



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

"CUAUTITLAN"

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO
EXTERNO PARA AGUA DE ALIMENTACION
EN UNA CALDERA DE ALTA PRESION.**

T E S I S

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

DIRECTOR DE TESIS
Q. JOSE T. ARREDONDO LEDESMA

CUAUTITLAN, EDO. DE MEX.

1982



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.

C O N T E N I D O

- 1.- INTRODUCCION
- 2.- GENERALIDADES
- 3.- TRATAMIENTO EXTERNO
- 4.- PROCESO COMUNMENTE USADO EN EL SISTEMA DE INTERCAMBIO IONICO
- 5.- DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO
- 6.- RESULTADOS
- 7.- CONCLUSIONES
- 8.- BIBLIOGRAFIA
- 9.- APENDICE

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

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

El desarrollo del siguiente trabajo se realizó en la Refinería 18 de Marzo y F. E. S., Cuautitlán, y consiste en analizar todas las operaciones del tratamiento Externo como: Dosificación, Clarificación, Filtración, Desmineralización, incluyendo la determinación del tipo de resina a usar, capacidades y niveles de regeneración.

El objetivo principal del análisis es vigilar la calidad del agua para uso en la generación de vapor que trae grandes beneficios, ya que de lo contrario averiaría el equipo ocasionando pérdidas cuantiosas en la producción por paros en dichos -- equipos al encontrarse obstruidos por contaminantes en el agua.

Por otro lado los costos de operación para obtener agua adecuada para alimentar a calderas son elevados, el intercambio iónico ha venido a ser una solución al problema ya que es un método menos costoso comparado con procesos como destilación y ósmosis.

El proceso a usar en la resolución del trabajo es la Desmineralización por intercambio iónico, es una operación que -- brinda gran versatilidad pudiendo lograr calidades de agua que van de críticas hasta supercríticas con contenidos de minerales incrustantes relativamente bajos.

El problema básico es la determinación de los tipos de resina a usar, incluyendo la selección de capacidades y niveles de regeneración.

La distribución del presente trabajo se divide en dos -- partes. La primera comprende una revisión bibliográfica sobre la importancia de realizar el tratamiento del agua para alimentar a las calderas y los causados por el agua, cuando ésta no es la adecuada a alimentar a dicho equipo.

Se analizan las principales operaciones del desarrollo, concentrando la mayor atención y detallando más la información en el intercambio iónico ya que éste es la parte medular del --

tratamiento externo.

La segunda parte comprende las operaciones siguientes:

i) Una clarificación química usando reactivos adecuados para llevar a cabo una buena precipitación de materia coloidal y eliminación de materia orgánica presente en el suministro de agua cruda.

ii) El efluente esperado del clarificador es pasado por un filtro de gravedad, eliminando con esto alguna materia suspendida que pudiera llevar el flujo y así obtener agua de calidad constante.

iii) Una vez que el agua se ha filtrado, el flujo es -- alimentado al sistema de desmineralización que consiste de una unidad catiónica, un desgasificador y una unidad aniónica. -- Con las operaciones anteriores se logra desmineralizar completamente el agua cruda eliminando totalmente la dureza que pudiera incrustar las partes calientes en contacto con el agua.

Durante el diseño del sistema de tratamiento los límites de capacidad y volumen de resina aniónica y catiónica utilizados se establecieron en función de las cantidades de Sílice y Sodio presentes en el efluente ya que son los minerales -- que mayores problemas de incrustación acarrearán.

GENERALIDADES

GENERALIDADES

El agua es un líquido insípido, incoloro e inodoro. Desde el punto de vista químico, este líquido es una molecular dipolar de forma triangular.



El agua químicamente pura es un solvente casi universal y en el que prácticamente todas las sustancias son solubles - hasta cierto grado. A causa de ésta propiedad, el agua se contamina frecuentemente por las sustancias con las que entra en contacto.

La mayor fuente de agua está constituida por los océanos y eventualmente todas las aguas regresan a éstos grandes depósitos. El ciclo que el agua sigue es similar al de un gigantesco aparato de destilación, a causa del calor solar, el vapor de agua asciende de los depósitos de agua superficiales formando, ocasionalmente, nubes cargadas de humedad, las cuales se condensan al ponerse en contacto con corrientes de aire frío y producen lluvia o nieve.

La contaminación, del agua, ocurre desde el momento en que alcanza el estado de vapor y en la medida que se condensa y cae, los gases atmosféricos presentes se disuelven en el agua, que al precipitarse se acumula en manantiales, ríos superficiales y subterráneos de donde adquiere la mayor parte de las impurezas conocidas del agua que, a su vez determinan su carácter, es decir, si el agua es dura, suave, ácida o alcalina.

La acción disolvente del agua sobre las sustancias minerales se incrementan notablemente por la presencia de gases disueltos en ella. Los gases más importantes contenidos en el agua son el bióxido de carbono y el oxígeno. La solución rela-

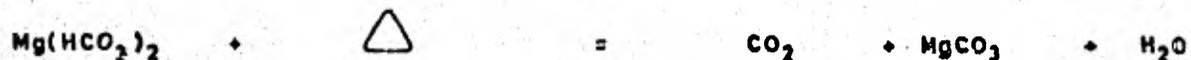
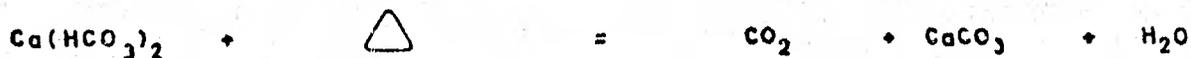
tivamente débil de ácido carbónico en el agua de lluvia disuelve gradualmente los materiales de la corteza terrestre. Como resultado de estas condiciones, el agua obtenida de ríos, lagos, manantiales y otras fuentes, no sólo es un compuesto químico simple constituido por hidrógeno y oxígeno, sino que es una solución compleja que contiene muchas sustancias orgánicas e inorgánicas.

El agua se comporta de diferente manera cuando se encuentra fuera del medio ambiente, es decir, sus características cambian cuando es transportada por tuberías y sometida a procesos industriales. La forma como se comporte o reaccione es función directa de las impurezas que posee, el tipo de servicio que preste, las temperaturas de trabajo y presiones a que sea sometida.

El agua de alimentación para un servicio, debe ser tratada de la manera más adecuada; considerando para ello, la clase de servicio y la procedencia de la misma.

Así, por ejemplo, al producir vapor en una caldera a partir de agua municipal es importante considerar que al ir concentrándose las impurezas que el agua contiene, las incrustaciones en las superficies calientes de la caldera irán afectando seriamente la transferencia de calor para la producción de vapor. Esto hace ver la gran importancia que tiene la calidad del agua empleada para la alimentación a una caldera, pues las impurezas presentes afectan en gran medida su funcionamiento y rendimiento.

Los bicarbonatos de calcio y magnesio presentes en el agua de alimentación se descomponen a la temperatura de operación de la caldera, para formar dióxido de carbono y carbonatos, los cuales son casi insolubles, precipitando directamente en el área caliente de la caldera.



Entre otras impurezas de importancia a considerar presentes en la alimentación que también ocasionan depósitos en equipos de transferencia de calor son: cloruros, sulfatos, -- fosfatos y sílice, los cuales generalmente se depositan también directamente al metal que se encuentra en contacto con el agua caliente. En algunos tipos de aguas la sílice no está -- presente en cantidades grandes pero bajo ciertas condiciones -- puede formar incrustaciones difíciles de eliminar, los compuestos de sodio, normalmente no se depositan a menos que el agua se evapore a sequedad.

Las impurezas más comunes que se encuentran en una deposición contienen: carbonatos, sulfatos, silicatos de calcio y magnesio, hidróxido de magnesio, óxido de hierro y sílice.

Además de los serios problemas de incrustación que se presentan, también es frecuente encontrar problemas de corrosión, que no es otra cosa que la reversión del metal a su forma original. La corrosión ocurre cuando en la alimentación se -- tiene un pH bajo (menor de 7) o cuando existe oxígeno y dióxido de carbono disueltos, ya sea durante la operación o en períodos de inactividad.

La espuma es un serio problema a considerar en el análisis del agua, se ha demostrado que algunas sustancias tales como: alcalis, aceites, grasas, algunas materias orgánicas, -- así como excesivas cantidades de sólidos en suspensión producen espuma.

La teoría acerca de la formación de la espuma indica que cuando los sólidos se encuentran en la película que rodea a la burbuja de vapor la hace más resistente a la ruptura ya -- que entre más finas sean las partículas sólidas mayor es su concentración alrededor de la burbuja.

CONSTITUYENTES MINERALES E IMPUREZAS QUE USUAIAMENTE SE DETERMINAN EN UN ANALISIS DE AGUA PARA ALIMENTAR CALDERAS

NOMBRE	FORMULA	EXPRESADO COMO	NOMBRE COMUN	
Calcio	Ca ⁺⁺	CaCo ₃	Dureza de calcio	Dureza Total
Magnesio	Mg ⁺⁺	CaCo ₃	Dureza de magnesio	
Sodio	Na ⁺	CaCo ₃	_____	
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	CaCo ₃	Alcalinidad de bicarbonatos	
Carbonatos	Co ₃ ⁼	CaCo ₃	Alcalinidad de carbonatos.	
Hidróxidos	OH ⁻	CaCo ₃	Alcalinidad cáustica	
Cloruros	Cl ⁻	CaCo ₃	_____	
Sulfatos	SO ₄ ⁼	CaCo ₃	_____	
Nitratos	NO ₃ ⁻	CaCo ₃	_____	
Acidez Mineral *	*	CaCo ₃	_____	
Fluoruro	F ⁻	F ₂	_____	
Sílice	SiO ₂	SiO ₂	_____	
Hierro	Fe ⁺⁺	Fe	_____	
Oxígeno	O ₂	O ₂	_____	
Manganeso	Mn ⁺⁺	Mn	_____	
	Suspendidos		_____	
	Sólidos		_____	
	Disueltos		_____	
Grasas y Aceites			_____	
Turbiedad			_____	
Indice de Estabilidad			_____	
pH			_____	

* La acidez mineral puede ser debida a H₂SO₄, FeSO₄ alúmina y manganosos.

El término dureza del agua se ha aplicado a las aguas en las que la operación de lavado se hace difícil y se refiere al hecho de que en éstas es necesario usar más jabón que con las aguas blandas debido al contenido de sales solubles de calcio y magnesio.

La dureza total es la suma de las durezas debidas a las sales de calcio y magnesio. La dureza la podemos encontrar dividida en dos categorías: dureza temporal y permanente, la primera es atribuida a bicarbonatos de calcio y/o magnesio, la dureza permanente o no carbonatada es debida a la presencia de sulfatos, cloruros y/o nitratos de calcio y magnesio.

La dureza temporal es la más común, cuando el agua que contiene a los bicarbonatos solubles se calienta, éstos se rompen y forman sales de carbonatos insolubles, los cuales se depositan en las paredes del equipo que se encuentran en contacto con el agua.

Todas las aguas naturales dejan residuos de materia mineral en la evaporación.

La calidad que se exige al agua de alimentación depende del tipo de caldera y de la presión y temperatura con que se trabaje. Cuanto más elevada es la demanda térmica de una caldera, tanto más pura y exenta de sales, sobre todo exenta de sustancias en suspensión debe ser el agua de alimentación.

Las incrustaciones o depósitos tienen una conductividad térmica muy baja (en promedio es de 5% de la conductividad del acero). Las calderas incrustadas requieren, por lo tanto, mayor gradiente térmico entre el agua y la pared metálica, que las calderas con tuberías limpias operadas a la misma capacidad.

Esencialmente, el objeto de tratar el agua cruda para la alimentación de calderas es el de reducir la posibilidad de paros o pérdidas de eficiencia ocasionados por:

- a) Formación de incrustaciones
- b) Corrosión del circuito de agua de alimentación a calderas.

Dependiendo del sistema particular de caldera, el agua de alimentación es tratada hasta cierto grado de pureza, también este tratamiento se selecciona en función de la procedencia del agua, es decir, de las impurezas del agua cruda.

Para poder seleccionar el tratamiento del agua se requiere un minucioso estudio, el cual comprende los siguientes tópicos:

- 1) Tipo y cantidad de impurezas presentes en la alimentación.
- 2) Tipo y cantidad de impurezas que puede tolerar el sistema de caldera, sin presentar dificultad.
- 3) Problemas que pueden presentarse dentro de la caldera.

La ABNA (Asociación Norteamericana de Fabricantes de Calderas); ha establecido límites para la composición del agua de calderas con respecto a la presión de operación, que asegure una buena calidad de vapor.

LIMITES MAXIMOS

PRESION DE LA CALDERA Psig	SOLIDOS TOTALES ppm	ALCALINIDAD ppm	SOLIDOS EN SUSPENSION	SILICE
0 - 300	3500	700	300	125
301 - 450	3000	600	300	125
451 - 600	2500	500	250	90
601 - 750	2000	400	150	50
751 - 900	1500	300	100	35
901 - 1000	1250	250	60	20
1101 - 1500	1000	200	40	8
1701 - 2000	750	150	20	2.5
Sobre 2000	500	100	10	1.0
			5	0.5

Se observa que las necesidades de pureza en el agua de alimentación se vuelven severas conforme aumenta la presión de operación.

Para la eliminación de las impurezas presentes en el agua de alimentación, se aplican industrialmente varios métodos de pretratamiento.

Para poder alimentar el agua a una caldera, ésta pasará por el pretratamiento químico adecuado y así obtener el nivel de pureza recomendado por el fabricante de dicho sistema.

Durante el acondicionamiento del agua, se logra controlar entre otros aspectos; la alcalinidad, la turbidez y bajo ciertas condiciones se logró reducir el contenido de O_2 , CO_2 y Si.

PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACION DE IMPUREZAS PARA UN
AGUA DE USC INDUSTRIAL

IMPUREZAS EN EL AGUA	PROCESO PARA ELIMINARLO	REACTIVO EMPLEADO
Sólidos en suspensión	1.- Clarificación	Alumbre, aluminato Ayudas de coagulación.
Dureza del calcio	1.- Precipitación	Cal, carbonato de sodio, fosfatos
	2.- Cambio iónico	Cal, ácido.
Dureza del magnesio	1.- Precipitación	Cal, cáustica
	2.- Cambio iónico	Cal, ácido.
Alcalinidad	1.- Precipitación	Cal, yeso
	2.- Cambio iónico	Acido, sal
	3.- Neutralización	Acido.
Dióxido de carbono	1.- Precipitación	Cal
	2.- Cambio iónico	Cáustica
	3.- Neutralización	Cal, cáustica
	4.- Desgasificación	Ninguno
Acidez	1.- Neutralización	Cal, carbonato de sodio, Cáustica.
(Si se debe a CO ₂ exclusivamente, úselo como se muestra arriba)		
Sólidos disueltos	(La reducción se realiza por eliminación de componentes).	
Hierro y Manganeso	1.- Precipitación	Cal, cloro, aire
	2.- Cambio iónico	sal, ácido.
Sílice	1.- Precipitación	Salas de hierro, magnesio.
	2.- Cambio iónico	Cáustica.
Materia Orgánica	1.- Clarificación.....	Alumbre, aluminato cloro carbón activado.
Oxígeno	1.- Desgasificación	ninguno
Micro Organismos	1.- Clarificación	Coagulantes, ayuda de coagulantes.
	2.- Esterilización	Cloro, esterilizantes calor.
Alúmina	1.- Clarificación	Coagulantes, ayuda de coagulación.
	2.- Cambio iónico	Sal, ácido.

TRATAMIENTO

EXTERNO

TRATAMIENTO EXTERNO

Un tratamiento de aguas para calderas lo podemos clasificar de acuerdo con su aplicación en: Externo e Interno.

El tratamiento interno trata del acondicionamiento del agua dentro de la caldera, por lo tanto el tratamiento interno complementa al externo, ya que sin importar si el agua ha sido o no pretratada, es imprescindible un tratamiento químico adicional del agua en la caldera; eliminándose toda impureza que entre a la caldera con el agua de alimentación (dureza, oxígeno, sílice, etc.).

En algunos casos, el tratamiento externo del agua no es necesario, por lo que el agua puede ser tratada por métodos internos únicamente.

El tratamiento interno puede constituir el único tratamiento, cuando: las calderas trabajen a presiones bajas o moderadas, cuando se usen grandes cantidades de condensados para alimentar la caldera y cuando el agua de alimentación sea de calidad satisfactoria. Los análisis para control del agua de caldera, varían con el tipo de tratamiento químico aplicado, pero generalmente incluyen pruebas de alcalinidad, fosfatos, sulfitos, color y sílice. Los antiespumantes están incorporados en los tratamientos orgánicos de tal manera que al determinar el color orgánico se tiene una indicación tanto del acondicionador de lodos como del nivel de tratamiento de antiespumante.

El tratamiento externo es la reducción o eliminación de impurezas del agua fuera de la caldera, este tratamiento es usado cuando la cantidad de impurezas es tan alta que el sistema de caldera no las puede tolerar. Podemos encontrar varios tipos de tratamientos externos los cuales estarán en función del grado y tipo de impurezas presentes en el efluente, entre los más comunes encontramos:

- Clarificación por coagulación,
- Suavización,
- Filtración,
- Evaporación,
- Desmineralización,
- Desalcalización,
- Desareación, etc.

También se tienen combinaciones de los mismos que de hecho es como se aplican.

En el presente trabajo el tratamiento externo consiste de una clarificación, filtración y por último la operación de desmineralización por intercambio iónico.

CLARIFICACION

Prácticamente todas las aguas superficiales (ríos, lagos, estanques, etc.) contienen ciertas cantidades de lodos, cieno, aguas negras y desperdicios industriales. Para evitar obstrucciones en equipos de pretratamiento (suavización, desmineralización), así como evitar depósitos en las calderas, se debe eliminar de alguna forma esta materia insoluble.

En los abastecimientos de agua natural, el tamaño de partículas insolubles suspendidas varían grandemente, estas partículas pueden ser relativamente grandes como: la arena o partículas invisibles a simple vista. Los principales tamaños de partículas presentes en el agua se muestran a continuación:

TABLA IV

TIPO DEL INSOLUBLE	Ø DE PARTICULA Milicrones *
arena fina	100,000
cielo	10,000
bacterias	1,000
suspensiones coloidales	1-200

* Un milicrón es una millonésima de un mm.

Las partículas coloidales pueden permanecer suspendidas indefinidamente y son tan pequeñas que pueden pasar a través de los poros de los filtros convencionales. A todas las partículas suspendidas en el agua se les llama turbiedad, para eliminar la turbiedad en el agua, la clarificación comprende: coagulación química, asentamiento (sedimentación), filtración.

La forma en que se utilizan estos procesos para un agua en particular, dependerá del tipo y cantidad de materia suspendida, así como de la pureza requerida.

La coagulación es la reagrupación de las partículas coloidales, en una masa suficientemente grande para eliminarse por filtración.

Las partículas coloidales aunque muy pequeñas tienen una gran área superficial que las mantiene en suspensión, además, cada partícula posee una carga eléctrica negativa y como éstas se repelen entre sí, las partículas coloidales se resisten a agruparse.

De lo anterior se tiene que los reactivos de coagulación actúan de 2 formas:

- a) Al disolverse en el agua desprenden iones positivos (cationes) que atraen las partículas coloidales negativas.
- b) Forman un flóculo tipo gelatinoso (bajo condiciones químicas adecuadas) que engloba y recoge las partículas.

Para mejorar la clarificación, con frecuencia se utilizan auxiliares de coagulación. Estos reactivos tendrán diversas funciones como son acelerar la formación del flóculo, mejorar el asentamiento del mismo y mejorar su consistencia. Como es de suponer para mejorar la clarificación, debe conseguirse un buen contacto del flóculo con los sólidos suspendidos, por lo que el equipo de clarificación debe estar provisto de circulación del agua a través de una capa de lodos. Los coagulantes usados, son productos inorgánicos que forman iones trivalentes en solución como son los compuestos de hierro (Fe^{3+}) y aluminio (Al^{3+}) que constituyen los coagulantes comúnmente usados en la clarificación.

