



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**Criterios Generales para el Diseño de Equipo  
de Tratamiento de Agua**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO**

**P R E S E N T A:**

**LYDIA OLIVARES DE LACHICA**

**MEXICO, D. F.**

**1982**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## I N D I C E

	PAGINA
Antecedentes.	1
Impurezas comunes en el agua.	8
Procesos de tratamiento externo de agua.	16
- Sedimentación.	17
- Clarificación.	17
- Aereación.	22
- Filtración.	23
- Adsorción.	25
- Eliminación de Fe y Mn.	27
- Cloración.	29
- Intercambio iónico.	30
 Sedimentación.	 50
Equipo.	51
Diseño.	55
Método de King.	59
Determinación de flujo máximo de salida en zona de - compresión.	61
Criterios de diseño.	65
 Clarificadores.	 68
Tipos de clarificadores.	70
Clarificadores específicos.	70
Diseño.	75
Criterios de diseño.	
- Características de los aditivos químicos ácidos comúnmente utilizados en tratamiento de agua pri maria.	86
- Coagulantes más comunes en función del pH.	87
- Coagulantes, cantidades recomendables y pH de -- operación.	88
- Coagulantes comerciales.	90
- Modificación de análisis inicial por adición de coagulante.	91
- Tanques de clarificación normales.	93
- Tanques de clarificación flujo rápido.	94
- Criterios generales.	97
- Velocidad de asentamiento.	95
- Gasto de área de sistemas típicos.	96

<b>Filtración.</b>	99
Equipo.	100
Filtros a presión.	103
Filtros por gravedad.	108
Filtros automáticos sin válvula.	110
Filtros de carbón activado.	115
Medios filtrantes.	119
Especificaciones de arena y antracita para filtros.	123
Diseño de filtros.	125
Ecuaciones de diseño.	126
<b>Criterios de Diseño.</b>	131
- Filtros verticales y horizontales.	132
- Características de filtros a presión.	133
- Capas de medios filtrantes para filtros a presión.	134
- Capas de medios filtrantes para filtros por gravedad.	137
- Tamaños y datos sugeridos para plantas de filtración por gravedad.	138
- Intervalo de capacidades de filtros comerciales.	140
- Velocidad de filtración para filtros verticales.	141
- Velocidad de filtración para filtros horizontales.	142
- Especificaciones de filtros de alta velocidad.	143
- Dimensiones típicas de filtros a presión.	144
- Características de filtros por gravedad y a presión.	145
- Características de filtros verticales.	147
- Flujos de retrolavado para filtros con medio filtrante mixto.	148
- Especificaciones de filtros por carbón activado.	149
- Especificaciones de filtros de zeolitas.	150
- Especificaciones comunes de medios filtrantes mixtos.	151
- Criterios de flujo de servicio y de retrolavado para diferentes medios y tipos de filtros.	152
- Análisis de mallas de una muestra de arena para filtros.	153
- Medios filtrantes de antracita.	154
- Medios filtrantes de grava y arena.	155
- Especificaciones típicas de medios filtrantes.	156
- Propiedades físicas de varios medios filtrantes.	157
- Criterios de selección de medios filtrantes.	158
- Ventajas y desventajas de filtros a presión respecto a filtros por gravedad.	159

