
- 5.- Finalmente, éstos últimos se difunden hacia la solución.

Los intercambiadores de iones utilizados en la desmineralización son resinas sintéticas, hechas por la polimerización --

de diversos compuestos orgánicos, entre ellos, los mas frecuentemente utilizados son el estireno y el divinilbenceno.

## 2.2 LOS MATERIALES DE INTERCAMBIO IONICO.

### 2.2.1 PROCESOS DE FABRICACION.

Su fabricación como se mencionó anteriormente, se realiza por la polimerización del estireno y del divinilbenceno. Estos compuestos forman un copolímero de cadena larga que contiene una mayor proporción de estireno (80-92%), que de divinilbenceno (8-20%), el cual actúa como "entrecruzador" uniendo -- las cadenas poliméricas largas (5).

En la fabricación de las resinas, el estireno y el divinilbenceno se mezclan, adicionando después un peróxido y un agente estabilizador. A ésta mezcla se le añade agua, agitando -- hasta que se dispersa en gotas de tamaño regular. Después se calienta hasta que la polimerización se inicia, regulándola -- por medio de la temperatura. Las gotas se hacen viscosas gradualmente y forman finalmente partículas esféricas (perlas). Posteriormente se continúa con el calentamiento hasta que la -- polimerización se completa.

Las perlas formadas constituyen la matriz de poliestireno. A partir de éstas, se forman los intercambiadores catiónicos ó aniónicos. Los primeros se obtienen por sulfonación, agregando ácido sulfúrico concentrado, que une a la red de hidrocarburos grupos funcionales ionizables  $\text{HSO}_3^-$ . Deben introducirse a la red de 8 a 10 grupos sulfónicos por cada 10 grupos bencénicos.

Para formar la mayoría de los grupos aniónicos, la matriz se clorometila y se amina (5).

Cuándo las partículas de resina están secas, los iones no pueden penetrar dentro de ellas, ya que las cadenas de polímero que las constituyen, se encuentran muy cerca unas de otras, pero cuándo éstas partículas se introducen en agua, se hinchan y sus cadenas se separan permitiendo la difusión de sus iones.

El grado de hinchamiento de las resinas, depende de su -- grado de entrecruzamiento. A mayor número de entrecruzamien-- tos, menor es la capacidad de retención de humedad y por tanto también menor será el hinchamiento. Desde el punto de vista - cinético, para una reacción rápida de intercambio, sería desea-- ble tener un escaso entrecruzamiento; pero ésto, resultaría en una resina con alto grado de hinchamiento y una estructura ge-- latinosa con propiedades hidráulicas pobres.

De lo anterior resulta que la fabricación de la resina es de suma importancia, ya que de la estructura formada depende-- rán varias de sus propiedades físicas como son: el grado de -- hinchamiento, el contenido de humedad y la porosidad entre o-- tras.

Es por ésto que el diseño de una resina intercambiadora - con fines comerciales, involucra la selección del número de en-- laces de forma que se favorezcan tanto el equilibrio cinético como las propiedades hidráulicas, que son factores fundamenta-- les en el diseño y selección de las resinas intercambiadoras - de iones.

### 2.2.2 TIPOS DE RESINAS.

Los intercambiadores catiónicos del tipo hidrógeno, utili-- zados en procesos de desmineralización, son ácidos pero ésta - acidez varía. Algunos intercambiadores son ácido fuerte conte-- niendo el grupo sulfónico  $\text{-HSO}_3^-$ , mientras que otros son débil-

mente ácidos, conteniendo el grupo carboxilo -COOH. Los intercambiadores catiónicos con grupos sulfónicos se conocen como intercambiadores fuertemente ácidos y los que tienen grupos --carboxilo como intercambiadores débilmente ácidos.

De igual forma existen intercambiadores aniónicos fuertemente básicos y débilmente básicos.

Debido a lo anterior, podemos clasificar los materiales de intercambio iónico de la forma siguiente (5):

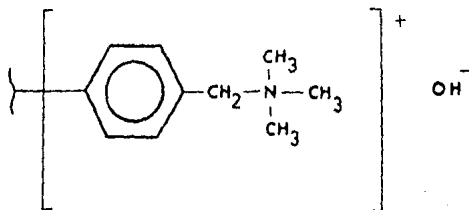
Intercambiadores catiónicos:

- a) Fuertemente ácidos (ó ácido fuerte)
- b) Débilmente ácidos (ó ácido débil)

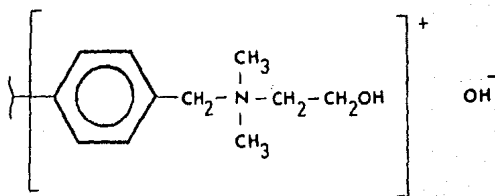
Intercambiadores Aniónicos:

- a) Fuertemente básicos (ó base fuerte)
- b) Débilmente básicos (ó base débil).

Existen a su vez, dos tipos de intercambiadores base fuerte (5): el tipo I con un grupo amino cuaternario:



y el tipo II con un grupo amino cuaternario ligeramente modificado:



En el intercambiador tipo II, uno de los grupos metilo, es substituido por un grupo etanol. Los intercambiadores tipo I y tipo II, difieren principalmente en su afinidad por los iones cloruro e hidroxilo además de su estabilidad química. El tipo I tiene menor capacidad de intercambio, pero mayor estabilidad que el tipo II.

Los intercambiadores aniónicos base débil, tienen un grupo funcional poliamínico, conteniendo aminas primarias  $-\text{NH}_2$ , aminas secundarias  $-\text{NHR}$ , y aminas terciarias  $-\text{NR}_2$ . Existen también resinas aniónicas con una basicidad intermedia que contienen una mezcla de grupos débiles y fuertes.

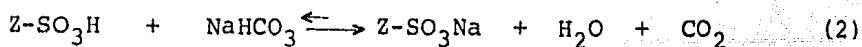
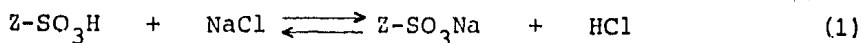
La acidez o basicidad de un intercambiador puede determinarse por titulación, midiéndose el cambio en el pH, cuando una suspensión del intercambiador se neutraliza mediante la adición de un álcali ó un ácido según sea el caso. Si se trata de un intercambiador catiónico ácido fuerte, la lectura de pH se inicia alrededor del valor 1, y varía hasta el valor 12 a medida que se adiciona el álcali. En el caso de un intercambiador débilmente ácido, la lectura se inicia alrededor del valor 3, y se requiere mucho mayor cantidad de álcali para alcanzar el valor de 12. Tratándose de un intercambiador aniónico base fuerte, la lectura se inicia alrededor del valor 13 y cae

hasta el valor de 2 , a medida que se neutraliza con ácido; - mientras que si el intercambiador es débilmente básico, la -- lectura se inicia en el valor 8, y se requiere de mucho mayor cantidad de ácido para alcanzar el valor de 2.

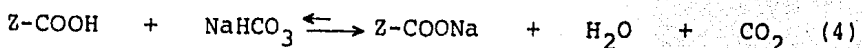
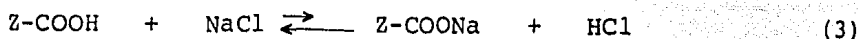
Cuándo hablamos de intercambiadores catiónicos ácido -- fuerte ó débil, nos referimos a su grado de ionización (ó di- sociación en iones). Lo mismo se aplica para los intercambia- dores aniónicos base fuerte ó débil.

Los intercambiadores ácido fuerte, fácilmente reaccionan con las sales convirtiéndolas en ácidos. Los intercambiadores ácido débil, no pueden hacer ésto operando eficientemente só- lo en aguas con un intervalo de pH mayor de 7; sin embargo, - en tales condiciones eliminan los cationes equivalentes a la alcalinidad presente y tienen una alta eficiencia en su rege- neración. La diferencia entre los dos tipos de intercambiado- res se muestra por la longitud de las flechas en las siguien- tes ecuaciones, escritas en forma molecular, donde Z es la ma- triz del intercambiador (5):

a) Intercambiador catiónico ácido fuerte:



b) Intercambiador catiónico ácido débil:





Todas éstas reacciones son reversibles como lo indican - las flechas, pero la longitud comparativa de las dos flechas, indica la tendencia en el desplazamiento de la reacción.

La diferencia entre las ecuaciones (1) y (3), y las ecuaciones (2) y (4) se debe a la diferente afinidad por el hidrógeno entre los dos tipos de intercambiadores.

Los materiales ácido fuerte, contienen grupos sulfónicos altamente ionizados que tienen poca afinidad por el ión hidrógeno, mientras que los materiales ácido débil contienen grupos carboxílicos débilmente ionizados con una gran afinidad - por éste.

En la ecuación (1), el sodio del NaCl desplaza fácilmente al hidrógeno del intercambiador y forma el ácido clorhídrico, mientras que en la ecuación (3) el sodio desplaza al hidrógeno con gran dificultad y el ácido clorhídrico que forma como un producto de reacción, se encuentra tan ionizado que - tiende a invertir el sentido de la reacción; sin embargo, -- cuándo el agua que va a ser desmineralizada contiene sales de ácidos débiles tales como bicarbonatos, ambos tipos de intercambiadores ceden rápidamente su hidrógeno por el sodio del bicarbonato (ecuaciones 2 y 4). Este ácido carbónico formado es tan débil que tiene escaso potencial para invertir el sentido de la reacción.

Por lo anterior, los intercambiadores catiónicos ácido - débil se utilizan en la desalcalinización ya que, en tales condiciones, tienen una gran capacidad de intercambio y requieren menor cantidad de regenerante ácido. Esta cantidad de regenerante, corresponde prácticamente a la cantidad estequiométrica sin necesitarse exceso de ácido.

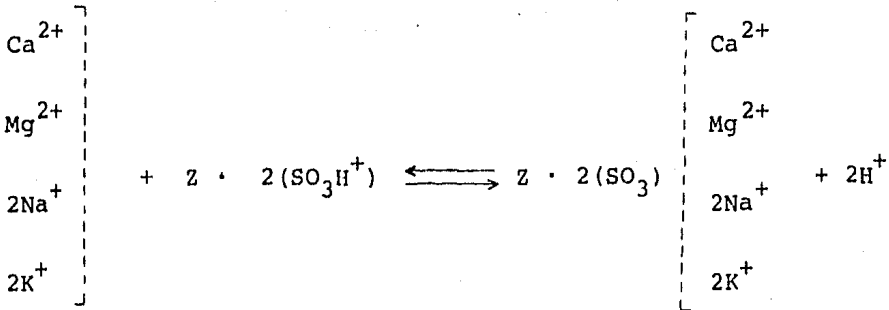
Cuándo el agua que se trata es bastante alcalina, normalmente se pone primero en contacto con una resina catiónica -- ácido débil, y después con una ácido fuerte; ó bien, con una mezcla de ambos materiales. Esto resulta no sólo en un ahorro de ácido, sino también ayuda a resolver el problema de -- neutralización de las aguas empleadas en la regeneración (6).

Los intercambiadores aniónicos base fuerte son altamente ionizados y pueden operar en todo el intervalo de pH, eliminando tanto a los ácidos fuertes altamente disociados (sulfúrico y clorhídrico), como a los ácidos débilmente disociados (carbónico y silícico). Los intercambiadores aniónicos base débil son altamente ionizados en forma de sales únicamente, y operan sólo cuando el pH se encuentra abajo de 7. Al ser débilmente ionizados en la forma de base libre, tienen poca capacidad de reacción con sales y sólo pueden eliminar a los -- ácidos fuertes pero no a los débiles. Sin embargo, su capacidad para eliminar ácidos fuertes es mucho mayor que la de los intercambiadores base fuerte, eliminando el doble por la misma cantidad de regenerante (6).

#### 2.2.2.1 INTERCAMBIADORES CATIONICOS ACIDO FUERTE.

Este tipo de resinas tienen un grupo funcional  $-SO_3H$ , -- que fácilmente disocia las sales convirtiéndolas en ácidos.

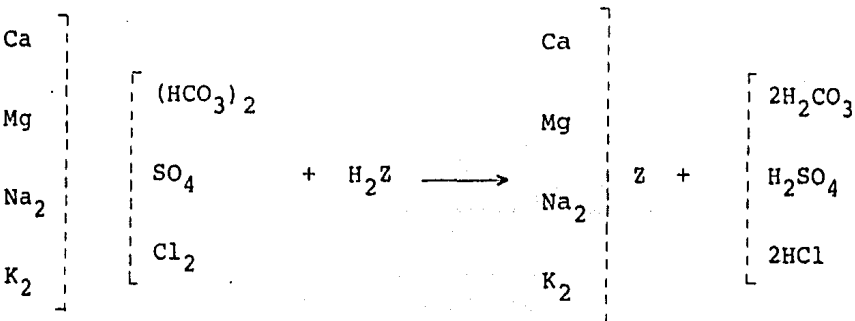
Los cationes que más comúnmente se encuentran en el agua son: calcio, magnesio, sodio y potasio. Estos son intercambiados por el ión hidrógeno ( $H^+$ ) de los intercambiadores catiónicos fuertes de acuerdo con la siguiente ecuación en forma iónica (5):



donde Z es la matriz del intercambiador.

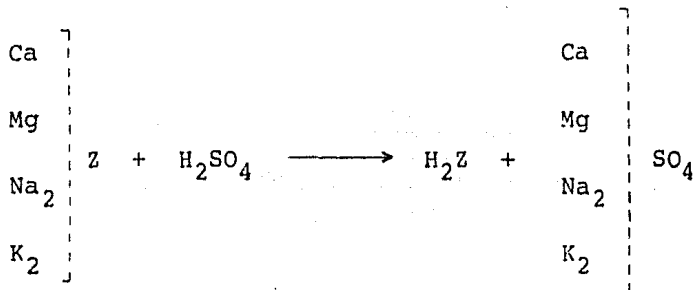
La reacción es reversible desplazándose a la derecha durante la fase de agotamiento del ciclo de intercambio cuando el agua está siendo tratada, y hacia la izquierda durante la fase de regeneración cuando el regenerante (ácido clorhídrico ó sulfúrico) elimina del intercambiador los cationes previamente tomados del agua, regresando al intercambiador a su forma hidrógeno.

La siguiente ecuación representa la fase de agotamiento, escrita en forma molecular (como si las sales no se disociaran) y muestra los cationes en combinación con los principales aniones: bicarbonatos, sulfatos y cloruros. El grupo sulfónico  $-\text{SO}_3\text{H}$ , se substituye por hidrógeno "H" para simplificar la ecuación.



Por consiguiente las sales en el agua se convierten a los ácidos correspondientes.

La regeneración con ácido sulfúrico se muestra en la siguiente ecuación, escrita también en forma molecular:



Todos los cationes se eliminan del intercambiador como sulfatos. Se puede escribir una ecuación similar para la regeneración con ácido clorhídrico; los cationes en éste caso se eliminan en forma de cloruros que son más solubles.

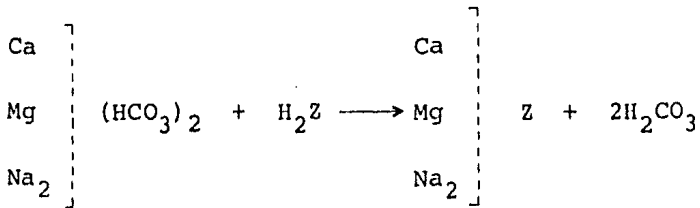
Después de la regeneración, el exceso de sales de calcio, magnesio y sodio se eliminan de la cama de resina, durante la operación de enjuague. Todas éstas operaciones se describen en detalle más adelante.

#### 2.2.2.2 INTERCAMBIADORES CATIONICOS ACIDO DEBIL,

Las resinas catiónicas débiles contienen un grupo funcional -COOH, que elimina únicamente la parte de los cationes totales, equivalentes en cantidad a la alcalinidad de bicarbonatos presentes.

La reacción de agotamiento, escrita en forma molecular, se muestra en la siguiente ecuación en donde el grupo ácido

carboxílico se reemplaza por hidrógeno "H" para simplificar - la ecuación y Z es la matriz del intercambiador (5):



En éste caso los bicarbonatos son convertidos a ácido carbonico.

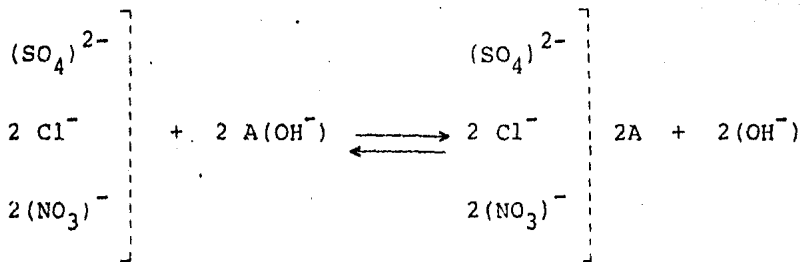
La reacción de regeneración es similar a la del intercambiador catiónico fuerte. El ácido sulfúrico y el clorhídrico pueden ser usados con éste propósito.

No es recomendable para ninguno de los dos intercambiadores ácidos, que la regeneración se efectúe con ácido nítrico, ya que éste se descompone, siendo explosivos los subproductos de dicha reacción (5).

### 2.2.2.3 INTERCAMBIADORES ANIONICOS BASE DEBIL.

Estos fueron los primeros intercambiadores aniónicos desarrollados. Este tipo de intercambiador, únicamente puede - eliminar los ácidos altamente disociados como el sulfúrico. - el nítrico y el clorhídrico y no, los débilmente disociados - como los ácidos carbónico y silfícico.

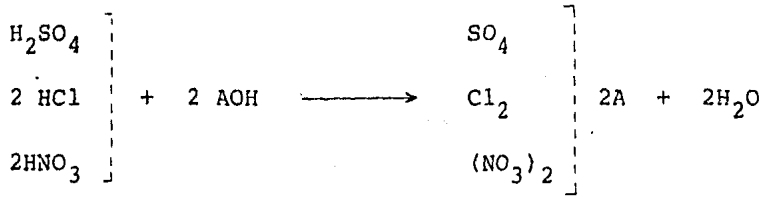
La siguiente ecuación iónica expresa el intercambio aniónico en éste tipo de resina (5):



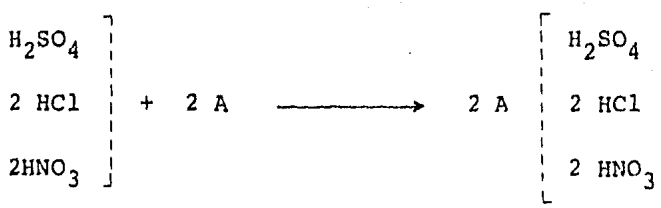
donde A es la matriz del intercambiador aniónico.

El agua desmineralizada de alta pureza, puede obtenerse al tratar el agua que se ha puesto en contacto con una resina catiónica con otra aniónica, consiguiéndose con éste hecho la neutralización de los ácidos presentes a partir de los -- grupos hidroxilo intercambiados al pasar por ésta última de acuerdo con la reacción anterior.

Esta reacción de agotamiento escrita en forma molecular puede expresarse como sigue:

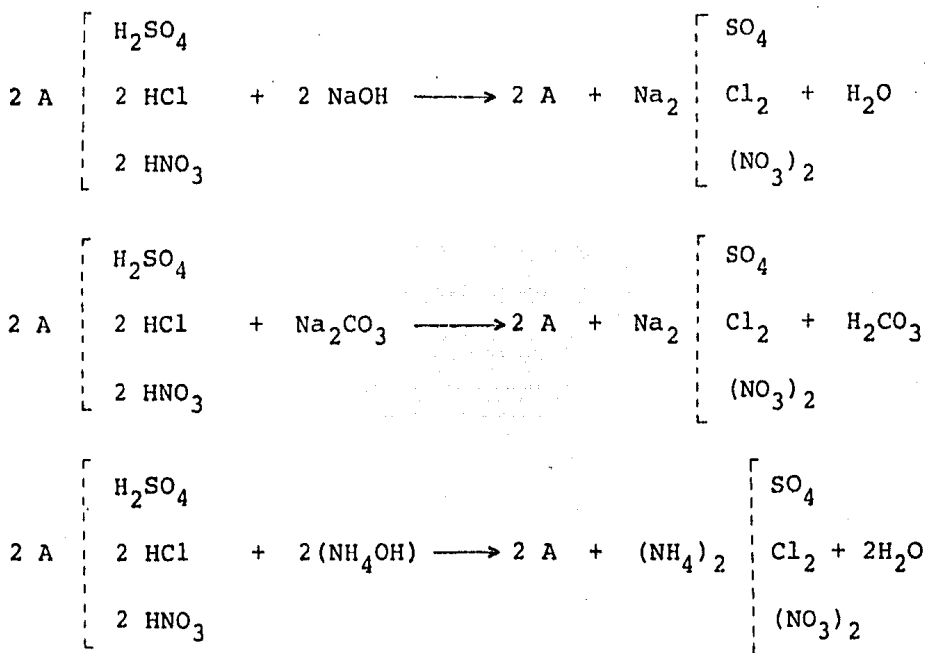


ó bien,



Los regenerantes para las resinas base débil, pueden ser - hidróxido de sodio, carbonato de sodio ó hidróxido de amonio.

Las reacciones para cada uno de éstos regenerantes, escritas en forma molecular, se muestran a continuación:



Las resinas base débil se utilizan en diversos procesos de desmineralización, a pesar de no ser adecuadas para la eliminación de los ácidos carbónico y silícico.

#### 2.2.2.4 INTERCAMBIADORES ANIONICOS BASE FUERTE

Estos intercambiadores se aplican, cuándo resulta conveniente considerar la eliminación de los ácidos débilmente disociados como es él silícico (6), que puede causar serios problemas de incrustación. Cabe señalar que éste tipo de resinas no sólo puede eliminar los ácidos débiles, sino que, reacciona también con los ácidos fuertes.

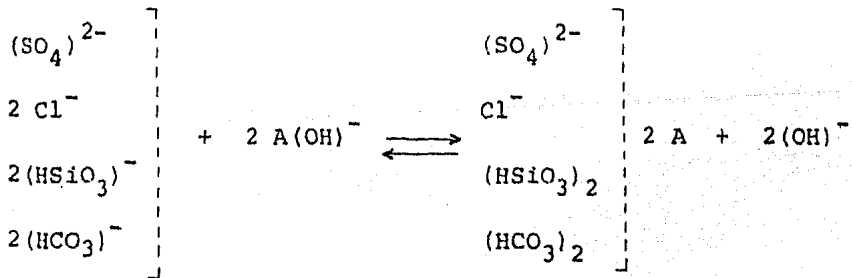
Como se mencionó anteriormente, existen dos tipos de resinas aniónicas fuertes: el tipo I con un grupo funcional amino cuaternario; y el tipo II, que tiene el mismo grupo en el que uno de los metilos ha sido sustituido por un grupo etilo.

Estos dos tipos, difieren en las siguientes propiedades:

En el tipo I, la basicidad es mayor y menor tanto la capacidad de intercambio como el rendimiento en la regeneración.

En el tipo II, la basicidad es menor pero la capacidad de intercambio y el rendimiento en la regeneración son más elevados, aunque, la fuga iónica en el ciclo es más fuerte.

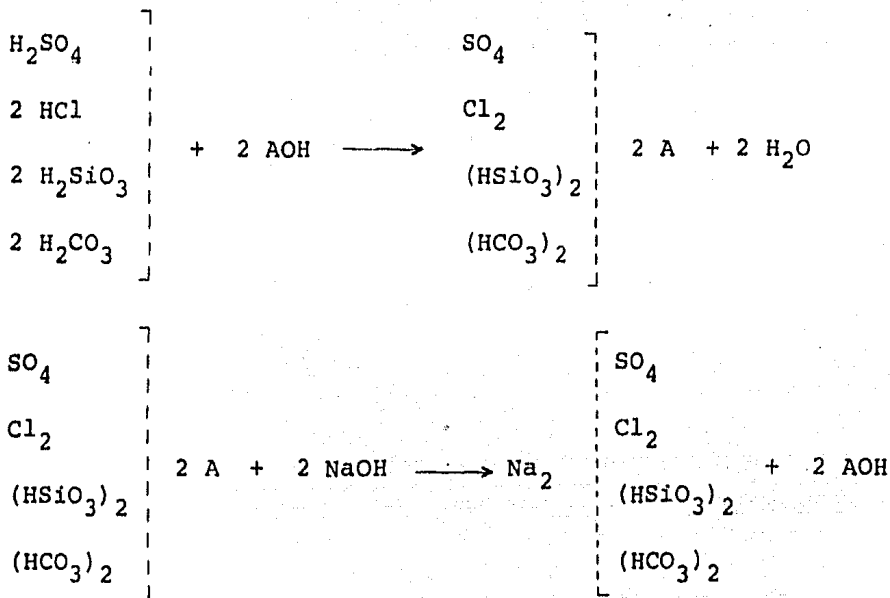
La reacción de los intercambiadores fuertemente básicos en forma iónica, puede ser escrita como sigue (5):



Sólo una base fuerte como la sosa cáustica, puede ser utilizada como regenerante.

Las reacciones de agotamiento y regeneración, en forma molecular, pueden escribirse como sigue:





### 2.2.2.5 RESINA NEUTRA.

Actualmente se ha introducido al mercado un nuevo tipo de resina que es inerte (3). Sus características principales son una nula actividad iónica y una densidad intermedia entre la de la resina aniónica y la de la catiónica. Su utilidad se describe en detalle en el capítulo siguiente.

### 2.3 EL EQUILIBRIO EN EL INTERCAMBIO IONICO.

Las reacciones que ocurren durante el intercambio iónico en los procesos de desmineralización son reversibles, es decir, en ellas existe un equilibrio (5). Este puede expresarse mediante las dos ecuaciones siguientes:

a) Para un intercambiador catiónico:



donde Z es la matriz del intercambiador y  $a^+$  y  $b^+$  son cationes.

b) Para un intercambiador aniónico:



donde A es la matriz del intercambiador y  $c^-$  y  $d^-$  son aniones.

En la ecuación (1a) el intercambiador cede el catión  $a^+$  unido a un sitio de intercambio por un catión  $b^+$ , que se encuentra en el agua ó en la solución, pero como las flechas lo indican, la reacción contraria puede también ocurrir, es decir, los cationes  $a^+$  en la solución, pueden reemplazar a los cationes  $b^+$  en el intercambiador, tal y como sucede en la regeneración. Esta misma reversibilidad se presenta en el intercambiador aniónico.

El sentido en el que se desplaza la reacción, depende -- principalmente de la afinidad de la resina por los diferentes iones en el agua ó en la solución; esto se conoce como "selectividad de la resina".

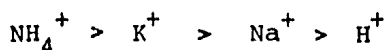
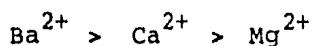
El equilibrio en el intercambio iónico, se expresa muy frecuentemente en términos de un coeficiente de selectividad K. Si la reacción en la ecuación (1a) alcanza el equilibrio, el valor de K para los cationes  $a^+$  y  $b^+$  se calcularía a partir de la siguiente ecuación (5):

$$K_{a^+b^+} = \frac{(\text{conc. de } a^+ \text{ en resina}) \times (\text{conc. de } b^+ \text{ en soln.})}{(\text{conc. de } b^+ \text{ en resina}) \times (\text{conc. de } a^+ \text{ en soln.})}$$

El coeficiente de selectividad depende de diversos factores externos, tales como la temperatura y la presión, pero --

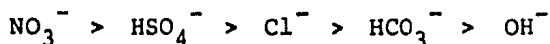
los principales son: la naturaleza y la valencia de los iones, el tipo de intercambiador, el grado de saturación de la resina y la concentración de los iones en el agua ó en la solución.

En general, a bajas concentraciones de iones en el agua, los iones divalentes se unen con más fuerza a la resina que los iones monovalentes, y los trivalentes más que los divalentes. Aún entre los iones de la misma valencia, las resinas tienen preferencias; por ejemplo, las siguientes dos series muestran la selectividad relativa de la mayoría de las resinas catiónicas ácido fuerte con respecto a los principales cationes:



Estos es, a bajas concentraciones, los intercambiadores catiónicos seleccionan los cationes de la mayor valencia como el calcio ó el magnesio en preferencia al sodio.

Las resinas aniónicas base fuerte tipo I, muestran la siguiente selectividad relativa para los aniones monovalentes principales:



#### 2.4 LA DESMINERALIZACION POR INTERCAMBIO IONICO.

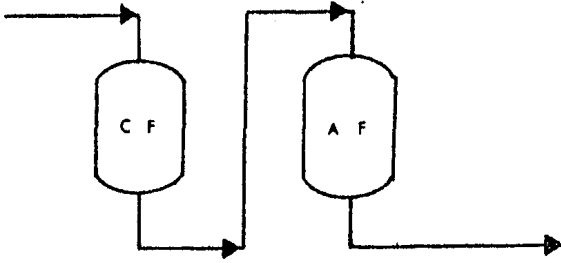
Por muchos años, el único proceso disponible para conseguir la eliminación de las sales disueltas en el agua, fué la

destilación (5). Con el desarrollo de los materiales de intercambio, se hizo posible la obtención de agua de alta pureza mediante un proceso que se realiza en dos etapas. La primera de ellas consiste en tratar el agua con un intercambiador catiónico, obteniéndose agua decationizada, en la que -- las sales originalmente disueltas se transforman en los ácidos correspondientes debido a la sustitución de los cationes por los iones hidrógeno en el intercambiador (tal y como se describe en las secciones 2.2.2.1 y 2.2.2.2). En la segunda etapa, el agua decationizada se trata con un intercambiador aniónico, en el que los aniones de los ácidos presentes, se intercambian por los iones hidróxido del intercambiador (véase sección 2.2.2.3 y 2.2.2.4) consiguiéndose de ésta manera la eliminación de las sales disueltas. A éste proceso se le dió el nombre de "Desmineralización o deionización" (6).

La descripción del proceso de desmineralización como un proceso de "dos etapas", se refiere al hecho de que en el -- proceso se involucran primero intercambiadores catiónicos y después intercambiadores aniónicos, aunque no necesariamente un solo intercambiador de cada tipo. La Figura 2,1, muestra 8 arreglos de equipo disponibles para la desmineralización - (5). La utilización de uno u otro sistema depende de la calidad del influente, de las características que se requieren en el efluente, y de consideraciones económicas. Es decir, debe seleccionarse el sistema que con un mínimo de costo en equipo y operación, satisfaga los requerimientos que se establezcan.