PRINCIPALES COAGULANTES

NOMBRE	FORMULA	% DEL COAGULANTE	PRESENTACION	PESO EN Kg/m^3	MATERIALES DEL RECIPIENTE	TIPO	OBSERVACIONES.
Sulfato de aluminio	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$	17% Al_2O_3	trozos polvo - gránulos		Plomo Hule Fierro siliciado	ácido	Solución al 1% pH=3.4
Alumbre de potasio	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$		trozos polvo gránulos		Plomo Hule Fierro siliciado	ácido	
Sulfato de aluminio Alumbre de filtración	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$		trozos polvo gránulos		Plomo Hule Fierro siliciado	ácido	
Alumbre de Amonio	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$	11% Al_2O_3	trozos polvo		Plomo Hule Fierro siliciado	ácido	Solución al 1% pH=3.5
Caparrosa verde (sulfato ferroso)	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	55% FeSO_4	cristales - gránulos		Plomo Estafío Madera	ácido	
Sulfato Férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	90% $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	polvo gránulos		Plomo Hule Acero Inoxidable	ácido	Higroscópico.
Cloruro Férrico	$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	60% FeCl_3	cristales		Hule Vidrio Piedra	ácido	Higroscópico.
Aluminato de Sodio	$\text{NaAlO}_2 \text{ ó } \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	55% Al_2O_3	cristales -		Fierro Acero Hule Plástico	alcalino	Estabilizado con 6% NaOH

Cont.

Silicato de Sodio ó vidrio soluble. Na_2SiO_2 ó $\text{Na}_2\text{O} \cdot X \text{SiO}_2$ 41 Beaumé
X = de 3 a 22

Solución -

Fierro
Acero
Hule

alcalino

Oxido de magnesio MgO 95% MgO

Polvo -

Fierro
Acero

neutro

Insoluble en agua.
Se agrega como lodos.

Bentonita

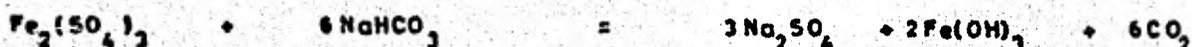
Polvo -

Fierro
Acero

neutro

Insoluble
Se agrega como lodos.

Las reacciones típicas de los coagulantes con la alcalinidad natural del agua o agregada como parte del tratamiento se muestran a continuación:



Se ha encontrado que la operación de cada floculante varía para ciertos rangos de pH y características del agua. Los auxiliares de coagulación incluyen tipos especiales de orgánicos naturales o sintéticos (polímeros), los cuales están formados por cadenas largas de alto peso molecular, que contienen — cargas positivas en toda su longitud, atrayendo las partículas coloidales negativas, mejorando con esto la eliminación de la turbiedad.

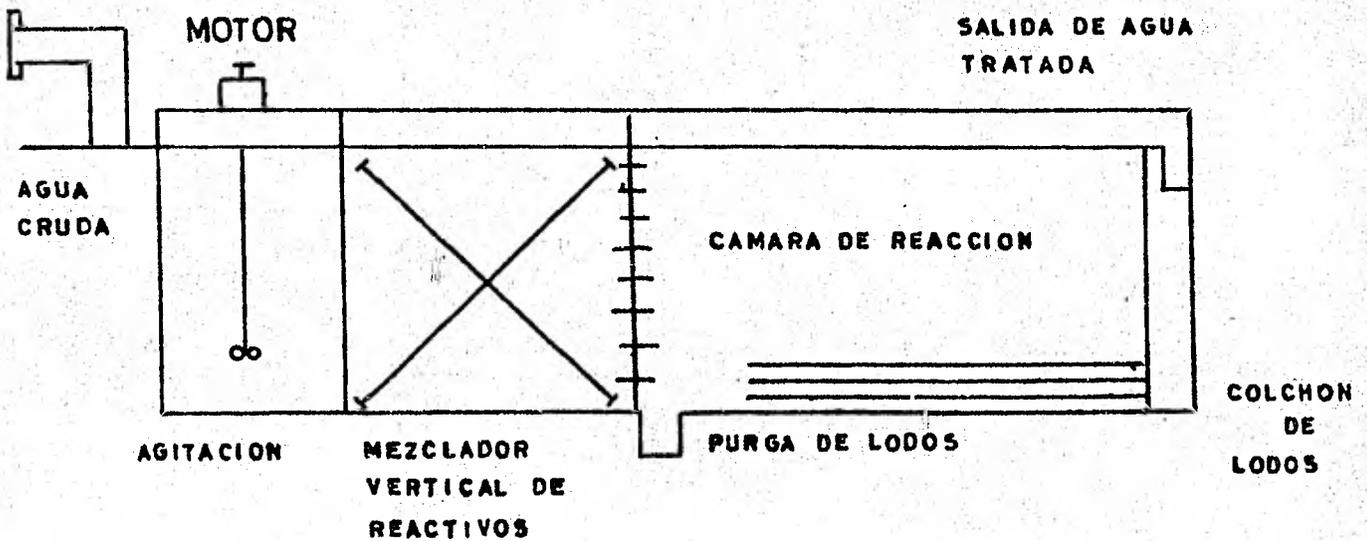
EQUIPO DE CLARIFICACION

El equipo para la clarificación, depende del tipo y — cantidad de materia suspendida presente en el agua. Se pueden usar piletas de asentamiento cuando el flujo de agua contiene — gran cantidad de sedimento pesado; cuando sólo se tiene que eliminar la turbiedad fina o de color, el equipo a usar puede ser de cualquiera de los tipos siguientes:

- a) Clarificador de flujo convencional
- b) Clarificador de flujo rápido.

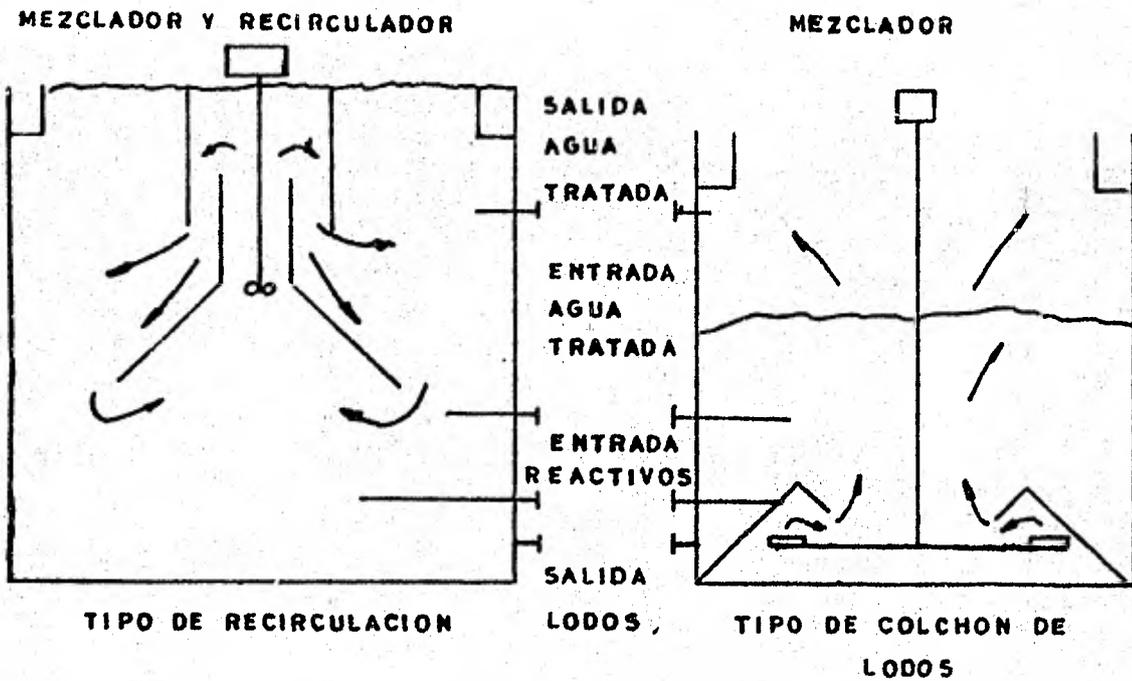
La figura muestra un clarificador del tipo de flujo conventional, el cual proporciona una mezcla rápida de reactivos — ya que contiene paletas para circular el flujo, y un comparti—

miento para asentar el mismo, con un tiempo de retención que va de 3 a 4 Hs.



Los clarificadores de flujo rápido tienen un tiempo de retención de aproximadamente 70 a 90 minutos. Estos equipos -

son menos costosos y requieren menos espacio por unidad de agua clarificada que el del tipo anterior.



F I L T R A C I O N

La operación de filtración, es una operación importante en la preparación de agua para calderas ya que la materia suspendida en el agua de alimentación, en este caso después de la clarificación, debe ser eliminada mediante esta operación.

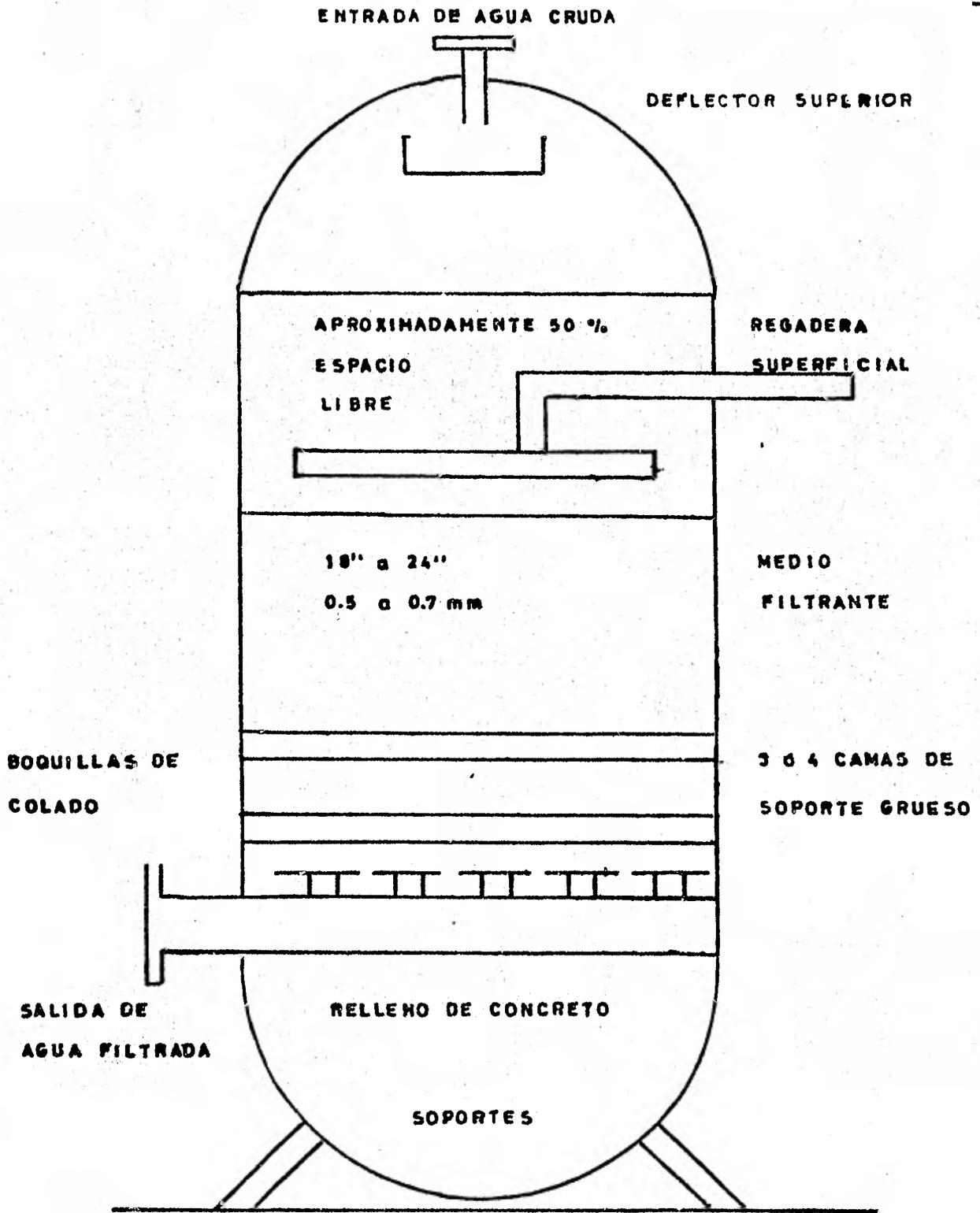
Las diminutas partículas coloidales, no pueden eliminarse por filtración, sin embargo, los filtros son invaluable para la eliminación de la turbiedad coagulada, como continuación de los procesos de clarificación y suavización.

Industrialmente para la operación se utilizan los filtros de:

- a) Filtros a presión
- b) Filtros por gravedad.

Los filtros a presión están constituidos por tanques cilíndricos conteniendo un lecho de material filtrante, que puede ser arena, grava o bien antracita procesada.

El agua entra por la parte superior, pasa a través del filtro y se recoge por drenes en el fondo. Estos filtros son compactos y versátiles, pueden instalarse en una línea de agua sin arreglos para re-bombeo, permiten mayor temperatura de operación.



FILTRO A PRESION

FILTROS A GRAVEDAD

Este tipo de filtros proporciona velocidades uniformes de filtración y produce agua de calidad constante. La cama de material filtrante usado en los filtros convencionales es de 18 a 30" de profundidad. Cuando la caída de presión no es de importancia, a la mayor profundidad de cama con diseño y mantenimiento adecuado, se produce agua completamente clara. El mayor tamaño de partículas para la arena en los filtros es de 0.5 mm y para la antracita de 0.7 mm. El material filtrante entre arena y antracita es seleccionado en función de las propiedades del agua ya que pudiera solubilizarse a ciertas condiciones de pH y temperatura.

Para fijar el tamaño adecuado de los tanques de filtración, se requiere una cuidadosa consideración de las condiciones de servicio.

PROCESO COMUNMENTE USADO EN EL SISTEMA DE INTERCAMBIO IONICO

PROCESO COMUNMENTE USADO EN EL SISTEMA

El presente trabajo trata del proceso de desmineralización por intercambio iónico para lograr la calidad del agua requerida.

DESMINERALIZACION POR INTERCAMBIO IONICO

Las resinas de intercambio iónico son descritas como polielectrolitos insolubles con enlaces cruzados, su función principal es remover materia indeseable en una solución.

Las más pequeñas unidades de un compuesto químico que aún conservan las propiedades del compuesto del cual provienen, son las moléculas. Las moléculas están formadas por átomos ó grupos de átomos y si esos átomos o grupos de átomos contienen cargas eléctricas son conocidos como iones. La carga eléctrica de un ión en particular puede ser positiva o negativa.

Los iones de metales e hidrógeno son usualmente cargados positivos y son llamados cationes, sus cargas son equilibradas por cargas negativas aniónicas.

Los materiales intercambiadores son sustancias insolubles que contienen iones, los que son atacados por otros iones de carga eléctrica opuesta, estos iones también pueden ser intercambiados por otros iones conteniendo cargas similares. Estos intercambiadores de iones pueden ser naturales o sintéticos ellos pueden ser intercambiadores de aniones o de cationes dependiendo de las cargas en la estructura o matriz del intercambiador.

Las resinas de intercambio iónico son partículas sólidas insolubles que reaccionan como ácidos, bases ó sales; pero sin embargo, solamente los cationes y los aniones se encuentran libres para tomar parte en las reacciones químicas.

Las resinas intercambiadoras de iones tienen la capacidad de captar cierta cantidad de iones contenidos en una solución y dar a la resina otros iones con los que fue cargada previamente. (H^+ , Na^+ , para resinas catiónicas y Cl^- y OH^- en el caso de las resinas aniónicas).

La siguiente fórmula describe el proceso reversible de intercambio iónico.



donde:

- R - Representa la matriz polímero que soporta los grupos activos (iones estacionarios de carga opuesta al ión migratorio).
- X - Representa al ión migratorio en la resina intercambiadora (H^+ , Na^+ , Cl^- , OH^-).
- Y - Ión que se encuentra en solución y que se intercambia por el ión migratorio.

Las resinas de intercambio iónico sintéticas son descritas como la unión de polielectrolitos insolubles, los cuales son capaces de intercambiar iones indeseables de una solución por otros menos objetables. Estas resinas poseen un ión estacionario de carga opuesta al migratorio, con el fin de mantener la electroneutralidad en la molécula. Si el ión migratorio libre es un catión, entonces la resina empleada es denominada intercambiadora de cationes, si el ión migratorio es un anión es llamada intercambiadora de aniones.

Se conoce una gran variedad de resinas según el tipo de matriz y según el de los grupos activos:

a) Según el tipo de matriz

I.- Poliestireno.- Matriz con mayor proporción de estireno y menor de divinilbenceno (DVB).

II.- Fenol.- Matriz de condensados polifenólicos.

III.- Misceláneas.- Matriz de resinas poliacríticas y epóxidos.

b) Según el tipo de grupo activo.

I.- Catiónicas.- Ácidos sulfúricos o carboxílicos.

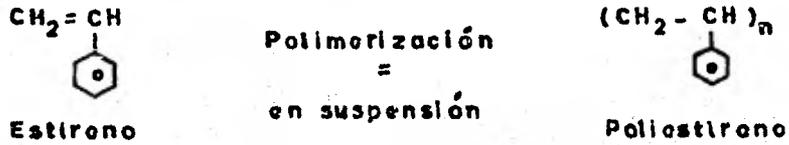
II.- Aniónicos.- Grupos aminos.

La estructura de una resina de intercambio iónico consiste de una matriz o retículo de hidrocarburos, a los que se unen grupos funcionales activos o ionizables. El primer paso en la síntesis de resinas consiste en la construcción de un copolímero tridimensional de estireno con un monómero de divinilbenceno por polimerización en suspensión.

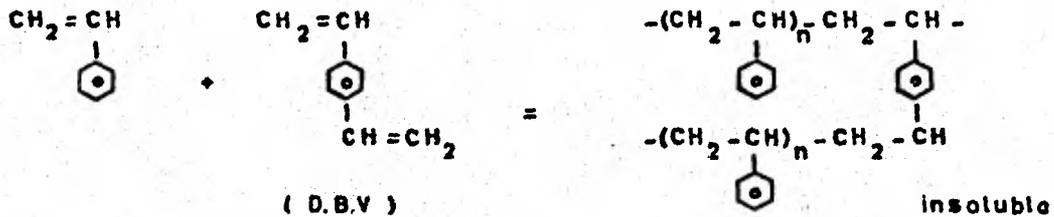
El tipo de grupos ionizables unidos al retículo determina si la resina es un intercambiador de cationes fuertes o débilmente ácidos o si es un intercambiador de aniones fuerte o débilmente básico. La sulfonación del copolímero une a los grupos ionizables en los intercambiadores cationicos fuertemente ácidos y la clorometilación y aminación une a los grupos ionizables en los intercambiadores aniónicos.

Las resinas base estireno.

1) POLIMERIZACION DE ESTIRENO



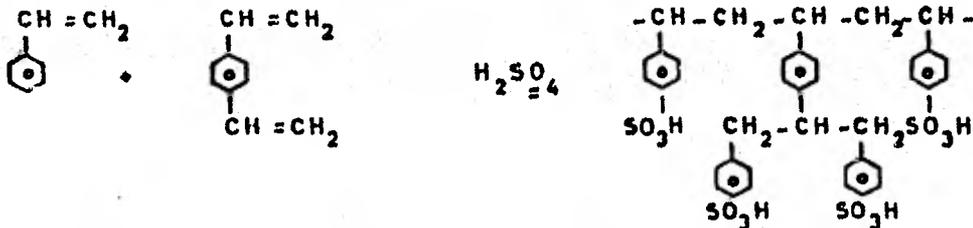
2) UNION DEL POLIMERO



Resinas de intercambio catiónico.

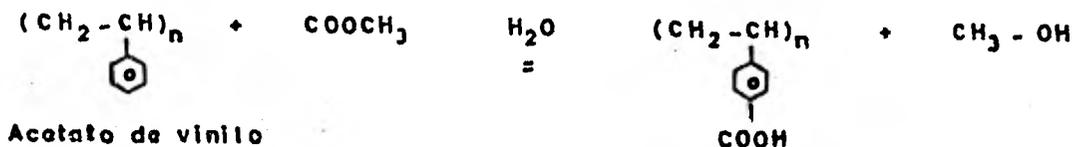
a) Síntesis de resinas catiónicas tipo ácido fuerte grupo sulfónico.