	PAGINA
Intercambio iónico.	163
Procesos de ablandamiento por intercambio iónico ciclo sódico.	164
Ablandadores iónicos automáticos.	170
Procesos de ablandamiento por intercambio iónico ciclo hidrógeno.	171
Procesos de desmineralización por intercambio iónico.	173
Regeneración a contracorriente de sistemas de desmineralización.	175
Diseño.	176
Metodología de cálculo.	183
Flujo total a través de filtros y suavizadores cilíndricos verticales.	191
Criterios de diseño.	190
- Pureza de agua desmineralizada.	192
- Intervalo de contenido de electrolito (como TDS) y sílice en efluentes de sistemas de desmineralización.	193
- Resultados esperados con tratamiento de zeolitas de sodio simples.	194
- Carta de selección de unidades de desmineralización.	195
- Procedimiento a seguir para fallas en sistemas de intercambio iónico.	196
- Flujos recomendados en etapas de intercambio iónico.	203
- Comparación de regeneración	204
- Flujos para intercambiadores iónicos y dimensiones.	205
- Representación típica de zeolitas de sodio.	207
- Intercambiadores catiónicos de alta capacidad.	208
- Intercambiadores catiónicos ciclo sódico. Datos típicos.	209
- Representación típica de resinas catiónicas fuertes ciclo hidrógeno.	210
- Capacidades típicas de un intercambiador catiónico poliestireno de alta capacidad, ciclo hidrógeno.	211
- Capacidades típicas de un intercambiador catiónico carbonáceo en ciclo hidrógeno.	212
- Capacidades de intercambiadores fuertemente básicos.	213
- Capacidades de intercambiadores débilmente básicos.	214
- Características de cambiadores catiónicos.	215
- Características y capacidades típicas de un intercambiador catiónico poliestireno de alta capacidad ciclo hidrógeno.	219

	PAGINA
- Características de cambiadores aniónicos.	220
- Propiedades físicas de intercambiadores aniónicos típicos.	222
- Capacidades de intercambiadores aniónicos.	223
- Datos de diseño para intercambiadores iónicos - en lecho fijo.	224
- Tabla de propiedades típicas y aplicaciones de resinas.	225
<b>Aereadores.</b>	238
Equipo.	239
Diseño.	250
Criterios generales.	255
- Tiempos de retención.	257
- Características de operación comparativas.	258
- Dimensiones típicas en aereadores cilíndricos - de charolas con coque.	
- Dimensiones de un aereador de tiro forzado (desgasificador) en función de la capacidad.	259
<b>Costos.</b>	260
Costos de equipo de tratamiento de agua.	261
Relación de costos de equipo de tratamiento de agua para la industria.	266
Costos de resina de intercambio iónico.	268
Costos de equipo de intercambio iónico.	269
Costos de filtros.	276
<b>Conclusiones.</b>	278
<b>Relación de Tablas.</b>	280
<b>Bibliografía.</b>	287

I. ANTECEDENTES



## I. ANTECEDENTES.

El agua constituye una de las principales herramientas - para el buen funcionamiento de cualquier planta industrial y por ende dependiendo del uso al que se le vaya a asignar será el tipo de tratamiento al que será sometido.

El objetivo del presente trabajo consiste en representar de una manera práctica, los tipos de tratamientos existentes según la aplicación del agua, las ecuaciones que rigen el dimensionamiento de los equipos utilizados en dichos tratamientos, así como los criterios generales para su diseño, y por último los criterios que nos dan una idea aproximada del costo de los equipos mencionados.

Como se dijo anteriormente, dependiendo del uso que se le dará al agua será su tratamiento, pero cabe mencionar que otro factor importante es la calidad del agua de que se dispone; por lo tanto el agua puede clasificarse de acuerdo a su origen, así como en función del uso a la que será sometida.

La clasificación del agua por su origen es:

- a) Aguas superficiales: Ríos  
Lagos  
Lagunas  
Canales
  
- b) Aguas subterráneas: Pozos

**Manantiales****Filtraciones subterráneas.****Clasificación del agua según su aplicación:**

- a) Agua para uso municipal o potable.
- b) Agua para uso industrial:
  - Agua de enfriamiento.
  - Agua para caldera.
  - Agua para proceso.
  - Agua para servicios generales.

Dados los propósitos anteriormente mencionados, sólo se hará hincapié al agua para uso industrial.

**a) Agua de enfriamiento:**

El agua de enfriamiento es ampliamente utilizada, como es el caso de los condensadores; en las máquinas de combustión interna; en el enfriamiento de tubos en las estaciones radiotransmisoras; en el enfriamiento de compresoras en la refrigeración; para el enfriamiento de productos químicos, etc.

Las especificaciones del agua de enfriamiento varían dependiendo del uso industrial, sin embargo la única especificación general es que el agua no debe formar depósitos aislantes al calor y que no debe ser extremadamente corrosiva bajo las condiciones de trabajo.