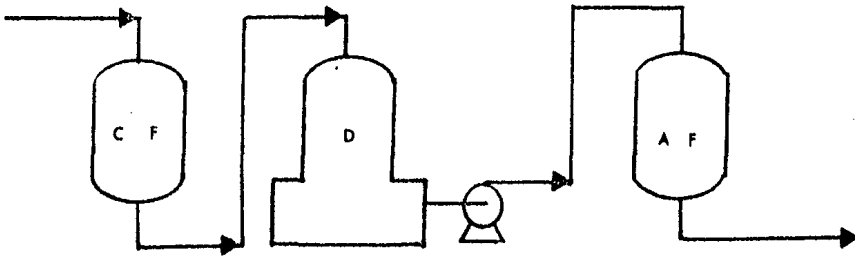
Por ejemplo, cuando el agua que se pretende desmineralizar es fuertemente alcalina, se puede conseguir una reducción en el consumo de regenerantes, si se instala un sistema con

ARREGLO 1

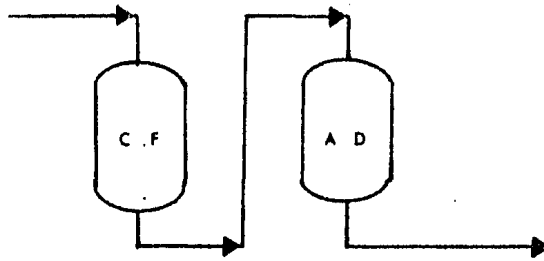


NOMENCLATURA:  
CF CATION FUERTE  
CD CATION DEBIL  
AF ANION FUERTE  
AD ANION DEBIL  
D DESGASIFICADOR

ARREGLO 2



ARREGLO 3



ARREGLO 4

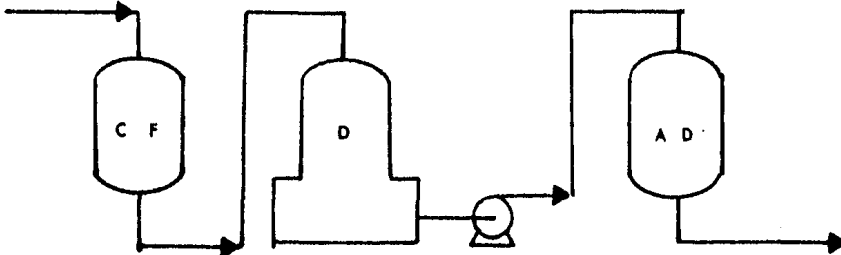
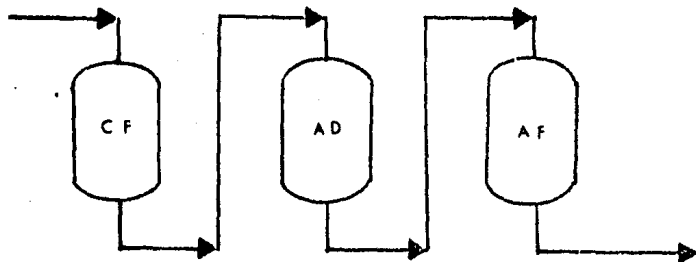
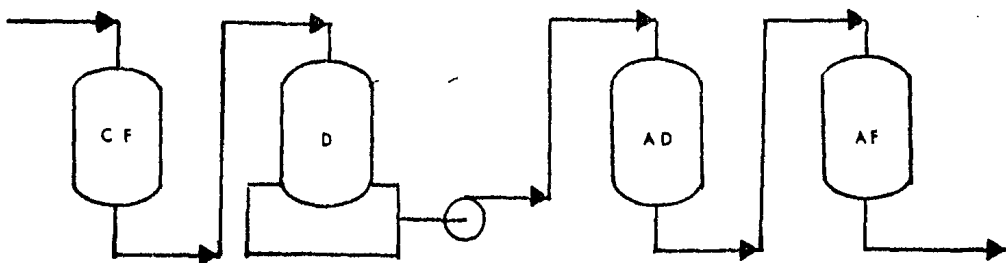


FIGURA 2.1

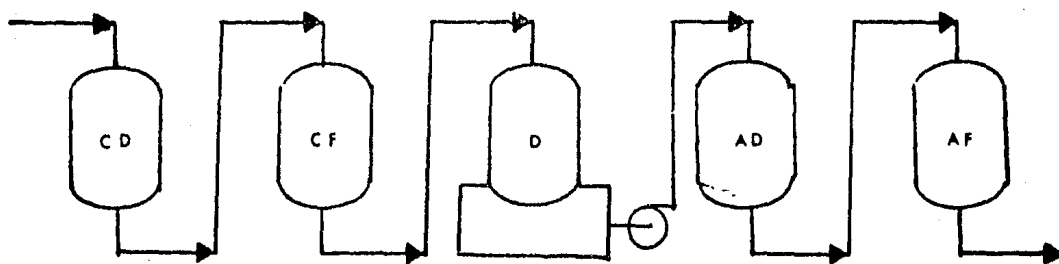
ARREGLO 5



ARREGLO 6



ARREGLO 7



ARREGLO 8

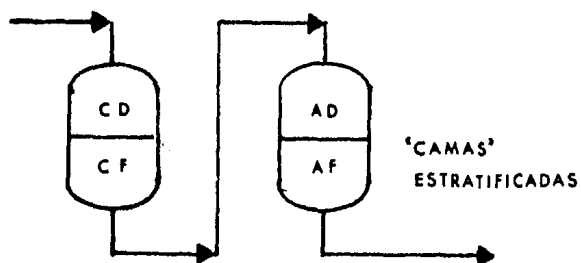


FIGURA 2.1 (CONT.)

un intercambiador catiónico débil, seguido de uno fuerte. - Esta reducción en el consumo de regenerante, se explicó en la sección 2.2.2.2.

Otro detalle importante, para los sistemas propuestos en la figura 2.1, es la utilización de columnas descarbonadoras o desgasificadoras en las que, se consigue la eliminación del bióxido de carbono producto de la descomposición del ácido carbónico obtenido en el efluente del catión débil, por medios mecánicos, ya sea vacío o aereación. La reducción del bióxido de carbono que se consigue por éstos medios mecánicos, puede ser más económica que su eliminación química empleando una resina intercambiadora; aunque para definir el uso del desgasificador, deberá compararse el costo de éste y de las bombas de acero inoxidable requeridas para el manejo del agua decationizada, contra la reducción en el volumen de resina y la disminución en el consumo de los regenerantes. También es bueno destacar, la utilización de unidades con una cama que resulte una mezcla de resinas catiónica y aniónica (fuertes ó débiles) es decir, una "cama mezclada". En estas unidades además de la reducción en el costo de la inversión y los costos de operación, se consigue un efluente con una concentración iónica mucho más baja que la que puede obtenerse de una operación con las dos resinas separadas (5). En éstas unidades "mezcladas", una vez que la resina se agota, se retrolava consiguiéndose con ésto la separación de las resinas en dos capas debido a la diferencia en densidades que existe entre ellas. Después de ésta separación hidráulica, se introducen los regenerantes en la forma en que se muestra en la figura 2.2. Una vez regeneradas las resinas, la cama se enjuaga y las resinas se mezclan nuevamente mediante la inyección de aire por el fondo.

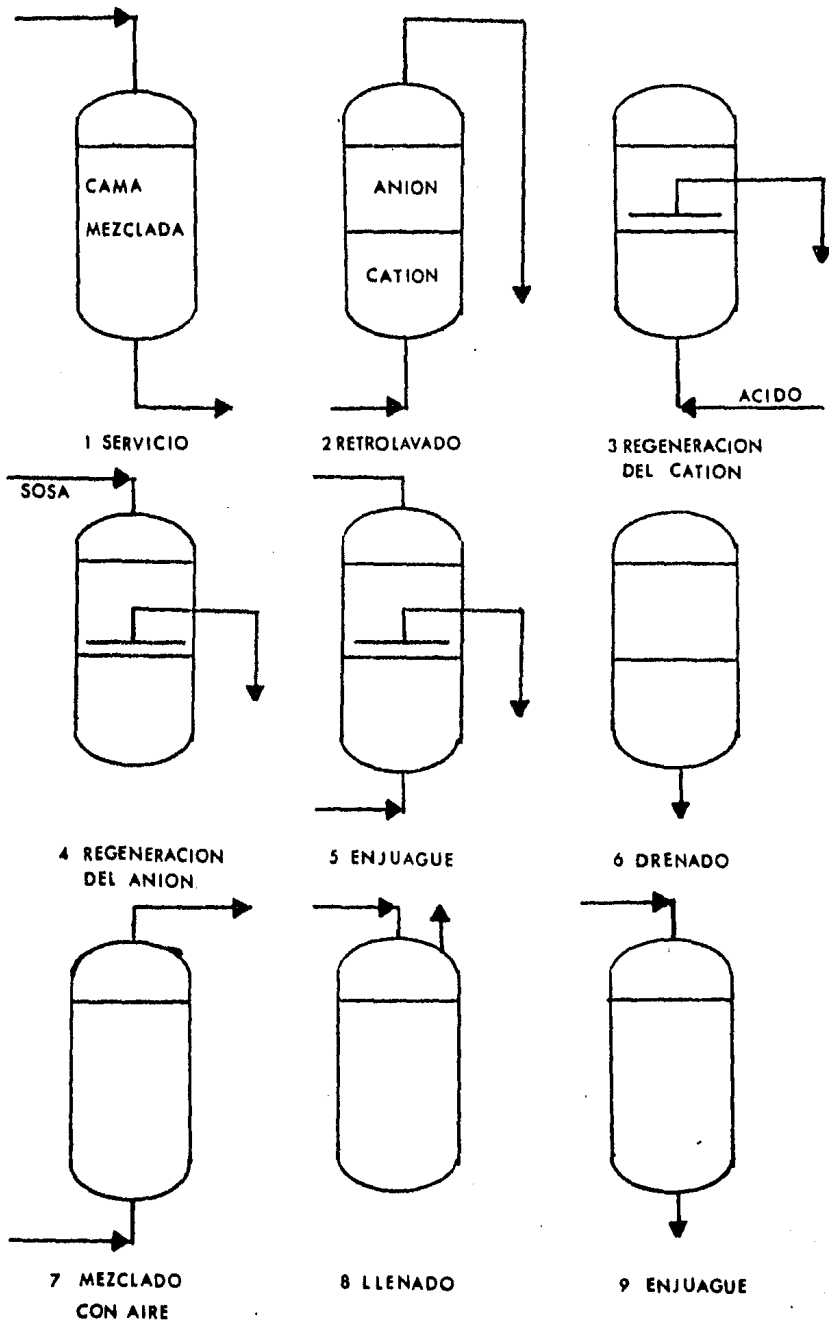


FIGURA 2.2



Resumiendo, la selección del sistema a utilizar depende de los siguientes factores:

- 1.- La necesidad de eliminación del sílice.
- 2.- La pureza requerida en el efluente.
- 3.- La composición en el influente.
- 4.- El tamaño ó capacidad de la planta.
- 5.- El costo de los regenerantes.

Considerando estos factores debe destacarse lo siguiente:

a) Si el agua que se trata se va a alimentar a un sistema de generación de vapor en el que la tolerancia para el sílice es pequeña, se requiere la utilización de una resina aniónica fuertemente básica para conseguir su eliminación.

b) La pureza que se requiere para el agua desmineralizada depende como ya se mencionó en el capítulo 1, del uso al que se vaya a destinar. Esta pureza normalmente se expresa en términos de la cantidad de electrolitos en partes por millón, o bien, como sólidos totales disueltos (STD). Estas cantidades normalmente son tan pequeñas que no pueden determinarse por análisis gravimétrico, pero sin embargo, pueden medirse como una resistencia ó conductancia específica del agua.

La Tabla 2.1 muestra los análisis típicos para el efluente en diferentes sistemas de desmineralización. De ésta tabla se deduce que el análisis requerido en el efluente es otro de los factores a considerar en la selección del sistema de desmineralización.

c) Con respecto a la composición del influente, al principio de ésta sección destacamos cual es su influencia en la selección del sistema. Antes que nada, éste análisis debe presentarse en forma de que permita definir las proporciones de sodio y alcalinidad, expresadas como porcentaje de los cationes y aniones totales y las proporciones de la acidez mine

T A B L A 2.1

CONCENTRACIONES ESPERADAS EN EL EFLUENTE DE DIFERENTES SISTEMAS  
DESMINERALIZADORES

	Sistema con 2 ó 3 camas de resina	Sistema con cuatro camas.	Cama mezclada	2 ó 3 camas y camas mezcladas.
Electrolitos (como sólidos totales) ppm	2.0 a 3.0	0.2 a 0.1	0.2 a 0.5	0.04 a 0.0
Sílice (SiO <sub>2</sub> ) ppm	0.02 a 0.1	a) 0.02 a 0.1 b) 0.01 a 0.05	0.02 a 0.1	a) 0.02 a 0.1 b) 0.01 a 0.0
Conductividad, mhos	10.0 a 15.0	1.0 a 5.0	0.5 a 1.25	0.1 a 0.2
Resistencia específica ohms-cm	67 000 a 100 000	200 000 a 1 000 000	800 000 a 2 000 000	4 000 000 a 10 000 000

Applebaum S. B., "Demíneralization by ion exchange", Academic Press 1968.

ral (sulfatos y cloruros) y el sílice expresadas como porción de los aniones totales intercambiables

Así, cuando se tienen altos porcentajes de sodio y bajos porcentajes de alcalinidad, se incrementa la fuga de cationes requiriéndose niveles (lb de regenerante por pie cúbico de resina) mayores de regenerante para mantener la fuga dentro de los límites que se quiera. Si estos niveles de regeneración son excesivos, puede recomendarse el uso de un sistema con -- cuatro lechos ó dos lechos combinados con un lecho mixto. -- Las aguas con altos porcentajes de alcalinidad, hacen que el uso de un catión débil, resulte económico, dado que se reduce el consumo de ácido. En éste tipo de aguas también resulta - conveniente considerar la utilización de un descarbonatador.

En caso de aguas con altos porcentajes de sílice, lo conveniente es considerar la utilización de una resina aniónica fuerte. Si el porcentaje de acidez mineral es alto, se justifica el empleo de una resina aniónica débil, lo que disminuye también el consumo de sosa.

d) En lo referente al tamaño de la planta, podemos indicar que mientras más grande sea ésta, mayor será el interés - de reducir los costos de operación, aún cuando los costos de inversión resulten elevados. Es decir, en plantas grandes es posible justificar la selección de un sistema de cuatro lechos en lugar de uno de dos, si se considera la reducción en los consumos de regenerante; mientras que en las plantas pequeñas, el factor controlante es generalmente la inversión en equipo, y puede ser no significativo el considerar a toda costa la reducción en los costos de operación.

e) Por último, en cuanto a los costos de los regeneran--

tes, cabe señalar que la utilización de ácido clorhídrico en lugar de otros ácidos, pudiera ser considerada, a pesar de que su costo sea mayor , en un sistema pequeño de desmineralización ya que se evita con éste el problema de precipitación de sulfato.

## 2.5 MANTENIMIENTO Y RECOMENDACIONES EN EL USO DE RESINAS.

Las causas de ensuciamiento y envenenamiento de las resinas son variadas y éste factor involucra parte de los principales problemas que se tienen en el tratamiento de agua por intercambio iónico. Enseguida se enuncian algunas causas y los compuestos químicos utilizados para su eliminación.

Cuándo se utilizan resinas intercambiadoras de iones en el tratamiento de agua, muchas ocasiones se observa una pérdida de eficiencia que no se debe al agotamiento de la resina por intercambio, sino que se debe a la captura de trazas de material orgánico de alto peso molecular y coloides. Este material orgánico es frecuentemente materia vegetal en descomposición, corteza de árboles, pigmentos, fragmentos fibrosos de las hojas, raíces y material proteínico proveniente de los animales. Este tipo de envenenamiento se ha eliminado usando resinas porosas del tipo aniónico macroreticular (8). Las suspensiones y coloides cubren los gránulos de resina provocando canalizaciones. Las grasas y aceites provocan el mismo problema además de pérdida de resina durante el retrolavado. La contaminación con aceite se elimina lavando la cama de resina con una solución que contenga un surfactante. Se utilizan surfactantes no iónicos; los más comunes son Triton X-100 y Triton CF-54 (8), que se aplican a una concentración de 0.1% (véase Tabla 6.7).

El crecimiento de microorganismos de igual forma ensucia la resina.

Trazas de oxígeno, ozono, cloro y otros oxidantes, generan la destrucción de la resina, por lo que se requiere eliminar estos gases ó utilizar resinas más resistentes.

La capacidad de la resina puede deteriorarse por la presencia de ácido húmico, politionatos y cianuros de cobalto ya que envenenan a la resina.

La precipitación del sulfato de calcio genera fugas de sodio y de sulfato. Para evitar ésto, se requiere de un re-trolavado eficiente con agua suavizada. En caso de que la fuga se siguiera presentando, se recomienda agregar ácido clorhídrico (96 kg al 100% por  $m^3$  de resina) inyectado a un flujo de  $4 m^3/h/m^3$  de resina al 4%. Las instalaciones deben tener resistencia a la corrosión, aunque para evitar esto, se agrega un inhibidor al 1%. Actualmente se utiliza Corrinil (1, 3-tetrahidroxazina) a una concentración de 100 a 200 ppm. Este tratamiento también se utiliza para eliminar carbonato de calcio, hidróxidos de magnesio, fierro y aluminio (8).

Precipitados de sílice, también generan problemas. Una fuga de sílice se debe a su acumulación como coloide en la resina aniónica, que se elimina con la adición de sosa caliente en largas dosis y bajos flujos (3.6-4.5 kg de NaOH a  $2 m^3/h/m^3$  de resina de 49 a 60°C), la cama debe precalentarse a 49°C. Si la fuga persiste, la sosa debe permanecer por un período mayor de tiempo en la cama.

Los hidróxidos también generan problemas, que se eliminan con ácido clorhídrico al 10% y 40°C durante 4 horas. También puede adicionarse Lykopen SF (hidrosulfito de sodio) a una --

concentración del 4% y a un flujo de  $16 \text{ kg/m}^3$  agregando además un agente secuestrante.

La corrosión en los sistemas de vapor se minimiza adicionando aminas fílmicas (dodecil amina) las cuales recubren las superficies con una capa protectora monomolecular. Un exceso de éste aditivo perjudica a la resina, por lo que debe controlarse su uso. En el caso de que esto suceda, para eliminarlo se recomienda hacerlo de la misma forma que para el aceite.

Cuándo se utilizan camas mezcladas, se presenta el problema de adhesión de partículas sobre la resina, debido a las cargas de superficie que tiene; para su eliminación se recomienda agregar Acresol ASE-60 (véase Tabla 6.7), lo cual se hace durante el mezclado con aire, siguiendo un llenado con agua hasta unos 3 cm por encima de la cama (1587 kg en un metro cúbico de agua para cada metro cúbico de resina).

## C A P I T U L O 3

### TRATAMIENTO DE CONDENSADOS POR INTERCAMBIO IONICO.

#### 3.1 ANTECEDENTES Y GENERALIDADES.

En un sistema de generación de vapor, grandes volúmenes de agua son evaporados y condensados y a su vez, estos últimos son recirculados. Estos condensados son en esencia agua destilada de alta pureza, sin embargo, siempre se tienen en ellos contaminantes presentes. Estos contaminantes son generalmente, trazas de electrolitos introducidos a través de alguna fuga en los condensadores; o bien, se deben al arrastre de especies metálicas solubles ó insolubles, producto de la corrosión del equipo y de las tuberías por las que se circulan tanto el vapor como los condensados. En la eliminación de éstos contaminantes, la tecnología del intercambio iónico tiene un papel muy importante.

Al proceso de tratamiento de condensados con resinas intercambiadoras de iones se le conoce como "Pulido de Condensados" (5).

El uso de la tecnología de intercambio iónico en los procesos de evaporación-condensación del agua, no es algo reciente. Esta tecnología se ha utilizado desde hace tiempo en el tratamiento del agua de alimentación a los sistemas de generación de vapor, con el objeto de minimizar la incrustación y el acarreo de los materiales disueltos en la misma.

En un principio, éste tratamiento con resinas intercambiadoras de iones, se aplicaba solo al agua de reposición y no a los condensados recirculados, pero a medida que se hizo nece-

saría la generación de vapor a presiones y temperaturas mayores, las especificaciones de los fabricantes en cuanto a la calidad del agua que se debía suministrar a sus equipos, se hicieron cada vez más estrictas, por lo que ésta política de no tratar los condensados tuvo que ser modificada.

El condensado como tal, tiene un valor considerable si tomamos en cuenta el costo involucrado en la desmineralización inicial del agua de reposición que se alimenta a éstos sistemas, y es por esto, que su recirculación es esencial para la economía de los mismos.

La política de no tratar los condensados y solo considerar la desmineralización del agua de reposición, funcionaba adecuadamente en calderas con una presión de generación menor de  $105 \text{ kg/cm}^2$ , pero a presiones mayores, el problema de depósito en las calderas y turbinas de las plantas de generación, resulta ya ser considerable si no se eliminan del agua que se alimenta, los sólidos que se introducen al sistema por corrosión y por fugas en los condensadores, de tal forma que, se estima que si el contenido de fierro producto de la corrosión se incrementara a solo 10 partes por billón (ppb), el depósito que se tendría sería de unos 80 kg por año en una caldera con una capacidad de alrededor de las 900 toneladas por hora (5). Si éste depósito llega a ocurrir en áreas con alta transferencia de calor, esto puede causar fallas en los tubos de las calderas.

Por otro lado, la fuga en los condensadores introduce también grandes cantidades de sólidos al sistema. La Tabla 3.1 muestra las cantidades de sólidos introducidos por fugas en los condensadores, para un flujo de condensado de 450 toneladas por hora y un agua de enfriamiento que contenga 300 ppm



T A B L A 3.1

## SOLIDOS INTRODUCIDOS POR FUGA EN LOS CONDENSADORES

Fuga en el condensador como % de la alimentación.	Fuga en el condensador kg/hr	Sólidos introducidos en el condensado	
		kg/hr	kg/año
0.005	23	0.0068	59
0.025	115	0.0340	295
0.050	230	0.0680	590
0.500	2300	0.6800	5900

Applebaum, "Demineralization by ion exchange",  
Academic Press 1968.

de sólidos totales. Si el agua de enfriamiento que se utiliza contiene una mayor cantidad de sólidos, éstas cantidades se incrementan proporcionalmente. De lo anterior se desprende la importancia del tratamiento de los condensados en éstos sistemas de generación de vapor.

### 3.2 SISTEMAS DISPONIBLES PARA EL TRATAMIENTO DE CONDENSADO.

El primer sistema que se consideró para el tratamiento de los condensados, fué un sistema de filtros (5), diseñado para eliminar los óxidos de cobre y fierro producto de la corrosión de las tuberías y de los equipos. Después hubo necesidad de considerar la eliminación de las trazas de sales introducidas por fugas en los condensadores, y como para éste propósito, se utilizaban ya las resinas intercambiadoras de iones, en el tratamiento del agua de reposición, se pensó en su utilización para eliminar esas trazas de electrolitos en el condensado, que no podían ser separadas por los filtros.

Fué así como empezó a considerarse la utilización de las resinas intercambiadoras de iones en el tratamiento de los condensados. El primer sistema considerado para éste propósito incluyó, además de los recipientes con las resinas en lechos mezclados (es decir, conteniendo resinas aniónicas y catiónicas), un juego de filtros para la eliminación de los materiales insolubles. La figura 3.1 es un diagrama de flujo típico para éste tipo de sistema (5).

Actualmente, la aplicación de la tecnología de intercambio iónico en el "Pulido de los Condensados", no solo involucra el fenómeno de intercambio, sino también, el de filtración; es decir, además de las propiedades de intercambio de

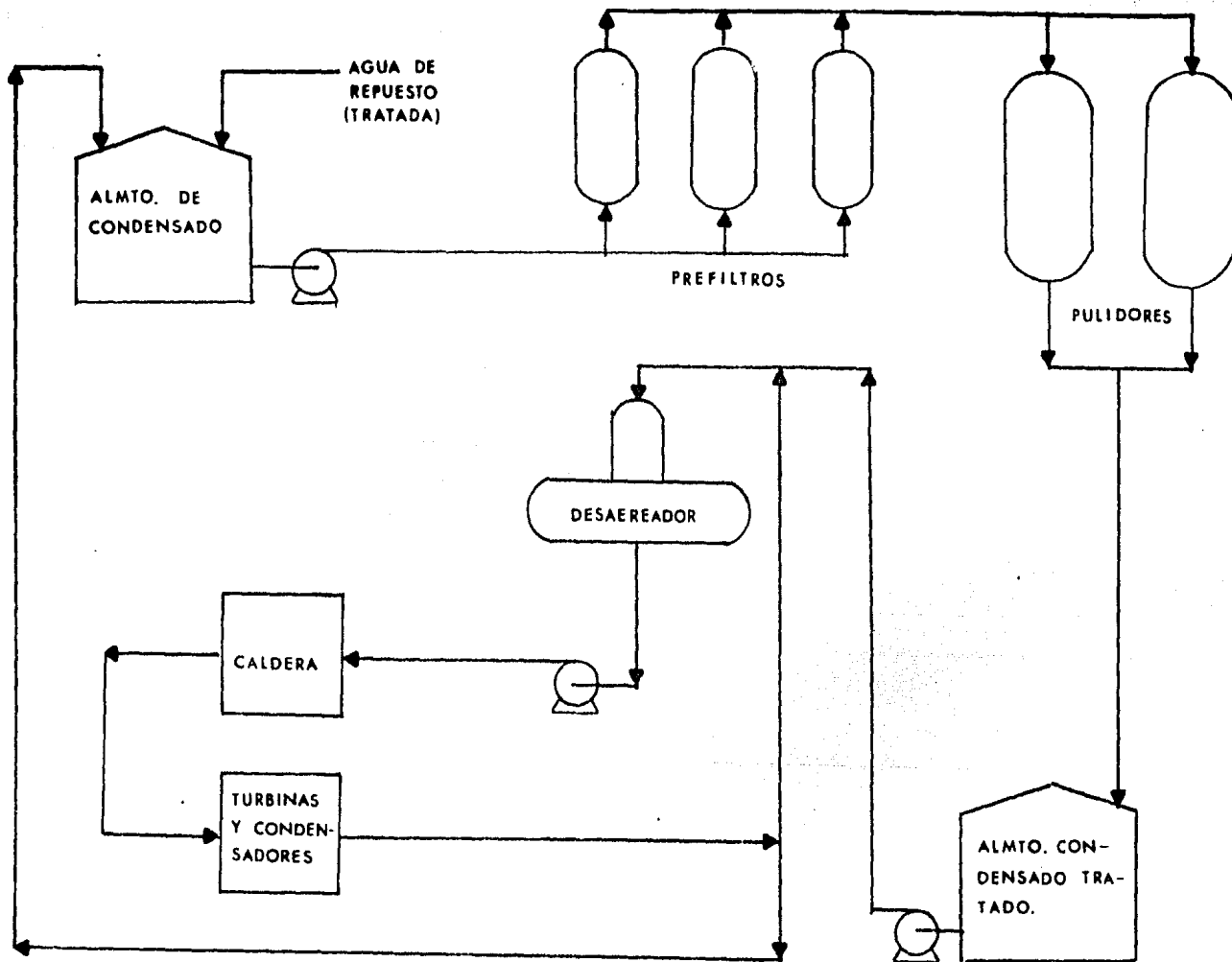


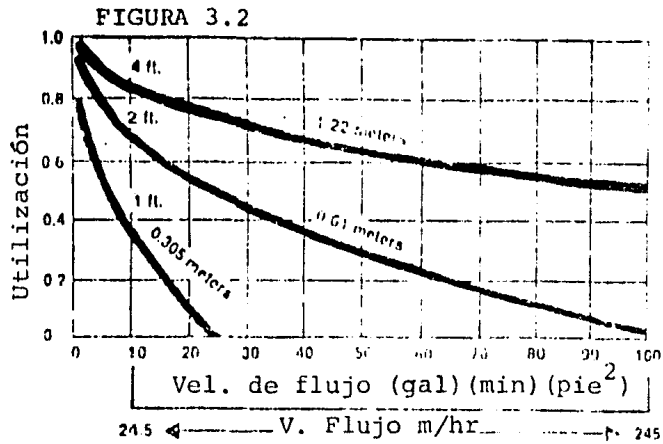
FIGURA 3,1

las resinas, se considera también su "habilidad" para actuar como filtro reteniendo los materiales insolubles que arrastran los condensados.

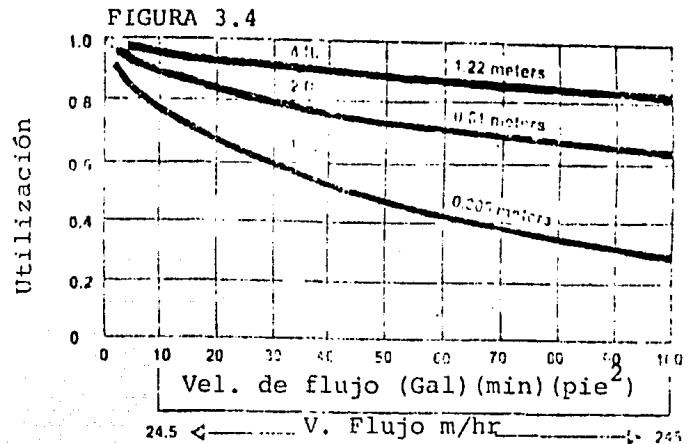
Es importante destacar que, lo que hace que la utilización de las resinas intercambiadoras de iones en el Pulido de condensados resulte atractiva es, precisamente, el efecto combinado de sus propiedades filtrantes y de intercambio. Estos dos fenómenos ocurren en tiempos mucho más cortos que los empleados en otros procesos de aplicación de las resinas de forma que, las velocidades de flujo ( $\text{metros}^3/\text{hr}/\text{m}^2$  ó  $\text{metro cúbico}/\text{hr}/\text{m}^3$ ) que se utilizan en el Pulido de Condensados son de cinco a diez veces mayores que las utilizadas en los otros procesos. Esto es posible debido a que, las cantidades de electrolito que se involucran en el Pulido son muy pequeñas; además de que, las propiedades filtrantes son buenas aún a altas velocidades de flujo. La utilización de las resinas en estas condiciones ha demandado a los fabricantes, la producción de resinas cada vez más resistentes tanto a los esfuerzos físicos como osmóticos a que son sometidas durante los ciclos de tratamiento de condensado.

Esta habilidad de las resinas para funcionar en las condiciones que demanda el Pulido de condensados, es resultado de sus excelentes propiedades físicas y cinéticas, junto con el hecho de que la carga de electrolito en las resinas intercambiadoras durante éste proceso, es mucho más pequeña que en los otros procesos de aplicación. La relación entre la carga cinética (electrolito a remover por unidad de tiempo) y la carga hidráulica (velocidad lineal de flujo) en un sistema típico de deionización queda descrita en las figuras 3.2 a 3.5 (2).

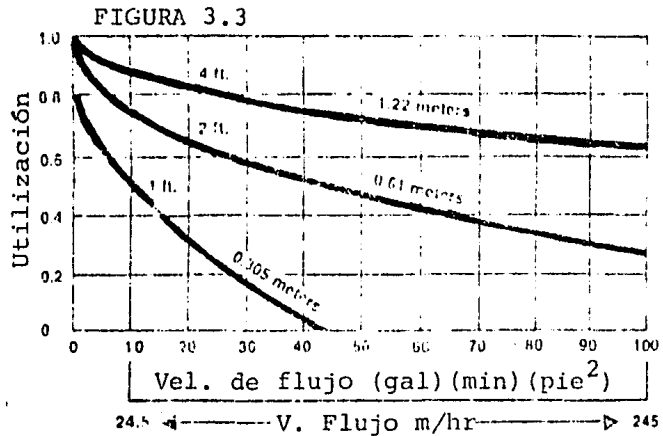
Del análisis de éstas curvas, se deduce lo dicho anterior



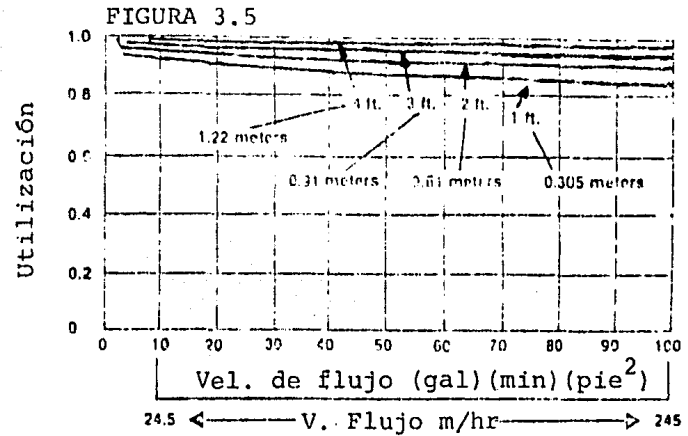
Utilización a 500 ppm de alimentación



Utilización a 10 ppm de alimentación



Utilización a 100 ppm de alimentación



Utilización a 1 ppm de alimentación

Pulido de condensados con camas mezcladas bajo diferentes condiciones.  
 Kunin R., Percival R., Lugo C., "A critical review of Condensate Polishing".  
 Memorias del Primer Congreso de Tratamiento de Agua, México 1980.

mente en cuanto a que, en ésta aplicación de las resinas, las velocidades de flujo por unidad de área que pueden manejarse son considerablemente mayores. En muchos aspectos las curvas no varían sustancialmente, pero si se presenta alguna variación a medida que el tamaño de partícula de la resina y la temperatura del agua varían; las curvas se desplazan hacia abajo a medida que el tamaño de partículas se incrementa y la temperatura del agua disminuye.