GRUPO SULFONICO



b) Síntesis de resinas catiónicas tipo ácido débil

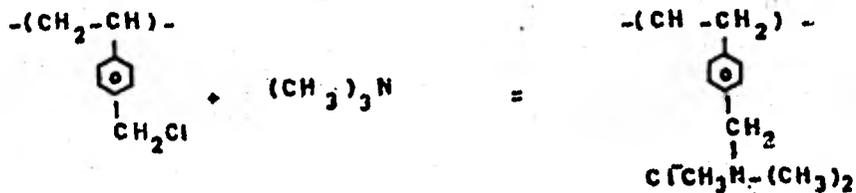
GRUPO CARBOXILICO



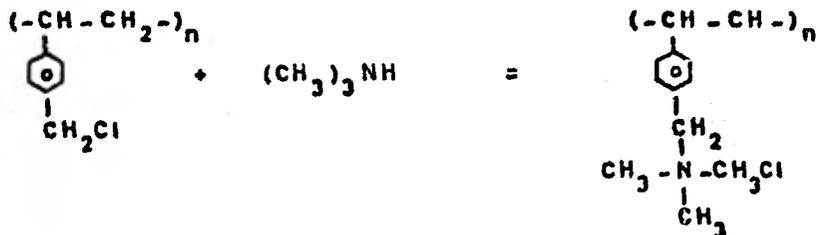
Resinas de intercambio aniónico.

a) Síntesis de resinas fuertemente básicas.

Grupo Amina Cuaternaria.



b) Síntesis de resinas débilmente básicas
Grupo Amina Terciarias.



Las resinas se fabrican según su estructura de dos formas:

- a) Del tipo Gel
- b) Macroreticulares o Macroporosas.

Estas resinas se diferencian unas de otras en la concentración de monómeros para la copolimerización.

Las resinas de estructura gel son de polímeros homogéneos de enlaces cruzados con grupos activos distribuidos estadísticamente a través de toda la partícula. Recientemente se ha desarrollado una nueva técnica de polimerización que permite formar enlaces cruzados en la estructura en el intercambiador iónico totalmente distinto a los de tipo gel convencional, teniendo una estructura rígida similar a aquella de los adsorbentes como: alúmina, sílica gel ó carbón que permiten condiciones de operación más severas; a este tipo de resinas se les denomina resinas de intercambio iónico macroreticulares.

Se encuentran básicamente dos tipos de intercambio iónico:

"catiónico" en el cual se transfieren iones cargados positivamente, como H^+ , Na^+ , Cu^{++} , Mg^{++} y

"aniónicos" que intercambian iones cargados negativamente como OH^- , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , etc.

Todas las resinas tienen características de selectividad de ión, la cual gobierna su comportamiento; por ejemplo la mayoría de las resinas catiónicas tienen mayor afinidad por los iones de mayor valencia por lo que por orden de afinidad queda:

$Li < Na < K < Rb < Cs$ y PARA CATIONES

DIVALENTES $Mg < Ca < Sr < Ba$

Las resinas se clasifican formando cuatro categorías como sigue:

TABLA V

CATEGORIA DE RESINA	ACIDO COMPARABLE	GRUPO ACTIVO
Acido fuerte	H_2SO_4	$-SO_3H$
Acido débil	CH_3-COOH	$-COOH$
Base fuerte	$NaOH$	$-N(CH_3)_3OH$
Base débil	NH_4OH	$-N(CH_3)_2OH$

CINETICA DEL INTERCAMBIO IONICO

Los estudios de cinética han propuesto varias teorías para tratar de explicar el fenómeno de intercambio iónico, - las 3 principales son:

- a) Teoría de la red cristalina
- b) Teoría de la doble capa
- c) Teoría de la membrana de Donnan

Teoría de la red cristalina.- Esta teoría da una explicación bastante sencilla del fenómeno con solo revisar el concepto moderno de sólido iónico. Todo sólido iónico puede considerarse compuesto de iones cargados positiva y negativamente en estado completamente dissociado. Cada ión del cristal está rodeado por un número fijo de iones de carga opuesta, y por consiguiente está sometido a ciertas fuerzas de atracción electrostáticas determinadas por las cargas de los iones y la distancia entre éstos. De aquí se tiene que un ión en la superficie del cristal está sometido a menos fuerzas atractivas que un ión de la misma especie colocado en la porción interna. Si colocamos el cristal en un medio polar, como ---

agua, las fuerzas de atracción que unen al ión con la red del cristal, pueden disminuirse en grado tal que es posible la completa sustitución de ese ión por otro de igual o similar carga.

Las zeolitas naturales son sustancias porosas en las que el ión cambiante puede atravesarla hasta los sitios de cambio, sin embargo, existen resinas muy densas y los iones son incapaces de penetrar debajo de la superficie por lo que se dice que el intercambio está limitado a la superficie natural.

Teoría de la doble capa.- Esta teoría basa su explicación a conceptos coloidales.

Todos los coloides se han considerado formados por 2 capas que explican su comportamiento electrocinético y otras propiedades. Los modelos de Gony y Stern constan de una capa interna fija y una capa externa difusa y móvil. Estas capas deben su existencia a iones adsorbidos que pueden ser diferentes o no de los de la porción interna de la partícula coloidal.

Los iones presentes en la capa externa difusa se extienden hasta dentro de la fase líquida externa sin ningún límite bien definido entre ellas. Por consiguiente se considera que la concentración de los iones en la capa externa difusa varía continuamente.

Si alternamos la concentración de los iones de la fase líquida externa por la adición de un electrolito extraño, el equilibrio se transformará y se producirá otro nuevo.

Entran otros iones a la capa difusa, reemplazando algunos de los iones que estaban anteriormente en ella. Para -- que se satisfaga la ley de la electroneutralidad el cambio debe ser estequiométrico aunque existe cierta similitud con la teoría anterior, la diferencia básica es que la primera no varía con la concentración y pH ya que se tiene un número fijo de sitios activos, por el contrario en la segunda teoría, el --

pH y la concentración hacen variar la extensión de la capa.

Teoría de la membrana de Donna.- Explica la desigual distribución de los iones que pueden existir en los dos lados de una membrana que separe dos soluciones de electrolitos, una de las cuales contiene iones que no se difunden a través de la membrana.

Al aplicar esta teoría al fenómeno de intercambio iónico, la superficie que separa la fase sólida de la fase líquida es la membrana, el cambiador sólido al cual están unidos -- los iones cambiables es el ión no difusible.

PROCESO DE INTERCAMBIO IONICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA

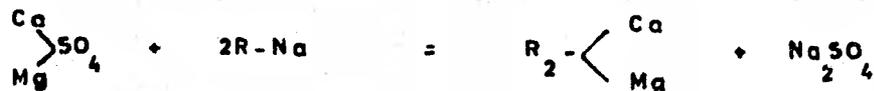
Quizá la más común y menos tolerable de las impurezas químicas del agua son los iones producidos por la dureza (calcio y magnesio principalmente). La dureza (temporal y permanente) además de los serios problemas causados en equipos de transferencia de calor son responsables de acuerdo a la siguiente ecuación del rompimiento de la espuma del jabón.



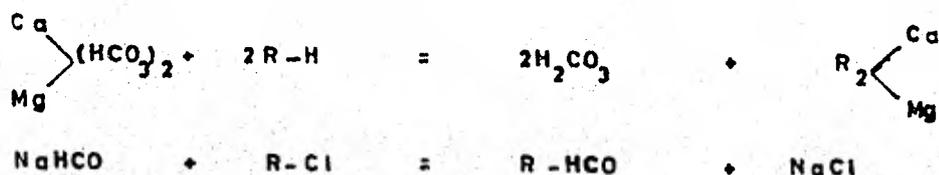
La tecnología del intercambio iónico ha permitido solucionar satisfactoriamente estos problemas. Debido a la versatilidad con que se pueden usar las resinas intercambiadoras de iones se puede obtener agua de calidad media, buena hasta - agua de calidad supercrítica.

Los diferentes procesos de intercambio iónico que se utilizan en el tratamiento de agua y de acuerdo a la calidad - en cuanto a la concentración de iones, son los siguientes:

- a) Ablandamiento: El intercambio de iones calcio y magnesio por sodio.



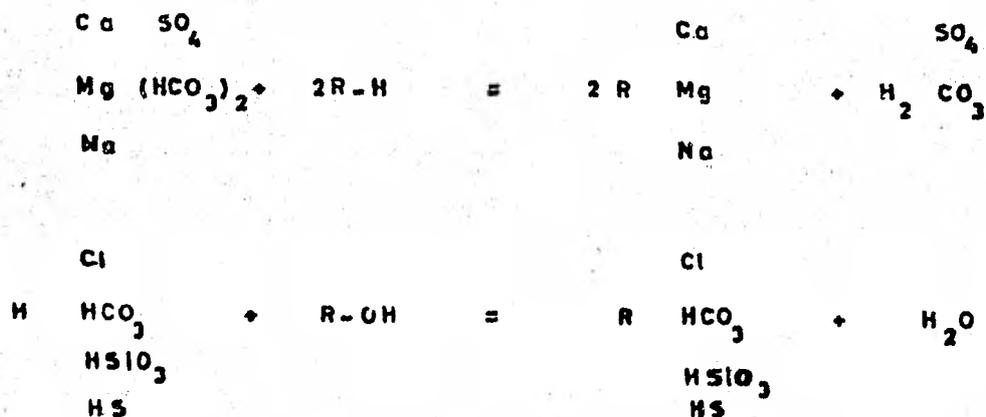
b) Desalcalización: que es el intercambio de los iones carbonato y bicarbonato por iones hidrógeno y cloro.



c) Desilización: es el intercambio de sílice por iones de hidróxido.



d) Desmineralización: es el intercambio de cationes y aniones por hidrógeno e hidróxido.



En general las resinas de intercambio iónico son usadas en procesos de separación, concentración, control de pH y una gama de aplicaciones.

Como es de suponerse todas las reacciones de intercambio iónico tienen una capacidad de intercambio limitado, la cual es la cantidad máxima teórica que algún ión dado puede absorber por lo que en la aplicación normal de un sistema de intercambio iónico, los factores a considerar son los siguientes:

Concentración y composición del agua que va a tratarse.

Características del efluente o grado de pureza.

Nivel de regeneración.

Las unidades de intercambio son sometidas a los mismos pasos durante la operación, éstas son:

Agotamiento: La resina es puesta en contacto con agua a ser tratada y remueve iones indeseables, esta operación se realiza en flujo descendente.

Retrolavado: Cuando la resina ha sido agotada, ya no tiene efectividad para remover iones entonces el flujo del agua se invierte y es aplicado a contracorriente a través de la cama. La resina es expandida y fluidizada para suspender cualquier tipo de sólidos que se hayan quedado en el proceso de agotamiento.

Regeneración: La solución química conteniendo el ión deseado a ser dado a la resina se aplica en concentraciones de 1% al 10%, el contacto de la resina con la solución regenerante es a un flujo normal descendente durante 15 a 60 minutos. En esta operación el ión de la solución es intercambiado con los iones acumulados en la resina.

Desplazamiento del regenerante: Una vez efectuada la regeneración se detiene el paso del regenerante y se continúa la dilución de éste con el paso del agua es importante - notar que esto es una parte del paso de regeneración. Normalmente esto se realiza durante un tiempo de 10 a 20 minutos.

Lavado rápido.- En este paso se remueve la mayoría - del regenerante químico de la resina. Es necesario limpiar la resina completamente debido a que si hay trazas de regenerante en la cama de resina, afectará la composición del - efluente resultante. Este proceso se efectúa normalmente entre 30 y 60 minutos.

Las resinas catiónicas normalmente requieren de 6 a 8 litros de agua de lavado por litro de resina, en tanto que - las resinas aniónicas requieren de 1 a 13 litros de agua para lavado por litro de resina.

Una resina adecuadamente lavada puede ser retornada al servicio hasta agotamiento y continuar con el ciclo "Saturación-Regeneración".

Para seleccionar un sistema de tratamiento adecuado, - se considerarán los siguientes aspectos:

- 1.- Fijar la calidad del agua necesitada
- 2.- Fijar la cantidad de agua requerida y considerar si el agua es requerida continua o en forma intermitente.
- 3.- Analizar la necesidad de una futura extensión de la planta.
- 4.- Buscar un sitio donde se tenga el mejor suministro de agua.

No existe una técnica a seguir en el desarrollo de un sistema de intercambio, aunque se debe considerar los puntos siguientes:

- . Conocer las cargas iónicas de las especies a ser removidas.
- . Seleccionar el intercambiador apropiado.
- . Calcular la capacidad de intercambio.

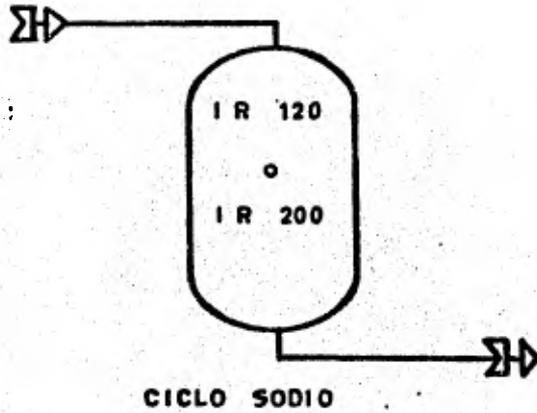
- . Seleccionar el procedimiento de regeneración así como el volumen de regenerante.
- . Cuantificar el volumen de resina intercambiadora de iones.
- . Aproximar la vida del intercambiador.
- . Estimar el costo del equipo
- . Estimar el costo de operación.

Para un sistema de intercambio iónico en partículas y debido a que básicamente existen cuatro tipos de resinas intercambiadoras de iones, catiónica débil, catiónica fuerte, aniónica débil y aniónica fuerte, para hacer la mejor selección de un sistema de desmineralización se requiere hacer un balance económico entre el capital a invertir para un sistema dado y el costo de operación.

En muchos casos se decide el sistema más apropiado de acuerdo a las necesidades por cubrir.

DIFERENTES ARREGLOS DE SISTEMAS DE INTERCAMBIO IONICO

1.- ABLANDAMIENTO :



2.- DESALCALINIZACION
A.-

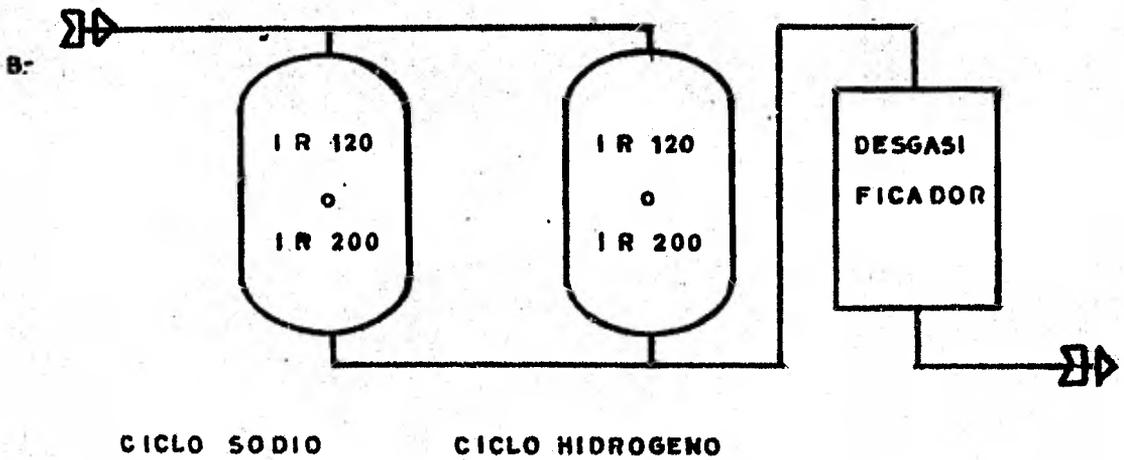
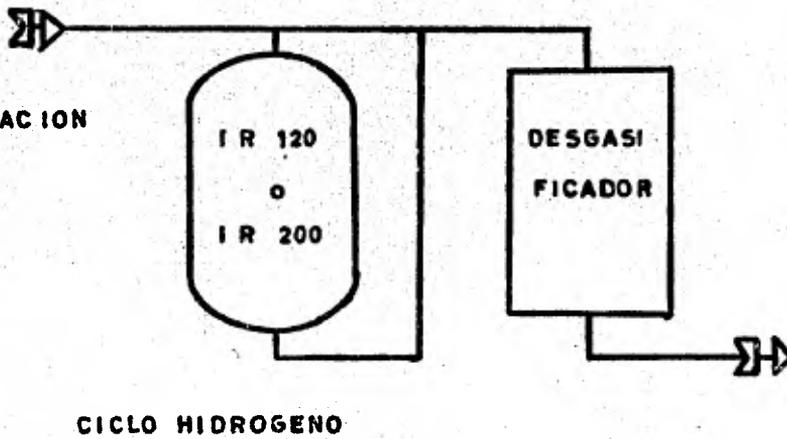


FIGURA 2

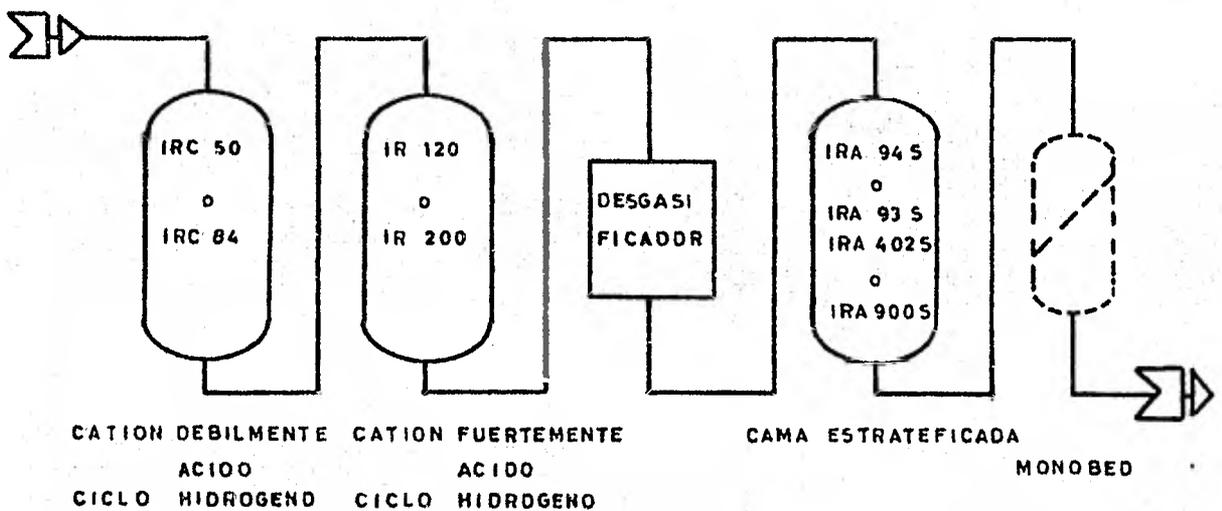
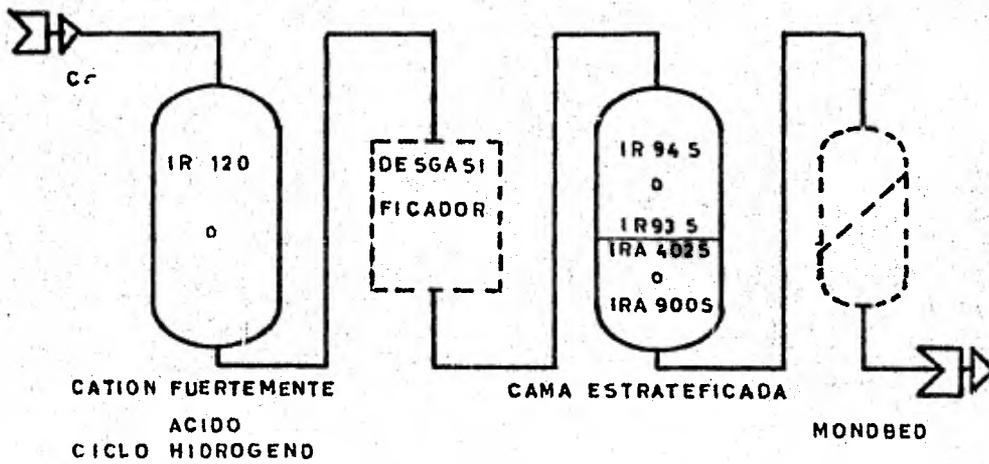
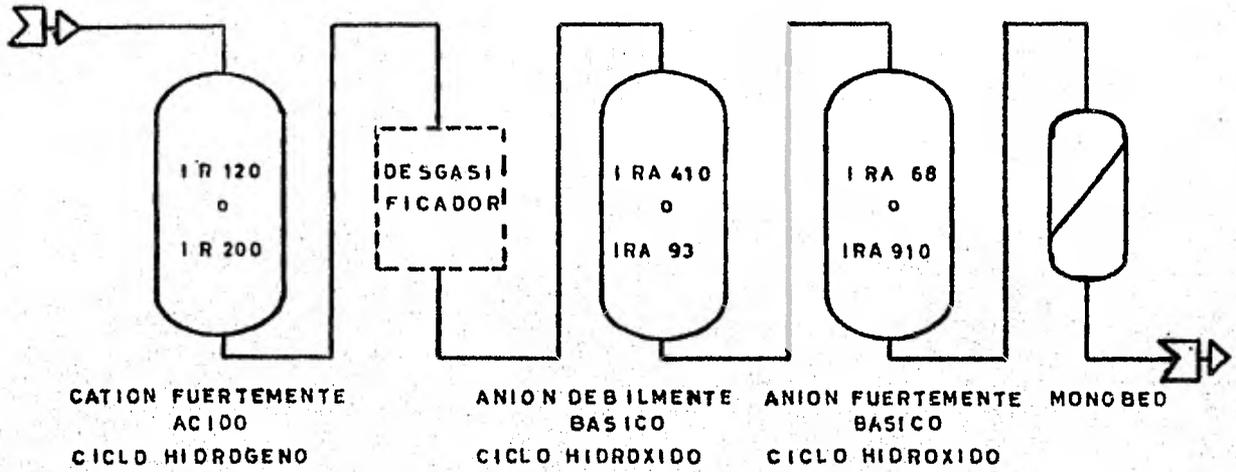