Los distintos sistemas de enfriamiento se pueden dividir

en:

- a.1) Un paso y al drenaje.
- a.2) Un paso y luego usados para otros propósitos.
- a.3) Sistemas abiertos con recirculación.
- a.4) Sistemas cerrados con recirculación.

Los tratamientos más comunes para el agua de enfriamiento son:

- 1) Coagulación, asentamiento y/o filtración.
- 2) Intercambio catiónico ciclo sodio.
- 3) Desmineralización.
- 4) Acidificación.
- 5) Eliminación de hierro y/o manganeso, cloración y uso de sales de cobre y polifosfatos.

b) Agua de Proceso.

La calidad del agua requerida para diferentes procesos - varía en un amplio rango. También puede ser puntualizado que la calidad del agua requerida para un proceso dado, hoy en día puede ser bastante diferente de la calidad usada en el pasado, ya que en muchas ocasiones se ha observado que un cambio en la calidad del agua de proceso mejora la calidad del producto final, así como los costos del mismo.

Como se dijo anteriormente depende de los diferentes procesos el tipo de tratamiento que se vaya a emplear, así el agua puede requerir sólo de una cloración previa o de una reducción en la dureza del bicarbonato, mientras que en otros casos requiere de un tratamiento

de intercambio iónico.

c) Agua para Caldera.

El agua de alimentación de calderas es tratada dependiendo de que la caldera trabaje a baja o alta presión; si se trata de calderas de baja presión es suficiente remover la dureza; para calderas de alta presión en algunos casos hasta con remover la dureza y reducir la alcalinidad de sólidos totales, mientras que en calderas de presión aún más elevadas, también es necesario reducir el contenido de sílice.

El principal problema del agua designada a calderas es la formación de depósitos o incrustaciones que en un momento dado funcionan como aislantes.

Los procesos más comunes para la obtención de agua para calderas son:

1) Proceso de desmineralización por intercambio iónico.- este sistema se usa ampliamente en el tratamiento de agua para calderas de alta presión, para eliminar sílice; para este caso específicamente se utiliza una variedad de intercambio catiónico ciclo hidrógeno y otra unidad de intercambio aniónico fuertemente básico y dependiendo de la cantidad de bicarbonato presente se pueda utilizar un desgasificador entre las dos etapas, para la eliminación del  $\text{CO}_2$  formado al descomponerse el ácido carbónico en dióxido de carbono y agua.

2) Destilación.- se remueven casi completamente todas las

sustancias minerales presentes en el agua. Las principales desventajas son el alto costo inicial y los altos costos de operación.

d) Agua para Servicios Generales.

Aquí se incluyen todos los usos que no abarcan los casos anteriores, como es la del uso del personal, agua de lavado, agua para limpieza, agua para regaderas, etc.

Este tipo de agua debe de cumplir con la calidad bacteriológica necesaria y debe además de estar libre de olores y sabores objetables.

Cualquier tipo de operación de lavado debe ablandarse por un proceso de intercambio catiónico ciclo sódico.

Con independencia de su origen, el agua natural nunca es pura, a medida que la lluvia cae, disuelve en ella gases y polvo de la atmósfera. Conforme penetra en la tierra, el agua absorbe  $\text{CO}_2$ , -- tanto de la atmósfera como de las capas superiores del suelo. La solución resultante del dióxido de carbono en el agua es moderada y al fluir sobre suelos y rocas disuelve cantidades significativas de minerales.

El agua superficial como la de ríos y lagos, mantiene arcillas y arena en suspensión, aunque el agua subterránea es clara debido a que los estratos del subsuelo actúan como filtros. El agua -- subterránea, a diferencia del agua superficial, tiene un alto contenido de minerales.

Tanto los suministros subterráneos de agua como los superficiales pueden llegar a contaminarse y pueden contener microorganismos (bacterias patógenas) causantes de enfermedades, los cuales deben ser destruídos antes que dichos suministros se usen para fines potables.