En cuanto a los aspectos de filtración del Pulido de Condensados, cabe destacar que la eficiencia de la filtración de las resinas de intercambio, es considerablemente mayor que la de otros medios inertes, como arena y arcilla para el mismo tamaño de partícula. Esta propiedad es resultado de las superficies altamente cargadas de las resinas intercambiadoras de iones. En esencia, las propiedades de superficie de éstas resinas son similares a las de los polielectrolitos.

La capacidad filtrante de las resinas intercambiadoras de iones, fué materia de estudio en 1964 (5). Estos estudios se realizaron en planta piloto, alimentándole condensado contaminado con óxidos metálicos, estos óxidos eran semejantes en tamaño y composición a los encontrados normalmente en los condensados, como producto de la corrosión de equipos y tuberías. Los resultados fueron que:

- 1.- Los óxidos se acumularon a lo largo de la cama de resina y no solo en la superficie,
- 2.- La caída de presión no se incrementó substancialmente y
- 3.- Finalmente se concluyo que, las resinas tienen una capacidad definida para la eliminación de éste material insoluble y después de alcanzado éste punto se presentan también fugas.

Cuando se hizo evidente que era posible, utilizar resinas intercambiadoras a velocidades de flujo por encima de los  $122.5 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$  (50 GPM/pie<sup>2</sup>) para el Pulido de condensados, - sin necesidad de utilizar filtros, se consideraron dos opciones (5):

1.- La utilización de camas de resina mezclada en forma granular, y

2.- La utilización de camas de resinas en polvo ( también mezcladas) aplicadas sobre algún medio filtrante.

En el primero de estos sistemas, se considera la regeneración de la cama de resina mientras que, en el segundo la resina una vez utilizada, se desecha.

Actualmente, los dos sistemas son ampliamente utilizados y esto es indicativo de que uno puede presentar mayores ventajas sobre el otro, dependiendo de las condiciones de la aplicación. Por ejemplo, con la resina en polvo los niveles de -- eliminación de material insoluble, son mucho mayores que los obtenidos al utilizar resina en forma granular. Por otro lado, un sistema con resina granular, tiene una mayor capacidad instalada para la eliminación de los materiales solubles, y -- por esto, se prefiere cuando se utiliza agua de mar en los -- condensadores, ya que, la contaminación por fuga en estos casos resulta bastante seria. La resina en polvo se utiliza -- con mucha frecuencia en las Plantas nucleares ya que, con su uso se simplifica el manejo de los desechos radiactivos, disponiéndose de ellos sistemáticamente junto con la resina agotada. El uso de la resina en polvo elimina también el consumo y la necesidad de contar con facilidades para el almacenamiento y manejo de los químicos que se requieren para la regeneración.

Nuestra atención la enfocaremos a los sistemas de resina

granular, ya que son los más utilizados en nuestro medio.

En estos sistemas con resina granular, se tienen dos opciones para la regeneración (5):

- a) La regeneración de la resina en el mismo recipiente por el que se circula el condensado que se trata y
- b) La regeneración externa, es decir, en un recipiente distinto del de proceso.

En seguida describimos ambos sistemas:

#### REGENERACION EN EL MISMO RECIPIENTE DE PROCESO.

En éste tipo de aplicación de las resinas intercambiadoras de iones se tiene como ya se dijo, una cama con resinas - aniónica y catiónica perfectamente mezcladas. Este mezclado se consigue con aire después de la regeneración. En esencia, esta cama mezclada corresponde a un gran número de unidades - intercambiadoras catión-anión en serie. Antes de regenerar - se hace necesaria la separación de la resina y ésto se consigue mediante el retrolavado, ya que, la resina aniónica es menos densa que la catiónica; una vez lograda la separación, se procede a la regeneración y al enjuague de cada una de las resinas, utilizando un sistema de regeneración interna que lo permite. El procedimiento para la regeneración del lecho mezclado es el que se describió esquemáticamente en el capítulo anterior, referirse a la figura 2.2.

#### REGENERACION EXTERNA.

En éste tipo de sistemas, la resina una vez agotada se - transporta hidráulicamente desde la unidad en servicio hasta unos tanques de regeneración, en donde las resinas se separan, se regeneran y se enjuagan. Después de ésto, las resinas se



vuelven a mezclar y se regresan a la unidad de servicio.

La figura 3.6 es un diagrama de flujo simplificado de un desmineralizador de condensado con un sistema externo de regeneración. En éste sistema, la unidad que se agota se aísla del servicio, cerrando sus válvulas de entrada y salida para continuar con la siguiente secuencia:

1.- Se abren el venteo y el drene del recipiente, drenándose éste parcialmente.

2.- Se cierran el venteo y el drene y se admite el agua que fluidizará la cama.

3.- Se abren la válvula de salida de resina en el recipiente de proceso y la de entrada de resina en el recipiente de separación, así como el venteo y el drene en éste último.

4.- El recipiente que se vació, se llena neumáticamente con la resina ya regenerada, que se tiene en el tanque de almacenamiento "S". Este recipiente puede entonces tenerse como relevo ó ponerse en operación. El transporte neumático evita la separación de las resinas aniónica y catiónica a medida que caen en el recipiente vacío. Si la transferencia es efectuada hidráulicamente, esto provocaría su separación, ya que el agua se acumularía en el recipiente, haciendo que la resina catiónica más pesada al caer a través de ésta capa de agua, se depositara en el fondo, separándose así de la resina aniónica que es mucho más ligera. En ésta situación se haría necesario un mezclado con aire para "remezclar" las resinas. La transferencia neumática, hace por tanto, menos necesario el mezclado con aire. En éste caso, la resina en el tanque de almacenamiento, debe contener agua suficiente para llenar los huecos entre los granos de resina antes de inyectar el aire, para reducir el efecto de rozamiento entre partículas.

5.- La regeneración de las resinas se efectúa, una vez que éstas se separan mediante un retrolavado en el reci--

piente de separación "C", que sirve también para regenerar la resina catiónica. Para conseguir la separación de las resinas, se abren las válvulas de entrada y salida del retrolavado. Después de que las resinas se separan, éstas válvulas se cierran y se empieza entonces a alimentar agua para transferir la resina aniónica a otro recipiente para su regeneración. La inyección de ésta agua se realiza a partir de un distribuidor, colocado justo por encima de la cama de resina catiónica. El agua que se alimenta, fluidiza la resina aniónica y entonces se transfiere al recipiente de regeneración "A". Para ésto, además de abrir la válvula de alimentación de agua, se abren la válvula de salida de resina aniónica del recipiente de separación y la de entrada para la misma resina, en el recipiente de regeneración "A", así como su venteo y drene.

6.- La resina catiónica que se deja en el recipiente de separación, se agita con aire, se retrolava y se regenera con ácido. Con ésta operación se consigue también la separación del material insoluble que quedo atrapado en la resina. La resina aniónica se trata de manera similar, regenerándola con sosa en el recipiente de regeneración "A".

7.- Después de su regeneración, tanto la resina aniónica como la catiónica, se transfieren hidráulicamente al recipiente de almacenamiento, donde se efectúa un enjuague final y un mezclado con aire. En algunos sistemas, la resina aniónica - primero se transfiere al tanque separador para el enjuague y el mezclado con aire. Esto se hace para medir la conductividad del efluente del enjuague, para cerciorarse que la regeneración fué adecuada. Si la conductividad del efluente de enjuague es alta, se cuenta con una alarma sonora que indica al operador que se requiere una nueva regeneración, la cual se realiza antes de transferir las resinas al tanque de almacenamiento.

La operación de transferencia de la resina agotada, al recipiente de separación, y de la resina regenerada del recipiente de almacenamiento al recipiente de proceso, lleva alrededor de 30 minutos, lo que significa un tiempo muy corto se se le compara con el tiempo de regeneración que normalmente se lleva varias horas.

El sistema con regeneración externa, no solo reduce el tiempo en que las unidades están fuera de operación, sino también, la inversión inicial en equipo, ya que, con este sistema no se requiere fabricar la totalidad de los recipientes -- con material adecuado para resistir el ataque de las soluciones de regenerantes. El que los regenerantes no se introduzcan en los recipientes principales, simplifica también su instrumentación y los internos que se deben instalar. Además, la eliminación del material insoluble, de la resina catiónica que es donde principalmente se deposita, es mucho más efectiva cuando ésta se regenera externamente, ya que, las condiciones del retrolavado y mezclado con aire pueden ser más severas, que las que se tendrían al efectuar esas operaciones teniendo la resina aniónica en el mismo recipiente.

En la selección de uno u otro sistema, deberá considerarse antes que nada, la capacidad de la unidad pulidora es decir, si la unidad requiere un gran número de recipientes para cubrir el servicio, lo más conveniente será considerar un sistema con regeneración externa, para reducir el costo de la inversión inicial, ya que para este sistema los recipientes principales no se fabricarían con los materiales y los internos -- que se requieren para la regeneración, teniéndose para este propósito un solo juego de recipientes, que daría servicio a todos los recipientes principales. Si la capacidad de la unidad es pequeña, entonces resulta conveniente considerar la re

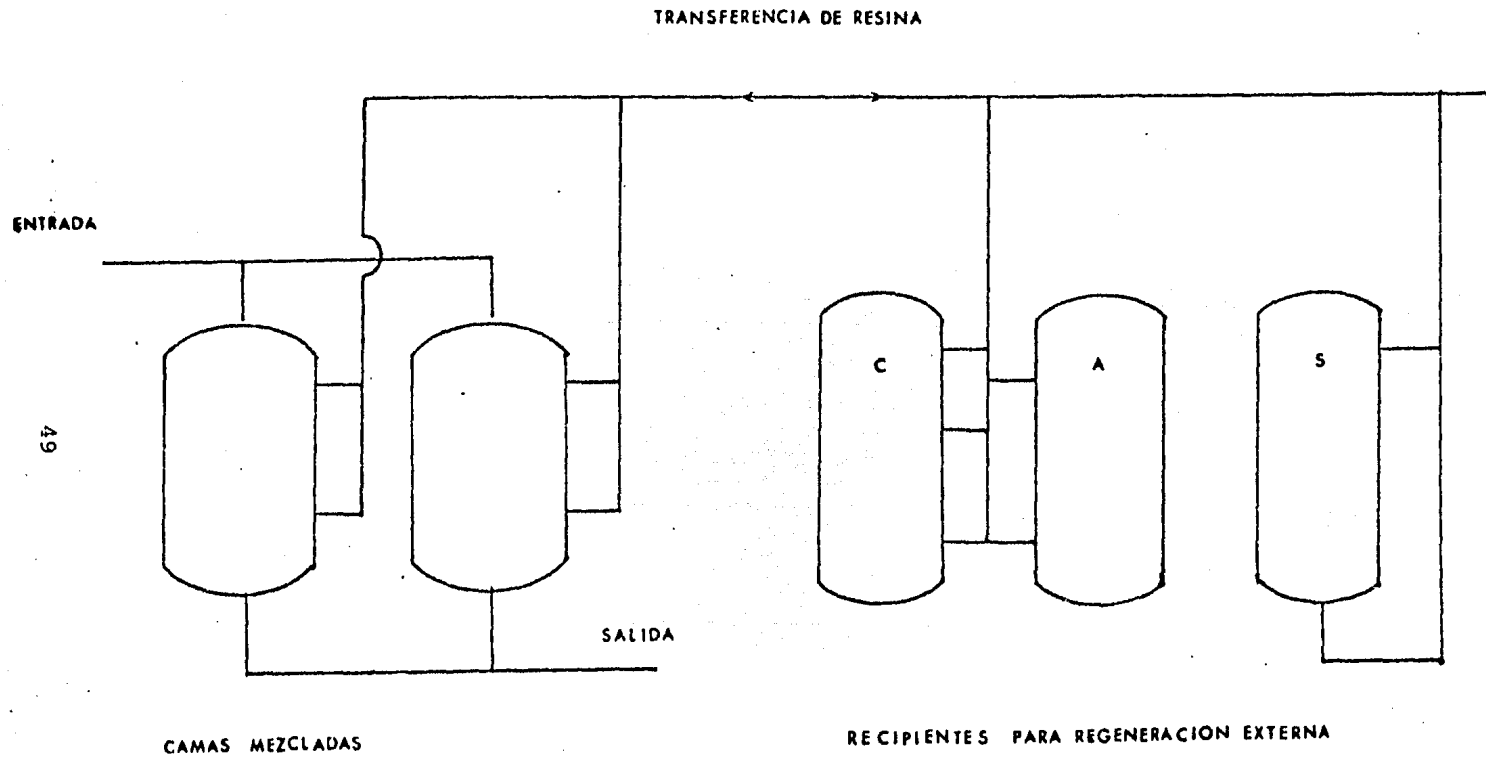


FIGURA 3.6 DESMINERALIZADOR DE CONDENSADO CON SISTEMA EXTERNO DE REGENERACION.

generación en el mismo recipiente de proceso.

### 3.2 SELECCION DE LAS RESINAS INTERCAMBIADORAS DE IONES PARA EL PULIDO DE CONDENSADOS Y PROBLEMAS ENCONTRADOS EN LA OPERACION.

Debido a la alta calidad que se demanda en el efluente de una Unidad Pulidora, y a las altas velocidades de flujo -- que se manejan (por razones económicas como ya se mencionó antes), la selección de la resina intercambiadora a utilizar para el tratamiento de condensados es muy importante, por ésto, a continuación se mencionan algunas cuestiones interesantes en éste sentido (3).

La selección de las resinas para el Pulido, debe contemplar factores tales como la estabilidad, la capacidad y la fuga de electrolitos. Mucho se ha discutido sobre las ventajas y desventajas de los dos tipos de resinas en ésta aplicación (3); en cuanto a los tipos, nos referimos a las resinas macroreticulares y a las de tipo gel ó microreticulares.

Una resina microreticular es un polielectrolito con una estructura gel y con un gran número de entrecruzamientos (véa se capítulo 2) en la que, los sitios de intercambio se distribuyen estadísticamente en toda la partícula. Es difícil, hablar de una estructura porosa en éste tipo de gel, ya que las distancias entre los entrecruzamientos y las cadenas en estos geles, varían considerablemente, dependiendo de factores tales como: la concentración del electrolito, la naturaleza del solvente y la naturaleza de los iones móviles e inmóviles. La estructura porosa de estos geles puede únicamente, ser comparada contra una estructura porosa del tipo molecular que depende de las distancias entre las cadenas de polímeros y entre

los entrecruzamientos, bajo un conjunto particular de condiciones.

Hace tiempo se desarrollo una técnica de polimerización, que lleva a una estructura también con entrecruzamientos, pero totalmente diferente de la estructura homogénea del gel o resina microreticular. Esta nueva estructura macroporosa y rígida, es muy similar a la de los adsorbentes comerciales como la alúmina o sílica. A éste tipo de resinas se les conoce como resinas macroreticulares, su estructura la forman copolímeros de estireno y divinilbenceno.

Estas resinas macroreticulares, tienen ciertas propiedades que directa ó indirectamente son resultado de su estructura interna. Estas propiedades son:

1.- Una mayor estabilidad física y química que las resinas del tipo gel o microreticulares equivalentes, bajo condiciones químicas y físicas severas.

2.- Debido a problemas estéricos, ciertos grupos funcionales no pueden introducirse de manera práctica, a menos que se utilice una estructura del tipo macroreticular.

3.- Esta estructura porosa permite la eliminación de especies de alto peso molecular y aún de especies coloidales, que normalmente se fugan al tratarse con una resina microreticular.

Lo anterior no implica que las resinas del tipo microreticular no resulten adecuadas en algunas aplicaciones, sino que definitivamente, y por la naturaleza de la aplicación, -- las resinas macroreticulares, son las más adecuadas para el Pulido de Condensados. Esta conclusión resulta no sólo de tomar en cuenta las propiedades anteriores, sino también, de considerar las condiciones en que se efectúa el Pulido de Con

densados:

a) En ésta aplicación, las resinas no sólo actúan como intercambiadores de iones, también funcionan como filtros y en la mayoría de las veces, el parámetro que determina el fin del ciclo de operación es la caída de presión que resulta de la eliminación del material insoluble, es decir, el ciclo de operación termina antes de que la capacidad de la resina se agote.

b) Las velocidades de flujo por unidad de área que se emplean en el pulido de condensados son del orden de los  $122.5 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$  ( $50 \text{ gpm}/\text{pie}^2$ ).

Estas dos condiciones demandan una resina con gran durabilidad física y en éste tipo de aplicación, son las resinas macroreticulares las que han dado los mejores resultados. Para justificar ésto último resulta conveniente hacer una comparación, entre las propiedades de las resinas macroreticulares y las microreticulares (3).

#### ESTABILIDAD FISICA DE LAS RESINAS MACRORETICULARES

En el Pulido de condensados, las altas velocidades de flujo por unidad de área y en su caso, el transporte de la resina para regenerarla externamente, son factores que imponen esfuerzos severos sobre las resinas, demandando de éstas una excelente durabilidad física. Cuando se empezaron a utilizar las resinas intercambiadoras de iones en el Pulido de Condensados, sólo se contaba con resinas microreticulares y su aplicación empezó a ocasionar problemas presentándose la fragmentación de la resina como resultado de los esfuerzos a los que se sometía. Esta fragmentación provocaba un incremento en la caída de presión, ocurriendo así una mayor fragmentación en -

una forma casi autocatalítica. A medida que se avanzó en éste campo, las condiciones se hicieron aún más severas, ya que además de incrementarse los flujos, se eliminaron los filtros y se empezó a utilizar la regeneración externa, habiendo necesidad de transportar la resina a través de la tubería. Todos estos factores someten a la resina a esfuerzos. Aún cuando - para evitar estos problemas, se han desarrollado resinas del tipo microreticular mucho más resistentes, la experiencia de operación que se tiene en éste campo indica que las resinas - macroreticulares son las que dan los mejores resultados para éste tipo de aplicación.

#### LA CINÉTICA EN LAS RESINAS MACRORETICULARES.

La cinética en las resinas intercambiadoras de iones, -- queda determinada por dos procesos difusionales. Uno de ellos involucra la difusión en la partícula misma, y el otro la difusión a través de una película hidrodinámica o de Nernst, al rededor de la película. El primer proceso (de difusión en la partícula) es el controlante, solo en las condiciones de alta concentración que se tienen durante las regeneraciones. La - velocidad de difusión en éste proceso, varía de forma casi in versamente proporcional con el grado de cruzamiento de la resina. El segundo proceso de difusión se conoce como difusión en película. Este último no es influenciado por el grado de cruzamiento y viene a ser el factor controlante cuando se tie nen soluciones muy diluidas, como en el caso del Pulido de -- Condensados. Cuando éste tipo de procesos es el controlante, la velocidad de intercambio global es función del área superficial del intercambiador.

En el Pulido de Condensado el factor controlante es la -



difusión en película, ya que la concentración de electrolitos en el influente es muy baja. Si consideramos que las resinas macroreticulares tienen un área superficial mucho mayor que la de las resinas microreticulares equivalentes, entonces, -- desde el punto de vista cinético son las resinas macroreticulares las más adecuadas para el servicio, aún cuando no toda el área superficial pueda ser efectiva en un proceso difusional de éste tipo.

#### LA SELECTIVIDAD EN LAS RESINAS MACRORETICULARES.

La tabla 3.2 muestra la selectividad relativa para los iones  $H^+$ ,  $Na^+$  y  $NH_4^+$  de las resinas catiónicas tipo gel y macroreticular.

TABLA 3.2

#### SELECTIVIDAD RELATIVA PARA INTERCAMBIADORES CATIONICOS TIPO GEL Y MACRORETICULARES

	GEL	MACRORETICULAR
$H^+$	1.0	1.0
$Na^+$	1.5	1.9
$NH_4^+$	2.0	2.5

Kunin R., Amber-Hi-Lites, 148 (1975), Rohm and Hass Co.

Estos datos pueden interpretarse erróneamente como indicativo de que el uso de las resinas macroreticulares puede -- llevar a grandes fugas de sodio.

Esta conclusión puede resultar al considerar que la can-

tividad de sodio que queda en la resina después de la regeneración, será mucho mayor en una del tipo macroreticular, por tener ésta una mayor selectividad por el sodio. Sin embargo, debe hacerse notar que ésta deducción ignora por completo dos cuestiones muy importantes:

1.- Que los intercambiadores de iones se regeneran normalmente a niveles próximos a la saturación, y esto finalmente compensa ese coeficiente de selectividad ligeramente mayor, y

2.- Que normalmente la fuga de iones sodio resulta del desplazamiento de estos por iones hidrógeno, por lo que, la fuga de sodio será menor en una resina con mayor selectividad por el mismo, siendo éste el caso de la resina macroreticular.

Esto último favorece finalmente a las resinas del tipo macroreticular, ya que en ellas se dificulta el desplazamiento de iones sodio por iones hidrógeno, dada la mayor selectividad por los primeros.

#### EL FACTOR CAPACIDAD.

Debido a su estructura porosa, la resina macroreticular, tiene una capacidad de intercambio que promedia de un 10 a un 15 % menos que la microreticular equivalente. En éste caso, aún cuando éste parámetro es de importancia, lo que debe considerarse es la capacidad de operación y no la capacidad de eliminación del electrolito de la resina, puesto que, en el Pulido de Condensados no sólo interviene la capacidad de intercambio, sino también, la capacidad para eliminar el material insoluble; de hecho, normalmente no se utiliza toda la capacidad de intercambio y los ciclos terminan antes de que la resina se agote.

De lo anterior, resulta que el considerar este factor como limitante para la aplicación de las resinas macroreticulares no es muy significativo.

Por todo lo antes expuesto, se concluye que por sus características, las resinas de tipo macroreticular son las que resultan más convenientes para el tratamiento de los condensados.

### 3.4 SECUENCIA DE OPERACION PARA UN SISTEMA DE LECHO MIXTO.

Antes de ejemplificar el cálculo de una unidad de lecho mixto, con regeneración en el mismo recipiente, resulta conveniente considerar algunos detalles de su operación. Esta sección describe la secuencia de operación para éste tipo de unidades, y en la siguiente, se hace una descripción de los internos con que cuenta el recipiente y de los arreglos típicos de equipo para la alimentación de los regenerantes; la sección 3.6 finalmente, describe la forma en que se opera la unidad.

La operación de un sistema de lecho mixto o lecho mezclado, puede variar grandemente en cada uno de sus pasos, dependiendo de las condiciones y requerimientos existentes. En una forma general, podemos dividir ésta operación en dos etapas principales:

- 1.- Servicio
- 2.- Regeneración

#### 3.4.1 SERVICIO

Es la etapa inicial del ciclo operacional, en la cual el influente (los condensados en éste caso), se pasan a través del lecho de resinas, con el objeto de eliminar iones específicos del agua, por una cantidad equivalente de iones del ma-

terial de intercambio; éste lecho además, retiene los óxidos producto de la corrosión de las tuberías y del equipo. El efluente de la unidad es el condensado tratado.

Esta etapa se termina normalmente cuando alguna de las condiciones siguientes se presenta:

- a) Alta conductividad en el efluente.
- b) El volumen de agua tratada iguala una cantidad previamente establecida.
- c) Una alta caída de presión del agua a través de la resina.
- d) Una fuga de iones en el efluente por encima de los valores permitidos.
- e) Una variación importante en el pH del efluente.

Una vez que se presenta una de las condiciones anteriores, el ciclo de servicio se da por terminado, iniciándose entonces la etapa de regeneración.

### 3.4.2 REGENERACION.

Esta etapa involucra:

- a) Una operación de retrolavado.
- b) Una de precalentamiento.
- c) La regeneración misma, finalmente
- d) El acondicionamiento de la resina para iniciar un nuevo ciclo de servicio.

#### a) RETROLAVADO.

Normalmente, éste es el primer paso de la operación de regeneración y consiste en alimentar un flujo de agua ascen-

dente, contrario al flujo de servicio. En la operación se utilizan flujos y volúmenes suficientes para permitir la expansión del lecho de resina, con el objeto de eliminar las tramas de material finamente dividido (óxidos metálicos) que pudieran quedar atrapadas en la cama de resina. En ésta operación se consigue también la clasificación de las resinas; así, la resina catiónica más densa, desciende hacia el fondo y la aniónica, menos densa se coloca en la parte superior. Si se utiliza una resina neutra, ésta se colocará entre las dos resinas, puesto que tiene una densidad intermedia.

El agua gastada en ésta operación de retrolavado, es colectada por el distribuidor superior y desalojada hacia el drenaje. El flujo de agua utilizado en el retrolavado y el diseño interno del recipiente deberán ser tales que no permitan la pérdida de resina por arrastre.

#### b) PRECALENTAMIENTO.

Debido a las características y propiedades de algunas resinas de intercambio iónico, en particular las aniónicas, se requiere que la cama de resina sea precalentada hasta la temperatura que el fabricante de la resina recomiende para que la regeneración de la resina sea más eficiente. Este precalentamiento se consigue circulando agua caliente a través de la cama de resina; el calentamiento del agua se realiza normalmente en un intercambiador de calor y contra vapor de agua.

La circulación del agua caliente acondiciona la cama de resina, evitando un choque térmico cuando la resina se ponga en contacto con el regenerante caliente. La regeneración de la resina en éstas condiciones lleva a conseguir de ella una mayor capacidad en el siguiente ciclo de servicio.

### c) REGENERACION.

Cuando la resina ya no es capaz de intercambiar iones, - necesita regenerarse, es decir, que regrese a su estado original, recuperando por tanto su capacidad de intercambio. Esta regeneración se realiza tratando la resina aniónica con un álcali como el hidróxido de sodio, y la catiónica con un ácido como el sulfúrico.

La dosificación de los regenerantes, las concentraciones, los flujos y los tiempos de permanencia para éstos, se determinan para cada aplicación específica y considerando la información del fabricante de las resinas.

Lo normal, es que los regenerantes se almacenen en forma concentrada (sosa al 50% en peso, y ácido sulfúrico al 98%) - para su dilución posterior antes de ponerlos en contacto con la resina. Así, en el caso del regenerante básico, la dilución debe hacerse con agua caliente.

En el caso de una unidad de lecho mixto, la regeneración se efectúa en forma simultánea, es decir, el ácido y el álcali se alimentan al mismo tiempo. Para la descripción detallada de ésta operación, referirse a la sección 3.6.

### d) ACONDICIONAMIENTO.

El acondicionamiento de la resina para iniciar un nuevo ciclo, incluye: una operación de desplazamiento, una de drenado, una de mezclado, una de llenado y una de enjuague.

La operación de desplazamiento es una extensión de la de introducción del regenerante, usando agua únicamente. Esta -

agua se inyecta en la misma dirección que siguió el regenerante. La finalidad de ésta operación es purgar con agua, tanto a las líneas que condujeron los dos regenerantes como la columna de resina.

Durante la operación de drenado se vacía parcialmente el recipiente, manteniendo el nivel de agua unos 15 centímetros (6 pulgadas) por encima del de la cama de resina. Esta agua remanente disminuye la fricción entre las perlas de resina durante la operación de mezclado en la que se inyecta aire.

Para iniciar un nuevo ciclo de servicio después de la regeneración, se requiere que la cama de resina se mezcle para formar nuevamente un número infinito de unidades aniónica-catiónica. Esta operación se efectúa inyectando aire por la parte inferior de la columna. Este mezclado provoca una mayor uniformidad en el intercambio iónico.

Una vez terminada la operación de mezclado se realiza una de llenado, preparando con ésto la unidad para iniciar el nuevo ciclo de servicio, aunque, antes de que la unidad se coloque en línea se realiza un enjuague en el que se alimenta agua siguiendo la dirección del flujo de servicio, pero enviándola al drenaje. La función de ésta operación es eliminar el remanente de regenerante que pudiera existir en la cama de resina.

### 3.5 DESCRIPCION DEL EQUIPO UTILIZADO.

A continuación describimos el equipo y los accesorios que se utilizan en los procesos de desmineralización de agua por intercambio iónico.

### 3.5.1 INTERNOS EN LOS RECIPIENTES.

#### 3.5.1.1 Distribuidor de agua.

Estos distribuidores pueden fabricarse en las formas que se muestran en la figura 3.7.

Se deben fabricar preferentemente en acero inoxidable y su diseño debe permitir una perfecta distribución del flujo de entrada. Este aditamento, además de la función de distribución de agua, permite la colección del agua de retrolavado.

#### 3.5.1.2 Distribuidor del regenerante

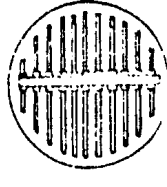
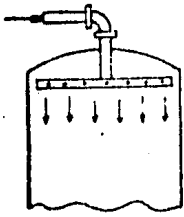
Su fabricación es similar a la del distribuidor de agua (ver figura 3.8). El material utilizado para fabricarlo debe ser adecuado para resistir la acción corrosiva del o de los regenerantes que se utilicen. Su función es garantizar una buena distribución del regenerante, que permita un contacto íntimo de éste con la resina. Este distribuidor debe ubicarse en función de la altura que resulte al considerar la expansión de la cama de resina durante el retrolavado, para evitar que el nivel de la resina rebase al distribuidor y no sea por tanto regenerada en su totalidad.

#### 3.5.1.3 Distribuidor colector.

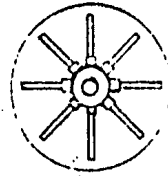
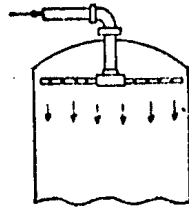
Los materiales de fabricación deben ser adecuados para resistir la concentración del regenerante utilizado. Debe tener capacidad suficiente para recolectar el agua tratada y garantizar la entrada del regenerante (véase figura 3.9).