FIGURA 3

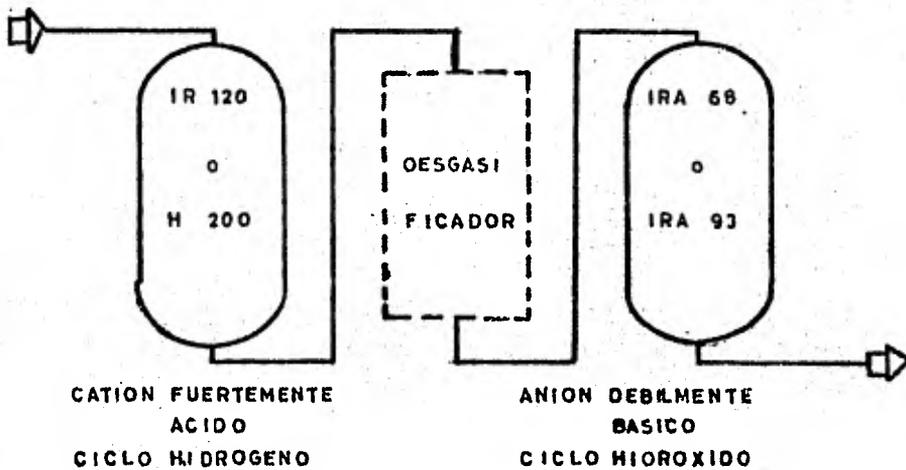
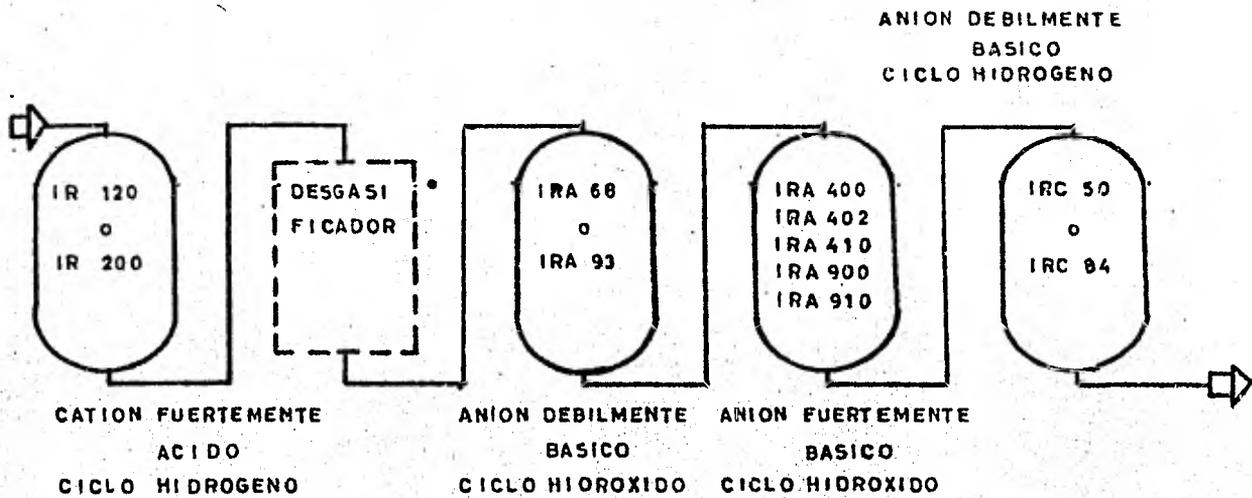


FIGURA 4

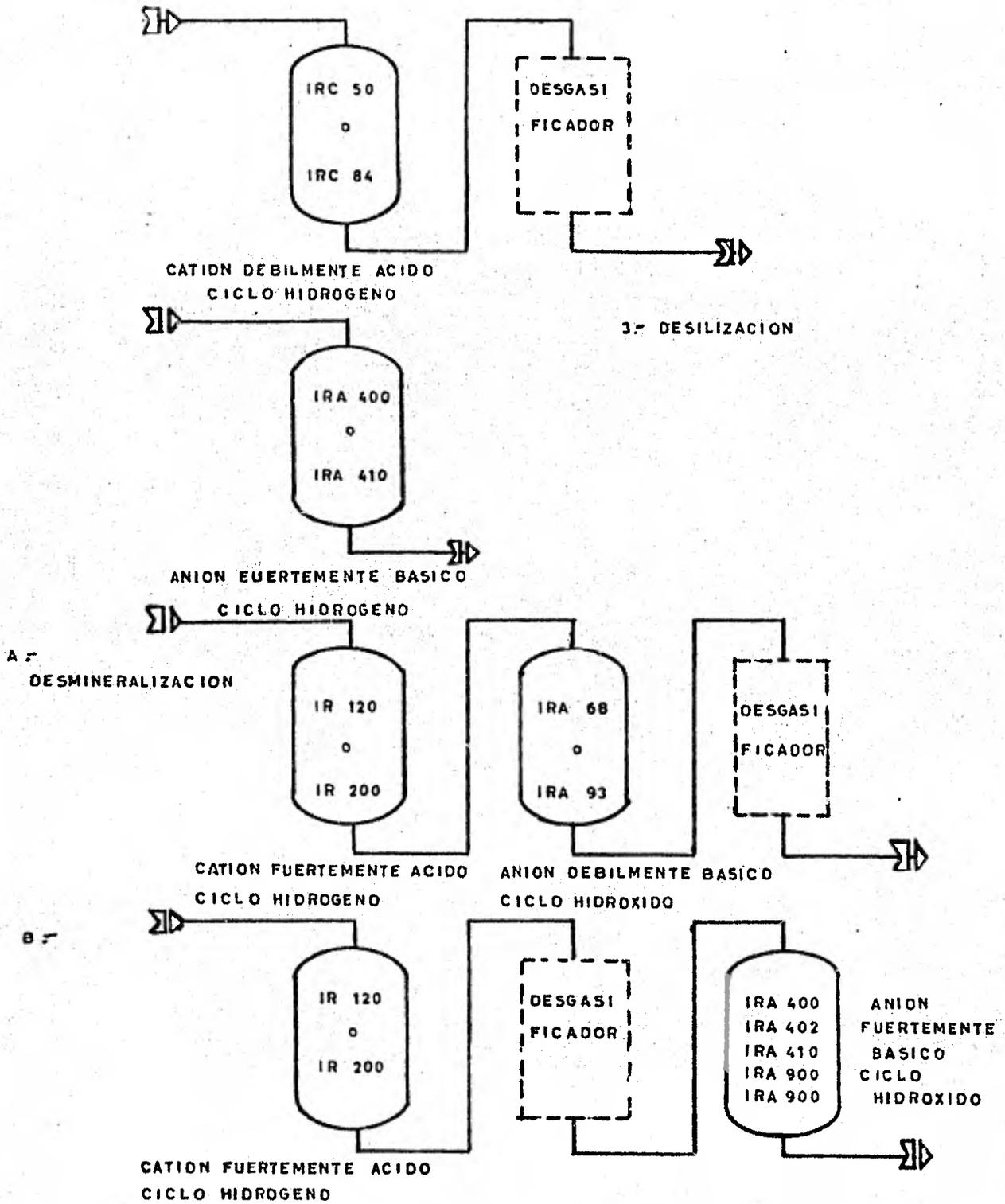


FIGURA 5

CONTAMINACION DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO

El principal problema químico encontrado en la desionización del agua cruda es la contaminación o envenenamiento de las resinas aniónicas con material orgánico. Todas las resinas aniónicas son capaces de absorber los tipos de compuestos orgánicos que se encuentran en el agua cruda y esto es conveniente que lo hagan pero desafortunadamente muchas resinas aniónicas no sueltan la materia orgánica durante los procedimientos normales de regeneración y tiene lugar una acumulación de materia orgánica en el interior de la resina.

Cuando la materia orgánica pasa por la resina intercambiadora de aniones posiblemente se absorbe primero sobre la superficie, pero las moléculas orgánicas grandes se difunden gradualmente hacia el interior de la esfera de resina y la materia orgánica se enreda en su estructura. Este es particularmente el caso con resinas de intercambio iónico del tipo gel con alto contenido de ligaduras. En la regeneración, el tiempo disponible es insuficiente para permitir una difusión hacia el exterior de las moléculas de materia orgánica, consecuentemente quedan bloqueados un número considerable de grupos iónicos de la resina.

Los síntomas de contaminación por materia orgánica son:

- a) Capacidad reducida
- b) Aumento de la conductividad eléctrica del agua tratada
- c) Necesidades de enjuagues prolongados
- d) Bajo pH del agua tratada.

Es obvio pensar que a) y b) afectarán los gastos de operación y sobre todo puede reducirse considerablemente la vida de la resina. Algunas formas de tratar el agua para reducir el efecto de la materia orgánica sobre las resinas aniónicas son:

- a) Floculación y filtración
- b) Uso de resinas macroporosas
- c) Tratamiento químico de resinas envenenadas.

Las resinas macroporosas son más resistentes a la materia orgánica, es decir, su estructura macrorreticular permite que se observen las moléculas grandes de la materia orgánica y lesione las que son eliminadas durante la regeneración.

Entre otros problemas que se encuentran durante la operación de las resinas de intercambio iónico son:

- 1.- Pérdida de la resina de la unidad por excesivos finos, debido a rompimientos físicos.
- 2.- Lecho de resina dilatada, es decir, rompimiento de los enlaces debido a la presencia de agentes oxidantes.
- 3.- Decoloración causada por períodos prolongados de almacenamiento a elevadas temperaturas o debido también a congelación.
- 4.- Caída de presión en la unidad causada por excesivos finos debido a rompimientos físicos de la resina.

Los aspectos sobre las características del equipo que se usa en el intercambio iónico sólo pueden ser una guía general para cuando se tienen sistemas de lecho fijo con cada una de las operaciones que se efectúan una vez que la resina ha sido colocada en la columna.

Para que una resina de intercambio iónico opere eficientemente en las operaciones mencionadas, es esencial que las soluciones pasen a través de las resinas y se distribuyan uniformemente sobre la parte superior del lecho de la resina para que fluya uniformemente a través del volumen de la resina y tenga contacto con cada partícula del intercambiador.

La distribución del flujo a través de un lecho de resina en una columna, requiere un diseño cuidadoso de sus componentes

así como un control adecuado; sobre un rango amplio de temperaturas y concentraciones de fluido.

Los elementos básicos de una unidad comercial típica -- son:

Tanque Vertical, que va a contener la resina de intercambio iónico más un espacio suficiente para expansión de la resina en la etapa de contralavado. Estos tanques se fabrican con placas de acero al carbón, recubiertos en su interior con recubrimientos resistentes a ácidos y alcalis en el proceso de regeneración. En caso de suavizadores se utilizan tanques sin recubrimiento.

Las dimensiones comerciales varían de 30 cm. a 300 cm. de diámetro con alturas de lecho de resina de 60 a 180 cm.

Una vez calculado el volumen de resina se decidirá sobre las unidades a usar así como de sus dimensiones.

Distribuidores.- Encontramos 3 tipos de éstos.

a) Distribuidor Superior.- Distribuye el flujo descendente o colecta el flujo descendente en unidades pequeñas estos equipos pueden consistir de tubos perforados o baffles y en equipos grandes se instalan equipos que además de distribuir el flujo evita la fuga de resina por un alto retrolavado. Estos distribuidores se construyen con diseños similares a las calderas de pozo.

Los materiales de construcción se seleccionan de acuerdo a las condiciones bajo las cuales operará el equipo.

b) Distribuidores Inferiores.- Distribuyen el flujo descendente.

Para mantener una buena distribución de flujo durante todo el lecho del intercambiador de iones; los distribuidores superiores deben ser compatibles con el diseño del colector inferior.

c) Distribuidores de Regenerante.- Generalmente consisten en una serie de tubos laterales perforados conectados a un cabezal, los tubos cuyas perforaciones tienen un tamaño y un número requerido para mantener una caída de presión que permita que el flujo de regenerante cubra el área total del lecho. Este distribuidor se coloca normalmente a 15 cm. arriba del nivel superior del intercambiador de iones en su forma iónica -- agotada que tenga el volumen mayor.

El volumen de las resinas cambia en función de la forma iónica, por eso es importante tomar en cuenta el cambio de volumen en sus diferentes formas iónicas, y de esta forma evitar colocar el distribuidor en una posición que de una mala distribución del flujo de regenerante.

Estos distribuidores deberán fabricarse de materiales resistentes a la corrosión y a la acción de ácidos y sosa cáustica.

Controles.

a) Controles de flujo.- Es importante colocar indicadores de flujo en la entrada de las unidades, para medir con la mayor precisión los flujos de servicio, retrolavado, enjuague y agua de dilución de regenerantes.

b) Conductímetros.- Normalmente se colocan conductímetros a la salida de las unidades aniónicas que determinan la salida del agua producida y también detectan el proceso de enjuague, ya que la conductividad del agua se ve afectada por la naturaleza de los iones presentes en el agua.

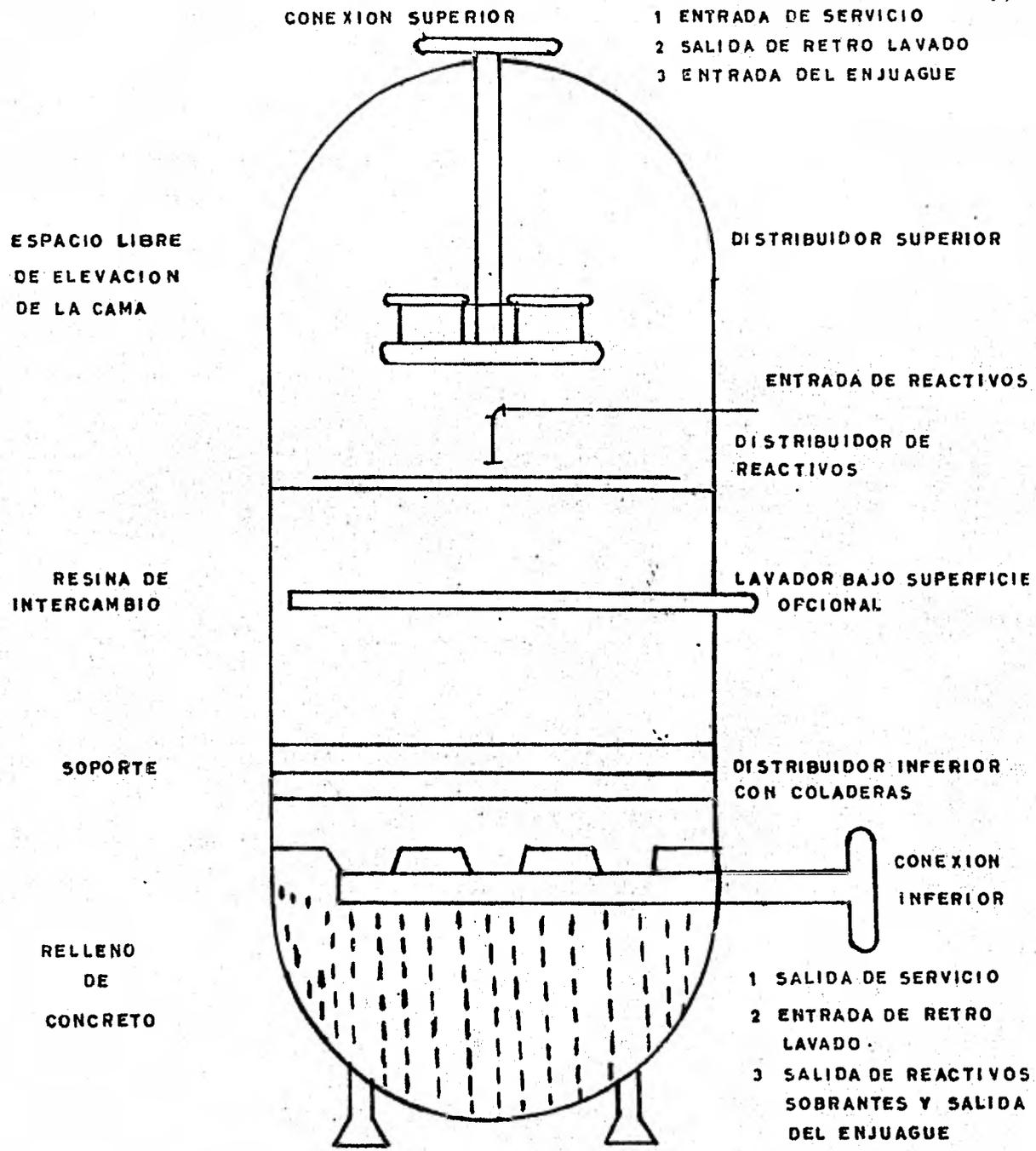
c) Válvulas.- Estas como es bien sabido nos servirán únicamente para controlar flujos y la adecuada distribución -- del mismo en el sistema. Para evitar confusiones toda válvula usada en el sistema hidráulico debe ser seleccionada adecuadamente, las cuales deben contener indicaciones de la posición.

d) Sistemas de Regeneración.- Es importante recordar que la introducción de los regenerantes, si no es controlada adecuadamente puede causar serios problemas, se debe evitar por ejemplo una mayor concentración de regenerante que la previamente establecida para no perjudicar los materiales de construcción del equipo. A continuación se presenta una unidad típica de intercambio iónico.

Aunque el pretratamiento del agua a ser pasada por el intercambiador de iones, aparentemente puede tener poca significancia para la operación de intercambio de iones puede ser un factor importante en la eficiencia total de la operación. La alimentación del agua debe estar libre de coloides, materia orgánica y como requerimiento principal el agua debe ser clara. La turbidez si está presente aun en pequeñas cantidades, forma un precipitado por encima del lecho de resina que incrementa la caída de presión. Un resultado de lo anterior es la canalización dentro de la columna y por lo tanto no tiene contacto con el total del volumen de resina. Otro problema de importancia que se presenta con la presencia de coloides es cubrir las esferitas y reducir la velocidad de difusión de los iones dentro y fuera de las partículas del intercambiador y por lo tanto una pobre cinética en la operación del intercambiador.

Por lo anterior es importante que todas las fuentes superficiales sean clarificadas tan bien como sea posible, mediante coagulación y filtración.

Durante el período de pretratamiento se debe considerar la remoción o neutralización de sustancias que degraden o contaminen las partículas de las resinas. Como ejemplo la remoción de trazas de ozono, cloro y otros oxidantes presentes en el agua. El efecto de estos oxidantes puede ser minimizado por el uso de resinas más estables como son las resinas catiónicas fuertes tipo macrorreticulares.



UNIDAD TIPICA DE INTERCAMBIO IONICO
FIGURA 2

DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

El sistema a desarrollar consiste en acondicionar agua procedente de un río (agua cruda) para que de esta manera se - alimente a la caldera de alta presión.