Las aguas que tienen un alto contenido de minerales se llaman, duras y las de bajo contenido, suaves. El aumento en consumo de jabón originado por una agua dura es bien conocido, pero la mayor dificultad en las plantas de proceso es causada por la tendencia de estas aguas a formar incrustaciones. Cuando el agua se calienta, las

TABLA No. 1

IMPUREZAS COMUNES EN EL AGUA

CONSTITUYENTE	FORMULA QUIMICA	DIFICULTADES	TRATAMIENTO
Turbiedad		Imparte una apariencia desagradable al agua. Origina depósitos en las líneas de agua, equipo de proceso, calderas, etc.	Coagulación, asentamiento y filtración
Color		Puede causar formación de espuma en calderas. Interfiere con métodos de precipitación tales como los de separación de hierro y ablandamiento en caliente.	Coagulación y filtración. Cloración, adsorción con carbón activado.
Dureza	Sales de Ca y Mg expresado como $\text{CaCO}_3$	Fuente principal de incrustaciones en equipo de intercambio de color, calderas, tuberías, etc.	Ablandamiento, destilación, tratamiento interno de agua de calderas.
Alcalinidad	Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), hidratos --- ( $\text{OH}^-$ ) expresados como $\text{CaCO}_3$	Formación de espuma y acarreo de sólidos con vapor fragilización del acero de calderas; formación de $\text{CO}_2$ con vapor de agua (corrosión).	Ablandamiento con cal y cal-carbonato. Tratamiento ácido. Desmineralización, Desalcalinizador. Destilación.
Acidos minerales libres	$\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\text{HCl}$ expresados como $\text{CaCO}_3$	Corrosión.	Neutralización con álcalis.
Dióxido de carbono	$\text{CO}_2$	Corrosión en líneas de agua y de vapor y condensado.	Aereación, desaereación, neutralización con álcalis.
pH	$\text{pH} = -\log_1  \text{H}^+ $	pH (6, 8)	Aumenta con álcalis, disminuye con ácidos.
Sulfato	$\text{SO}_4^{2-}$	Con calcio forma incrustación de sulfato de calcio.	Desmineralización. Destilación.
Cloruros	$\text{Cl}^-$	Aumenta corrosión	Desmineralización. Destilación.

CONTINUACION TABLA No. 1

Nitratos	$\text{NO}_3^-$	-	Desmineralización. Destilación
Fluoruros	$\text{F}^-$	-	Coagulación con alumbre.
Silica	$\text{SiO}_2$	Incrustación en calderas. Forma depósitos.	Proceso en caliente C/Mg; Int. iónico aniónicos fuertemente básicos y desmineralización. Destilación.
Hierro	$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$	Coloración. Depósitos.	Aereación, coagulación y filtración.
Manganeso.	$\text{Mn}^{2+}$	Coloración. Depósitos.	Ablandamiento con cal. Int. iónico (catiónico), filtración por contacto,
Aceite		Incrustación, lodos y formación de espumas, Retarda Int. color	Coladores, coagulación y filtración Filtración con tierra de diatomeas
Oxígeno	$\text{O}_2$	Corrosión.	Desaereación, sulfito de sodio, inhibidores.
Ac. Sulfhídrico	$\text{H}_2\text{S}$	Corrosión, mal olor	Aereación, cloración, Int. aniónico fuertemente básico.
Amoniaco	$\text{NH}_3$	Corrosión.	Int. catiónico con zeolite de hidrógeno, cloración, desaereación.
Conductividad	-	Corrosión	Desmineralización y ablandamiento con cal.
Sólidos disueltos	-	Interferencia en proceso. espuma.	Ablandamiento en cal, Int. catiónico ciclo hidrógeno, desmineralización destilación.
Sólidos suspensión	-	Depósitos	Sedimentación, filtración, coagulación y asentamiento.



sales de calcio se depositan como incrustación, produciéndose una dis-minución en las capacidades de transmisión de los cambiadores de calor y de los sistemas de enfriamiento. Al evaporarse el agua el equipo - generador de vapor, tanto las sales de Ca como las de magnesio se depositan en forma de incrustación.

La eliminación de los iones de calcio y magnesio de agua se llama ablandamiento. Los procesos en uso común son el de cal-carbonato, el fosfato y el de intercambio iónico.