### 3.5.2 DISTRIBUCION GENERAL DE INTERNOS.



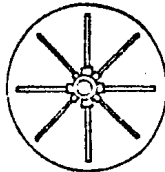
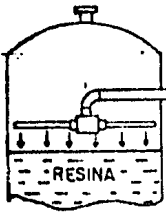


CABEZAL

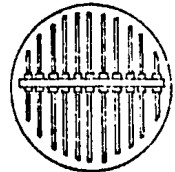
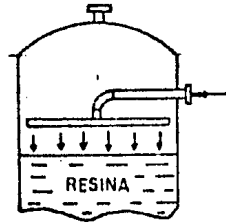


LATERAL

FIGURA 3.7

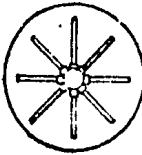


LATERAL

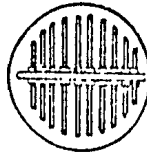
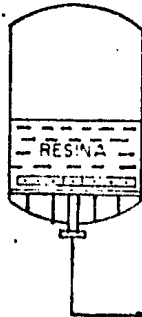


CABEZAL

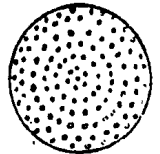
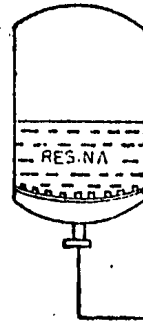
FIGURA 3.8



LATERAL



CABEZAL



RETENEDOR

FIGURA 3.9

Los internos descritos en la sección 3.5.1 se colocan -- normalmente como se indica en la figura 3.10.

### 3.5.3 ARREGLOS DE EQUIPO PARA ALIMENTACION DE LOS REGENERANTES

Los componentes básicos de los sistemas para la alimentación de los regenerantes son los siguientes:

#### 3.5.3.1 Sistema de almacenamiento de reactivos.

- a) Tanque de almacenamiento.
- b) Bombas de transferencia.
- c) Tubería y válvulas.
- d) Controladores de nivel.

#### 3.5.3.2 Almacenamiento de reactivos y sistema de dosificación.

- a) Tanque de día
- b) Indicadores y/o controladores de nivel.
- c) Bombas de inyección.
- d) Instrumentos y controles, válvulas check, etc.

#### 3.5.3.3 Sistema de dilución de reactivos.

- a) Tee de mezcla
- b) Equipo para control de flujo de agua de dilución.
- c) Sistema de calentamiento de agua de dilución (sólo el sistema de sosa).

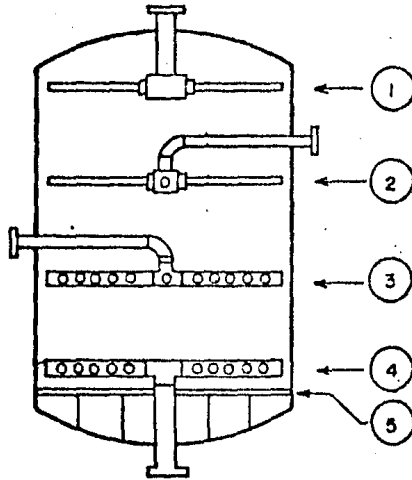
#### 3.5.3.4 Sistema de regenerante diluido

- a) Indicador de concentración.
- b) Muestreo.

El arreglo típico para estos equipos se muestra en las figuras 3.11 y 3.12.

### 3.6 OPERACION DE LA UNIDAD PULIDORA.

FIGURA 3.10



- 1 Distribuidor de agua de servicio.  
Colector de agua de retrolavado.
- 2 Distribuidor de regenerante.
- 3 Colector interfacial (Solo en sistemas  
de lechos mezclados).
- Colector de agua tratada.
- 4 Colector de regenerante.  
Entrada de agua de retrolavado.
- 5 Plato soporte (Fondo falso)

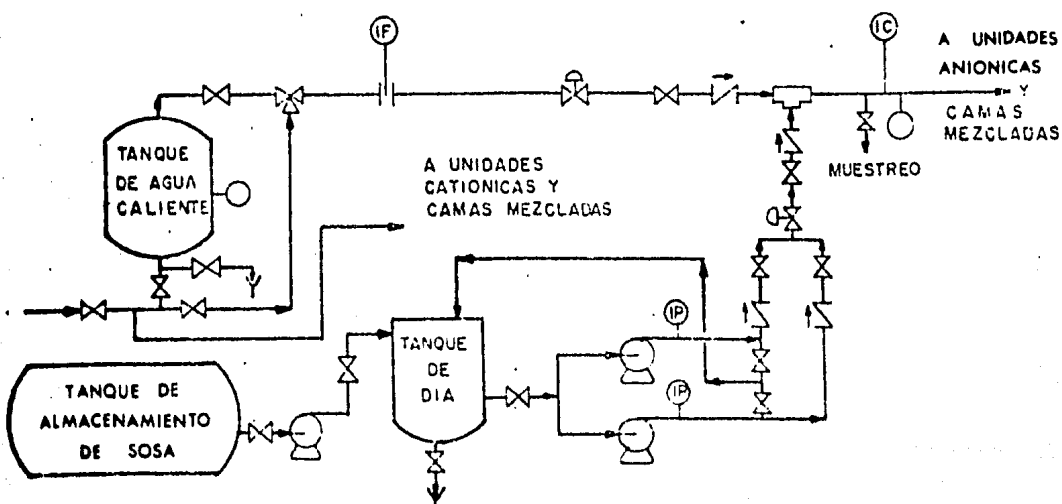


FIGURA 3.11

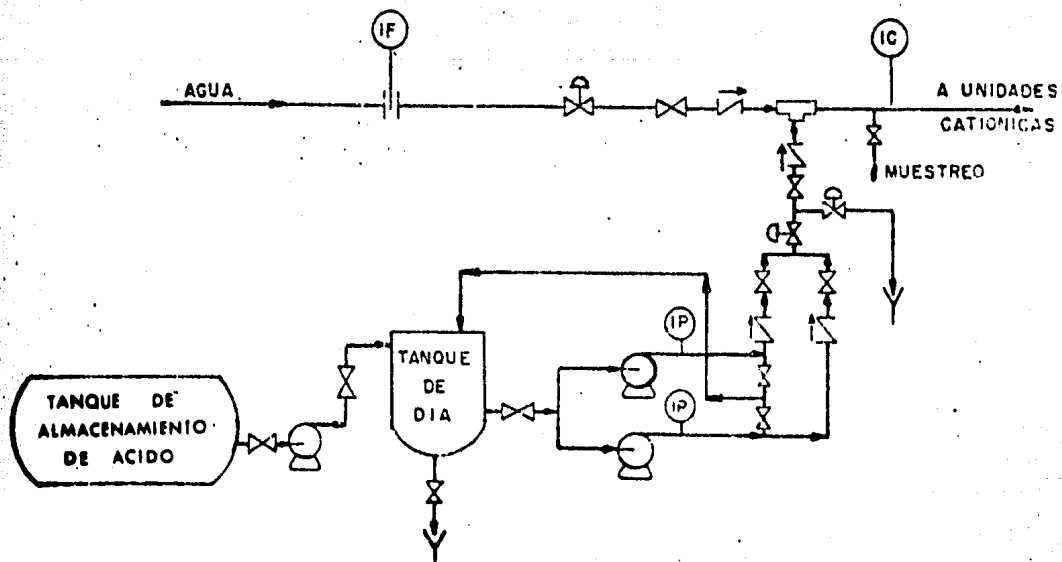


FIGURA 3.12

En la sección 3.4 se describió la secuencia de operación para una unidad de lecho mixto, señalando cada uno de los pasos que se llevan a cabo y el objetivo que se persigue en cada uno de ellos. En ésta sección se muestran gráficamente estas operaciones con el modelo de unidad propuesta, véase figuras 3.13 a 3.21.

### 3.6.1 SERVICIO.

La entrada de agua (condensados) se realiza a través de la válvula V-1 que la lleva al distribuidor colocado en el interior de la unidad y en la parte superior. Esto permite una distribución uniforme del agua sobre la cama de resina, haciendo que el intercambio sea más eficiente. El efluente resultante deja a la unidad a través de la válvula V-2.

### 3.6.2 SECUENCIA DE REGENERACION.

#### a) RETROLAVADO.

El flujo de retrolavado se alimenta a través de la válvula V-3, que lo lleva al distribuidor en la parte interior del recipiente, y se permite su salida por el distribuidor superior a través de la válvula V-4.

#### b) PRECALENTAMIENTO.

El agua se precalienta circulándola a través del cambiador de calor CH-1, abriendo la válvula V-16, y controlando la temperatura con la válvula VT-1. El agua caliente entra a la pulidora al abrir la válvula V-6 y se desaloja al abrir la válvula V-10.

c) REGENERACION SIMULTANEA.

El paso del regenerante y del agua de dilución, en la -- parte aniónica se hace abriendo las válvulas V-17 y V-16 respectivamente; el aumento de temperatura a 49°C (120°F) se regula con la válvula VT-1. La entrada del regenerante a la Unidad se logra al abrir la válvula V-6 y la salida del regenerante gastado a través de la válvula V-7.

En la parte catiónica el paso del regenerante y el agua de dilución, se logra abriendo las válvulas V-13 y V-15 respectivamente; la entrada de regenerante a la unidad se hace a través de la válvula V-5 y la salida del regenerante gastado por la válvula V-7.

d) ACONDICIONAMIENTO.

Desplazamiento: se alimenta el agua abriendo las válvulas V-5 y V-15 en el lado ácido y las válvulas V-6 y V-16 en el lado básico. La salida del agua se realiza a través de la válvula V-7.

Drenado o vaciado: Se drena el agua abriendo la válvula V-11 e inyectando aire por la válvula V-12.

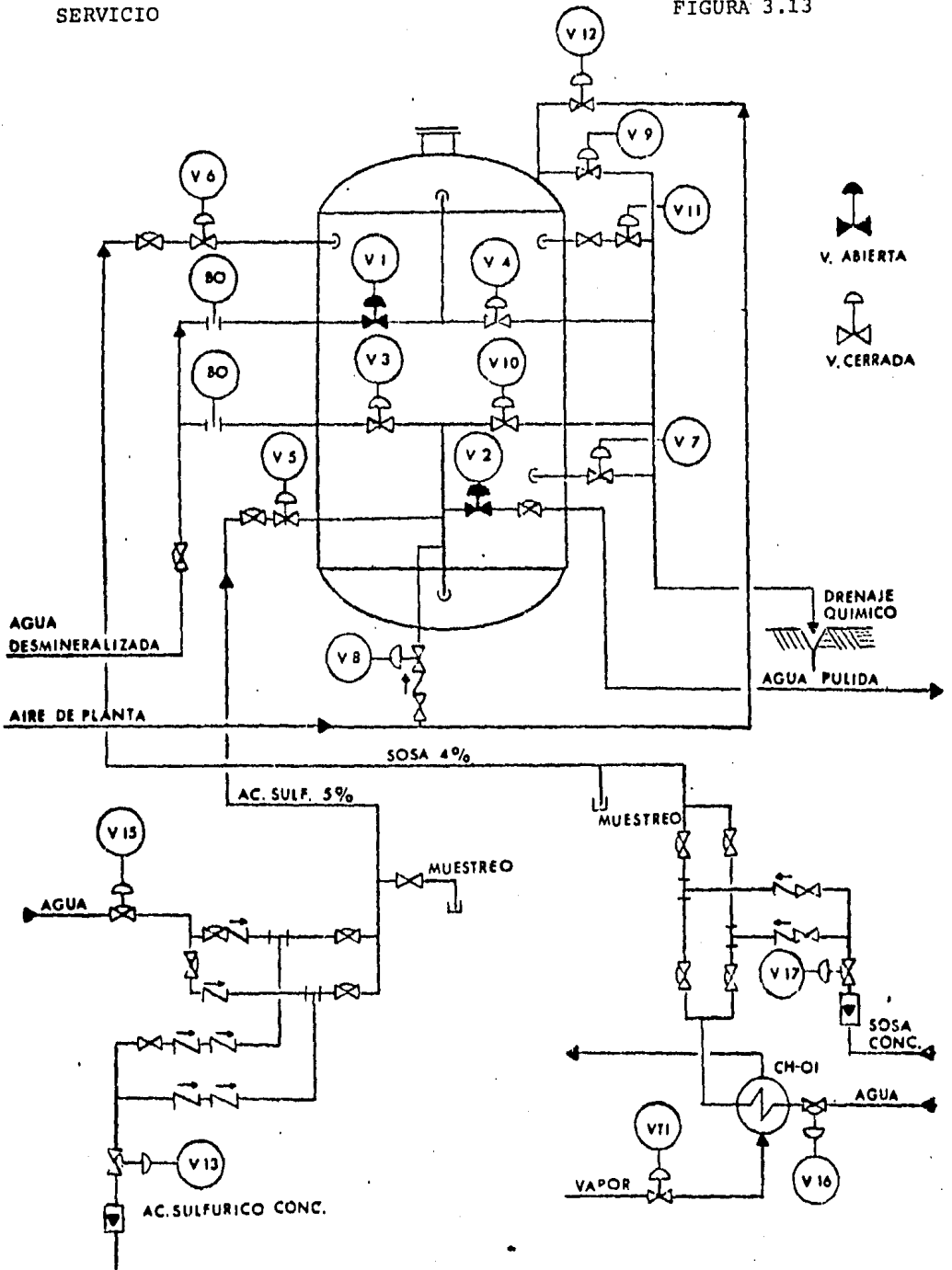
Mezclado: Para la inyección de aire se abre la válvula V-8 y se permite su salida abriendo la válvula V-9.

Llenado: Se hace abriendo la válvula V-1 y simultáneamente se desplaza el aire abriendo la válvula V-9.

Enjuague: Se realiza abriendo la válvula V-1 para la entrada del agua y permitiendo su salida por la válvula V-10.