Especificaciones y condiciones de operación de la cal-
dera:

Sólidos totales disueltos	2 ppm
Conductividad	10 μ mho
SiO ₂ como CaCO ₃	0.083 ppm

La caldera operará a una presión de 2400 psig y con un flujo continuo de 1500 G.P.M.

Los resultados del análisis promedio efectuado al agua cruda, así como del efluente esperado es como sigue:

CARACTERISTICAS	ppm como CaCO ₃ agua cruda	Efluente Esperado
Calcio	98.	-
Magnesio	53	-
Sodio	29	2
H ⁺	0	-
Cationes totales	180.0	2
Bicarbonatos	110.0	-
Carbonatos	0.0	-
Hidróxido	0.0	-
Fosfatos	0.0	-
Cloruros	50.0	1
Sulfatos	20.0	1
Nitratos	0.0	-
Fluoruros	0.0	-
Aniones totales	180.0	2

CARACTERISTICAS	ppm como CaCO ₃ agua cruda	Efluente Esperado
Dureza total	151.0	0
Dureza no carbonatada	41.0	0
Alcalinidad total	110.0	0
Alcalinidad "M"	110.0	0
Alcalinidad "F"	0.0	0
Bióxido de carbono como CO ₂	17.0	0
Manganeso	0.0	0
Sílice ppm como SiO ₂	50.0	0.08
Turbiedad J.T.U.	25.0	0
Materia orgánica	28.0	
pH	7.1	5.5

DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Para lograr las características del efluente el sistema a diseñar debe cumplir lo siguiente:

- a) Efectuar una clarificación efectuada con coagulantes y ayuda de coagulantes apropiadamente seleccionados.
- b) Pasar el agua clarificada por un filtro de gravedad.
- c) Pasar el efluente a través de una resina intercambiadora de cationes por iones hidrógeno.
- d) Alimentar a un desgasificador a fin de eliminar el --- bióxido de carbono, para disminuir los aniones intercambiables.
- e) El efluente del desgasificador ahora pasa por una columna que tiene una resina intercambiadora de aniones, para eliminar la acidez mineral y todos los demás -- aniones.
- f) Efluente requerido para la caldera.

De acuerdo al análisis del agua cruda, lo primero que se debe eliminar es la turbiedad y materia orgánica ya que los valores reportados son elevados, esto afectará notablemente los lechos de resina de intercambio iónico, debido a -- la formación de depósitos sobre la misma. Por lo que se precisa realizar un acondicionamiento previo. Este tratamiento consiste de una coagulación/floculación seguida de asenta -- miento y filtración.

En la coagulación se agregan sustancias químicas, con el objeto de desestabilizar las cargas de las partículas regponsables de incrementar el tamaño de las partículas coloida

les de manera que puedan eliminarse posteriormente por asentamiento y filtración.

La materia orgánica presente en el agua cruda se oxida mediante la adición directa de cloro en la línea de alimentación de agua cruda.

EQUIPO DE CLARIFICACION

La operación de clarificación se efectúa en un equipo de flujo rápido del tipo colchón de lodos.

El flujo superficial de diseño para poder lograr el flujo de servicio de 1625 ppm es de 1 G.P.M./ft²

El flujo de servicio tiene un 10% de tolerancia sobre el flujo normal.

área del equipo = 1625 G.P.M. / G.P.M. / ft².

área del equipo = 1625 ft²

Tomamos 2 hrs. como tiempo mínimo de contacto del agua

Flujo/hora = 1625 $\frac{\text{gal}}{\text{min.}}$ x $\frac{60 \text{ min.}}{1 \text{ hr.}}$ = 97500 $\frac{\text{Gal}}{\text{Hr.}}$ x 2 hrs.

26070 ft³ = 195000 gal.

Altura del agua en el equipo.

$$H = \frac{26070 \text{ ft}^3}{1625 \text{ ft}^2} = 16.0430 \text{ ft.}$$

Altura total del clarificador:

$$H_t = 16 + 100 \% = 32 \text{ ft. de agua}$$

Se le da un 100% de tolerancia en la altura por efectos de expansión y aumentos del gasto a manejar.

Con el valor del área del equipo del apéndice se recomienda una unidad de 46 ft. de diámetro (Apéndice 1).

BALANCE DE MATERIA

En función de la calidad del agua cruda a tratar así como de la eliminación de la turbiedad ya que después que el agua sea clarificada, ésta no debe ser corrosiva se opta por usar el aluminato de sodio ($\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$) como coagulante en presencia de una ayuda de coagulante, el que consiste de un polielectrolito sintético orgánico tipo aniónico; así como también se tiene la dosificación de cloro.

Reacción de coagulación en el agua:



La presentación comercial del aluminato sódico es en polvo, se inyectará en solución al 10%.

La bibliografía recomienda para condiciones óptimas de operación:

$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$	34 ppm	para	6 < pH < 7.5
Polielectrolito	2 ppm	y.	
Cl_2	3 ppm		

Dosis de $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$.

34 ppm al 100%

34 ppm = 0.284 lbs
120* 10³ gal.

para un tiempo de servicio de 24 hrs. volumen del agua a tratar

$$1625 \frac{\text{gal}}{\text{min.}} \times \frac{60 \text{ min.}}{1 \text{ hr.}} \times \frac{24 \text{ hrs.}}{\text{DIA}} = 2340000 \frac{\text{gal}}{\text{DIA}}$$

consumo de $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$

$$2340 \times 10^3 \text{ gal} \times 0.284 \frac{\text{lbs}}{10^3 \text{ gal}} = 664.56 \text{ lbs. al } 100\%$$
$$= 886.08 \text{ lbs. al } 75\%$$

conc. comercial

como la solución se inyectará al 10% para determinar el volumen de agua de dilución de 75% al 10% se sigue.

$$\frac{10 \text{ gr.}}{100 \text{ ml}} \times \frac{1 \text{ lb}}{454 \text{ gr}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ lt}} \times \frac{1 \text{ lt}}{0.264 \text{ gal.}} = 0.8343 \frac{\text{lb}}{\text{gal.}}$$

* Factor para transformar de ppm a $\text{lbs}/10^3 \text{ gal.}$

volumen de solución de $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ al 10%

$$\frac{886.08 \text{ lb al } 75\%}{0.8343 \text{ lbs/gal}} = 1062.06 \text{ gal}$$

comercialmente el aluminato se encuentra al 75%

$$\frac{75 \text{ gr}}{100 \text{ ml}} \times \frac{1 \text{ lb}}{454 \text{ gr}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ lt}} \times \frac{1 \text{ lt}}{0.264 \text{ gal}} = 6.25 \frac{\text{lbs}}{\text{gal}}$$

volumen de solución de $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ al 75%

$$\frac{886.08 \text{ lbs}}{6.25 \text{ lb/gal}} = 141.77 \text{ gal}$$

Agua de dilución del 75% al 10%

$$1062.06 - 141.77 = 920.29 \text{ gal.}$$

CONSUMO DE POLIELECTROLITO

La dosificación del polielectrolito como ayuda de coagulación es de 2 ppm, así la ayuda de coagulación consumido es:

$$\frac{2 \text{ ppm}}{120} = 0.0167 \text{ lbs}/10^3 \text{ gal.}$$

consumo del polielectrolito

$$2340 \times 10^3 \text{ gal} \times 0.0167 = 39.07 \frac{\text{lbs}}{24 \text{ hrs.}} \text{ al } 100\%$$

CONSUMO DE CLORO

La dosificación de cloro se efectúa sobre la línea de alimentación a una distancia tal que el tiempo mínimo de contacto con el agua sea de 10 minutos, antes de llegar ésta al clarificador, así tenemos:

$$\frac{3 \text{ ppm}}{120} = 0.025 \frac{\text{lb}}{10^3 \text{ gal.}}$$

consumo de cloro

$$2340 \times 10^3 \text{ gal} \times 0.023 = 58.5 \frac{\text{lbs}}{24 \text{ hrs.}}$$

Como margen de seguridad se aplicará 2 veces la cantidad de cloro; es decir se dosificarán 117 lbs/24 hrs.

Al aplicar el coagulante al agua cruda, éste debido a la presencia de compuestos sódicos se produce un ablandamiento. Este ablandamiento ocurre como sigue

El coagulante reacciona con el agua formando el flóculo y a la vez produce sosa.

La sosa producida reacciona con la dureza presente en el

agua como sigue



al reaccionar todo el MgSO_4 , la sosa remanente reaccionará con la dureza restante como sigue



En la reacción de la sosa con la dureza, se tiene la producción de cloruro de sodio. La cantidad de sosa producida, la dureza reaccionada y el sodio producido son estequiométricos.

ANALISIS DEL AGUA DESPUES DEL CLARIFICADOR

CARACTERISTICAS	ppm como CaCO_3 agua cruda	Efluentes del Clarificador
Calcio	98	98
Magnesio	53	32.5
Sodio	29	49.5
H^+	0	0.0
Cationes totales	180	180

Los aniones no se ven afectados durante la clarificación.

FILTRACION

La operación de filtración, puede considerarse como una continuación del proceso de clarificación en la que es im prescindible la eliminación del material suspendido que pu die ra arrastrar el flujo de agua después de la coagulación quí mi ca y de esta manera evitar obstrucciones en las resinas inter cambiadoras del proceso de desmineralización.

Para la operación se usa un filtro de gravedad por su fácil manejo y mantenimiento; éste tiene arena como material filtrante. Para lograr mantener el flujo de 1625 G.P.M., se distribuirá este flujo en 4 equipos y así mantener éstos dentro de especificaciones comerciales, de esta forma el flujo superficial de diseño es de 3.0 G.P.M./ft².

El flujo por filtro es

$$\frac{1625 \text{ G.P.M.}}{4} = 406.2 \text{ G.P.M.}$$

Area total requerida

$$\frac{1625 \text{ G.P.M.}}{3 \text{ G.P.M./ft}^2} = 542 \text{ ft}^2$$

Area x filtro:

$$\frac{406.2}{3} = \underline{135.4 \text{ ft}^2}$$

Del apéndice y con el área por filtro se obtiene el diámetro comercial, $\phi=7'6''$ (Tabla VII)

La altura del material filtrante es seleccionada experimentalmente para lograr mantener la caída de presión y buena calidad del agua, en este caso se establece una altura de 2 ft. Cuando en el equipo aumenta la caída de presión se efectúa un retrolavado, normalmente éste se realiza cuando AP 5 ft.

SISTEMA DE DESMINERALIZACION

En el capítulo anterior se presentaron todas las combinaciones más usuales de operaciones de intercambio iónico en las figuras de la 2 a la 5.

Encontramos todos los arreglos posibles para llevar a cabo la operación de desmineralización de la que se ha elegido - por su fácil manejo y menor costo de operación con la consiguiente eficiencia en la calidad del agua.

UNIDAD CATIONICA - DESGASIFICADOR - UNIDAD ANIONICA

a) UNIDADES ANIONICAS.

Se presenta el cálculo para la unidad aniónica antes que la catiónica ya que para la regeneración de la unidad aniónica se requiere de agua descationizada producida en las unidades catiónicas y de esta manera conocer la cantidad de agua a tratar en las unidades catiónicas. Para poder establecer las dimensiones de las columnas, los cálculos se basan en el análisis del agua cruda y en especificaciones de fabricantes.

Se manejará un flujo total de 1500 G.P.M. para lograr -- mantener el flujo continuo de alimentación a la caldera, se usarán 4 columnas aniónicas, una de las cuales se mantendrá fuera de operación.

Para esto se empleará un flujo superficial de diseño de 20 G.P.M./ft².

El flujo por unidad será:

500 G.P.M.

Area/columna

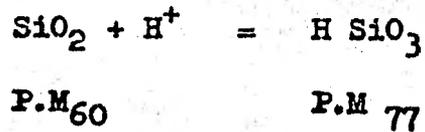
$$\frac{500 \text{ G.P.M.}}{20 \text{ G.P.M./ft}^2} = 25 \text{ ft}^2$$

por estequiometría tenemos:

$$\frac{44 \text{ (peso mol. CO}_2\text{)} \times 10 \text{ ppm}}{61 \text{ (peso mol. HCO}_3\text{)}} = \frac{10(61)}{44} = 13.86 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \text{HCO}_3^- \text{ como CaCO}_3 &= 13.86 \times \frac{\text{P.M. CaCO}_3}{\text{P.M. HCO}_3^-} = 13.86 (0.82) \\ &= 11.36 \text{ ppm} \end{aligned}$$

La sílice presente entra a la unidad aniónica como HSiO_3



Por lo que entran a la unidad

$$\frac{77}{60} = \frac{x}{50} \implies x = \frac{77(50)}{60} = 64.16$$

$$\begin{aligned} \text{HSiO}_3 \text{ como CaCO}_3 &= 64.14 \times \frac{\text{P.M. CaCO}_3}{\text{P.M. HSiO}_3} = 64.14 (1.63) \\ &= 104.5 \text{ ppm} \end{aligned}$$

Total de aniones a remover

$$70 + 11.36 + 104.5 = 135.91 \text{ ppm como CaCO}_3$$

Si tenemos un volumen de 500 G.P.M.
Unidad

Entonces el total de granos a remover
si

$$\text{un grano/gal} = 17.1 \text{ ppm}$$

$$\frac{185.91 \text{ ppm}}{17.1 \text{ ppm/grano.gal}} = 10.87 \frac{\text{granos}}{\text{gal}}$$

Volumen de agua a tratar/unidad =

$$500 \text{ G.P.M.} \times \frac{60 \text{ min.}}{1 \text{ hr.}} \times 8 \text{ hrs.} = 240,000 \text{ gal}$$

$$\begin{aligned} \text{Kilogramos a remover} &= \frac{240,000 \text{ gal} \times 10.87 \text{ granos} \times 1\text{Kg}}{1000 \text{ granos} \cdot \text{gal}} \\ &= 2608.8 \text{ Kgr.} \end{aligned}$$

Para poder establecer el nivel de regeneración así como la capacidad de la resina se tienen los siguientes datos y con la fig. 1 del apéndice podemos realizar lecturas.

Aniones	ppm como CaCO_3	%
T.M.A.	70	37.65
HCO_3^-	11.36	6.11
H SiO_3	104.50	56.24
<u>Total</u>	<u>185.91</u>	<u>100.00</u>

La fuga de sílice se puede establecer en función del nivel de regeneración y con la ayuda de la fig. 2.

La fuga de sílice permitida para la operación de la caldera es 0.08 ppm como CaCO_3 .

Con los datos anteriores y el auxilio de las gráficas 1, 2, 3 se tienen los siguientes resultados

Temp. de regeneración = 120° F

Nivel de regeneración = 6 lbs. de NaOH al $\frac{100\%}{\text{ft}^3 \text{ resina}}$

capacidad de resina = 16.9 $\frac{\text{Kgrs}}{\text{ft}^3 \text{ resina}}$, teórica.

La capacidad neta de la resina es la obtenida al multiplicar la capacidad teórica por un factor de corrección, el cual se obtiene como sigue

1a. obtener la relación

$$\frac{C1}{C1 + 50 \frac{3}{4}} = \frac{50}{50 + 20} = 0.714$$

2a. leer el factor de corrección de la fig. 2 con la relación anterior

$$\eta = 0.951$$

$$\text{Capacidad neta} = 16.9 \times 0.951 = 16.0 \frac{\text{Kgs}}{\text{ft}^3} \text{ resina}$$

$$\text{Volumen de resina a usar} = \frac{\text{Kgr totales}}{\text{capacidad neta}}$$

$$V = \frac{2608.8}{16} = 163.7 \text{ ft}^3 \text{ de resina}$$

con el área y el volumen de resina se obtiene la altu
unidad

ra de la cama de resina.

$$H_R = \frac{163.7 \text{ ft}^3}{25 \text{ ft}^2} = 6.54 \text{ ft.}$$

La altura de la resina en la columna es un parámetro importante para el intercambio iónico, así, el fabricante establece una altura mínima de 2 ft. por lo que para esta operación se puede confiar que será satisfactoria.

La columna tendrá una altura total del 100% sobre la altura de la cama de resina, con esta tolerancia se logra una buena expansión de la resina durante la regeneración de la misma, así como también contrarrestar efectos de hinchamiento de la resina así

$$H_T = 6.54' + 100\% \\ = 13.08 \text{ ft.}$$

un factor de interés para el intercambio iónico es la relación $\frac{H_R}{\phi}$, que para una operación normal debe de ser mayor de la unidad, para la presente operación esta relación es

$$\frac{H_R}{\phi} = \frac{6.54}{5.75} = 1.13$$

RETROLAVADO

La cama de resina será expandida y fluidizada por la inversión del flujo de agua con lo que se logra eliminar algunos sólidos que hayan quedado durante la operación. El % de expansión de la cama de resina se obtiene de la fig. 4 del apéndice a la temperatura de 80°F

$$\% \text{ Expansión} = 80\%$$

flujo de retrolavado

$$3.0 \frac{\text{G.P.M.}}{\text{ft}^2} \times 25 \text{ ft}^2 = 75 \text{ G.P.M.}$$

Tiempo de introducción

10 minutos obtenidos empíricamente

Volumen de agua de retrolavado

$$75 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times 10 \text{ min} = 750 \text{ gal.}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(25)}{\pi}}$$

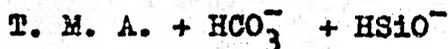
$$= 5.64'$$

del apéndice, tabla I tenemos un diámetro comercial de 5.75 ft.

El sistema de desmineralización seleccionado consiste en usar una resina aniónica fuerte como la resina comercial Amberlite IRA-402 cuyas especificaciones se encuentran en el apéndice.

Para establecer el nivel de regeneración y capacidad de la resina, es necesario hacer las siguientes consideraciones, así como considerar la fuga de sílice.

Total de aniones a remover es:



donde

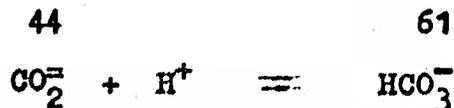
$$T. M. A. = SO_4^{2-} + Cl^- + NO_3^-$$

$$= 20 + 50$$

$$= 70 \text{ ppm como CaCO}_3$$

HCO_3^- es determinada como sigue

Por diseño del desgasificador solo permite la eliminación de CO_2 hasta 10 ppm, por lo que el CO_2 presente entra a la columna como HCO_3^- , es decir



REGENERACION

Una vez que la resina ha estado en operación durante -- cierto tiempo, esta se ve agotada por lo que deberá ser regenerado de la manera siguiente:

Como la resina es aniónica fuerte debe ser regenerada --- con una base fuerte, en este caso NaOH.

Se establece un nivel de regeneración de

$$6 \text{ lbs. de NaOH} \\ \text{ft}^3 \text{ de resina}$$

Cantidad de sosa para la regeneración

$$\text{NaOH} = 6 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^3} \times 163.7 \text{ ft}^3 \\ = 982.2 \text{ lbs de NaOH al 100\%}$$

consumo de NaOH al 100% =

$$\frac{982. \text{ lbs}}{240 \times 10^3} = 4.09 \frac{\text{lbs}}{\text{gal}}$$

INTRODUCCION DE SOSA

Comercialmente la sosa se encuentra al 50%, pero para la resina usada se requiere regenerar a 4% .

En la tabla W. del apéndice se encuentran las densidades de las soluciones al 50 y 4%

$$) 50\% = 6.36 \frac{\text{lbs}}{\text{gal}}$$

$$) 4\% = 0.3481$$

Volumen de solución de sosa al 50%

$$\frac{982.2 \text{ lbs}}{6.36 \text{ lbs/gal}} = 154.43 \text{ gal.}$$

Volumen de solución de sosa al 4%

$$\frac{982.2 \text{ lbs}}{0.3481 \text{ lbs/gal}} = 2821.6 \text{ gal.}$$

Agua para diluir de 50% al 4%

$$2821.6 \text{ gal} - 154.43 \text{ gal} = \underline{2667.17 \text{ gal}}$$

Según especificaciones para la resina la sosa se alimentará a un flujo de 0.5 G.P.M./ft³ resina al 4%.
flujo a manejar

$$0.5 \frac{\text{G.P.M.}}{\text{ft}^3} \times 163.7 \text{ ft}^3 = 81.85 \text{ G.P.M al 4\%}$$

tiempo de introducción de la solución

$$t = \frac{2667.17 \text{ GAL}}{81.85 \frac{\text{GAL}}{\text{min.}}} = 34.47 \text{ min.}$$

Flujo de agua para diluir

$$\frac{2667.17 \text{ gal}}{34.47 \text{ min}} = 77.37 \text{ G.P.M.}$$

Flujo de sosa al 50%

$$\frac{154.43 \text{ gal}}{34.47 \text{ min}} = 4.48 \text{ G.P.M}$$

PRECALENTAMIENTO DEL LECHO DE RESINA A 120°F

Un ft^3 de resina necesita 7.48 gal de agua.

$$163.7 \text{ ft}^3 \times \frac{7.48 \text{ gal}}{1 \text{ ft}^3} = 1224.47 \text{ gal de agua.}$$

Si el flujo de agua para diluir es

$$77.37 \text{ G.P.M.}$$

El tiempo de introducción será:

$$\frac{1224.47}{77.37} = 15.87 \text{ minutos}$$

DESPLAZAMIENTO DEL REGENERANTE

Usar los mismos parámetros del precalentamiento.