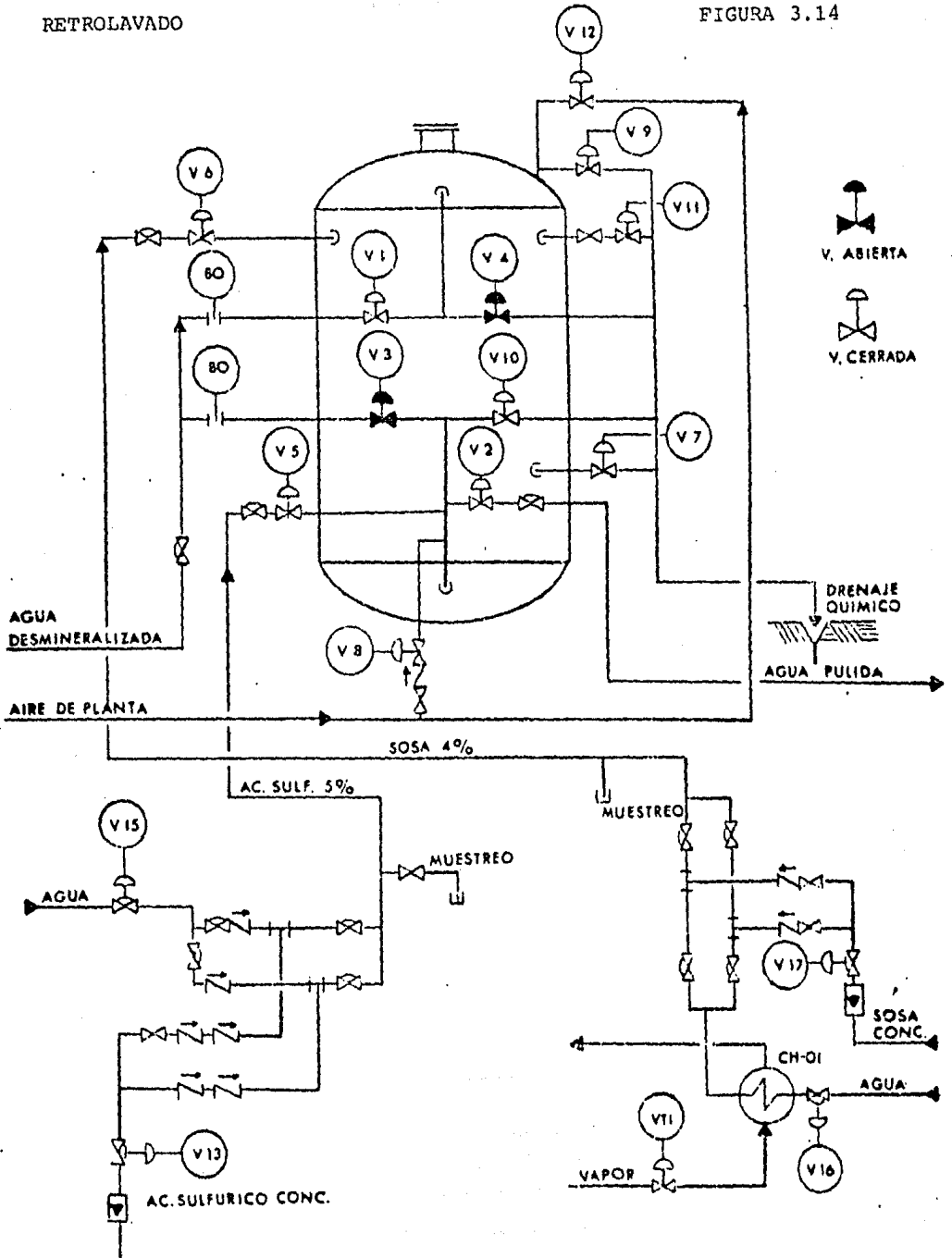
UNIDAD PULIDORA  
SERVICIO

FIGURA 3.13



UNIDAD PULIDORA  
RETROLAVADO

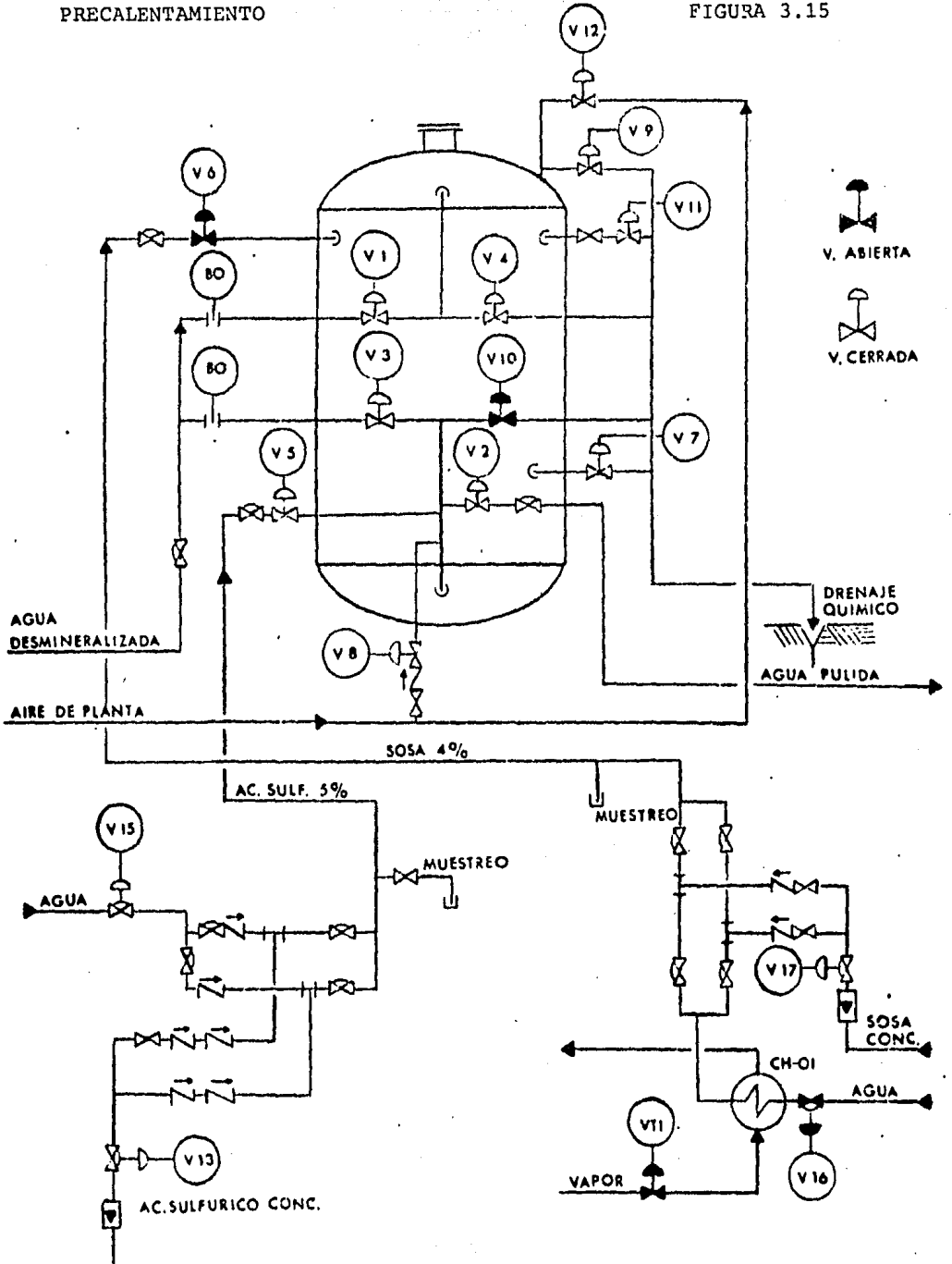
FIGURA 3.14





UNIDAD. PULIDORA  
 PRECALENTAMIENTO

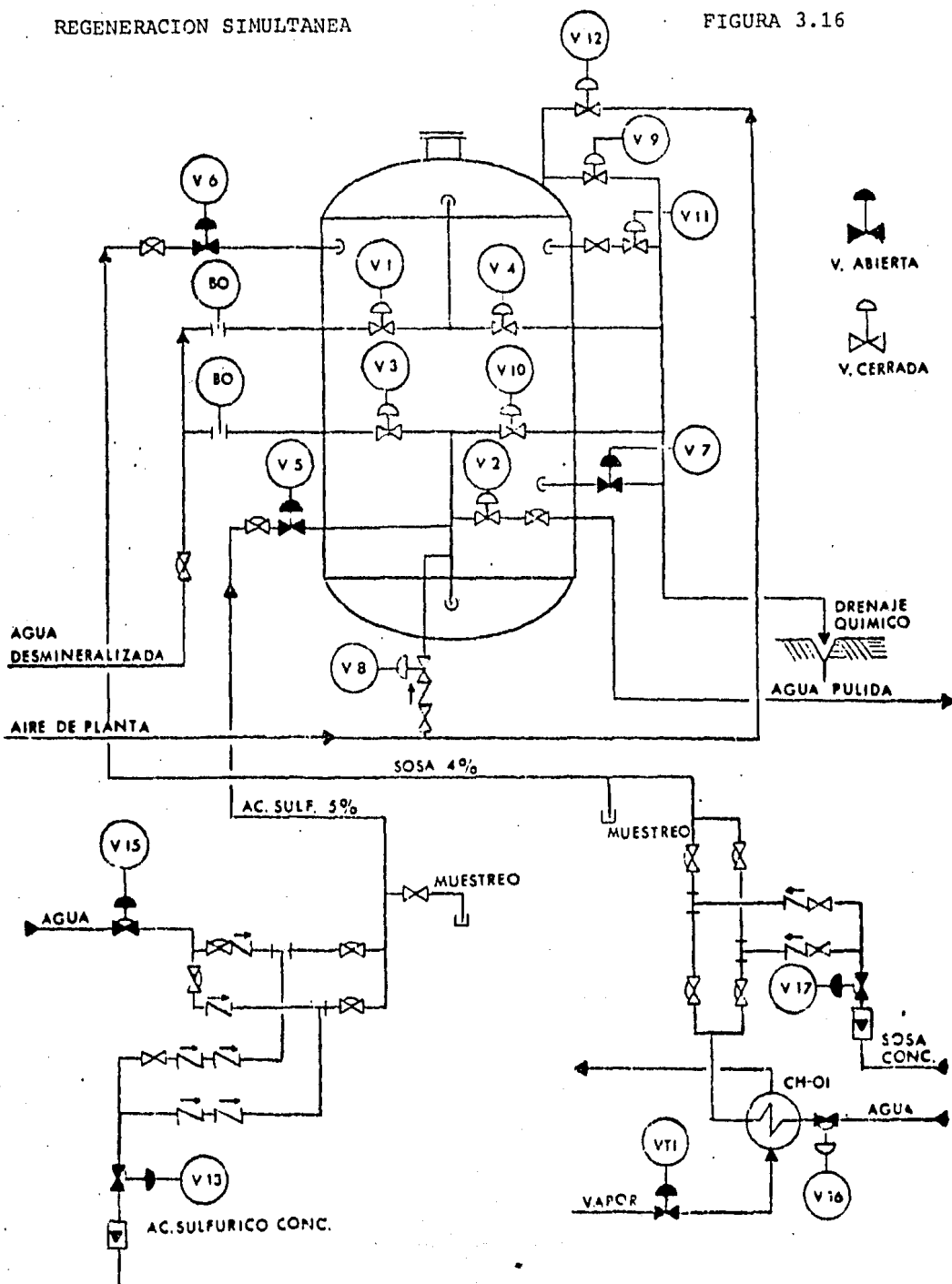
FIGURA 3.15



UNIDAD PULIDORA

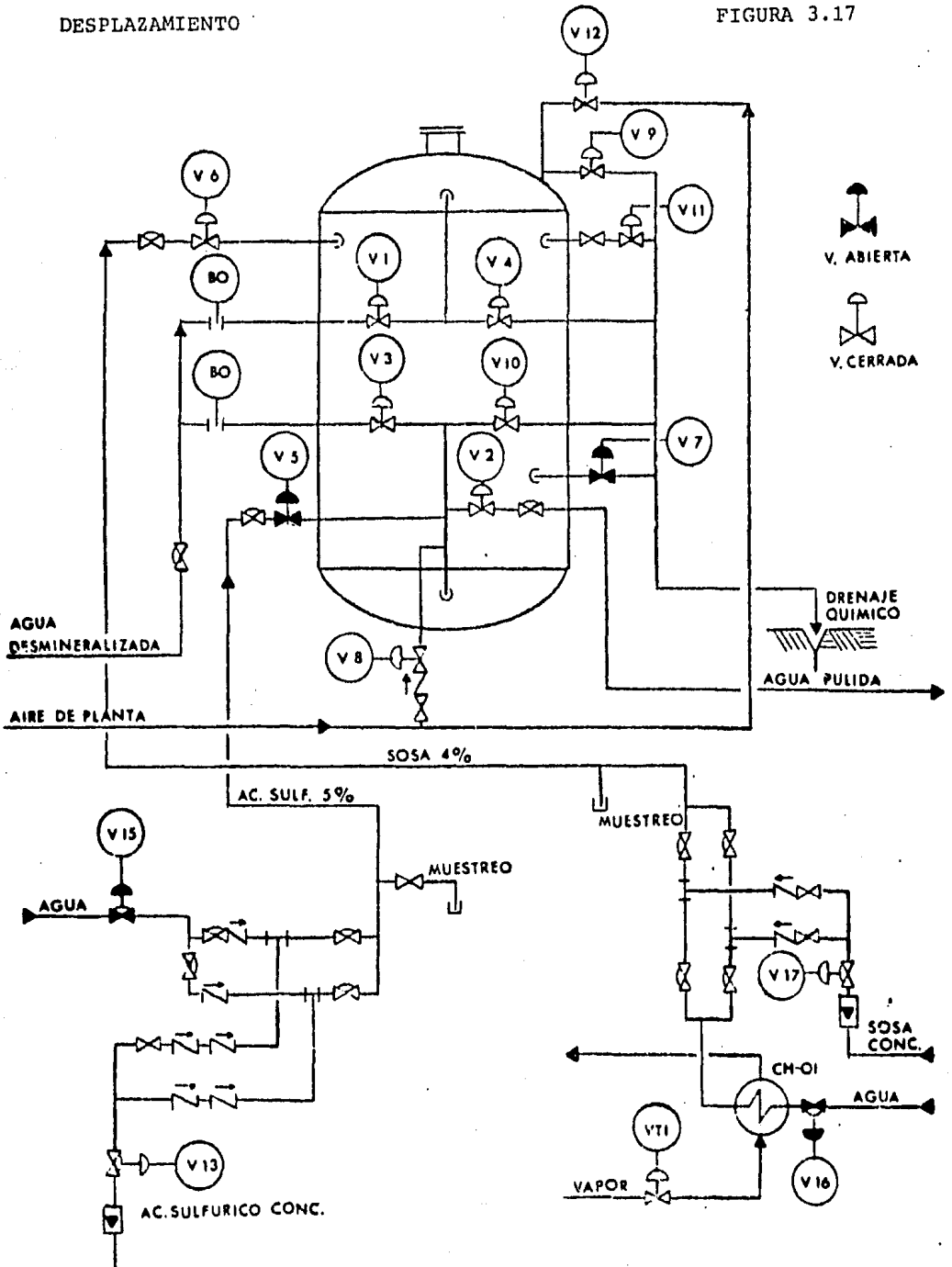
REGENERACION SIMULTANEA

FIGURA 3.16



UNIDAD PULIDORA  
DESPLAZAMIENTO

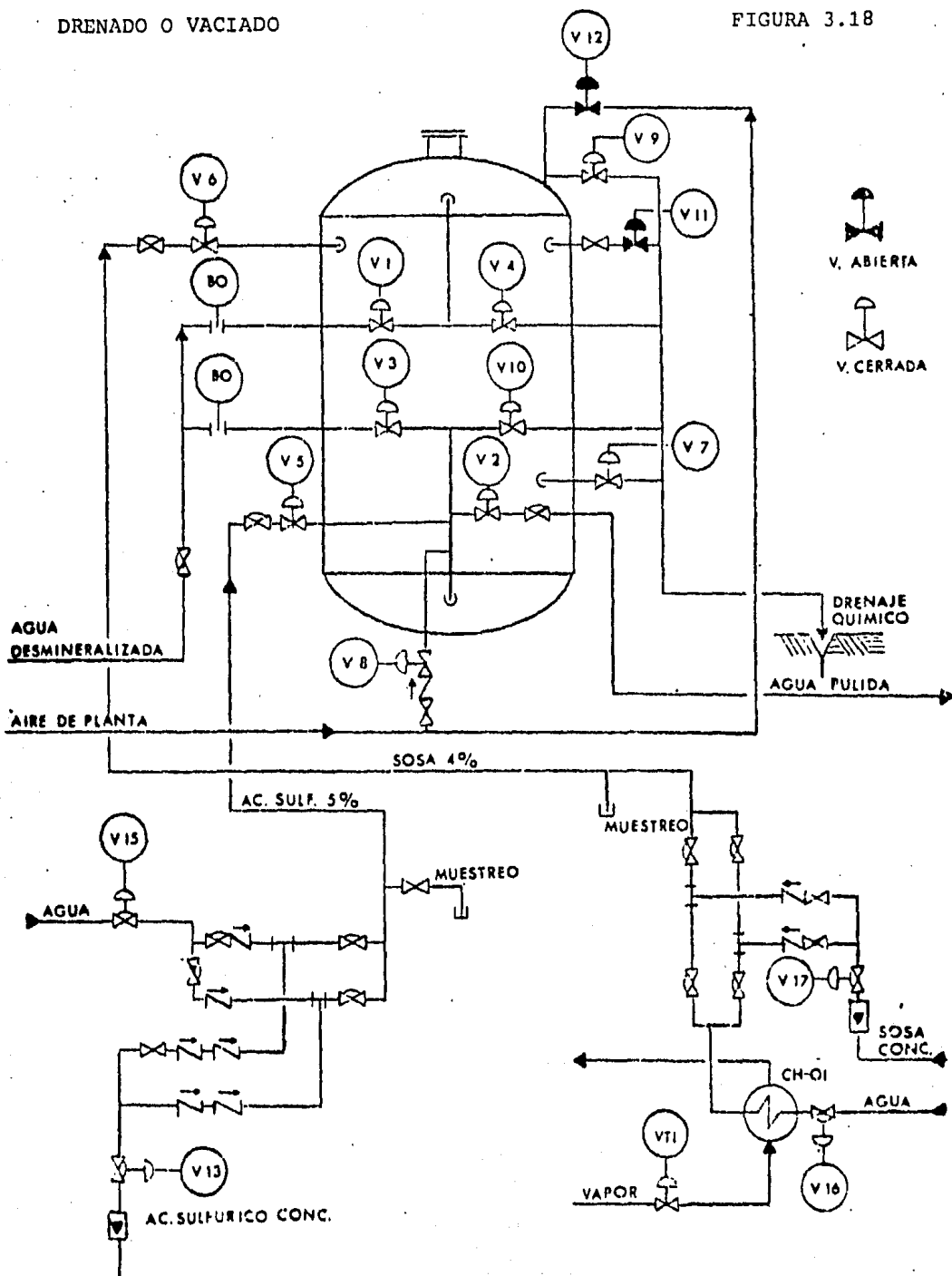
FIGURA 3.17



UNIDAD PULIDORA

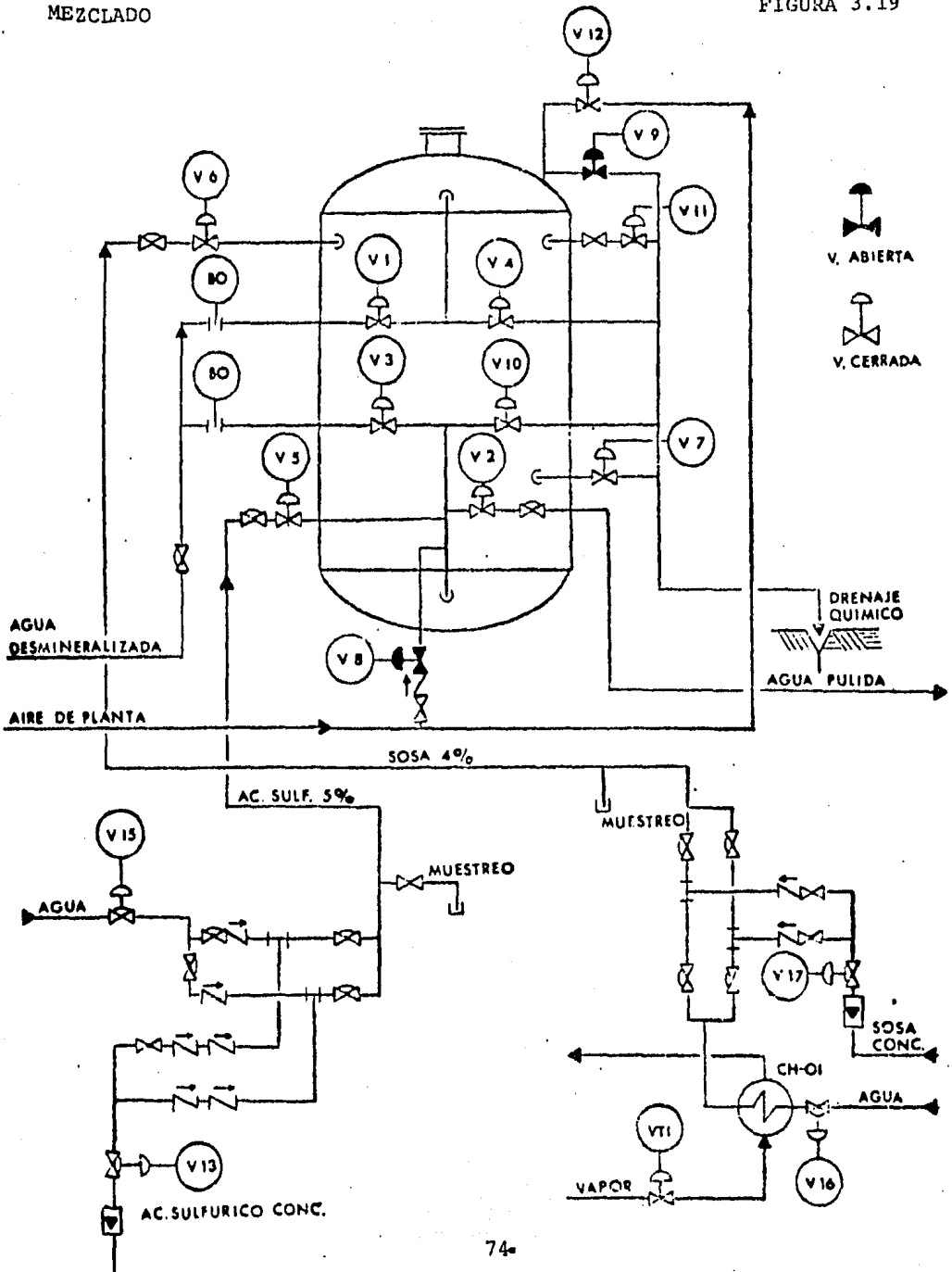
DRENADO O VACIADO

FIGURA 3.18



UNIDAD PULIDORA  
MEZCLADO

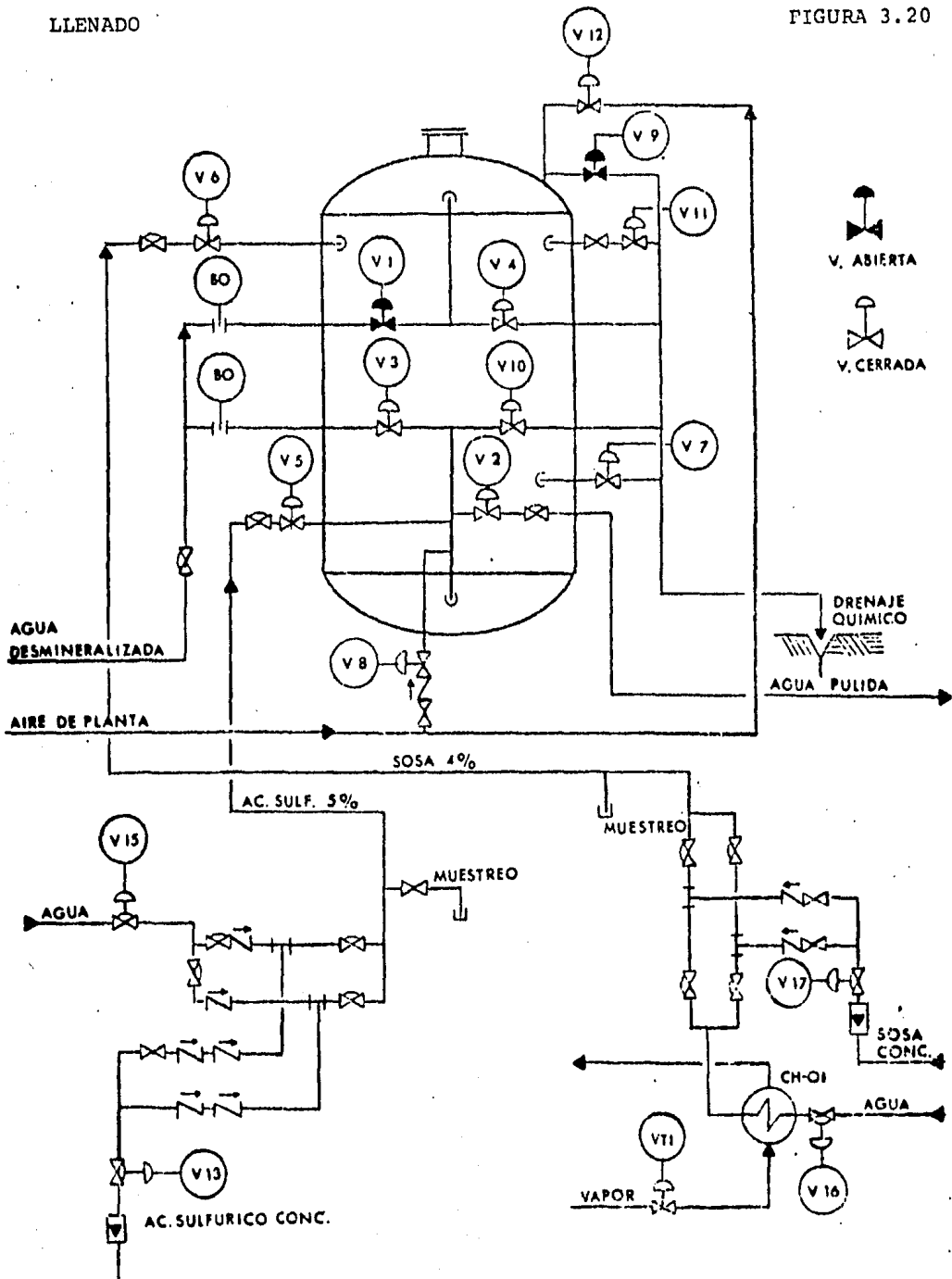
FIGURA 3.19



UNIDAD PULIDORA

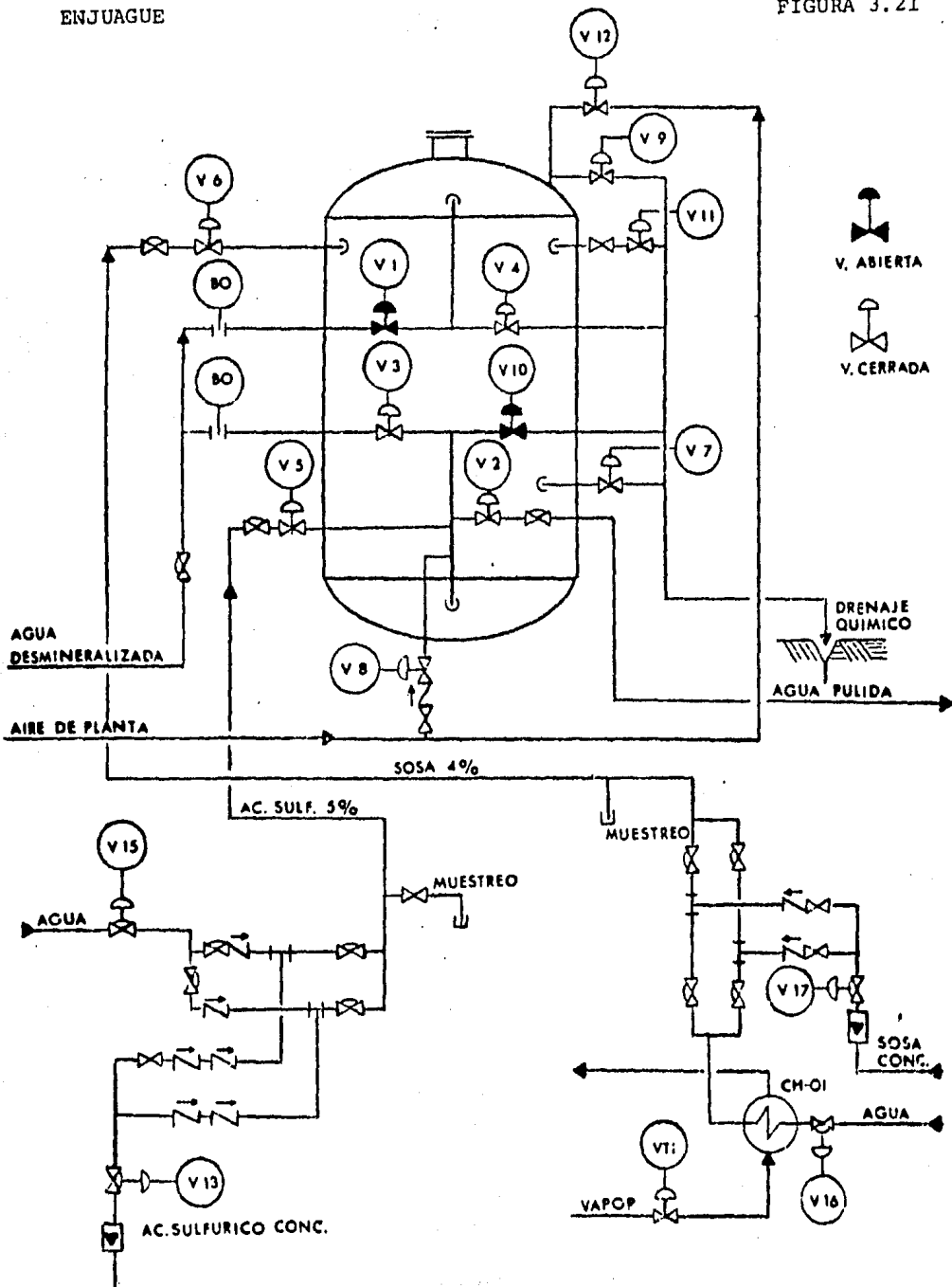
LLENADO

FIGURA 3.20



UNIDAD PULIDORA  
ENJUAGUE

FIGURA 3.21



## C A P I T U L O 4

### DISEÑO Y CALCULO DE UNA UNIDAD PULIDORA.

Antes de ejemplificar el cálculo de una unidad pulidora, es necesario considerar los límites que los fabricantes de -- calderas marcan para la calidad del agua que se suministra a sus equipos. La Tabla 4.1 es un ejemplo de ésto, para una -- caldera de domos con una presión de generación superior a los  $140 \text{ Kg/cm}^2$  ( $2\ 000 \text{ lb/pulg}^2$ ).

El cálculo de un pulidor se ejemplifica con una unidad -- en la que, las dos resinas se regeneran en el mismo recipiente después de su separación durante la operación de retrolavado. Actualmente, en éste tipo de unidades se utiliza una resina inerte, que además de ser muy estable no participa en el proceso de intercambio. Esta resina tiene una densidad intermedia entre la de la resina catiónica y la de la aniónica, lo que permite que después del retrolavado, se ubique entre am--bas resinas separándolas. Esto facilita la operación de regeneración y disminuye el riesgo de contaminación de las resinas durante ésta fase de la operación.

#### 4.1 BASES DE DISEÑO

La unidad pulidora con la que ejemplificamos el cálculo, se diseñará sobre las siguientes bases:

##### 4.1.1 CAPACIDAD

La capacidad de la unidad será la suficiente para tratar el



T A B L A 4.1

Calidad del agua de alimentación, para una caldera de domos - con una presión de generación superior a los 140 Kg/cm<sup>2</sup>.

Agua de Alimentación

Impureza	Máx. Tolerancia ppm
Oxígeno	0.007
Fierro	0.010
Cobre	0.005
Dureza	0.0
CO <sub>2</sub>	0.0
Orgánicos	0.0
pH	8.5 a 9.2

Applebaum S.B., "Demineralization by Ion Exchange", Academic Press, 1968.

volumen de agua requerido como repuesto (make up) para un sistema de generación de vapor con 5 calderas de 200 toneladas - por hora cada una y una presión para el vapor de  $60 \text{ Kg/cm}^2$  -- ( $850 \text{ lb/pulg}^2$ ). La figura 4.1 es un diagrama simplificado de este sistema. En el diagrama se incluye también la unidad -- desmineralizadora, un tanque receptor para el efluente de ésta, la unidad pulidora y un tanque más que recibe el condensado del sistema y el efluente de la pulidora. En estos sistemas se debe contemplar también la posibilidad de alimentar la pulidora con el condensado del sistema, cuando se tenga algún problema de contaminación que puede ser ocasionado por una fuga en los condensadores. Normalmente y con propósitos de balance, se considera la recuperación de solo el 40 % de los -- condensados que se manejan, por tanto, la capacidad para la -- unidad pulidora se calcula como sigue:

$$200 \text{ ton/hr} \times 5 \times 0.6 (60\%) = 600 \text{ ton/hr}$$

esto equivale a  $600 \text{ m}^3/\text{hr}$  de agua, lo cual será el volumen a -- tratar en la unidad.

#### 4.1.2 CALIDAD DEL INFLUENTE Y DEL EFLUENTE EN LA UNIDAD PULIDORA.

Consideraremos que la unidad pulidora tratará normalmente el efluente de la unidad desmineralizadora aunque, eventualmente, podrá recibir parte de los condensados que se recirculan en el sistema. Esto puede verse claramente en la figura 4.1.

El análisis del efluente de la unidad desmineralizadora, se muestra en la columna 1 de la Tabla 4.2. Los valores que

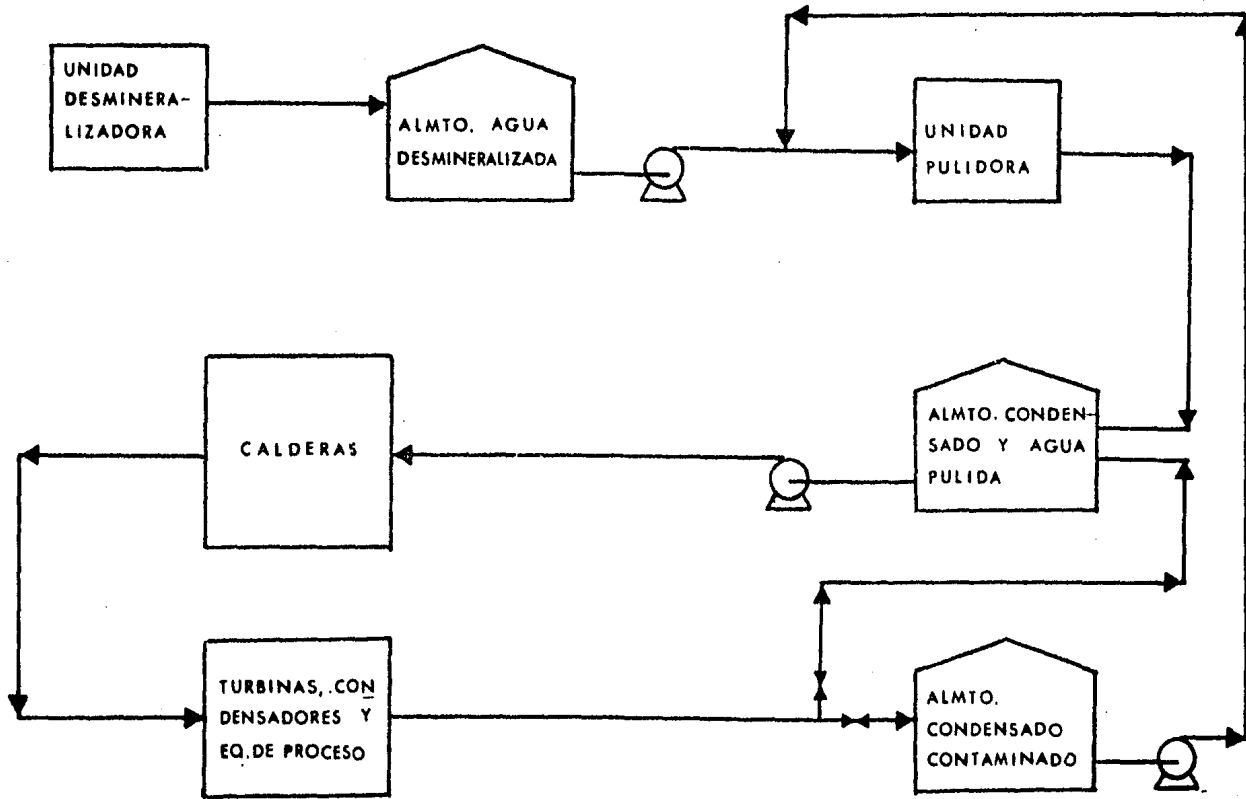


FIG. 4.1

T A B L A 4.2

ANALISIS DE AGUA A LA ENTRADA Y CALIDAD DEL EFLUENTE ESPERADO  
A LA SALIDA DEL SISTEMA DE PULIDO

SUSTANCIA	SIMBOLO	1	2	3	4
<u>Cationes:</u>					
Calcio	Ca <sup>++</sup>	0	2.60	0	0
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	0	4.10	0	0
Sodio	Na <sup>+</sup>	9.17	2.18	20	0.15
Hidrógeno-ácidez	H <sup>+</sup>	- -	- -	- -	- -
Cationes totales		9.17		20	0.15
<u>Aniones:</u>					
Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	0.82	0	0
Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	0.83	0	0
Hidróxidos	OH <sup>-</sup>	6.80	2.94	20	0.15
Fosfatos	PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>	0	1.58	0	0
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	0	1.41	0	0
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>---</sup>	0	1.04	0	0
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	0.81	0	0
Aniones totales		6.80		20	0.15
DUREZA TOTAL				0	0
Alcalinidad A (Anaranjado de metilo)				5	0.075
Alcalinidad B (Fenolftaleína)				5	0.075
DUREZA CARBONATADA				0	0
BIOXIDO DE CARBONO.		0	1.14	0	0
SILICE		3.61	0.83	3	0.01
pH				9.5	7.8

DONDE: 1.- ppm como sustancia (influyente unidad pulidora).  
2.- Factor de conversión.  
3.- ppm como CaCO<sub>3</sub> (influyente unidad pulidora).  
4.- Efluente esperado de la unidad pulidora.

se indican se dan en ppm como sustancia, para expresar esto - en ppm como  $\text{CaCO}_3$  (que es la forma en que normalmente se expresan las concentraciones en el tratamiento de agua) podemos utilizar los factores de conversión de la Tabla 4.3, estos se muestran en la Columna 2. La columna 3 es el resultado de -- aplicar los factores de la columna 2 a los valores de la columna 1, quedando las concentraciones expresadas en ppm como  $\text{CaCO}_3$ . La columna 4 de ésta Tabla es la calidad del efluente esperado a la salida de la unidad pulidora expresado en ppm - como  $\text{CaCO}_3$ .

#### 4.1.3 DURACION DEL CICLO DE SERVICIO.

Esto es el tiempo que se pretende operar la unidad sin - necesidad de regenerar la resina.

Para una unidad pulidora, esto puede ser del orden de -- las 24 horas, ya que la cantidad de iones presentes en el influente es pequeña, y por tanto, la utilización en el cálculo de tiempos relativamente largos para la duración del ciclo de servicio, no lleva a la necesidad de manejar grandes volúmenes de resina, como podría resultar al considerar un ciclo de servicio de ésta magnitud para una unidad desmineralizadora.

#### 4.2 CALCULO DE UNA UNIDAD DE LECHO MIXTO.

##### 4.2.1 DIMENSIONES DEL RECIPIENTE A UTILIZAR.

Aún cuando las velocidades de flujo que se pueden utilizar en el pulido de condensados son del orden de los  $122.5 \text{ m}^3$  por hora/ $\text{m}^2$  ( $50 \text{ GPM}/\text{pie}^2$ ), de acuerdo con la literatura dispo

TABLA 4.3

QUIMICOS USADOS EN TRATAMIENTO DE AGUA; PESO ATOMICO Y EQUIVALENTE Y F. DE CONVERSION

Sustancia	Fórmula	Peso molecular	Peso eq.	F. de conv. usando $\frac{\text{pmol. de CaCO}_3}{\text{eq. CaCO}_3 \text{ sust.}}$
Aluminum	Al	27.0	3.0	5.56
Aluminum Chloride	AlCl <sub>3</sub>	133.	44.4	1.13
Aluminum Chloride	AlCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	241.	80.5	0.62
Aluminum Hydrate	Al(OH) <sub>3</sub>	78.0	26.0	1.92
Aluminum Sulfate	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·18H <sub>2</sub> O	666.4	111.1	0.45
Aluminum Sulfate	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (anhydrous)	342.1	57.0	0.88
Alumina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	101.9	17.0	2.94
Sodium Aluminate	Na <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	163.9	27.8	1.80
Alum Ammonium	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·24H <sub>2</sub> O	966.6	151.1	0.33
Alum Potassium	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·24H <sub>2</sub> O	948.8	156.1	0.32
Ammonia	NH <sub>3</sub>	17.0	17.0	2.94
Ammonium (ion)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	18.0	18.0	2.78
Ammonium Chloride	NH <sub>4</sub> Cl	53.5	53.5	0.93
Ammonium Hydroxide	NH <sub>4</sub> OH	35.1	35.1	1.42
Ammonium Sulfate	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132.0	66.1	0.76
Barium	Ba	137.4	68.7	0.73
Barium Carbonate	BaCO <sub>3</sub>	197.4	98.7	0.58
Barium Chloride	BaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	244.3	122.2	0.41
Barium Hydroxide	Ba(OH) <sub>2</sub>	171.	85.7	0.59
Barium Nitrate	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	261.3	130.6	0.38
Barium Oxide	BaO	153.	76.7	0.65
Barium Sulfate	BaSO <sub>4</sub>	233.4	116.7	0.43
Calcium	Ca	40.1	20.0	2.50
Calcium Bicarbonate	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	162.1	81.1	0.62
Calcium Carbonate	CaCO <sub>3</sub>	100.08	50.1	1.00
Calcium Chloride	CaCl <sub>2</sub>	111.0	55.5	0.90
Calcium Hydrate	Ca(OH) <sub>2</sub>	74.1	37.1	1.35
Calcium Hypochlorite	Ca(ClO) <sub>2</sub>	143.1	35.8	0.70
Calcium Nitrate	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	164.1	82.1	0.61
Calcium Oxide	CaO	56.1	28.0	1.79
Calcium Phosphate	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	310.3	51.7	0.97
Calcium Sulfate	CaSO <sub>4</sub> (anhydrous)	136.1	68.1	0.74
Calcium Sulfate	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O (gypsum)	172.2	86.1	0.58
Carbon	C	12.0	3.00	16.67
Chlorine (ion)	Cl <sup>-</sup>	35.5	35.5	1.41
Copper	Cu	63.6	31.8	1.57
Copper Sulfate (Cupric)	CuSO <sub>4</sub>	160.	80.0	0.63
Copper Sulfate (Cupric)	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	250.	125.	0.40
Iron (Ferrous)	Fe <sup>2+</sup>	55.8	27.9	1.79
Iron (Ferric)	Fe <sup>3+</sup>	55.8	18.6	2.69
Ferrous Carbonate	FeCO <sub>3</sub>	116.	57.3	0.86
Ferrous Hydroxide	Fe(OH) <sub>2</sub>	89.9	44.9	1.11
Ferrous Oxide	FeO	71.8	35.9	1.39
Ferrous Sulfate	FeSO <sub>4</sub> (anhydrous)	151.9	76.0	0.66
Ferrous Sulfate	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	278.0	139.0	0.36
Ferrous Sulfate	FeSO <sub>4</sub> (anhydrous)	151.9	151.9	oxidation
Ferric Chloride	FeCl <sub>3</sub>	162.	54.1	0.93
Ferric Chloride	FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	275.	90.1	0.56
Ferric Hydroxide	Fe(OH) <sub>3</sub>	107.	35.6	1.41
Ferric Oxide	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	160.	26.6	1.88
Ferric Sulfate (Ferrisul)	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	399.9	66.7	0.75
Ferrous or Ferric	Fe or Fe	55.8	55.8	oxidation
Fluorine	F	19.0	19.0	2.63
Hydrogen (ion)	H <sup>+</sup>	1.01	1.01	50.0
Iodine	I	127.	127.	0.40
Lead	Pb	207.	104.	0.48
Magnesium	Mg	24.3	12.2	4.10
Magnesium Carbonate	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	146.3	73.2	0.68
Magnesium Carbonate	MgCO <sub>3</sub>	84.3	42.2	1.19
Magnesium Chloride	MgCl <sub>2</sub>	95.2	47.6	1.05
Magnesium Hydrate	Mg(OH) <sub>2</sub>	58.3	29.2	1.71
Magnesium Nitrate	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	148.3	20.2	2.48
Magnesium Oxide	MgO	40.3	74.2	0.67
Magnesium Phosphate	Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	262.9	43.8	1.14
Magnesium Sulfate	MgSO <sub>4</sub>	120.4	60.2	0.83
Manganese (Manganous)	Mn <sup>2+</sup>	54.9	27.5	1.85
Manganese (Manganic)	Mn <sup>3+</sup>	54.9	18.3	2.73
Manganese Chloride	MnCl <sub>2</sub>	125.8	62.9	0.80
Manganese Dioxide	MnO <sub>2</sub>	86.9	21.7	2.30
Manganese Hydroxide	Mn(OH) <sub>2</sub>	89.0	44.4	1.13
Manganic Oxide	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	158.	26.3	1.90
Manganous Oxide	MnO	70.9	35.5	1.41

Rohm and Haas Co., "Engineering Manual for the Amberlite Ion Exchange Resins", Philadelphia, Pa.

TABLA 4.3 (Cont.)

QUIMICOS USADOS EN TRATAMIENTO DE AGUA; PESO ATOMICO Y EQUIVALENTE Y F. DE CONVERSION				F. de conv. P.m. CaCO <sub>3</sub> 100	
Sustancia	Fórmula	P.Mol.	P.ec	eq. CaCO <sub>3</sub>	a sust.
Nitrogen (Valence 3)	N <sup>+++</sup>	14.0	4.67	10.7	0.09
Nitrogen (Valence 5)	N <sup>++++</sup>	14.0	2.80	17.9	0.06
Oxygen	O	16.0	8.00	6.25	0.16
Phosphorus (Valence 3)	P <sup>+++</sup>	31.0	10.3	4.85	0.21
Phosphorus (Valence 5)	P <sup>++++</sup>	31.0	6.20	8.66	0.12
Potassium	K	39.1	39.1	1.28	0.78
Potassium Carbonate	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	138.	69.1	0.72	1.38
Potassium Chloride	KCl	74.6	74.6	0.67	1.49
Potassium Hydroxide	KOH	56.1	56.1	0.89	1.12
Silver Chloride	AgCl	143.3	143.3	0.35	2.87
Silver Nitrate	AgNO <sub>3</sub>	169.9	169.9	0.29	3.43
Silica	SiO <sub>2</sub>	60.1	30.0	0.83	0.60
Silicon	Si	28.1	7.03	7.11	0.14
Sodium	Na	23.0	23.0	2.18	0.46
Sodium Bicarbonate	NaHCO <sub>3</sub>	84.0	84.0	0.60	1.68
Sodium Bisulfate	NaHSO <sub>4</sub>	120.			
Sodium Bisulfite	NaHSO <sub>3</sub>	106.			
Sodium Carbonate	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	106.	53.0	0.94	1.06
Sodium Carbonate (ANH)	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	286.	143.	0.35	2.86
Sodium Chloride	NaCl	58.5	58.5	0.85	1.17
Sodium Hypochlorite	NaClO	74.5	37.3	0.57	1.49
Sodium Hydrate	NaOH	40.0	40.0	1.25	0.60
Sodium Nitrate	NaNO <sub>3</sub>	85.0	85.0	0.59	1.70
Sodium Nitrite	NaNO <sub>2</sub>	69.0	34.5	0.73	1.38
Sodium Oxide	Na <sub>2</sub> O	62.0	31.0	1.61	0.62
Tri-sodium Phosphate	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O (18.7% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	380.2	126.7	0.40	2.53
Tri-sodium Phos. (anhydrous)	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (43.2% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	164.0	54.7	0.31	1.09
Di-sodium Phosphate	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O (19.8% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	358.2	119.4	0.42	2.39
Di-sodium Phos. (anhydrous)	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (53% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	142.0	47.3	1.06	0.55
Mono-sodium Phosphate	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O (51.4% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	138.1	46.0	1.09	0.92
Mono-sod. Phos. (anhydrous)	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (59.1% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	120.0	40.0	1.25	0.80
Meta-Phosphate (Magun)	Na <sub>3</sub> PO <sub>3</sub> (69% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	102.0	34.0	1.47	0.68
Sodium Sulfate	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	142.1	71.0	0.70	1.42
Sodium Sulfate (ANH)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	322.1	161.1	0.31	3.22
Sodium Thiosulfate	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	158.1	158.1	0.63	1.59
Sodium Tetrathionate	Na <sub>2</sub> S <sub>4</sub> O <sub>6</sub>	270.2	135.1	0.37	2.71
Sodium Sulfite	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	126.1	63.0	0.79	1.26
Sulfur (Valence 2)	S <sup>++</sup>	32.1	16.0	3.13	0.32
Sulfur (Valence 4)	S <sup>+++</sup>	32.1	8.02	6.25	0.16
Sulfur (Valence 6)	S <sup>++++</sup>	32.1	5.34	9.36	0.11
Sulfur Dioxide	SO <sub>2</sub>	64.1	32.0		
Tin	Sn	119.			
Water	H <sub>2</sub> O	18.0	9.00	5.56	0.18
Zinc	Zn	65.4	32.7	1.53	0.65

Radicales ácido					
Bicarbonate	HCO <sub>3</sub>	61.0	61.0	0.82	1.22
Carbonate	CO <sub>3</sub>	60.0	30.0	0.83*	.60
Carbon Dioxide	CO <sub>2</sub>	44.0	44.0	1.14	.88
Chloride	Cl	35.5	35.5	1.41	.71
Iodide	I	126.9	126.9	0.39	2.54
Nitrate	NO <sub>3</sub>	62.0	62.0	0.81	1.24
Hydrate	OH	17.0	17.0	2.84	0.34
Phosphate	PO <sub>4</sub>	95.0	31.7	1.58	0.63
Phosphorous Oxide	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	142.0	23.7	2.11	0.47
Sulfide	S	32.1	16.0	3.13	0.32
Sulfate	SO <sub>4</sub>	96.1	48.0	1.04	0.96
Sulfur Trioxide	SO <sub>3</sub>	80.1	40.0	1.25	0.80

Acidos					
Hydrogen	H	1.0	1.0	50.00	0.02
Acetic Acid	HC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	60.1	60.1	0.83	1.20
Carbonic Acid	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	62.0	31.0	1.61	0.62
Hydrochloric Acid	HCl	36.5	36.5	1.37	0.73
Nitric Acid	HNO <sub>3</sub>	63.0	63.0	0.79	1.26
Phosphoric Acid	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	98.0	32.7	1.53	0.65
Sulfurous Acid	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	82.1	41.1	1.22	0.82
Sulfuric Acid	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98.1	49.0	1.02	0.98
Hydrogen Sulfide	H <sub>2</sub> S	34.1	17.05	2.93	0.34
Manganous Acid	H <sub>2</sub> MnO <sub>3</sub>	104.9	32.5	0.95	1.05

\*En reacciones de intercambio iónico, se asume que el carbonato reacciona como ión monovalente.

nible de los fabricantes de resina , resulta conveniente tomar en cuenta las características hidráulicas de las resinas, en especial su comportamiento en cuanto a la caída de presión. Si nos referimos a las figuras 6.1b y 6.2a (capítulo 6) se observa que para un flujo de  $122.5 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$  la caída de presión resulta ya considerable e inclusive, no se reporta para la resina Amberlite IRA-900 (figura 6.2a). El intervalo que cubre ésta última gráfica se encuentra entre los  $7.35$  y los  $73.5 \text{ m}^3$  - por hora/ $\text{m}^2$  (3 y 30 GPM/pie<sup>2</sup>). Siendo frecuente en diseño, el uso de valores intermedios, consideraremos un flujo de  $36.75 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$  (15 GPM/pie<sup>2</sup>) para el dimensionamiento del recipiente.

#### 4.2.1.1 DIAMETRO DEL RECIPIENTE.

Tomando en cuenta que el volumen a tratar es de  $600 \text{ m}^3/\text{hr}$  (2640 GPM), entonces el área requerida en el recipiente para manejar los  $36.75 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$  se calcula como sigue:

$$\text{Area transversal} = A = \frac{600}{36.75} = 16.33 \text{ m}^2 \text{ (176 pies}^2\text{)}$$

$$\text{Si } A = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ entonces } D = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}}$$

donde D es el diámetro del recipiente.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 16.33}{3.1416}} = 4.56 \text{ m (14.96 pies)}$$

Un recipiente con éste diámetro no resulta muy manejable, por lo que probaremos instalando dos y dividiendo el flujo entre ambos; entonces se tiene:

$$\text{Flujo por unidad} = \frac{600}{2} = 300 \text{ m}^3/\text{hr} \text{ (1320 GPM)}$$



$$\text{área transversal} = \frac{300}{36.75} = 8.16 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 8.16}{3.1416}} = 3.22 \text{ m (10.56 pies)}$$

consideraremos un diámetro de 3.2 m. (10.5 pies) que corresponde a lo comercialmente disponible en tapas semielípticas (ver Tabla 6.2) para tanques cilíndricos.

#### 4.2.1.2 ALTURA.

Para calcular la altura es necesario definir los volúmenes de resina a utilizar.

#### 4.2.2 DETERMINACION DE LOS VOLUMENES DE RESINA.

Para definir los volúmenes de resina a utilizar, es necesario referirse a la información que sobre capacidad y otras características de la resina, suministra el fabricante de las mismas (referirse a tablas y gráficas del capítulo 6).

##### 4.2.2.1 RESINA ANIONICA.

Consideraremos la información suministrada por el fabricante Rohm and Hass Co. para la resina aniónica fuerte con nombre comercial Amberlite IRA-900C, que es además la recomendada por el mismo fabricante para el pulido de condensados (referirse a Tabla 6.1). Las Tablas 6.3 y 6.4 se refieren a las características físicas e hidráulicas de ésta resina, así como a sus condiciones de operación y otras notas importantes.

El volumen de resina de acuerdo a la información que ma-

neja el fabricante queda definido por la siguiente ecuación:

$$V.R. = \frac{Q \times \theta \times \text{ppm} \times 264.17}{17100 \times C.R.} \quad (1)$$

en donde:

V.R. = Volumen de resina ( $m^3$ )

Q = Flujo de servicio ( $m^3/hr$ )

$\theta$  = Duración del ciclo de servicio (hr)

ppm = Partes por millón a tratar por la resina

264.17 = Factor de conversión (galones por metro cúbico)

17100 = Factor de conversión de ppm como  $CaCO_3$  a Kgr/gal

C.R. = Capacidad de la resina ( $kgr/m^3$ )

en nuestro caso particular  $Q = 300 m^3/hr$ ,  $\theta = 24 hr$ ,  $ppm = 20$   
(ver tabla 4.2).

#### SELECCION DEL NIVEL DE REGENERACION Y DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE LA RESINA.

El nivel de regeneración para ésta resina se selecciona utilizando una gráfica (figura 6.3) en la que uno de los parámetros es precisamente el nivel de regeneración y el otro es la fuga de sílice. Esta curva considera el precalentamiento de la cama hasta una temperatura de  $49^\circ C$  ( $120^\circ F$ ) que se considera óptima para la regeneración. Nuestra limitante para la selección del nivel de regenerante es la fuga de sílice y ésta de acuerdo a las características que se solicitan para el efluente de la unidad en la Tabla 4.2 debe ser del orden de las 0.01 ppm.

De la gráfica 6.3 obtenemos que para un nivel de regeneración 6, la fuga es de aproximadamente 0.011 ppm. El hablar de un nivel de regeneración 6 significa el tener que considerar 6 lb de NaOH al 100% por cada pie cúbico de resina en la

regeneración, lo que equivale a decir 96 kg de NaOH al 100% - por cada  $m^3$  de resina.

Para la determinación de la capacidad de la resina se requiere hacer uso de la figura 6.4. En ésta, uno de los parámetros es la concentración de sílice a aniones totales. En éste caso particular el total de aniones lo constituyen el sílice y los iones  $OH^-$  relacionados con el  $Na^+$  presente. Considerando que éste sodio no es atrapado por la resina, estos iones  $OH^-$  finalmente deben mantenerse en la misma proporción, - aún después de haber pasado por la resina aniónica, dada la - condición de equilibrio; de esto se concluye que solo el sílice debe de tomarse en cuenta para determinar la capacidad de la resina. Por tanto, el sílice en éste caso es el 100% de - los aniones, y la capacidad deberá leerse para una concentración de 1.0 en las gráficas correspondientes.

Con ésta fracción de concentración de 1.0 y el nivel de regeneración 6 escogido, de las gráficas obtenemos para la capacidad de la resina los siguientes valores:

RELACION	CAPACIDAD kgr/pie <sup>3</sup> (1)	CAPACIDAD kgr/m <sup>3</sup> (2)
SiO <sub>2</sub> - Cl	12.6	445
SiO <sub>2</sub> - SO <sub>4</sub>	12.7	448
SiO <sub>2</sub> - HCO <sub>3</sub>	12.75	450

(1) Lectura directa de gráfica.

(2) Después de la transformación de unidades (Factor 35.31).

Utilizando el menor valor por seguridad (445 kgr/m<sup>3</sup>), y aplicando la ecuación (1) se obtiene para la resina aniónica:

$$V.R. = \frac{300 \times 24 \times 20 \times 264.17}{17100 \times 445}$$

$$V.R. = 5 \text{ m}^3 \text{ (176.5 pies}^3\text{)}$$

Teóricamente con éste volumen de resina puede tratarse - la carga aniónica considerada.

Adicionalmente a la carga del flujo a tratar debe considerarse la carga del flujo de enjuague que en éste caso y de acuerdo a la recomendación del fabricante debe ser de  $10 \text{ m}^3$  - por  $\text{m}^3$  de resina ( $75 \text{ gal/pie}^3$  de resina), Tabla 6.6.

Por tanto, los galones requeridos para el enjuague serán:

$$10 \text{ m}^3/\text{m}^3 \times 5 \text{ m}^3 = 50 \text{ m}^3 \text{ (13208 galones)}$$

y el volúmen requerido de resina para tratar esto, se calcula como sigue:

$$V.R. = \frac{50 \times 20 \times 264.17}{17100 \times 445} = 0.035 \text{ m}^3 \text{ (1.23 pies}^3\text{)}$$

por tanto el volumen de resina requerido será:

$$V.R. = 5.0 + 0.035 = 5.035 \text{ m}^3 \text{ (1.23 pies}^3\text{)}$$

#### 4.2.2.2 RESINA CATIONICA

Consideraremos la información del mismo fabricante Rohm and Hass Co. para la resina catiónica fuerte con nombre comercial Amberlite 200C que también es la que se recomienda (referirse a la Tabla 6.1) para éste tipo de aplicación. Las tablas 6.3 y 6.4 se refieren a las características físicas e hidráulicas así como a sus condiciones de operación y otras notas importantes. Las figuras 6.5 a 6.12 son sus curvas de ca

pacidad y fuga de sodio para diferentes niveles de regeneración.

Para fijar el nivel de regeneración, debe considerarse - la fuga de sodio. Esta última de acuerdo a la Tabla 4.2, no debe ser mayor de 0.15 ppm. Refiriéndonos a las gráficas 6.5 a 6.12, que son específicas para la resina catiónica Amberlite IRA-200C, encontramos que:

- 1.- Se cuenta con una gráfica para cada nivel de regeneración.
- 2.- En el espacio superior izquierdo, existe una curva - para la fuga de sodio.
- 3.- Para leer la fuga de sodio, es necesario conocer el porcentaje de alcalinidad. En éste caso debido solo a los iones hidróxido y a la concentración de sodio (porcentaje total de cationes):

$$\% \text{ de alcalinidad} = \frac{20}{20} \times 100 = 100$$

$$\% \text{ de sodio} = \frac{20}{20} \times 100 = 100$$

- 4.- Con éstos datos, se efectúa la lectura de la siguiente manera: localizamos el 100% de concentración de sodio y se traza una vertical hasta cruzar con la línea de alcalinidad 100%; a partir del punto de cruce trazamos una horizontal en donde se lee el porcentaje de fuga. Haciendo ésto para el nivel de regeneración 3 ( $\text{lb H}_2\text{SO}_4/\text{pie}^3$ ), el valor leído es aproximadamente 1.8%, por tanto la fuga es:

$$\frac{1.8 \% \times 20 \text{ ppm}}{100 \%} = 0.36 \text{ ppm de Na como CaCO}_3$$

éste valor es mayor al requerido de 0.15, por lo que efectuamos la lectura a niveles mayores.

En el nivel 6 (1b  $H_2SO_4$ /pie<sup>3</sup>), la lectura es 0.7 % - por lo que la fuga será:

$$\frac{0.7 \% \times 20 \text{ ppm}}{100 \%} = 0.14 \text{ ppm de Na como CaCO}_3$$

por lo que teóricamente podemos trabajar con éste nivel de regeneración. Este nivel de regeneración en unidades del sistema métrico equivale a considerar - 96 Kg de  $H_2SO_4$  al 100 % por metro cúbico de resina.

El cambio en los valores del nivel de regeneración se hace para cumplir con el valor de fuga que se establezca.

Para determinar la capacidad de la resina, se requieren los siguientes datos:

% de calcio (% Ca)

% de Sodio (% Na)

% de Magnesio (% Mg)

De la tabla 4.2 en el análisis del influente, observamos que solo tenemos sodio, por lo que:

$$\% \text{ Na} = 100$$

$$\% \text{ Ca} = 0$$

$$\% \text{ Mg} = 0$$

Con estos datos y la gráfica de capacidad para nivel 6, efectuamos la lectura de la siguiente manera. Las capacidades son las líneas gruesas que se muestran en el diagrama tricom-

ponente y sus valores se muestran en dos de los lados del -- triángulo y están expresados en kilogranos (como  $\text{CaCO}_3$ ) por - pie cúbico de resina; en nuestro caso como el punto en el diagrama corresponde a 100 % sodio, es fácil de ubicar, leyéndose un valor de 17 para la capacidad.

Existe un factor de corrección para la capacidad por la alcalinidad, esto se muestra en la figura 6.13. Para leer el factor de corrección, se requiere de los porcentos de sodio y alcalinidad que ya fueron calculados, siendo 100 % ambos, por lo que el valor leído es el máximo, es decir 1.4. Aplicando éste factor a la capacidad leída se obtiene:

$$\text{C.R.} = 17 \times 1.4 = 23.8 \text{ Kgr/pie}^3$$

que equivalen a  $840 \text{ kgr/m}^3$  aproximadamente.

Por tanto y aplicando la ecuación (1) obtenemos para la resina catiónica:

$$\text{V.R.} = \frac{300 \times 24 \times 20 \times 264.17}{17100 \times 840} = 2.65 \text{ m}^3 \quad (93.5 \text{ pies}^3)$$

Teóricamente con éste volumen de resina puede tratarse - la carga catiónica considerada.

Adicionalmente a la carga de flujo a tratar, debe de considerarse la carga del flujo de enjuague, que de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, debe ser de  $10 \text{ m}^3/\text{m}^3$  de resina ( $75 \text{ gal/pie}^3$  de resina), por tanto los galones requeridos para el enjuague serán:

$$10 \times 2.65 = 26.5 \text{ m}^3 \quad (7000 \text{ galones})$$

y el volumen de resina requerido para tratar esto se calcula

como sigue:

$$V.R. = \frac{26.5 \times 20 \times 264.17}{17100 \times 840} = 0.0097 \text{ m}^3 \quad (0.35 \text{ pies}^3)$$

éste valor no resulta significativo, por lo que no se tomará en cuenta.

#### RESUMIENDO:

El cálculo nos ha llevado hasta el momento a los siguientes resultados:

Diámetro del recipiente: 3.2 m (10.5 pies)  
Volumen de resina aniónica: 5.035 m<sup>3</sup> (178 pies<sup>3</sup>)  
Volumen de resina catiónica: 2.65 m<sup>3</sup> (93.5 pies<sup>3</sup>)  
Volumen de resina neutra: 30.5 cm de altura (1 pie)\*

\* Conforme a recomendaciones del fabricante.

Volviendo al punto 4.2.1.2 (altura del recipiente), consideraremos que de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, la resina debe suministrarse en cantidad suficiente para que la altura mínima de la cama sea de 61 cm (2 pies) véanse tablas 6.3 y 6.6); por lo tanto, hay necesidad de revisar si con los volúmenes de resina que se calcularon se cumple con éste requisito. Así tenemos:

$$\text{Area transversal del recipiente} = 8.04 \text{ m}^2 \quad (86.54 \text{ pies}^2)$$

$$\text{Altura cama de resina catiónica} = 5.035/8.04 = 0.626 \text{ m} \quad (2.05 \text{ pies})$$

$$\text{Altura cama de resina aniónica} = 2.65/8.04 = 0.33 \text{ m} \quad (1.08 \text{ pies})$$



De lo anterior resulta que, sólo el volumen que se calculó para la resina aniónica cumple con el requisito mínimo de 61 cm de altura. Para la catiónica el volumen deberá ajustarse para garantizar estos 61 cm, por tanto:

$$\begin{aligned} \text{Volumen requerido de resina catiónica} &= \text{área transv.} \times 0.61\text{m} \\ &= 8.04 \times 0.61 \\ &= 4.9 \text{ m}^3 \text{ (173 pies}^3\text{)} \end{aligned}$$

Considerando lo anterior la altura total de la cama de resina será:

Resina catiónica	=	0.626 m (2.05 pies)
Resina aniónica	=	0.610 m (2.0 pies)
Resina neutra	=	<u>0.305 m (1.0 pie)</u>
Altura total		1.541 m (5.06 pies)

Para fijar la altura del recipiente debe tomarse en cuenta que las resinas deben expandirse al menos un 50 % durante la operación de retrolavado, para conseguir una regeneración más eficiente. Así después del retrolavado, la altura de la cama de resina será:

$$1.541 \text{ m} \times 1.5 = 2.31 \text{ m (7.6 pies)}$$

Además de la cama de resina, consideraremos un espacio de 61 cm para ubicar los distribuidores superior e inferior (30.5 cm para cada uno). Así la altura final del recipiente será:

Altura de la cama de resina	=	2.31 m
Espacio para distribuidores	=	<u>0.61 m</u>
Altura final del recipiente	=	2.92 m (9.6 pies)

Para manejar números cerrados, podemos considerar 3 metros como altura del recipiente.

#### 4.3 OPERACION DE LA UNIDAD.

En ésta sección describiremos en detalle la operación de la unidad, calculando los tiempos para cada operación y los volúmenes de agua y regenerantes involucrados.

##### 4.3.1 RETROLAVADO

El tiempo necesario para ésta operación será el que resulte de dividir los m<sup>3</sup> del volumen del tanque (por lo menos una vez), entre el flujo recomendado por el fabricante de la resina utilizada.

Volúmen del tanque considerando solo la parte recta:

$$h = 3.0 \text{ m}$$

$$D = 3.2 \text{ m}$$

$$V = \frac{\pi D^2 h}{4} = \frac{3.1416 (3.2)^2 (3.0)}{4} = 24.12 \text{ m}^3 \text{ (852 pies}^3\text{)}$$

$$\text{Agua requerida para retrolavado} = 24.12 \text{ m}^3$$

Para el flujo de retrolavado, existe una recomendación del fabricante para cada tipo de resina, dado que la resina catiónica se encuentra mezclada con la aniónica, y siendo la primera más densa, se requerirá que ese flujo corresponda a la recomendación del fabricante para ésta, el valor se localiza en la tabla 6.3 y es de 17.15 m<sup>3</sup>/hr/m<sup>2</sup> (7 gal/min/pie<sup>2</sup>).

$$17.15 \times 8.04 = 137.9 \text{ m}^3/\text{hr} \text{ (31.34 gal/min)}$$

El tiempo para retrolavado será:

$$\frac{24.12}{137.90} = 0.17 \text{ horas, es decir 10 minutos (aproximadamente)}$$

$$\text{Agua requerida} = 0.17 \times 137.90 = 23.44 \text{ m}^3 \text{ (6192 galones)}$$

#### 4.3.2 PRECALENTAMIENTO DE LA RESINA.

Considerando que el agua caliente desplace por lo menos 1.5 veces el volumen del tanque, y un flujo similar al recomendado por el fabricante para la operación de retrolavado, entonces para el precalentamiento se tendrá:

$$\text{Volumen de agua requerido} = 24.12 \times 1.5 = 36.18 \text{ m}^3 \text{ (9558 gal)}$$

El agua caliente debe alimentarse a 49°C (120°F). El tiempo empleado para la operación de precalentamiento será:

$$\frac{36.18}{137.90} = 0.26 \text{ horas, es decir 16 minutos}$$

#### 4.3.3 REGENERACION.

a) Regeneración básica:

Datos: Nivel 6 lb NaOH/pie<sup>3</sup> (96 kg NaOH/m<sup>3</sup>)

Se dispone de sosa al 50%, debiéndose alimentar al 4%.

Densidades (4):

Sosa al 4% = 0.3481 lb/gal = 41.71 kg/m<sup>3</sup>

Sosa al 50% = 6.364 lb/gal = 762.57 kg/m<sup>3</sup>

Kilogramos necesarios de sosa =  $96 \times 5,035 = 483.36$  kg  
al 100%.

$$\frac{483.36}{41.71} = 11.59 \text{ m}^3 \text{ al } 4 \%$$

$$\frac{483.36}{762.57} = 0.63 \text{ m}^3 \text{ al } 50 \%$$

El agua requerida para dilución será:

$$11.59 - 0.63 = 10.96 \text{ m}^3 \text{ de agua (2895 gal)}$$

El flujo recomendado para la regeneración se muestra en la Tabla 6.3 para la resina catiónica y en la 6.6 para la resina aniónica, siendo estos:

Resina catiónica 0.5 a 0.75 gal/min/pie<sup>3</sup> (4 a 6 m<sup>3</sup>/hr/m<sup>3</sup>)

Resina aniónica 0.25 a 0.5 gal/min/pie<sup>3</sup> (2 a 4 m<sup>3</sup>/hr/m<sup>3</sup>)

Considerando el valor mayor para la resina aniónica, el flujo de regenerante será:

$$4 \times 5,035 = 20.14 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Tiempo para la regeneración} = \frac{11.59}{20.14} = 0.57 \text{ horas, es decir } 34 \text{ minutos.}$$

$$\text{Flujo de sosa al } 50\% = \frac{0.63}{0.57} = 1.1 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Flujo de agua de dilución} = \frac{10.96}{0.57} = 19.23 \text{ m}^3/\text{hr}$$

b) Regeneración ácida:

Datos: Nivel 6 lb H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/pie<sup>3</sup> (96 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>)

Se dispone de ácido al 98%, debiéndose alimentar al 5%.

Densidades (4):

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 98% = 15.02 lb/gal = 1799.78 kg/m<sup>3</sup>

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5% = 0.43 lb/gal = 51.58 kg/m<sup>3</sup>

Kilogramos necesarios de ácido 96 X 4.9 = 470.4 kg de ácido al 100%.

$$\text{al } 98 \% \quad \frac{470.4}{1799.78} = 0.26 \text{ m}^3$$

$$\text{al } 5 \% \quad \frac{470.4}{51.58} = 9.12 \text{ m}^3$$

Agua para dilución

$$9.12 - 0.26 = 8.86 \text{ m}^3$$

$$\text{Flujo de regenerante } 4 \times 4.9 = 19.6 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Tiempo para la regeneración} = \frac{9.12}{19.6} = 0.46 \text{ horas, es decir } 27 \text{ minutos.}$$

Dado que tenemos tiempos diferentes para la dosificación de sosa y de ácido sulfúrico, igualamos estos tiempos de dosificación para no introducir un flujo de bloqueo.

Tiempo para regeneración = 0.57 horas

Volumen requerido de ácido sulfúrico al 5% = 9.12 m<sup>3</sup>

$$\text{Flujo} = \frac{9.12}{0.57} = 16 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Flujo de regeneración} = \frac{16}{4.9} = 3.26 \text{ m}^3/\text{hr/m}^3$$

$$\text{Flujo de agua de dilución} = \frac{8.86}{0.57} = 13.54 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Flujo de ácido concentrado} = \frac{0.26}{0.57} = 0.46 \text{ m}^3/\text{hr}$$

#### 4.3.4 DESPLAZAMIENTO.

$$\text{Volumen total de resinas} = 5.035 + 4.9 + 2.45 = 12.385 \text{ m}^3$$

Considerando adicionalmente el volumen de una sección --  
recta de 15 cm (6 pulgadas) por encima del nivel de resina --  
por seguridad:

$$0.15 \times 8.04 = 1.21 \text{ m}^3$$

$$12.385 + 1.21 = 13.595 \text{ m}^3$$

Tomando la mitad de éste volumen, para el desplazamiento  
por cada sección y considerando para la operación de desplaz  
amiento el mismo flujo utilizado para el retrolavado, se tiene:

$$\frac{13.595}{2} = 6.8 \text{ m}^3$$

$$\frac{6.8}{137.90} = 0.05 \text{ horas, es decir 3 minutos}$$

Por lo que el volumen de agua será:

$$0.05 \times 137.90 = 6.9 \text{ m}^3 \text{ por cada sección.}$$

#### 4.3.5 VACIADO DE LA UNIDAD.

Esta operación puede realizarse en 8 minutos promedio de

acuerdo a las indicaciones del fabricante.

#### 4.3.6 MEZCLADO DEL LECHO.

Operación a realizarse en aproximadamente 15 minutos, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante de las resinas.

#### 4.3.7 LLENADO DE LA UNIDAD.

Volumen =  $13.595 \text{ m}^3$  (calculado en el punto 4.3.4)

El flujo a considerar para ésta operación sera el mismo flujo de servicio ( $300 \text{ m}^3/\text{hr}$ )

Tiempo =  $\frac{13.595}{300} = 0.045$  horas, es decir 3 minutos.

Agua requerida =  $0.045 \times 300 = 13.5 \text{ m}^3$

#### 4.3.8 ENJUAGUE.

El flujo de agua de enjuague, según recomendaciones del fabricante de la resina podrá ser  $60 \text{ gal}/\text{pie}^3$  (valor promedio) equivalentes a  $8 \text{ m}^3/\text{m}^3$  de resina.

$8.0 \times 12.385 = 99.1 \text{ m}^3$  de agua de enjuague.

Tiempo  $\frac{99.1}{300} = 0.33$  horas, es decir 20 minutos.

R E S U M E N.

ETAPA	FLUJO m <sup>3</sup> /hr		TIEMPO (horas)
	ACIDO	BASE	
Retrolavado	137.90		0.17
Precalementamiento	137.90		0.26
Regeneración	16.0	20.14	0.57
Desplazamiento	137.9	137.90	0.05
Vaciado	137.90		0.13
Mezclado	- - -		0.25
Llenado	300.00		0.05
Enjuague	300.00		0.33
			Tiempo total 1.81 horas

Por tanto, se requieren aproximadamente 2 horas para la operación completa de regeneración



## C A P I T U L O 5

### C O N C L U S I O N E S.

1.- En todos los sistemas de generación de vapor, la recirculación del condensado es una parte fundamental de su economía, y aunque estos condensados son en esencia agua destilada de alta pureza, siempre tienen contaminantes presentes, -- por lo que, se hace necesario su tratamiento antes de introducirlos nuevamente a las calderas. Este tratamiento normalmente se realiza circulando el condensado a través de una cama de resinas intercambiadoras de iones.

2.- La cama de resinas que se utiliza para tratar el condensado es una mezcla de resinas aniónica y catiónica, pudiéndose utilizar éstas en polvo ó en forma granular, dependiendo de la naturaleza de la aplicación. Así, las resinas en polvo resultan ser de gran utilidad en las plantas nucleares, ya -- que se utilizan como un material "desechable", simplificándose con su uso el manejo de los desechos radiactivos, disponiéndose de ellos junto con la resina agotada. En nuestro medio, lo más común es la utilización de resinas en forma granular, ya que en éste caso la resina una vez agotada, se regenera para volver a utilizarla.

3.- La regeneración de las resinas una vez agotadas, puede realizarse en dos formas:

- a) En el recipiente de proceso, es decir, en el mismo -- tanque por el que se circula la corriente a tratar, y
- b) En un recipiente distinto del de proceso.

Esta última forma se conoce como "regeneración externa". Al analizar estos dos sistemas de regeneración, se discute--

ron sus ventajas y desventajas, y lo que resulta importante - destacar aquí, es que en la selección de uno u otro debe considerarse antes que nada, la capacidad de la unidad pulidora. Así, si ésta es grande requerirá un gran número de recipientes para cubrir el servicio, siendo lo más conveniente considerar un sistema con regeneración externa, para reducir el -- costo de la inversión inicial ya que en éste caso, no todos - los recipientes tienen que ser fabricados con los materiales y los internos requeridos para soportar las condiciones de la regeneración, teniéndose para éste propósito un solo juego de recipientes que prestan el servicio de regeneración para el - resto. En cambio, si la unidad es pequeña resulta más conveniente considerar la regeneración en el mismo recipiente de - proceso.

4.- En lo que se refiere al tipo de resina intercambiadora a utilizar, en el capítulo 3 se hizo una comparación entre las propiedades de las resinas microreticulares (tipo gel) y las macroreticulares, que llevó a concluir que, por las condiciones en que se realiza el tratamiento de los condensados, - las resinas de tipo macroreticular son las que resultan más - convenientes.

5.- En el caso en que la regeneración se realice en el - mismo recipiente de proceso, es conveniente considerar la utilización de una resina neutra, con una densidad intermedia entre la de la resina catiónica y aniónica, que se coloque entre ambas al preparar la cama para la regeneración y evite -- problemas de fuga de sodio, al contaminarse la resina catiónica con el sodio de la sosa utilizada para la regeneración de la aniónica.

6.- Por último, debe destacarse la importancia del cálcuo

lo de la unidad pulidora que se presenta en el Capítulo 4, ya que además de que éste tipo de cálculo no se describe dentro de la literatura disponible para los materiales de intercambio iónico, los criterios de diseño que se emplean son en buena medida recomendaciones de los fabricantes de equipo de intercambio iónico.

CAPITULO 6

TABLAS Y GRAFICAS

TABLE 6.1 PRINCIPALES APLICACIONES DE LAS RESINAS TIPO GEL DEL FABRICANTE ROHM & HAAS (Se indican solamente algunas de ellas, consúltase referencia 8).

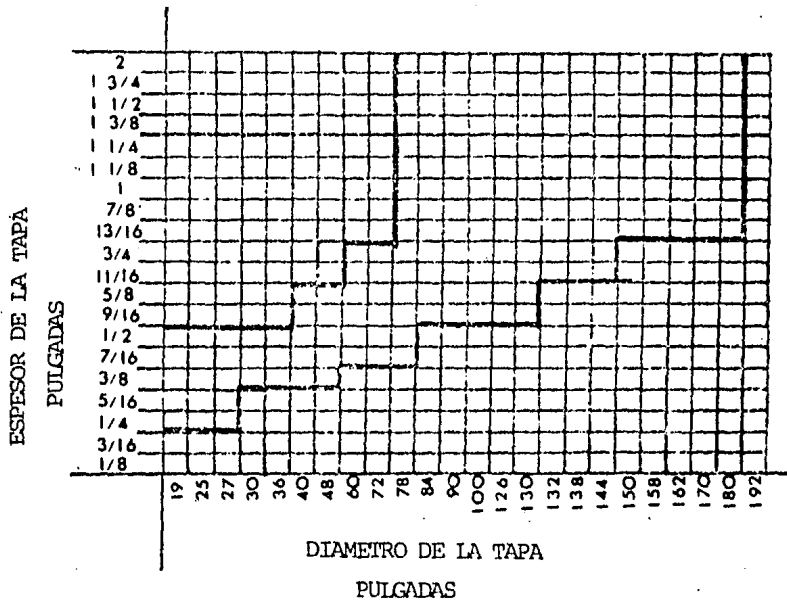
NOMBRE COMERCIAL	FORMAS IONICAS DISPONIBLES	PRINCIPALES APLICACIONES
INTERCAMBIADORES CATIONICOS FUERTEMENTE ACIDOS		
AMBERLITE IR-120 Plus	Sodio 6 Hidrógeno	Acondicionamiento de agua: Suavización,-- Deionización, etc. Separación de tierras raras, separación de aminoácidos, etc.
AMBERLITE IR-130	Sodio 6 Hidrógeno	Deionización, aplicaciones a altas veloci- dades de flujo como las que se tienen en el Pulido de Condensados.
AMBERLITE IR-140	Sodio	Purificación, Separación, Decoloración de azúcares.
INTERCAMBIADORES ANIONICOS FUERTEMENTE BASICOS		
AMBERLITE IRA-400	Cloruro Hidróxido	Acondicionamiento de agua: deionización - incluyendo reducción de sílice, recupera- ción de uranio, eliminación de contamina- ntes ácidos débiles.
AMBERLITE IRA-420C	Cloruro	Deionización y Pulido de condensados a al- tas velocidades de flujo.