ENJUAGUE RAPIDO

El fabricante especifica lo siguiente para la resina aniónica. Ver apéndice tabla IV.

Volumen del agua para enjuague.

$$60 \frac{\text{GAL}}{\text{ft}^3} \text{ de resina.}$$

$$\begin{aligned} \text{Flujo de agua} &= 1.5 \frac{\text{G.P.M}}{\text{ft}^3} \times 163.7 \text{ ft}^3 \\ &= 245.55 \text{ G.P.M.} \end{aligned}$$

Volumen de agua:

$$60 \frac{\text{gal}}{\text{ft}^3} \times 163.7 \text{ ft}^3 = 9822 \text{ gal}$$

Tiempo de enjuague

$$t = \frac{9822 \text{ gal.}}{245.56 \text{ G.P.M.}} = 40 \text{ minutos}$$

UNIDAD CATIONICA

En lo indicado para el sistema de desmineralización se tiene que se deberá usar una resina catiónica fuerte tipo gel como la resina comercial amberlite LR-120.

Como en el caso anterior las dimensiones de esta unidad se basan en el análisis del agua cruda y de especificación de fabricantes. Las especificaciones para las columnas catiónicas son las mismas que se usaran en las unidades aniónicas.

Para establecer el nivel de regeneración y capacidad para la resina a usar, se harán las siguientes consideraciones:

$$\text{flujo/unidad} = 500 \text{ G.P.M.}$$

$$\text{Volumen del agua a tratar} = 240 \times 10^3 \text{ GAL.}$$

$$\text{Agua para regenerar} = 15,686.9 \text{ GAL}$$

$$\text{Total de cationes} = 180$$

$$1 \text{ grano/GAL} = 17.1 \text{ ppm}$$

$$\text{Granos a remover/gal.} = \frac{180}{17.1} = 10.53 \frac{\text{granos}}{\text{gal}}$$

Para conocer la capacidad, así como el nivel de regeneración de la resina, se usará la fig. 5 del apéndice; además se requiere de los siguientes datos para realizar la lectura respectiva.

Cationes		ppm como CaCO ₃	%
Na ⁺	-	49.5	27.5
Ca ⁺⁺	-	980	54.4
Mg ⁺⁺	-	32.5	18.05
Total		180.0	99.95
Alcalinidad		110.0	61.1
Fuga de Na ⁺		2.0	-

En función de la fuga de Na⁺, se tiene que las especificaciones para la resina usada se encuentran los resultados:

Nivel de regeneración 8 lbs de HCl al 100%
ft³ de resina

Capacidad 30.2 Kgr. como CaCO₃
ft³ de resina.

Eficiencia de intercambio = 80%

Capacidad neta 30.2 x 0.8 = 24.16 Kgr/ft³

Volumen de resina $\frac{2689.82 \text{ Kg}}{24.16 \text{ Kgs/ft}^3} = 111.33 \text{ ft}^3$

Altura de la cama de resina

$$H_R = \frac{111.33 \text{ ft}^3}{25 \text{ ft}^2} = 4.45 \text{ ft}$$

Como se están usando las mismas especificaciones que las columnas aniónicas la relación H_R/ϕ debe ser justificado, por lo que debe modificarse el volumen de resina de la siguiente forma:

$$H_R \text{ aniónica} = 6.54 \text{ ft}^3$$

$$\phi \text{ aniónica} = 5.75 \text{ ft}$$

El nuevo volumen de resina será:

$$V = \pi r^2 h$$

$$= \pi (2.875)^2 6.54 = 169.3 \text{ ft}^3 \text{ de resina}$$

Altura de la cama de resina

$$H_R = \frac{169.3 \text{ ft}^3}{25 \text{ ft}^2} = 6.79 \text{ ft}$$

$$\frac{H_R}{\phi} = \frac{6.79}{5.76} = 1.18 \text{ operación normal}$$

Kilogramos que podrán removerse con el nuevo volumen de resina.

$$169.8 \text{ ft}^3 \times 24.16 \frac{\text{Kgr}}{\text{ft}^3} = 4102.3 \text{ Kgr.}$$

Kilogramos que se removerán en exceso

$$4102.3 - 2692.38 = 1409.9 \text{ Kgr.}$$

Por lo que la columna será capaz de manejar un volumen de agua por columna = 389,952.47 GAL.

Por lo que para que el ciclo de servicio sea de 8 hrs. se alimentará a un flujo de:

$$\text{Vol} = \text{flujo} \times \text{tiempo}$$

$$\begin{aligned} \text{flujo} &= \frac{\text{Vol}}{\text{Tiempo}} = \frac{38,9952.47 \text{ GAL}}{8 \text{ hrs.}} \\ &= 48744.059 \frac{\text{GAL}}{\text{Hr}} \times \frac{1 \text{ Hr}}{60 \text{ min.}} \\ &= 812.4 \text{ G.P.M.} \end{aligned}$$

Para poder alimentar las tres columnas aniónicas trabajando a 500 G.P.M. serán necesarias dos columnas catiónicas operando a 812.4 G.P.M.

CICLO OPERACIONAL DEL INTERCAMBIO IONICO EN LA COLUMNA CATIONICA

1.- Retrolavado:

La expansión de la resina es la que se obtiene de la fig. del apéndice a 80°F.

$$\% \text{ de Expansión} = 80\%$$

$$\text{flujo de retrolavado} = 9 \frac{\text{G.P.M.}}{\text{ft}^2} \times 25 \text{ ft}^2 = 225 \text{ G.P.M.}$$

Tiempo de retrolavado:

10 min.

Volumen de agua a usar

2250 GAL.

2.- Regeneración:

Se ha establecido un nivel de regeneración de

8 lbs de HCl al 100%

ft³ de resina

$$\text{HCl para regenerar} = 169.8 \text{ ft}^3 \text{ de resina} \times \frac{8 \text{ lbs HCl al } 100\%}{\text{ft}^3 \text{ de resina}}$$

= 1358.5 lbs de HCl.

$$\begin{aligned} \text{consumo de HCl al 100\%} &= \frac{1358.5 \text{ lbs HCl}}{389.9524 \times 10^3 \text{ GAL}} \\ &= 3.4835 \frac{\text{lbs}}{10^3 \text{ GAL}} \end{aligned}$$

flujo para introducir el regenerante es:

1 G.P.M/ ft³ de resina.

$$\text{El flujo a manejar: } 1 \frac{\text{G.P.M}}{\text{ft}^3} \times 169.8 \text{ ft}^3 = 169.8 \text{ G.P.M.}$$

Comercialmente el HCl se encuentra al 30% según especificaciones se deberá regenerar a 10%. En el apéndice se encuentran las densidades de las soluciones al 30% y 10%

$$30\% = \frac{2.877 \text{ lbs de HCl}}{\text{GAL}}$$

$$10\% = \frac{0.8741 \text{ lbs de HCl}}{\text{GAL}}$$

Volumen de solución de HCl al 30%

$$\frac{1358.56 \text{ lbs de HCl al 100\%}}{2.877 \frac{\text{lbs de HCl}}{\text{GAL}}} = 4,72.214 \text{ GAL}$$

Volumen de solución de HCl al 10%

$$\frac{1358.56 \text{ lbs de HCl al 100\%}}{0.8741 \frac{\text{lbs de HCl}}{\text{GAL}}} = 1554.24 \text{ GAL}$$

Agua para diluir de 30% al 10%

$$1554.24 - 472.214 = 1082.02 \text{ GAL}$$

$$\text{Tiempo de Introducción} = \frac{1554.24 \text{ GAL}}{169.82 \text{ GAL/min.}} = 9.15 \text{ min.}$$

flujo de agua para diluir:

$$1082.02 \text{ GAL} = 118.25 \text{ G.P.M.}$$
$$9.15 \text{ min.}$$

$$\text{flujo de HCl al 30\%} = \frac{472.21 \text{ GAL}}{9.15 \text{ min.}} = 51.6 \text{ G.P.M.}$$

3.- Desplazamiento de Regenerante:

Para esta operación se utilizará el mismo flujo que para el agua de dilución 118.25 G.P.M.

1 B.U = Volumen de agua para desplazamiento.

1 ft³ de resina necesita 7.48 gal. de agua

$$169.8 \text{ ft}^3 \times \frac{7.48 \text{ gal}}{\text{ft}^3 \text{ de resina}} = 1270.1 \text{ gal}$$

$$\text{Tiempo de Introducción} = \frac{1270.1}{118.25} = 10.74 \text{ min.}$$

4.- Enjuague Rápido:

Las condiciones de operación para la resina catiónica amberlite LR-120 se encuentran en la tabla V.

flujo = 1.5 G.P.M./ft³ de resina

$$\text{flujo total de agua} = 1.5 \frac{\text{G.P.M.}}{\text{ft}^3} \times 169.8 \text{ ft}^3 = 254.7 \text{ G.P.M.}$$

Volumen de agua = 50 $\frac{\text{GAL}}{\text{ft}^3}$ x 169.8 ft³ = 84.90 gal
para enjuague

Tiempo de Introducción:

$$\frac{8490 \text{ gal}}{254.7 \text{ gal/min.}} = 33.33 \text{ min.}$$

Como las columnas catiónicas son enjuagadas con agua cruda; se debe hacer una corrección del volumen de resina para lograr eliminar los granos totales del agua, ya que en el enjuague las resinas se empiezan a saturar, pero con la corrección hecha previamente se tiene que el volumen de resina es suficiente para manejar el flujo de enjuague.

Desaerador al Vacío.

No se diseñará, pero se recomienda que el máximo contenido de CO₂ en el efluente sea de 10 ppm como CaCO₃.

NEUTRALIZACION DE LOS REGENERANTES USADOS

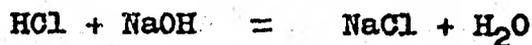
La planta desmineralizadora puede ser una fuente de contaminación, si los efluentes durante la regeneración no son neutralizados debidamente; por lo que en el presente trabajo no se puede pasar desapercibida la neutralización de efluentes de la regeneración.

La operación de neutralización se puede efectuar de dos formas ya sea por contacto de efluente o por el uso de una resina débilmente ácida. En este caso se usará la neutralización por contacto directo de los efluentes.

La columna aniónica usa 982.2 lbs de NaOH al 100% los -- que serán neutralizados con 1358.5 lbs. de HCl al 100% usados --

para la unidad catiónica.

La Neutralización es:



De lo anterior se tiene que sólo se han neutralizado estequiométricamente 871.7 lbs de HCl; quedando por neutralizar 486.8 lbs de HCl; por lo que se deberá adicionar sosa en exceso, necesitándose 548.5 lbs de sosa.

Sosa total para neutralizar = 1530.7 lbs de NaOH al 100%
la sosa se introduce al 4%; = 0.3481 $\frac{\text{lbs}}{\text{GAL}}$

Volumen de solución de NaOH al 4% = $\frac{1530.7 \text{ lbs de NaOH}}{0.3481 \text{ lbs/GAL}}$

= 4397.29 GAL

Se introduce el ácido al 10%; = 0.871 $\frac{\text{lbs}}{\text{GAL}}$

Volumen de solución de HCl al 10%

$\frac{1358.5 \text{ lbs de HCl}}{0.8741 \text{ lbs/GAL}} = 1554.17 \text{ GAL}$

Volumen total a manejar en la fosa de neutralización

5951.46 GAL/ Regeneración

R E S U L T A D O S

RESULTADOS DE OPERACION ESPERADOS.

- 1.- Agua Cruda.
- 2.- Efluente del Clarificador.
- 3.- " " Filtro.
- 4.- " " Cati6n.
- 5.- Salida del Desgasificador.
- 6.- Efluente del Desgasificador Transformado a CaCO_3
- 7.- Efluente del An6n.

SUBSTANCIA SIMBOLO.	ppm como CaCO_3						
	1	2	3	4	5	6	7
Calcio Ca^{++}	98	98	98	0	0	0	0
Magnesio Mg^{++}	53	32.5	32.5	0	0	0	0
Sodio Na^+	29	29.5	49.5	2	2	2	2
Acidez H^+	0	0.0	0.0	68	68	68	0
Total de Cationes.	180	180	180	70	70	70	2
Bicarbonatos HCO_3^-	110	110	110	0	0	0	0
Carbonatos CO_3^{--}	0	0	0	0	0	0	0
Hidr6xidos OH^-	0	0	0	0	0	0	0
Fosfatos PO_4^{--}	0	0	0	0	0	0	0
Cloruros Cl^-	50	50	50	50	50	50	1
Sulfatos SO_4^{--}	20	20	20	20	20	20	1
Total de Aniones.	180	180	180	70	70	70	2
Dureza Total	17	17	17	113.8	10	11.4	0
Silice SiO_2	50	50	50	50	50	41.5	0
Turbiedad J.T.U.	25	5	0	0	0	0	0
Materia Organica ppm	28	10	0	0	0	0	0
pH	7.1	7.1	7.1	2.6	3.7	3.7	5.5

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

CONCLUSIONES

El objeto principal es cumplido para este caso particular, ya que la mayoría de los casos el agua para calderas no tiene que ser completamente pura, sin embargo, debe ser acondicionada en forma adecuada para evitar problemas en el sistema de generación de vapor, puesto que la composición del agua y el diseño de las calderas varían ampliamente, es necesario un estudio individual para seleccionar los tratamientos para el sistema de calderas.

En las condiciones del tratamiento se logra un buen rendimiento de las resinas, con lo que se obtiene un agua con cero de dureza durante el periodo de operación establecido.

Con las dimensiones de los equipos y volúmenes de resina se asegura un buen funcionamiento del sistema de tratamiento externo, obteniendo agua de calidad requerida.

Otros objetivos cumplidos es el criterio ingenieril desarrollado tanto en el aspecto de diseño, análisis, investigación y selección de reactivos.

Este trabajo puede servir como base para futuras ampliaciones y modificaciones ya que la solución presentada es un caso particular de atacar el problema.

Otros aspectos que pueden relacionarse indirectamente con el presente trabajo son:

- Las consideraciones económicas
- Diseño mecánico del desgasificador
- Ampliaciones futuras de la planta en función de la demanda de agua pura.

Estos temas no se mencionaron ya que dentro de las limitaciones que se me presentaron estuvo muy marcada la del tiempo.

A P E N D I C E

TABLA IX
 AREAS Y CAPACIDADES DE TANQUES CILINDRICOS VERTICALES POR UN PIE DE
 PROFUNDIDAD: DE 1 A 100 PIES DE DIAMETRO.

Diameter	Area in Sq. Ft. Cu. Ft. per 1' of Depth		Diameter	Area in Sq. Ft. Cu. Ft. per 1' of Depth		Diameter	Area in Sq. Ft. Cu. Ft. per 1' of Depth	
	U.S. Gal- lons per 1' of Depth	U.S. Gal- lons per 1' of Depth		U.S. Gal- lons per 1' of Depth	U.S. Gal- lons per 1' of Depth			
1"	0.785	5.87	6'	28.27	211.5	28'	615.8	4606.
1"	0.922	6.89	6' 3"	30.68	229.5	28' 6"	637.9	4772.
2"	1.069	8.00	6' 6"	33.18	248.2	29'	660.5	4941.
3"	1.227	9.18	6' 9"	35.78	267.7	29' 6"	683.5	5113.
4"	1.396	10.44	7'	38.48	287.9	30'	706.9	5288.
5"	1.576	11.79	7' 3"	41.28	308.8	31'	754.8	5646.
6"	1.767	13.22	7' 6"	44.18	330.5	32'	804.3	6016.
7"	1.969	14.73	7' 9"	47.17	352.9	33'	855.3	6398.
8"	2.182	16.32	8'	50.27	376.0	34'	907.9	6792.
9"	2.405	17.99	8' 3"	53.46	399.9	35'	962.1	7197.
10"	2.640	19.75	8' 6"	56.75	424.5	36'	1018.	7610.
11"	2.885	21.58	8' 9"	60.13	449.8	37'	1075.	8043.
	3.142	23.50	9'	63.62	475.9	38'	1134.	8483.
1"	3.409	25.50	9' 3"	67.20	502.7	39'	1195.	8940.
2"	3.687	27.58	9' 6"	70.88	530.2	40'	1257.	9404.
3"	3.976	29.74	9' 9"	74.66	558.5	41'	1320.	9876.
4"	4.276	31.99	10'	78.54	587.5	42'	1385.	10360.
5"	4.587	34.31	10' 6"	86.59	647.7	43'	1452.	10860.
6"	4.909	36.72	11'	95.03	710.9	44'	1521.	11370.
7"	5.241	39.21	11' 6"	103.9	777.0	45'	1590.	11900.
8"	5.585	41.78	12'	113.1	846.0	46'	1662.	12430.
9"	5.940	44.43	12' 6"	122.7	918.0	47'	1735.	12980.
10"	6.305	47.16	13'	132.7	992.9	48'	1810.	13540.
11"	6.681	49.98	13' 6"	143.1	1071.	49'	1886.	14110.
	7.069	52.88	14'	153.9	1152.	50'	1964.	14690.
1"	7.467	55.86	14' 6"	165.1	1235.	52'	2124.	15890.
2"	7.876	58.92	15'	176.7	1322.	54'	2290.	17130.
3"	8.296	62.06	15' 6"	188.7	1412.	56'	2463.	18420.
4"	8.727	65.28	16'	201.1	1504.	58'	2642.	19760.
5"	9.168	68.58	16' 6"	213.8	1600.	60'	2827.	21150.
6"	9.621	71.97	17'	227.0	1698.	62'	3019.	22580.
7"	10.08	75.44	17' 6"	240.5	1799.	64'	3217.	24060.
8"	10.56	78.99	18'	254.5	1904.	66'	3421.	25590.
9"	11.04	82.62	18' 6"	268.8	2011.	68'	3632.	27170.
10"	11.54	86.33	19'	283.5	2121.	70'	3848.	28790.
11"	12.05	90.13	19' 6"	298.6	2234.	72'	4072.	30450.
	12.57	94.00	20'	314.2	2350.	74'	4301.	32170.
1"	13.10	97.96	20' 6"	330.1	2469.	76'	4536.	33930.
2"	13.64	102.0	21'	346.4	2591.	78'	4778.	35740.
3"	14.19	106.1	21' 6"	363.1	2716.	80'	5027.	37600.
4"	14.75	110.3	22'	380.1	2844.	82'	5281.	39500.
5"	15.32	114.6	22' 6"	397.6	2974.	84'	5542.	41450.
6"	15.90	119.0	23'	415.5	3108.	86'	5809.	43450.
7"	16.50	123.4	23' 6"	433.7	3245.	88'	6082.	45490.
8"	17.10	128.0	24'	452.4	3384.	90'	6362.	47590.
9"	17.72	132.6	24' 6"	471.4	3527.	92'	6648.	49720.
10"	18.35	137.3	25'	490.9	3672.	94'	6940.	51920.
11"	18.99	142.0	25' 6"	510.7	3820.	96'	7238.	54140.
	19.63	146.9	26'	530.9	3972.	98'	7543.	56420.
3"	21.65	161.9	26' 6"	551.5	4126.	100'	7854.	58750.
6"	23.76	177.7	27'	572.6	4283.			
9"	25.97	194.3	27' 6"	594.0	4443.			

CALIDAD DE REGENERANTES USADOS PARA LAS RESINAS
USADAS EN LA DESMINERALIZACION

1.-Resina catiónica Amberlite IR-120.

Regenerante Usado : ACIDO CLORHIDRICO (MURIATICO)

ESPECIFICACIONES:

Grado..... Acido Muriático Técnico (HCl)
Color..... Blanco a amarillo claro.
Concentración..... Mínimo (18°Bé) 28% HCl
Sulfuros como SO₃ 3000 ppm máximo
Fierro (Fe) 100 ppm máximo
Punto de congela -
ción..... 40 °F.
Contaminación con-
orgánicos..... 100 ppm de O₂.