TABLA 6.1 (Cont.) PRINCIPALES APLICACIONES DE LAS RESINAS TIPO MACRORETICULAR  
DEL FABRICANTE ROHM & HAAS ( Consúltese referencia 8 ).

NOMBRE COMERCIAL	FORMAS IONICAS DISPONIBLES	PRINCIPALES APLICACIONES
INTERCAMBIADORES CATIONICOS FUERTEMENTE ACIDOS		
AMBERLITE 200	Sodio	Acondicionamiento de agua: suavización, -- deionización, dealcalinización, separa-- ción de tierras raras, separación de ami noácidos.
AMBERLITE 200C	Sodio Hidrógeno	Químicamente idéntica a la 200, aunque - con un tamaño de partícula tal que resul ta adecuada para aplicaciones a altas ve locidades de flujo como el pulido de con densados.
INTERCAMBIADORES ANIONICOS FUERTEMENTE BASICOS		
AMBERLITE IRA-900	Cloruro	Acondicionamiento de agua: deionización, eliminación de sílice. Recuperación de material orgánico de alto peso molecu-- lar, decoloración de azúcares.
AMBERLITE IRA-900C	Cloruro Hidróxido	Químicamente idéntica a la 900, aunque - con un tamaño de partícula tal que resul ta adecuada para aplicaciones a altas ve cidades de flujo como el Pulido.

T A B L A 6,2

DIAMETROS COMERCIALES EN TAPAS SEMIELIPTICAS.



T A B L A 6.3 (7)

CONDICIONES DE OPERACION SUGERIDAS

	CICLO SODIO	CICLO HIDROGENO
Intervalo de pH	1.0 a 14.0	1.0 a 14.0
Temperatura máxima	250°F (121°C)	250°F (121°C)
Profundidad mínima de cama	24 pulgs (0.61 m)	24 pulgs (0.61 m)
Flujo de retrolavado	7 GPM/pie <sup>2</sup> 72°F (120 m/hr 22°C)	7 GPM/pie <sup>2</sup> 72°F (120 m/hr 22°C)
Flujo de regenerante	1 GPM/pie <sup>2</sup> (8 l/hr/l)	2 a 6 l/hr/l
Concentración de regenerantes	10 % NaCl	4 a 10 HCL ó 1 a 5 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Flujo de enjuague	1 GPM/pie <sup>3</sup> (8 l/hr/l) inicialmente, luego 12 l/hr/l	0.5 a 0.75 GPM/pie <sup>3</sup> 4 a 6 l/hr/l inicial, luego 12 l/hr/l
Requerimientos de agua de enjuague	25 a 75 gal/pie <sup>3</sup> (3.4 a 10.1 l/l)	25 a 75 gal/pie <sup>3</sup> (3.4 a 10.1 l/l)
Flujo de servicio	2 GPM/pie <sup>3</sup> (16.0 l/hr/l)	2-5 GPM/pie <sup>3</sup> (16 a 40.1 l/hr/l)



TABLA 6.4 (7)

PROPIEDADES FISICAS

Forma iónica	Sodio
Forma	Partículas esféricas
Densidad	768 a 832 g/l
Contenido de humedad	48% aproximadamente
Tamaño efectivo	0.49 mm aproximadamente
Coef. de uniformidad	2.0 máximo
Contenido de finos	2% máximo

TABLA 6.5 (7)

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Forma iónica	Cloruro
Forma	Partículas esféricas
Contenido de humedad	60% aproximadamente
Densidad	640 a 688 g/l
Tamaño efectivo	0.53 mm aproximadamente
Coef. de uniformidad	1.8 máximo
Contenido de finos	menos de 1%
Hinchamiento	20% a la conversión completa de forma cloruro a forma hidroxilo
Capacidad total de intercambio	
a) Volumétrica	1.0 meq./ml mínimo 21.8 Kgrs/pie <sup>3</sup> como CaCO <sub>3</sub>
b) Peso	4.2 meq./g. de resina en forma cloruro mínimo
Limitación de temperatura	
Forma OH	140°F ó 60°C
Otras formas	170°F ó 77°C

TABLA 6.6 (7)

CONDICIONES SUGERIDAS DE OPERACION

Limitaciones de pH	ninguno
Profundidad mínima de cama	24 pulgadas (0.61 m)
Flujo de retrolavado	Ver información
Concentración de regenerante	4% NaOH
Flujo de regenerante	2.0 a 4.0 l/l/hr
Nivel de regenerante	Ver información
Flujo de enjuague	4.0 l/l/hr inicialmente después 12.0 l/l/hr
Requerimientos de agua de enjuague	Aproximadamente 75 gal por pie cúbico
Flujo de servicio	8.0 a 24.1 l/l/hr
Capacidad de intercambio	Ver información

TABLA 6.7 (8)

PRODUCTOS QUIMICOS MISCELANEOS

PRODUCTO	NATURALEZA QUIMICA	USADO EN PROCESAMIENTO DE FLUIDOS
LYKOPON SF	HIDROSULFITO DE SODIO	Usado al 4% para eliminar hierro y magnesio
TRITON X-100	DETERGENTE NO IONICO	Usado al 0.1% para eliminar aceites
TRITON CF-54	DETERGENTE NO IONICO	Usado al 0.1% para eliminar aceites
ACRESOJ, ASE-60	ACIDO POLIACRILICO <u>CO</u> LOIDAL	Usado para desglutinar (0.6 oz/pie <sup>3</sup> )

FIGURA 6.1a

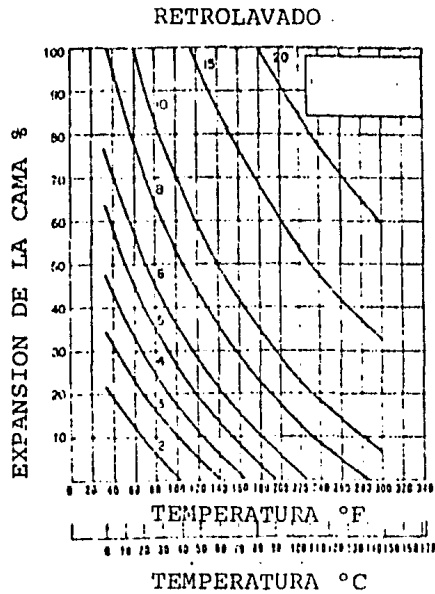
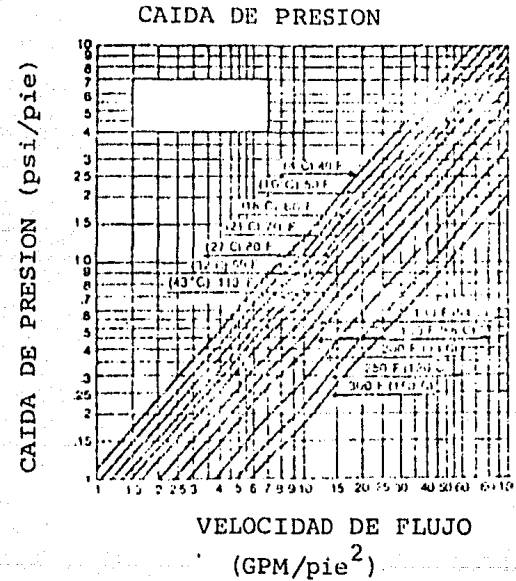


FIGURA 6.1b



NOTA: Factores de conversión a unidades métricas

GPM/ft<sup>2</sup> a m<sup>3</sup>/hr/m = GPM/ft<sup>2</sup> X 2.45

lb/pulg<sup>2</sup>/pie a m de agua/m de resina = lb/pulg<sup>2</sup>/pie X 2.30

RESINA AMBERLITE 200 (Rohm and Haas Co.) ( FIGURAS 6.1 A 6.13 REFERENCIA 7 ).

RESINA AMBERLITE IRA-900 (Rohm and Haas Co.)

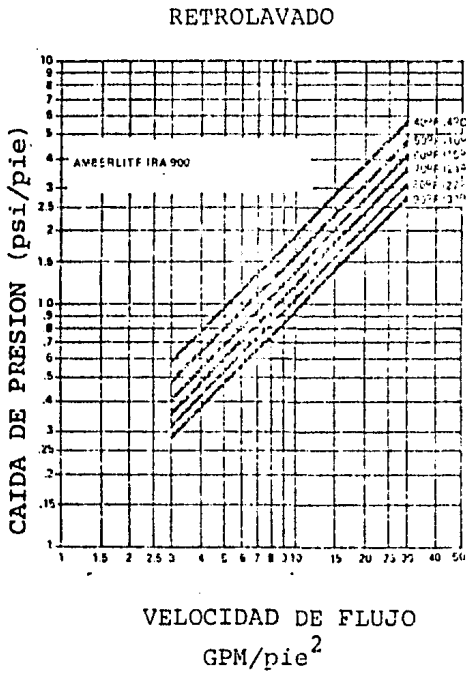


FIGURA 6.2a

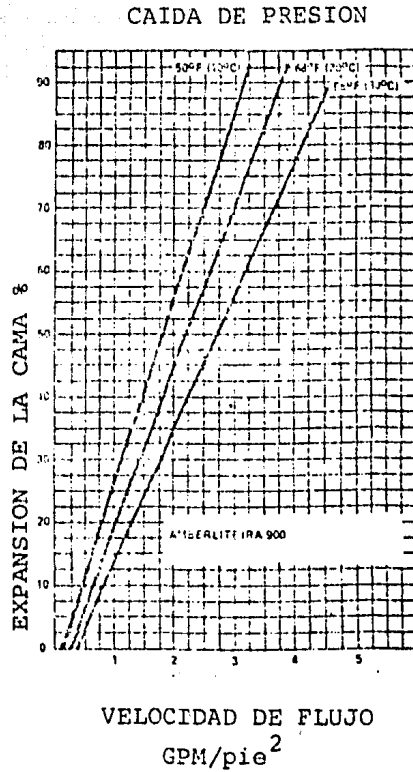


FIGURA 6.2b

FIGURA 6.3

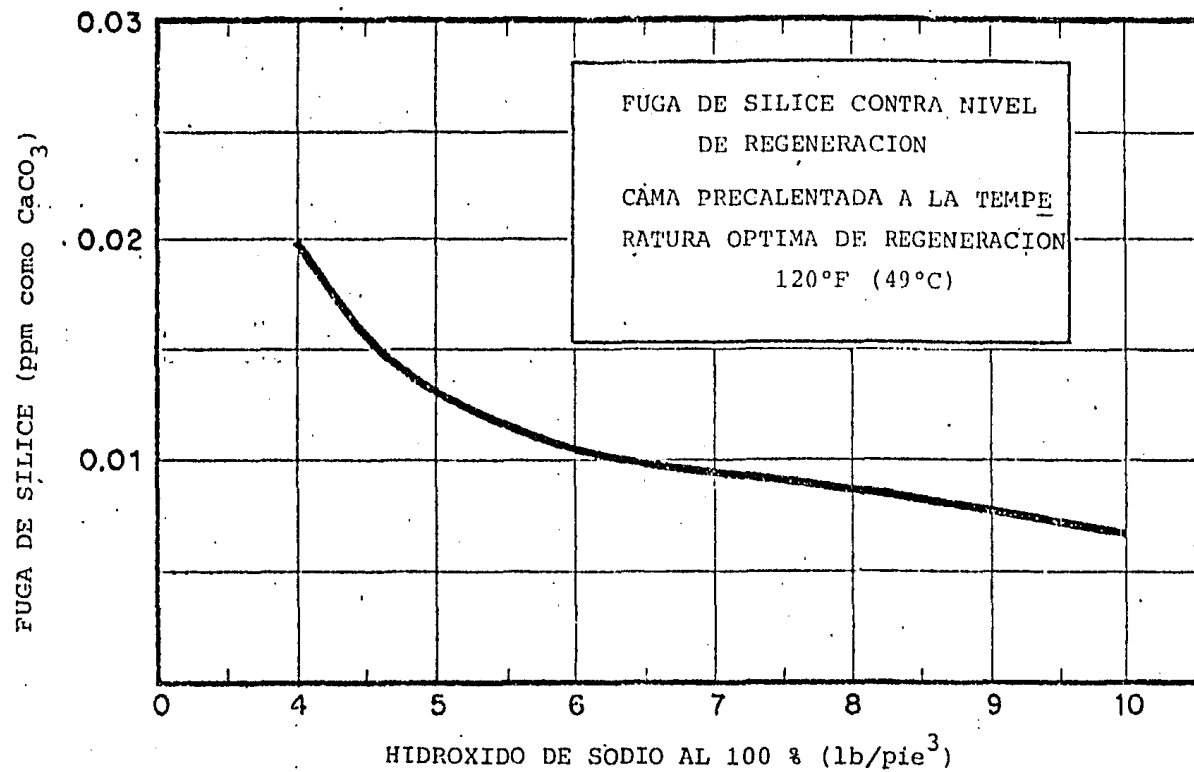
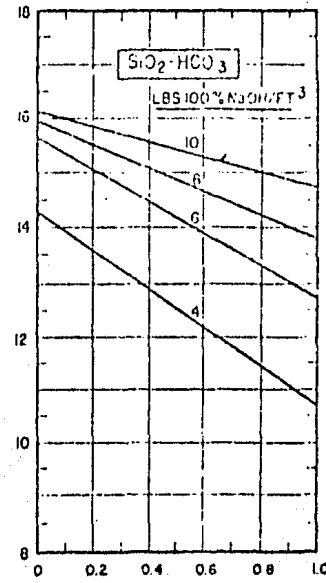
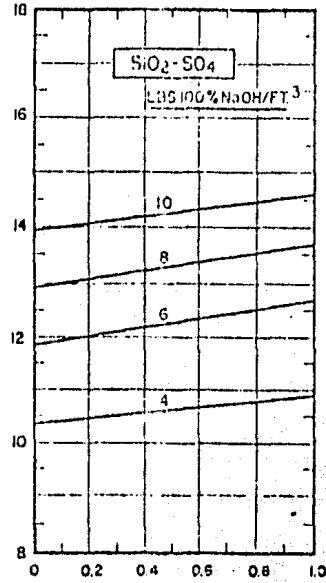
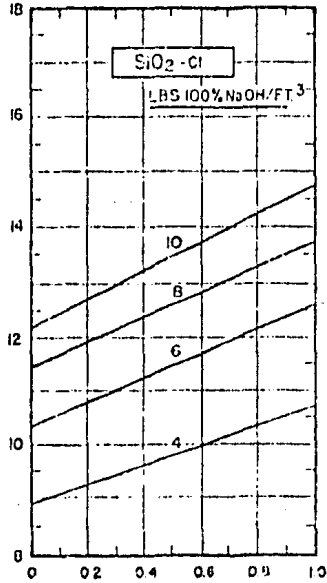


FIGURA 6.4 RESINA AMBERLITE IRA 900 (ROHM AND HAAS CO.)

CAPACIDAD A LA TEMPERATURA OPTIMA DE REGENERACION

CAPACIDAD (Kilogramos como  $\text{CaCO}_3/\text{pie}^3$ )



CONCENTRACION DE SILICE (COMO FRACCION DE ANIONES TOTALES)

FIGURA 6.5 AMBERLITE 200 DATOS DE FUGA Y CAPACIDAD

REGENERACION 3 lbs  $H_2SO_4$  (66°Bé) / pie<sup>3</sup>

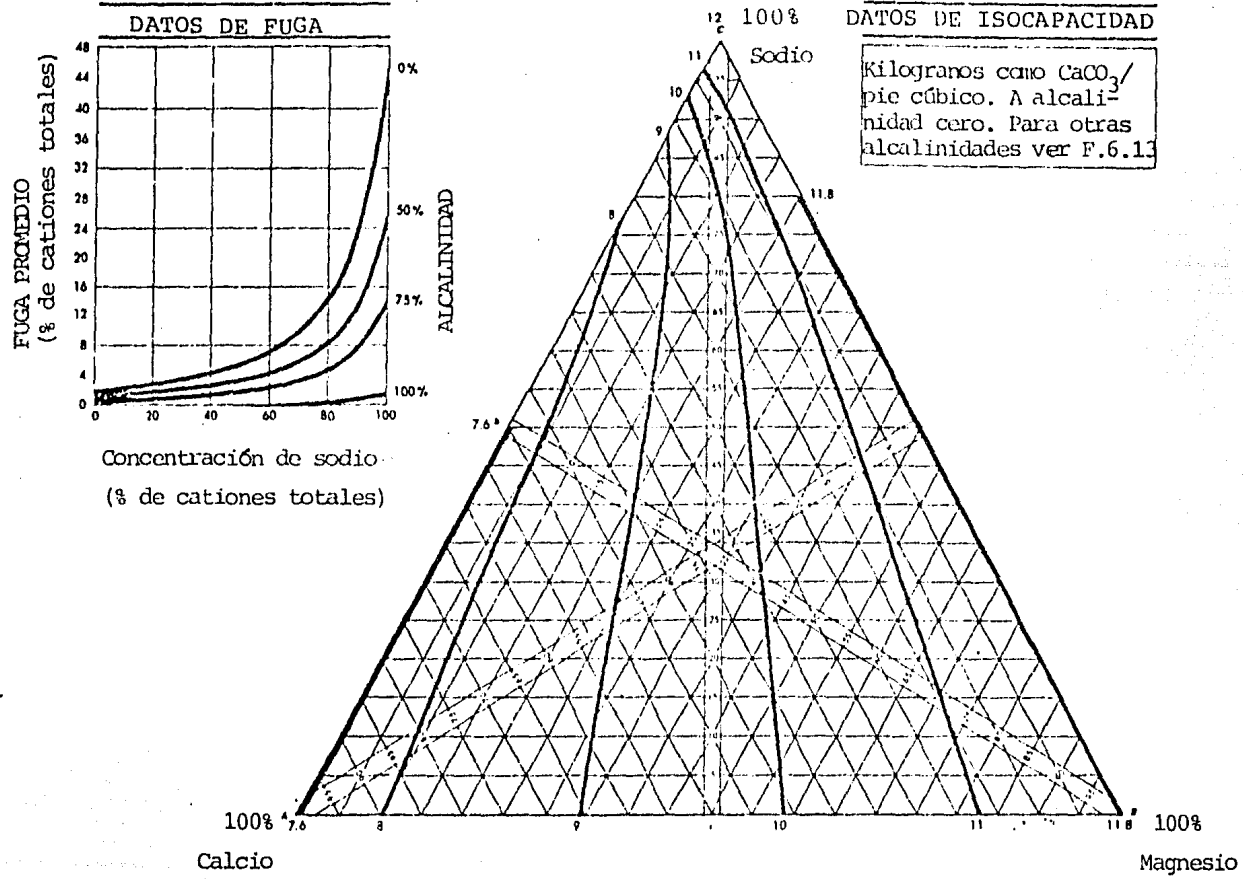




FIGURA 6.6 AMBERLITE 200 DATOS DE FUGA Y CAPACIDAD  
 REGENERACION 4 lbs H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66°Bé)/pie<sup>3</sup>

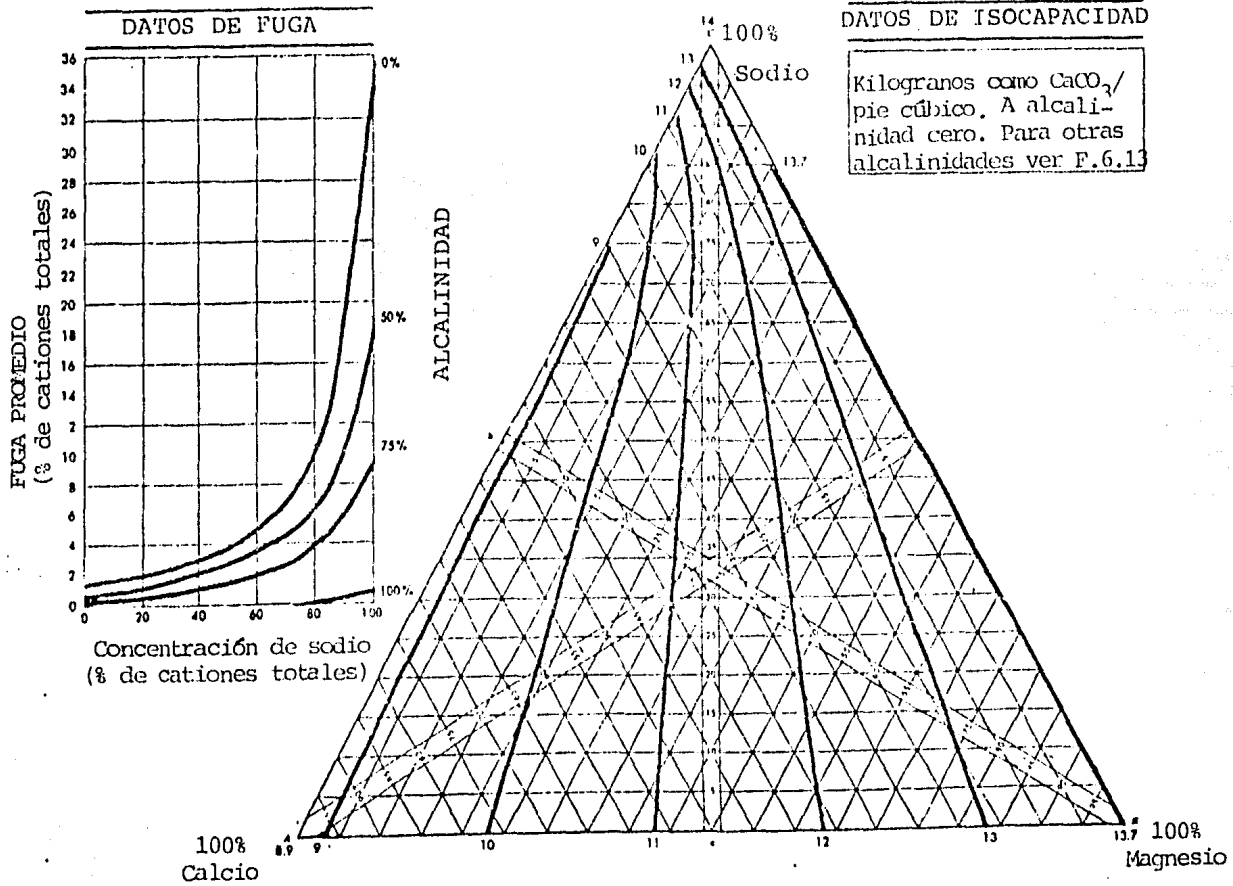


FIGURA 6.7 AMBERLITE 200 DATOS DE FUGA Y CAPACIDAD  
 REGENERACION 5 lbs H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66°Bé)/pie<sup>3</sup>

611

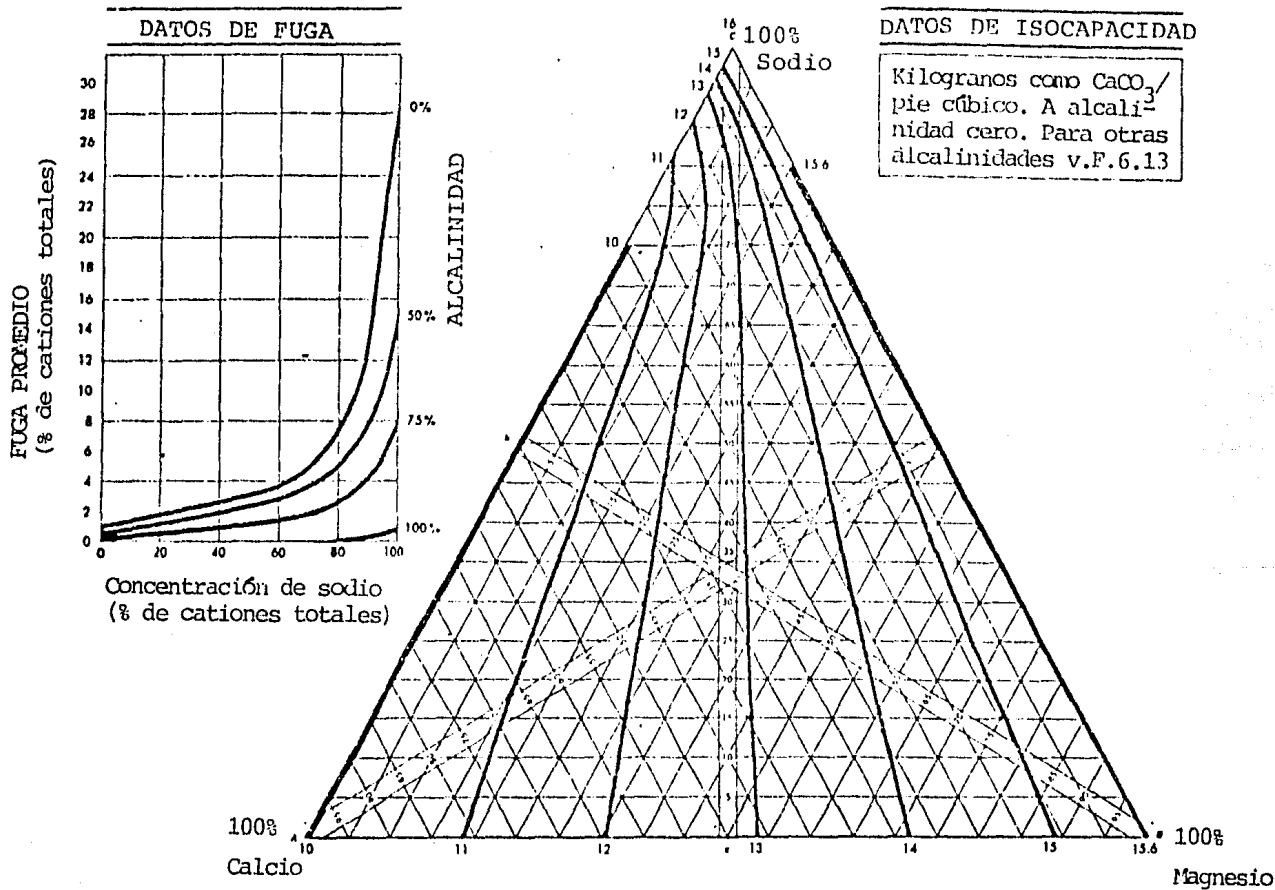


FIGURA 6.8 AMBERLITE 200 DATOS DE FUGA Y CAPACIDAD  
 REGENERACION 6 lbs.  $H_2SO_4$  (66°Bé)/pie<sup>3</sup>