2.-Resina aniónica Amberlite IRA-402.

Regenerante Usado : HIDROXIDO DE SODIO

ESPECIFICACIONES:

Grado..... Técnico (Escamas)
Color..... Blanco

<u>Análisis Típico</u>	<u>Promedio</u>
NaOH.....	97.5%
Na ₂ O.....	76.0%
Na ₂ CO ₃	8000 ppm
NaCl.....	15000 ppm
Na ₂ SO ₄	5000 ppm
NaClO ₃	2 ppm
SiO ₂	200 ppm
Al ₂ O ₃	20 ppm
Ca y Mg como CaCO ₃ ...	50 ppm

TABLA X

-85-

SOLUCIONES DE HIDROXIDO DE SODIO

Specific Gravity	Baumé	Per Cent NaOH	Normality	Grams per Liter	Lbs. per Cubic Foot	Lbs. per Gallon
1.0095	1.4	1	0.2524	10.10	0.6302	0.0842
1.0207	2.9	2	0.5101	20.41	1.274	0.1704
1.0318	4.5	3	0.7814	30.95	1.932	0.2583
1.0428	6.0	4	1.042	41.71	2.604	0.3481
1.0538	7.4	5	1.317	52.69	3.289	0.4397
1.0648	8.8	6	1.597	63.89	3.988	0.5332
1.0758	10.2	7	1.902	75.31	4.701	0.6284
1.0869	11.6	8	2.175	86.95	5.428	0.7256
1.0979	12.9	9	2.470	98.81	6.168	0.8246
1.1089	14.2	10	3.772	110.9	6.923	0.9254
1.1309	16.8	12	3.392	135.7	8.472	1.133
1.1530	19.2	14	4.034	161.4	10.08	1.347
1.1751	21.6	16	4.699	188.0	11.74	1.569
1.1972	23.9	18	5.387	215.5	13.45	1.798
1.2191	26.1	20	6.094	243.8	15.22	2.035
1.2411	28.2	22	6.824	273.0	17.05	2.279
1.2629	30.2	24	7.577	303.1	18.92	2.529
1.2848	32.1	26	8.349	334.0	20.85	2.788
1.3064	34.0	28	9.145	365.8	22.84	3.053
1.3279	35.8	30	9.96	398.4	24.87	3.324
1.3490	37.5	32	10.79	431.7	26.95	3.602
1.3696	39.1	34	11.64	465.7	29.07	3.886
1.3900	40.7	36	12.51	500.4	31.24	4.176
1.4101	42.2	38	13.39	535.8	33.45	4.472
1.4300	43.6	40	14.30	572.0	35.71	4.773
1.4494	45.0	42	15.22	608.7	38.00	5.080
1.4685	46.3	44	16.15	646.1	40.34	5.392
1.4873	47.5	46	17.10	684.2	42.71	5.709
1.5065	48.8	48	18.08	723.1	45.14	6.035
1.5253	49.9	50	19.07	762.7	47.61	6.364

R E S I N A A M B E R L I T E 1R-402

Características Físicas de la Resina Amberlite 1R-402

Forma Física: Partículas esféricas de tamaño uniforme, resistente a la ruptura, almacenada en forma de cloruro en condiciones completamente húmedas y mantener las condiciones de hinchamiento.

Masa de Almacenamiento: 43 lbs/FT³

Contenido de Humedad: 50 - 70 %

Grado de Malla: 16 - 50 Mesh.

Contenido de Finos: 2 % a través de la malla de 50 mesh.

Hinchamiento: 22 % máximo sobre la conversión completa.

Tamaño Efectivo de Partícula: 0.39 - a 0.46 mm.

Características Optimas de Operación Reportadas por el Fabricante.

Limitación de P^H: Ninguna

Temperatura Máxima Soportada:

En forma OH⁻: 140°F

En Forma Cl⁻: 170°F

Mínima profundidad de cama: 24 pulgadas = 2 Ft

Flujo de Retrolavado: 2 - 3 Gal/ft²min. a 70°F

Concentración de Regenerante: 4 % de Na OH.

Flujo de Regenerante: 0.25 - 1.0 Gal/ft³min.

Nivel de Regeneración: Calculado por gráficas.

Flujo de lavado Rápido: Mismo que en la regeneración

Agua para Enjuague: 40 - 90 Gal/ft³

Flujo de Servicio: 2 - 5 Gal/ft³min.

Capacidad de Intercambio: Calculada por gráficas.

TABLA XI
SOLUCIONES DE ACIDO CLORHIDRICO

Gravedad Especifica	°Baumé	%HCl	Normalidad	Gramos/l	Lbs/FT ³	Lbs/Gal.
1.0032	0.5	1	0.2750	10.03	0.6263	0.0837
1.0082	1.2	2	0.5528	20.16	1.2590	0.1683
1.0181	2.6	4	1.1170	40.72	2.5420	0.3399
1.0279	3.9	6	1.6910	61.67	3.8500	0.5147
1.0376	5.3	8	2.2760	83.01	5.1820	0.6927
1.0474	6.6	10	2.8710	104.70	6.5390	0.8741
1.0574	7.9	12	3.4800	126.90	7.9210	1.0590
1.0675	9.2	14	4.1000	149.50	9.3300	1.2470
1.0776	10.4	16	4.7280	172.40	10.7600	1.4390
1.0878	11.7	18	5.3700	195.80	12.2200	1.6340
1.0980	12.9	20	6.0220	219.60	13.7100	1.8330
1.1083	14.2	22	6.686	243.80	15.2200	2.0350
1.1187	15.4	24	7.363	268.50	16.7600	2.2410
1.1290	16.6	26	8.049	293.50	18.3200	2.4500
1.1392	17.7	28	8.748	319.00	19.9100	2.6620
1.1493	18.8	30	9.456	344.80	21.5200	2.8770
1.1593	19.9	32	10.170	371.00	23.1600	3.0960
1.1691	21.0	34	10.900	397.50	24.8100	3.3317
1.1789	22.0	36	11.640	424.40	26.4900	3.5420
1.1885	23.0	38	12.380	451.60	28.1900	3.7690
1.1980	24.0	40	13.140	479.20	29.9200	3.9990

R E S I N A A M B E R L I T E 1R-120

Características Físicas de la Resina

Forma Física: Partículas esféricas, resistentés a la ruptura.

Masa de Almacenamiento: 53 lbs/ft³ en forma de Na.

59 lbs/ft³ en forma de H₂

Grado de Malla: 16 - 50 Mesh.

Contenido de Humedad: 40 - 48 %

Tamaño Efectivo de Partícula: 0.47 - 0.62 mm

Densidad: 41 - 54 lbs/ft³

Condiciones de Operación para Ciclo Na & H₂.

Limitación de P^H: Ninguna

Temperatura Máxima Soportada: 250 °F

Profundidad Mínima de Cama: 24 Pulgadas.

Flujo de Retrolavado: Calculado de Gráficas.

Flujo de Servicio: 2 Gal/ft³ min.

Nivel de Regeneración y Capacidad: Leídas de Gráficas.

Operación para El Ciclo Hidrógeno.

Concentración de Regenerante: 10 % de HCl ó 1 a 5 % de H₂SO₄.

Flujo de Regenerante: 0.5 - 1.5 Gal/FT³ min.

Agua para Enjuague: 25 - Gal/FT³.

Flujo de Lavado: Inicialmente el mismo que el del regenerante, en seguida podrá ser incrementado a 1.5 Gal/ft³ min.

Operación para el Ciclo Sodio.

Concentración de Regenerante: 10 % de NaCl.

Flujo de Regenerante: 1 GPM/FT³

Agua Requerida para Lavado: 60 Gal/FT³

Flujo de lavado: Inicialmente de 1 GPM/FT³ posteriormente podemos incrementarlo a 1.5 GPM/FT³.

TABLA XIII

Diámetro	Area Pies ²	Flujo: (GPM) a Distintas Velocidades (GPM/PIE ²)			Retrolavado: GPM a Distintas Velocidades de flujo (GPM/PIE ²)		
		2	3	4.5	10	12	15
2'0"	3.14	6	9	14	31	38	45
2'6"	4.91	10	15	22	49	59	75
3'0"	7.07	14	21	32	71	85	105
3'6"	9.62	19	29	44	96	116	145
4'0"	12.6	25	38	57	126	150	190
4'6"	15.9	32	48	71	159	190	240
5'0"	19.6	40	59	88	196	235	295
5'6"	23.8	43	71	107	238	285	355
6'0"	28.3	57	85	127	283	340	425
6'6"	33.2	66	100	150	332	400	500
7'0"	38.5	77	115	173	385	460	575
7'6"	44.2	88	132	198	442	530	660
8'0"	50.3	100	150	226	503	600	750
8'6"	56.8	113	170	255	568	680	850
9'0"	63.6	127	190	285	636	760	950
9'6"	70.9	142	213	318	709	850	1065
10'0"	78.5	157	235	352	785	940	1175
11'0"	95.0	190	285	425	950	1140	1425

FIGURA 1
CURVAS DE CAPACIDAD DE LA RESINA AMBERLITE IR 402
NIVEL DE REGENERACION: 6 LBS. DE NaOH al 100% / FT³ DE RESINA
TEMPERATURA DE OPERACION: 120°F
FLUJO DE REGENERANTE: 0.25 GPM / FT³ DE RESINA

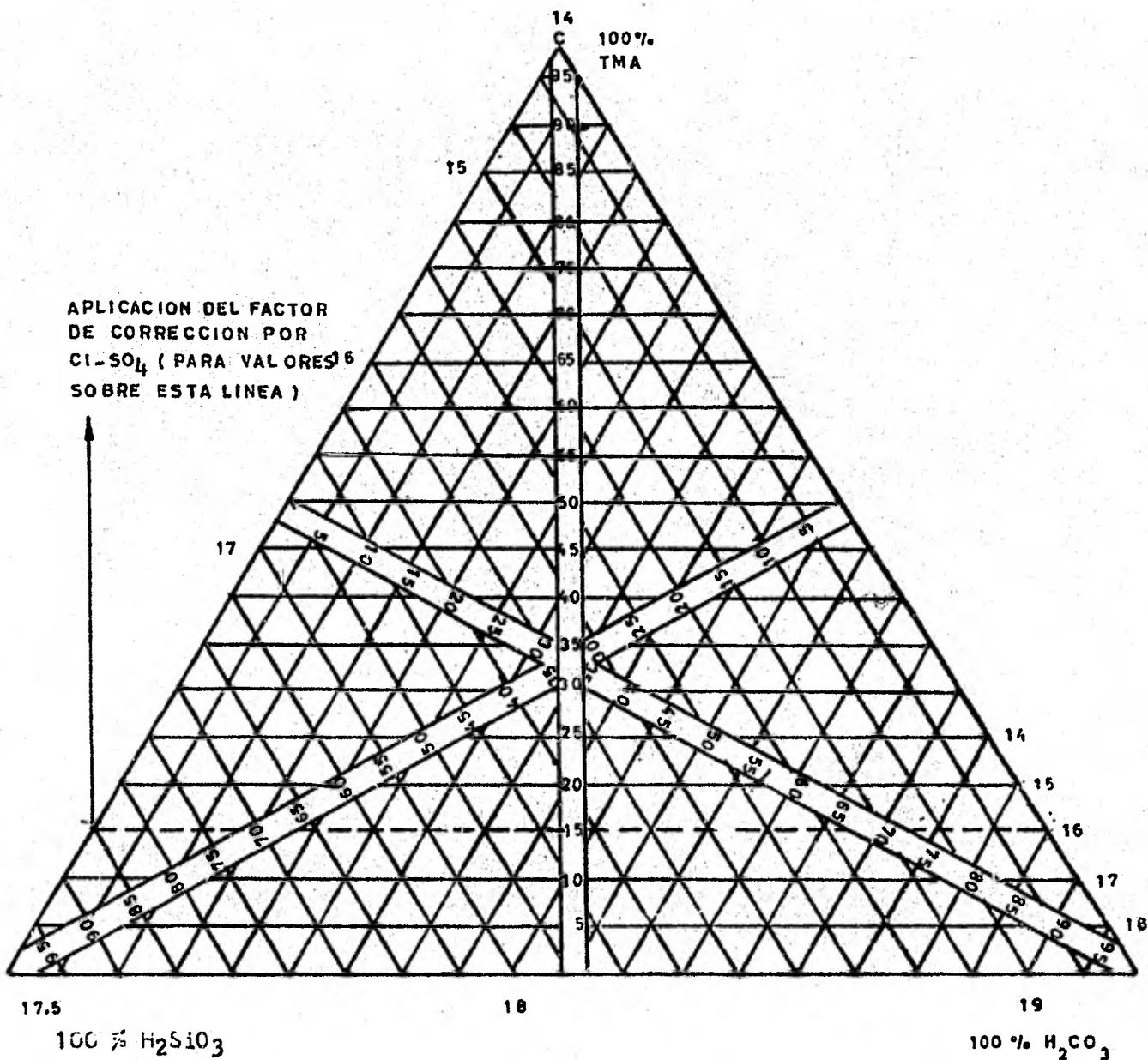


FIGURA 2
FUGA DE SILICE VS NIVEL DE REGENERACION
CON PRECALENTAMIENTO DE CAMA A 120°F

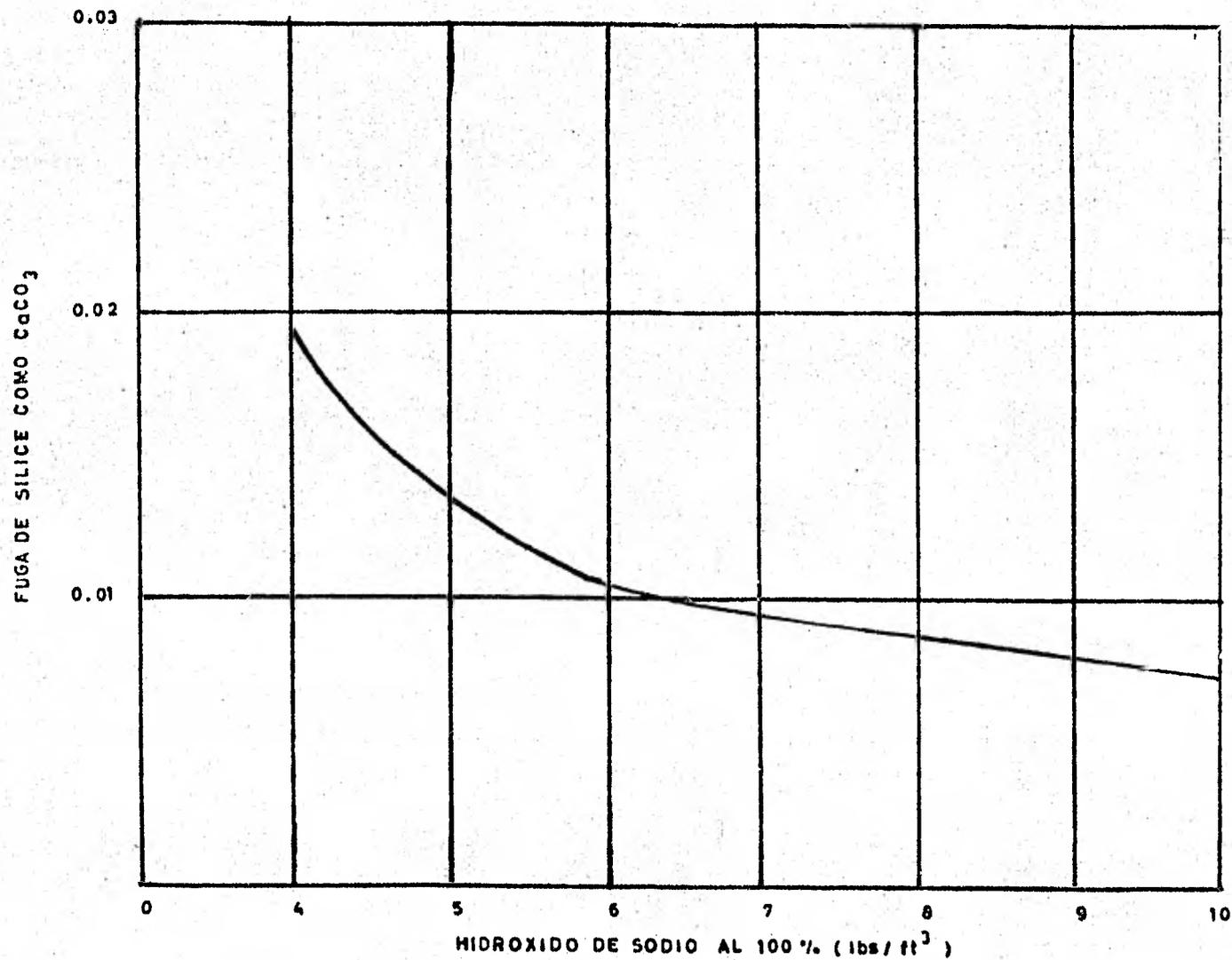


FIGURA 3
CURVA DEL FACTOR DE CORRECCION POR $Cl-SO_4$
USADA SOLAMENTE PARA VALORES EN EL AREA SOBRE
LA LINEA PUNTEADA DE LA FIGURA 1

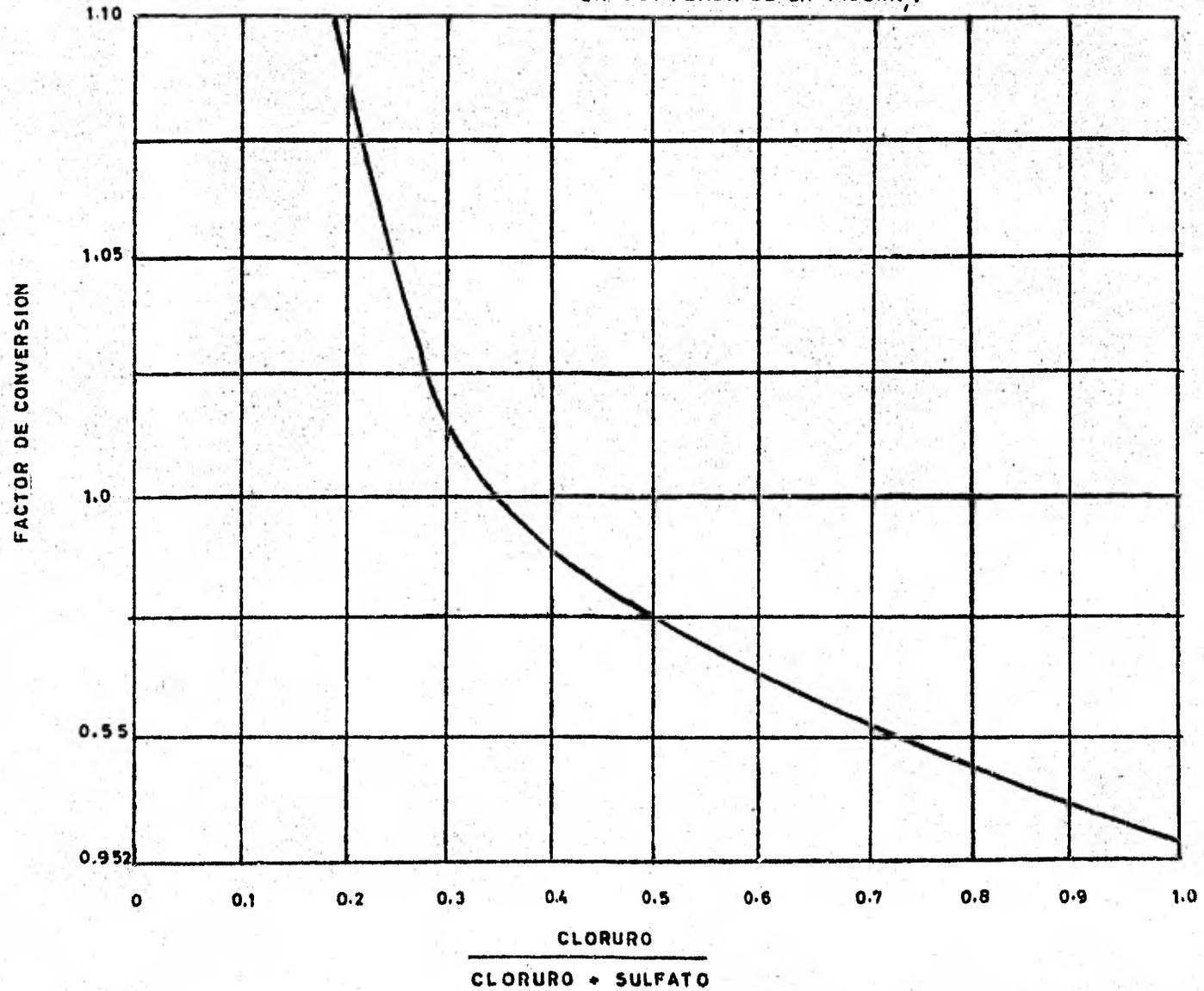


FIGURA 4
EXPANSION HIDRAULICA PARA LA RESINA
AMBERLITE IR 402
PARAMETROS DE FLUJO EN GPM/FT²

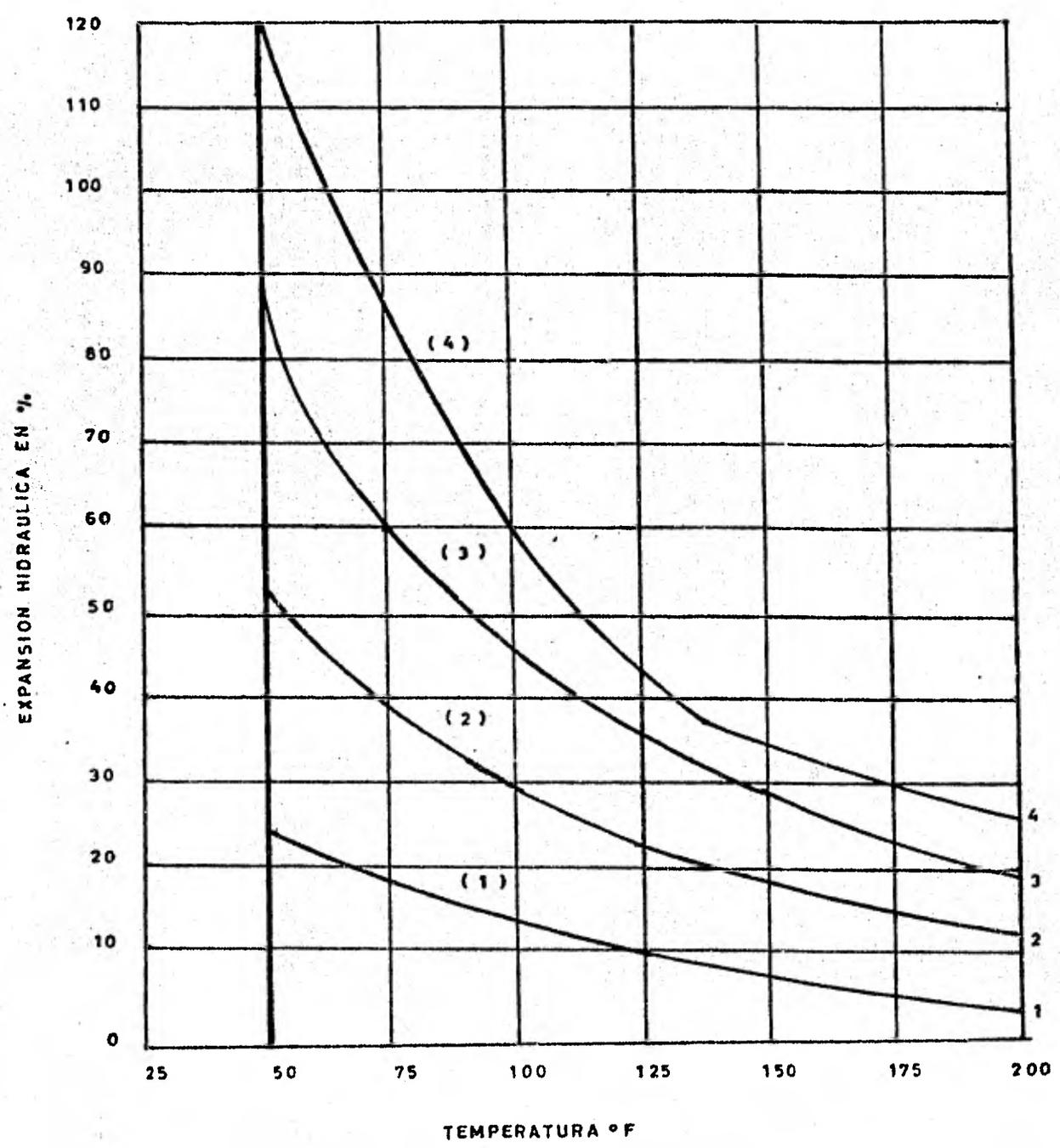


FIGURA 5

NIVEL DE REGENERACION
AMBERLITE R 120

8 Lbs. 100% HCl/Ft³
26 7Lbs. 30% HCl/Ft³

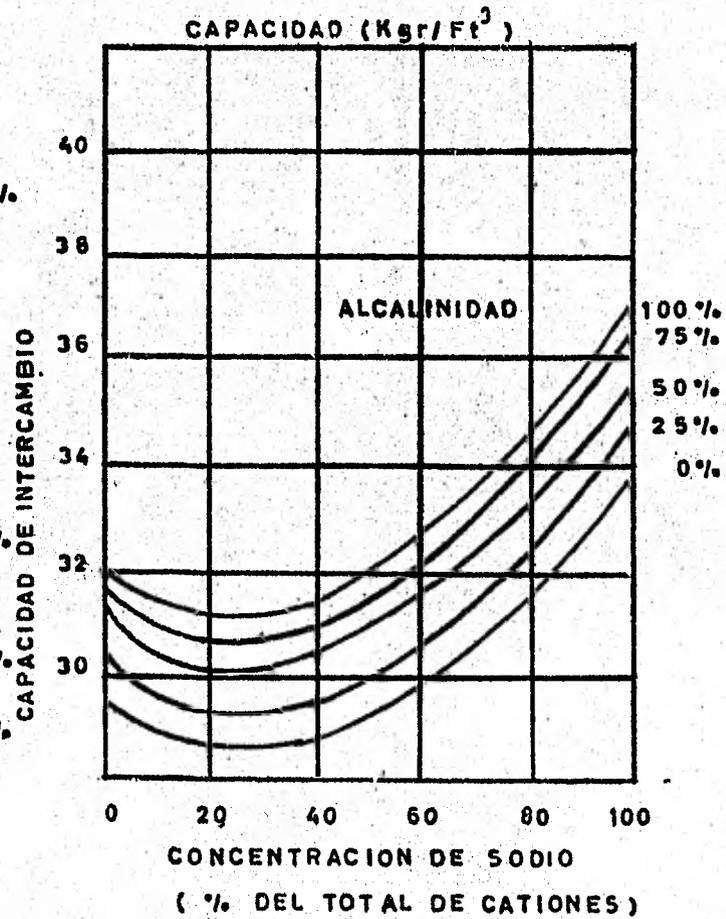
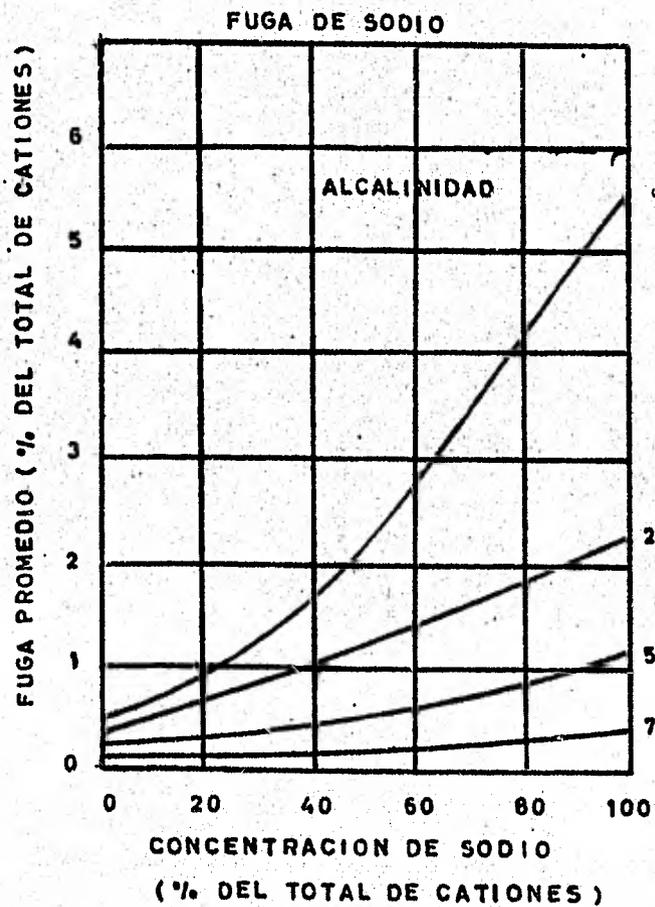


FIGURA 6
EXPANSION HIDRAULICA PARA LA RESINA AMBERLITE IR 120
PARAMETROS DE FLUJO EN GPM/FT²

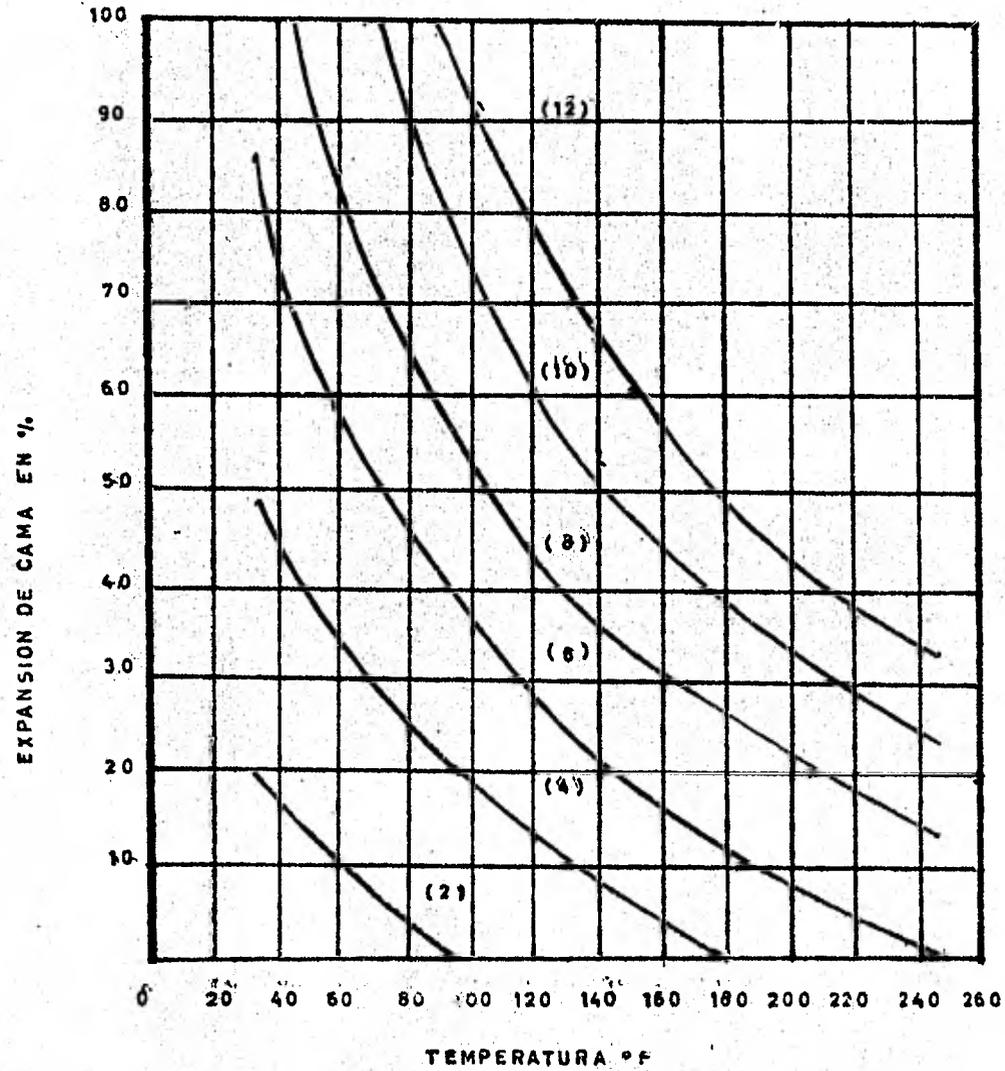


FIGURA 7
EFECTOS DE LA ACIDEZ MINERAL LIBRE EN pH

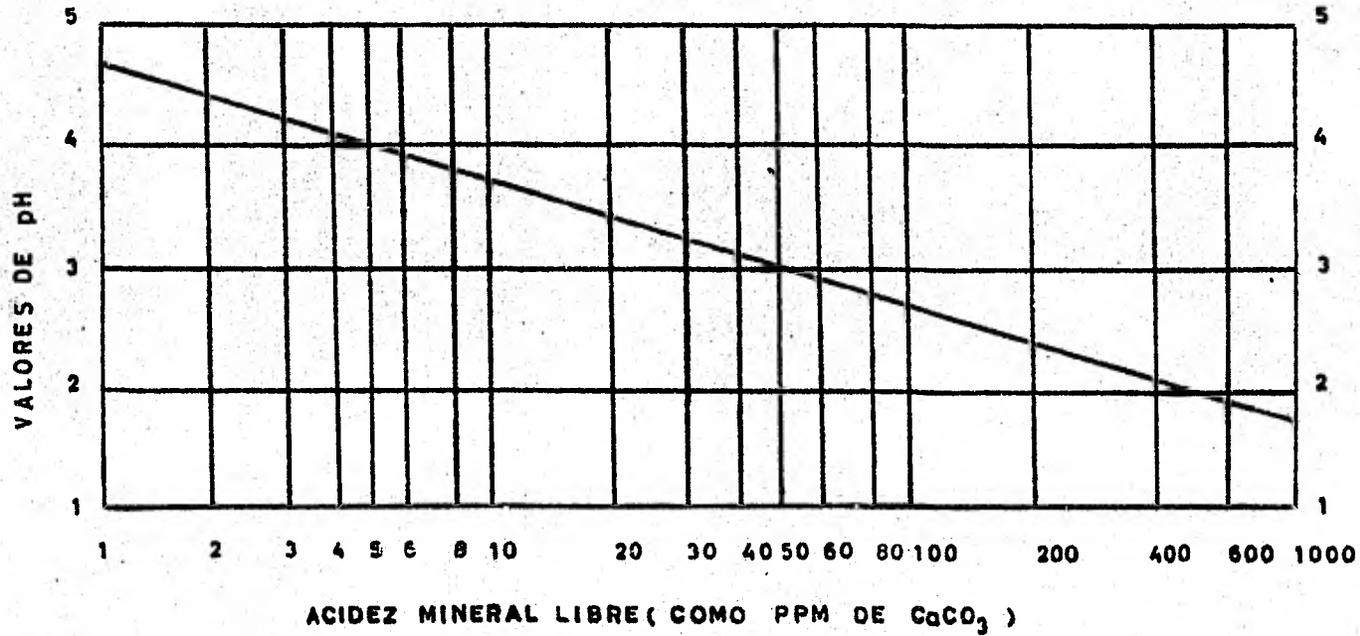
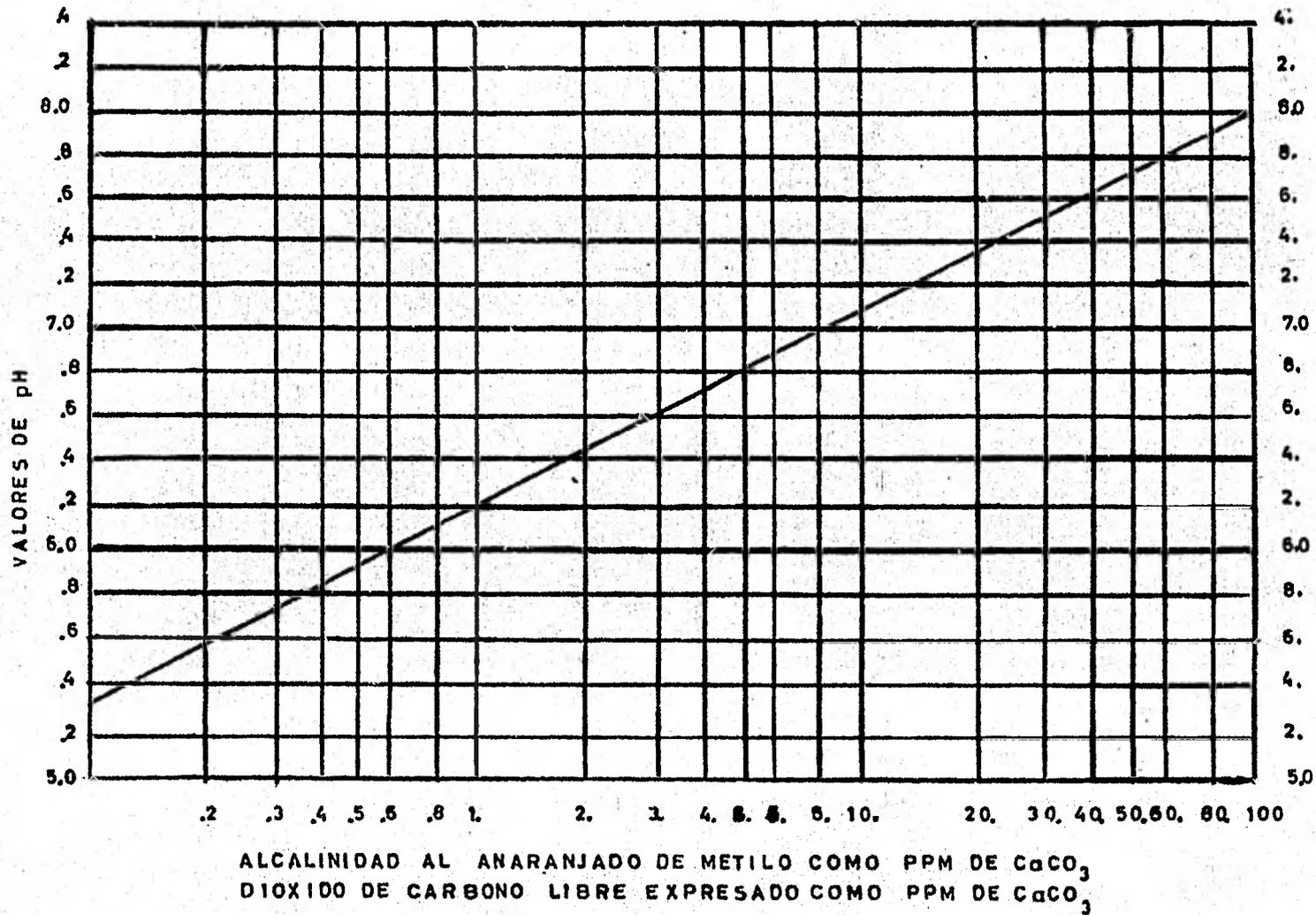


FIGURA 8
EFECTOS DE BICARBONATOS Y CO EN EL PH



BIBLIOGRAFIA

- APUNTES SOBRE TRATAMIENTO DE AGUAS
ING. RAFAIN RODRIGUEZ
SUBDIRECCION DE TECNOLOGIA DE REFINACION
Y PETROQUIMICA
I. M. P. 1979.
- TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDERAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA
INDUSTRIA ELECTRICA
C. F. E. 1978.
- MANUAL DE QUIMICA APLICADA
CLEMENTE JUAREZ Y CARLOS ROCHIM LEMUS
ED. ROEZ
MEXICO, 1966.
- ENGINEERING NOTES, AMBERLITE IRA-402
ROHM L. HAAS Co.
THE RESINOUS PRODUCTS DIVISION
FEBRUARY, 1967.
- AMBERLITE ION EXCHANGE RESINS
ANONIMO
LABORATORY GUIDE
ROHM L. HAAS Co. PHILADELPHIA.
- TRATAMIENTO DE AGUA PARA LA INDUSTRIA
Y OTROS USOS
ESKEL NORDEL
ED. C. E. C. S. A.
MEXICO, 1979.
- E. E. INDWING "APPLIED PROCESS DESIGN FOR
CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PLANTS"
GULF PUBLISHING Co. VOL. II
HOUSTON, TEX. 1964.
- TEORIA, DISEÑO Y CONTROL DE LOS PROCESOS
DE CLARIFICACION DEL AGUA
ARBOLEDA, V. I.
ABRIL, 1973.