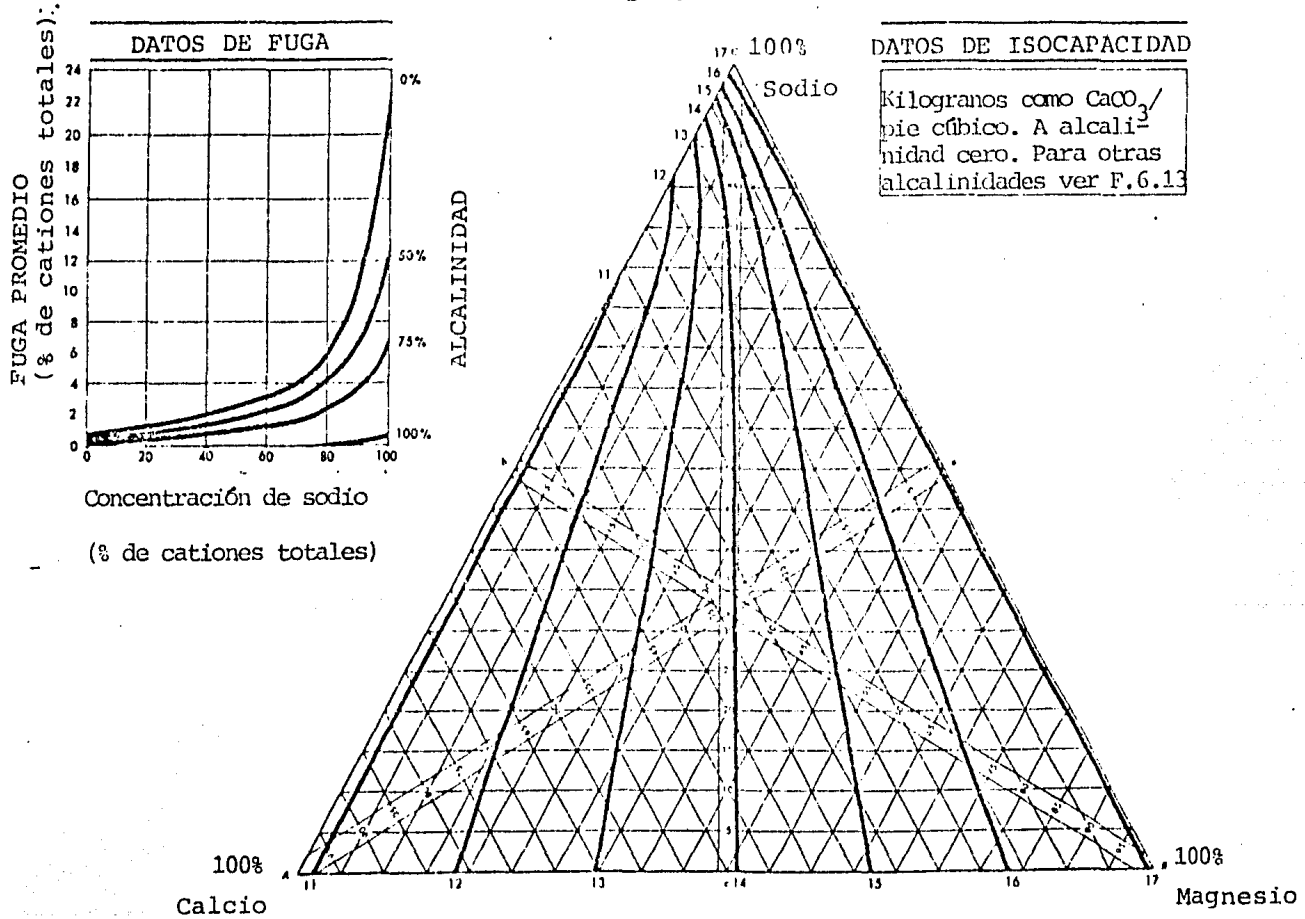


FIGURA 6.9 AMBERLITE 200 DATOS DE FUGA Y CAPACIDAD

REGENERACION 7 lbs  $H_2SO_4$  (66°Bé)/pie<sup>3</sup>

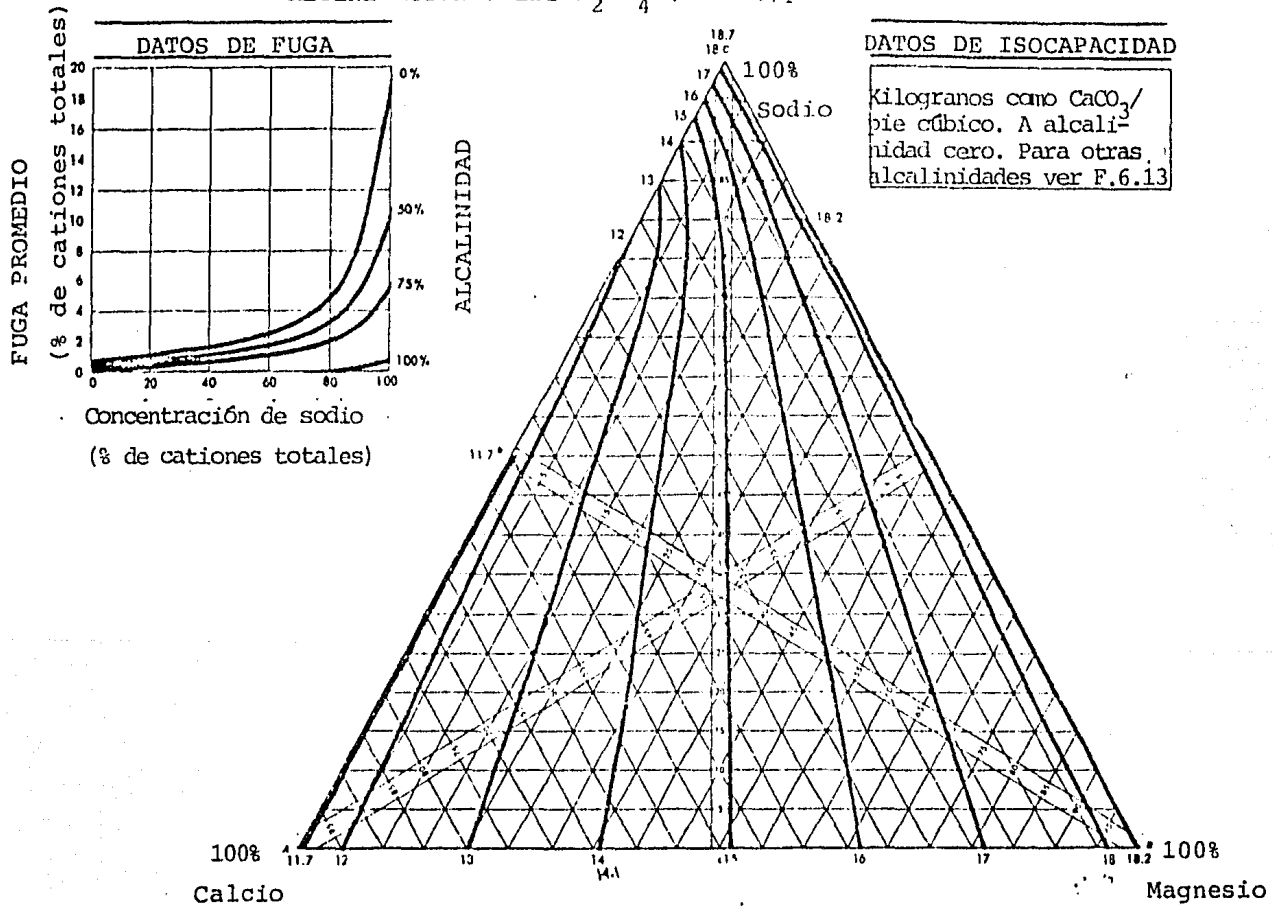


FIGURA 6.10 AMBERLITE 200 DATOS DE FUGA Y CAPACIDAD

REGENERACION 8 lbs  $H_2SO_4$  (66°Bé)/pie<sup>3</sup>

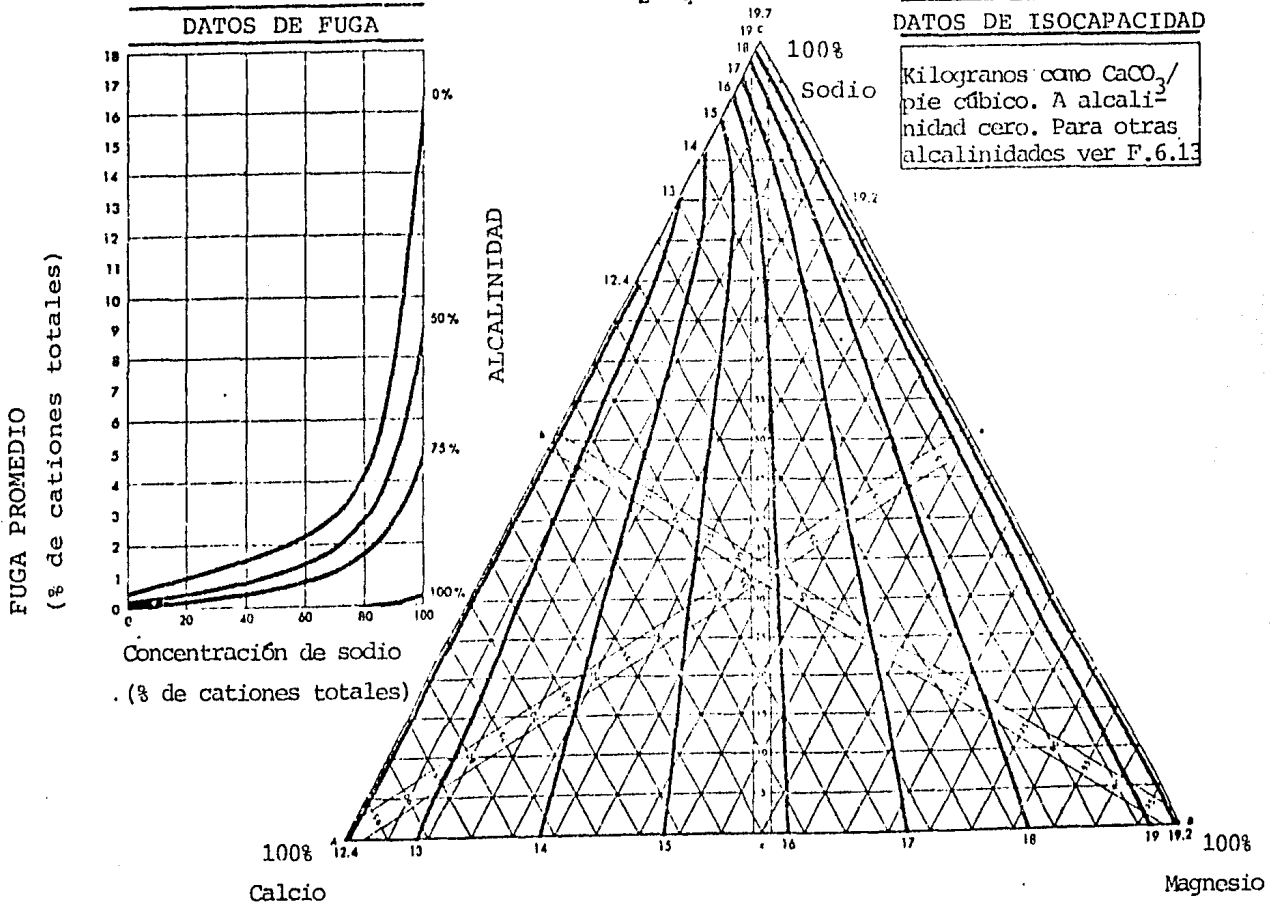


FIGURA 6.11 AMBERLITE 200 DATOS DE FUGA Y CAPACIDAD  
 REGENERACION 9 lbs H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66°Bé) / pie<sup>3</sup>

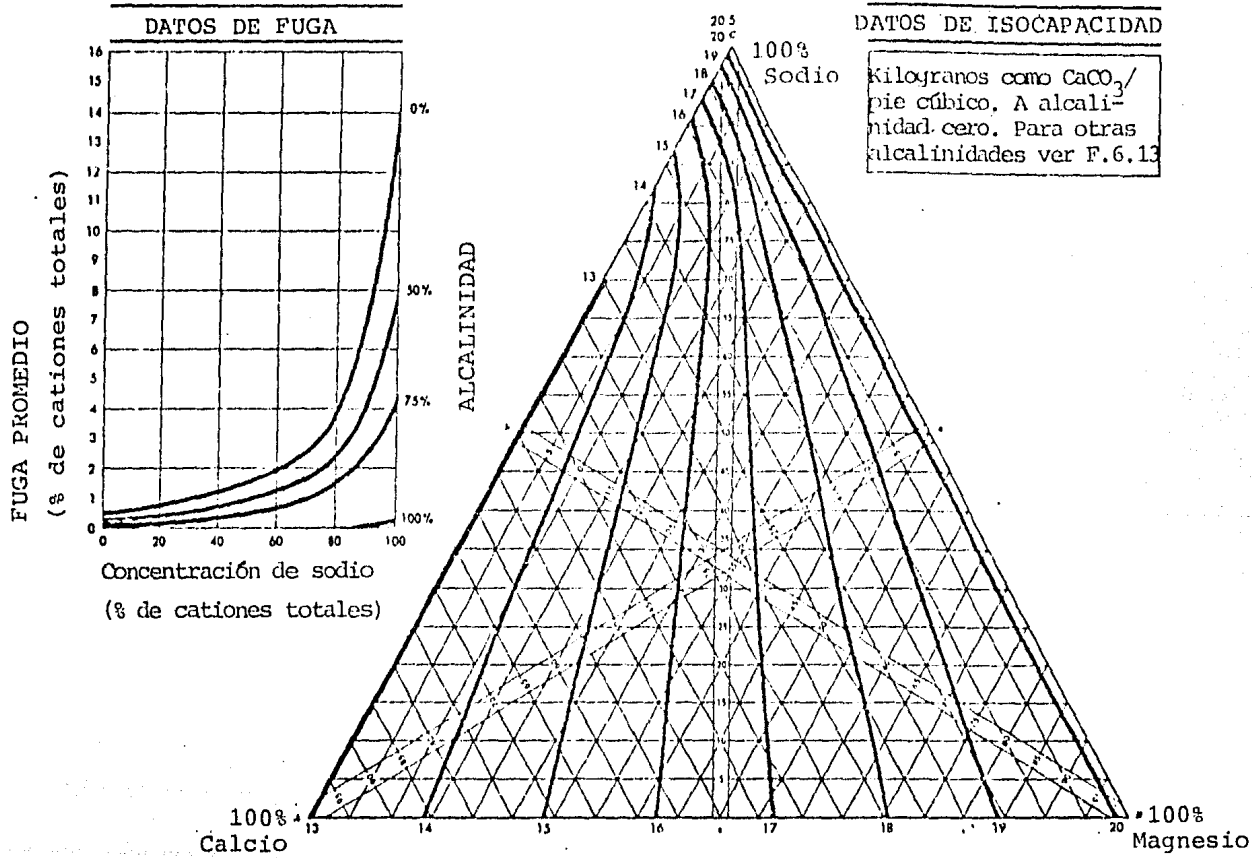


FIGURA 6.12 AMBERLITE 200 DATOS DE FUGA Y CAPACIDAD  
 REGENERACION 10 lbs H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66°Bé)/pie<sup>3</sup>

124

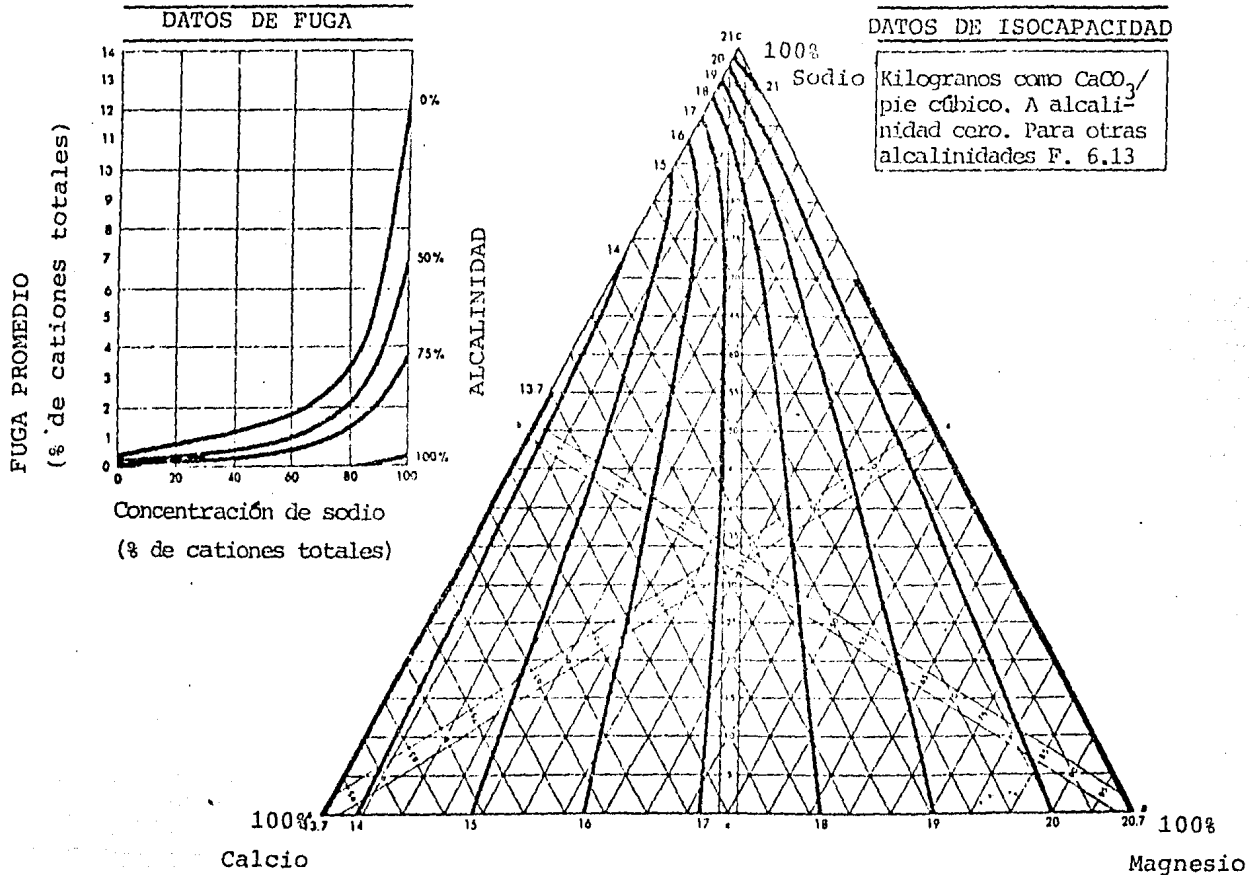
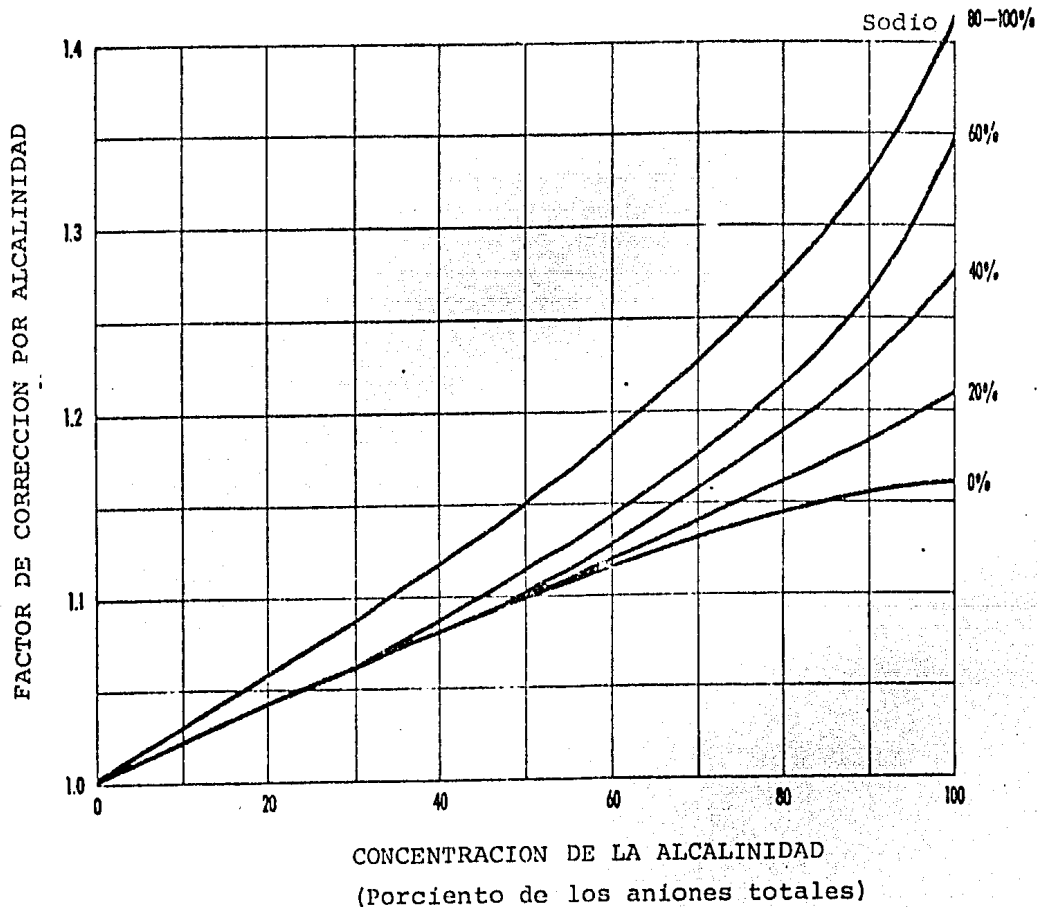


FIGURA 6.13

AMBERLITE 200 CORRECCION DE LA CAPACIDAD POR ALCALINIDAD





## C A P I T U L O 7

### G L O S A R I O Y B I B L I O G R A F I A.

#### 7.1 GLOSARIO

ACIDEZ.- Una expresión de la concentración de iones hidrógeno presentes en una solución.

ACIDEZ MINERAL LIBRE.- Acidez debida a la fuga de cloruros y sulfatos contenidos en la acidez mineral total.

ACIDEZ MINERAL TOTAL.- La acidez mineral que resulta de la conversión de todos los aniones de los ácidos fuertes en solución a sus respectivos ácidos libres.

AGOTAMIENTO.- Estado en el cual la resina ya no es capaz de efectuar intercambio iónico.

ALCALINIDAD.- Es una expresión de la concentración de los iones totales básicos y grupos hidroxilo presentes en una solución; también representa en un análisis de agua los bicarbonatos, carbonatos y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos.

ALCALINIDAD DE BICARBONATOS.- La presencia en una solución de iones OH resultantes de la hidrólisis de carbonatos ó bicarbonatos; cuando éstas sales reaccionan con agua, se produce una base fuerte y un ácido débil, y el agua se torna alcalina.

ANION.- Ión cargado negativamente.

ATRICCION.- El rozamiento de una partícula contra otra en un lecho de resina que da por resultado la fractura de las perlas de resina.

CAIDA DE PRESION.- Reducción en la presión del fluido, ocasionada en éste caso particular por el paso del agua a través de una cama de resina, es una medida de la resistencia que el lecho de resina ofrece al flujo.

CAMA O LECHO.- La altura que alcanza una resina en una columna después de que ésta fué adecuadamente acondicionada para una operación eficiente.

CAMAS ESTRATIFICADAS.- Se le llama así al hecho de colocar en estratos diferentes, resinas catiónicas débiles ó fuertes alternadamente en una unidad intercambiadora de iones, ó en su caso con resinas aniónicas débiles ó fuertes.

CAMAS MEZCLADAS.- Se llama así al hecho de mezclar íntimamente resinas catiónicas en forma de hidrógeno y resinas aniónicas en forma de hidróxido en un mismo equipo de intercambio iónico. Este equipo normalmente proporciona alta calidad de agua tratada.

CANALIZACION.- Hendiduras que se forman a través del lecho de resina debido a procedimientos incorrectos de operación, como altos flujos, insuficiente distribución ó recolección de flujos, etc.

CAPACIDAD.- La habilidad de reacción que poseen los materiales de intercambio iónico, ésta capacidad se expresa como kilogramos por metro cúbico ( $\text{kgr/m}^3$ ), en donde el numerador representa el peso de los iones eliminados del agua y el denomi

nador el volumen utilizado de resina.

CARBOXILICO.- Término que describe un grupo ácido específico (-COOH).

CATION.- Ión cargado positivamente.

CICLO.- Secuencia completa de una operación de desmineralización de agua por intercambio iónico; por ejemplo, un ciclo -- completo incluye: servicio, regeneración, retrolavado y enjuague.

CICLO HIDROGENO.- En operación, la eliminación de cationes -- del agua influente, es acompañada por el intercambio con una cantidad equivalente de iones hidrógeno provenientes del material de intercambio.

CICLO SODIO.- La operación de un intercambio catiónico donde la eliminación de cationes específicos del agua influente, es acompañada por el intercambio con una cantidad equivalente de iones sodio provenientes del material de intercambio.

CLASIFICACION HIDRAULICA.- Reacomodo de las partículas en una unidad de intercambio iónico. A medida que el agua fluye en el retrolavado a través del lecho, las partículas más grandes sedimentan y las más pequeñas emergen a la superficie.

COLADERA PARA RESINA.- Coladera utilizada para prevenir la fuga de resina del interior del recipiente cuando en el distribuidor de salida exista alguna falla.

CONDUCTIVIDAD.- Medida de la resistencia eléctrica específica de una solución.

CONTRACORRIENTE.- Se emplea éste término cuando la dirección del flujo de regenerante es ascendente y opuesto al flujo de servicio.

DEIONIZACION.- Involucra la eliminación de todos los constituyentes eléctricos cargados (iones) de sales ionizables (tanto orgánicas como inorgánicas) de una solución.

DENSIDAD APARENTE.- Es la masa de un volumen dado de resina.

DESGASIFICADOR (TIRO FORZADO).- Equipo de proceso usado en -- desmineralización para reducir ó eliminar el bióxido de carbono libre del agua, poniendo en contacto aire y agua a contracorriente.

DESGASIFICADOR (VACIO).- Equipo de proceso usado en desmineralización para reducir ó eliminar el bióxido de carbono libre contenido en el agua, al hacer pasar el agua a través de un recipiente operando a presión de vacío.

DISOCIACION.- Ionización ó separación de un compuesto en sus iones.

DISTRIBUIDOR DE ENTRADA.- Un sistema mecánico localizado en la parte superior del recipiente, a través del cual el agua es introducida para ser tratada. Cuando éste distribuidor es colocado en la parte superior, puede actuar como colector para el agua de retrolavado la cual será descargada al drenaje.

DISTRIBUIDOR DE INTERFASE.- Usado principalmente para los sistemas de camas mezcladas, como su nombre lo indica se localiza en la interfase entre las camas de resina catiónica y aniónica, formadas después de la clasificación por retrolavado.

Puede coleccionar la sosa y el ácido que han sido pasados a través de las camas de resina catiónica y aniónica. Puede ser usado también para distribuir ácido si es necesario que éste sea introducido a través de la resina catiónica de manera ascendente, normalmente consiste de un cabezal y laterales con orificios. Este tipo de distribuidor puede ser usado en otro equipo de intercambio como por ejemplo en unidades que tengan camas estratificadas.

DISTRIBUIDOR DE SALIDA.- Un sistema mecánico localizado en la parte inferior del recipiente a través del cual el agua ya -- tratada, es coleccionada y extraída de la unidad. Cuando éste -- distribuidor es colocado en la parte inferior puede ser útil para introducir el agua de retrolavado de la resina, y para -- el aire de mezclado de la misma.

DISTRIBUIDOR DE REGENERANTE.- Sistema mecánico a través del -- cual se introduce la solución de regenerante.

DUREZA.- Presencia de sales de calcio y magnesio, principales causantes de incrustaciones en calderas y otros medios de calentamiento y/o enfriamiento.

EFICIENCIA.- El rendimiento operacional de un intercambiador de iones, es expresado como la cantidad de regenerante requerido para efectuar la eliminación de un determinado componente en solución (kg de ácido ó base por kilogramo de sal eliminada).

EFLUENTE.- Producto líquido sólido ó gaseoso descargado ó saliendo de un proceso. En éste caso particular, agua tratada descargada de un sistema de intercambio iónico.

ELECTROLITO.- Compuesto químico que se disocia ó se ioniza en agua para producir una solución que conduce la corriente eléctrica.

ELUCION.- El desplazamiento de iones que previamente reaccionaron con la resina, utilizando una solución con mayor potencial químico cuyos iones son intercambiados por los que se encuentran en la resina.

ENJUAGUE.- Parte de la etapa de regeneración de un intercambiador en la cual el agua pasa a través de la cama de resina con el objeto de eliminar la solución de regenerante residual.

ENLACE CRUZADO.- El tipo de enlace de un monómero ó grupo de monómeros, para formar una matriz de resina tridimensional.

ENSUCIAMIENTO DE RESINA.- Fenómeno en el cual los ácidos orgánicos débiles son retenidos por resinas aniónicas base fuerte y los cuales no son completamente eliminados durante la regeneración; estas impurezas se acumulan en los sitios de intercambio disminuyendo la capacidad de la resina. Este fenómeno implica que disminuya la calidad del efluente, dando como resultado fuga de ácidos orgánicos y fuga total de sólidos disueltos, detectándose ésto por una alta conductividad y bajos valores de pH, haciéndose necesario mayor volúmen de agua para enjuague y por lo tanto un mayor tiempo en la fase de regeneración. El ensuciamiento de la resina intercambiadora de iones puede ser debido a impurezas en el regenerante, altos niveles de influente durante el servicio, bacterias en el agua que será tratada, etc.

ESPACIO LIBRE.- Zona libre ó vacía por encima del lecho de resina para permitir su expansión en la fase de retrolavado.

ESTABILIDAD QUIMICA.-Resistencia a la degradación química que la resina debe poseer para resistir el contacto con sustancias que la ataquen.

EXPANSION DEL LECHO.- Efecto hidráulico producido durante el retrolavado, en el cual las perlas de resina se separan y ascienden a la parte superior de la columna, ésta expansión debe ser controlada regulando el flujo de retrolavado.

FASE DE REGENERACION.- Una fase completa de regeneración consiste cuando menos de cuatro etapas: separación de la resina (retrolavado) para limpiar la cama, introducción del regenerante, enjuague lento o desplazamiento lento del regenerante a través de la cama y finalmente un enjuague rápido para eliminar todas las trazas de regenerante de la cama de resina.

FINOS.- Partículas extremadamente pequeñas de resina.

FUGA.- Fenómeno mediante el cual algunos de los iones indeseables del influente no son eliminados y aparecen en el efluente.

HINCHAMIENTO.- La expansión de las perlas de resina que ocurre cuando los grupos reactivos de la resina son convertidos de una forma iónica a otra. Existen resinas que contemplan hinchamiento reversible ó irreversible.

INFLUENTE.- Un material líquido, sólido ó gaseoso que es introducido a un proceso, en éste caso en particular de tratamiento de agua, se refiere al agua introducida para ser tratada.

INTERCAMBIADOR.- Recipiente cerrado conteniendo material de -

intercambio iónico a través del cual se hace pasar el agua para ser tratada. En algunos procesos el intercambiador puede contener mezclas de resinas aniónicas ó catiónicas.

INTERCAMBIO ANIONICO.- El desplazamiento de una partícula cargada negativamente por otra de mayor potencial químico en una resina aniónica.

INTERCAMBIO CATIONICO.- El desplazamiento de una partícula -- cargada positivamente por otra de mayor potencial químico en una resina catiónica.

KILOGRANO.- Unidad de peso, 1000 granos = 648 gramos (kgr).

KILOGRANOS POR GALON.- Expresión de concentración de material en solución, generalmente como  $\text{CaCO}_3$ , un kilograno por galón  $\text{CaCO}_3$  es equivalente a 17100 partes por millón (ppm).

NIVEL DE REGENERACION.- El peso de regenerante usado por volumen de material de intercambio iónico (resina); normalmente se expresa como libras de regenerante por pie cúbico de material de intercambio o kilogramos de regenerante por metro cúbico de resina.

OPERACION COLUMNAR.- Forma convencional de utilizar las resinas de intercambio iónico a través de la cual se hace pasar agua cruda a tratar, ya sea en flujo ascendente o descendente.

pH.- Una expresión de la acidez de una solución; es el logaritmo negativo de la concentración de los iones hidrógeno.

PROFUNDIDAD DEL LECHO.- La altura que alcanza la resina en una columna después de que ésta fué adecuadamente acondiciona



da para una operación eficiente.

PUNTO DE AGOTAMIENTO.- El punto donde aparecen en el efluente iones indeseables que no fueron eliminados por la resina, similares a los que se introducen en el agua influente. Esto es una indicación de que la regeneración es necesaria.

REGENERACION.- Restauración de la actividad de un intercambiador de iones mediante el reemplazo de los iones atrapados de la solución tratada por iones presentes antes del tratamiento.

REGENERANTE.- Solución usada para restaurar la actividad de un intercambiador de iones. Las soluciones ácidas se utilizan para restaurar un intercambiador catiónico a su forma hidrógeno. Las salmueras pueden ser usadas para convertir intercambiadores catiónicos a la forma sodio. Los intercambiadores aniónicos pueden ser restaurados mediante el tratamiento con una solución alcalina.

REGIMEN DE FLUJO.- Volúmen de solución pasada a través de cierta cantidad de resina en un tiempo dado, normalmente expresado en galones de solución por minuto por pie cúbico de resina ó metros cúbicos por hora por metro cúbico de resina.

RETROLAVADO.- Flujo ascendente de agua a través del lecho de resina para lavar y reclasificar la resina después de la corrida de servicio.

SERVICIO.- Aquella parte del ciclo operacional de un proceso de desmineralización en el cual el influente es pasado a través de un lecho de material de intercambio iónico para eliminar iones específicos del agua, por una cantidad equivalente de iones en el material de intercambio.

## 7.2 BIBLIOGRAFIA

1.- McCoy J., " The Chemical Treatment of Boiler Water " Chemical Publishing Co., Inc., 1981.

2.- Kunin R., Percival R., Lugo C., " A critical review of Condensate Polishing ", Memorias del primer congreso de -- Tratamiento de Agua, Asociación Mexicana de Equipos y Servicios para Agua, México 1980.

3.- Kunin R., " The use of ion exchange resins in Condensate Polishing ", Amber-Hi-Lites Nos. 148 (1975), 149 (1975), 152 (1976), Rohm and Haas Co., Philadelphia, Pa.

4.- Perry J.H., " Chemical Engineer's Handbook ", McGraw Hill Book Company, Fifth Edition, 1973.

5.- Applebaum S.B., " Demineralization by Ion Exchange " Academic Press, 1968.

6.- Powell S.T., " Water Conditioning for Industry ", -- McGraw Hill Book Company, 1954.

7.- Rohm and Haas Company, " Engineering Manual for the Amberlite Ion Exchange Resins ", Philadelphia, Pa.

8.- Rohm and Haas Company, " Amberlite Ion Exchange Resins Laboratory Guide ", Philadelphia, Pa., 1977.

9.- The American Water Works Association, " Control de Calidad y Tratamiento del Agua ", Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid 1975.

10.- Rohm and Haas Company, " If you Use Water ", Philadelphia, Pa., 1974.

11.- Belco Pollution Control Corporation, " Water and --  
its Impurities ", New Jersey 1977.