El grado requerido de pureza del agua depende del uso particular. Si el agua cruda es impura, como normalmente acontece, conven-drá tener varios sistemas separados del agua para que no sea necesario purificar toda el agua que entra a la planta. El tratamiento de toda el agua cruda que entra a la planta puede incluir colado y sedimentación para separar sólidos suspendidos, pero el tratamiento subsecuente dependerá del uso final de cada sistema de agua.

Como visión general del pretratamiento de agua industrial se describirán las técnicas disponibles (clarificación, filtración, ad-sorción, intercambio iónico, ósmosis inversa, etc.), y se hablará de los productos de desperdicio que resulten del pretratamiento.

Ya que la demanda y el costo del agua potable aumenta, su su-ministro para usos industriales ya no se puede tomar como una garan-tía. Puede llegar el día en que el agua potable se considere una ma-teria prima valiosa. Cuando esto suceda el papel del pretratamiento

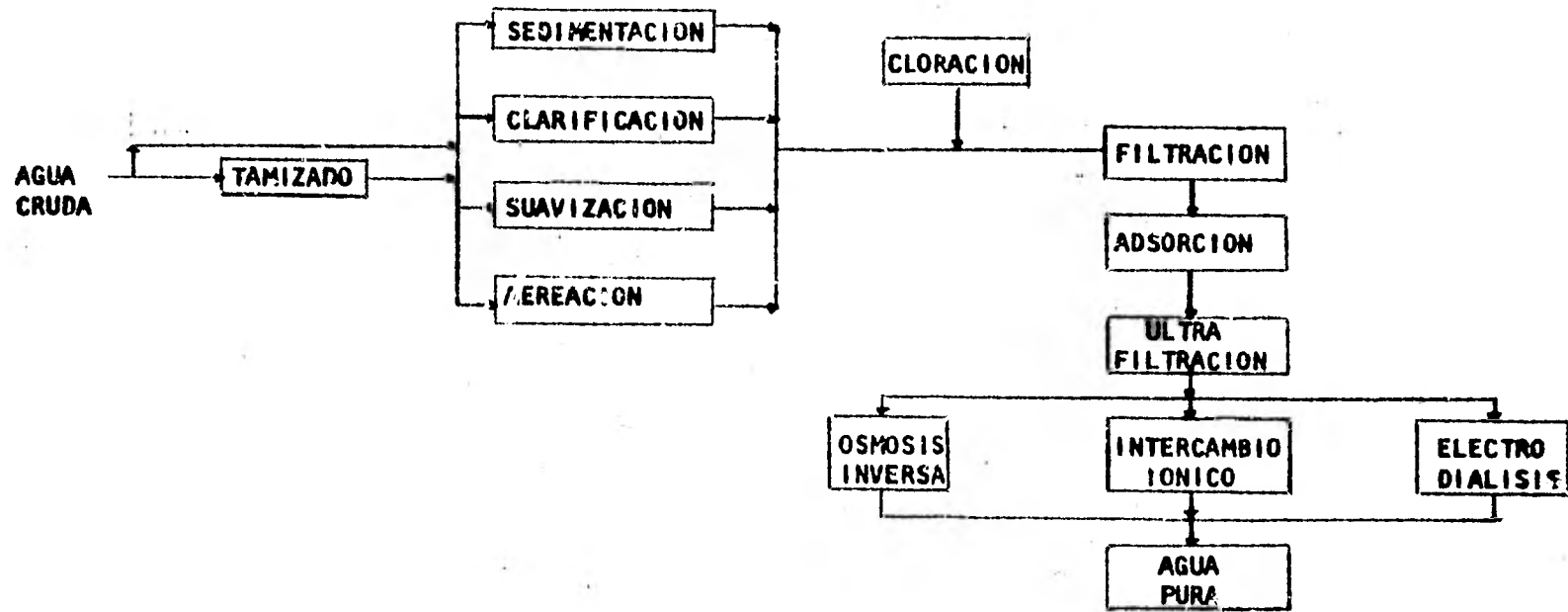
de agua llegará a ser muy importante dentro del marco de trabajo total de una buena administración de agua.

Normalmente el propósito del pretratamiento de agua es - la remoción de impurezas seleccionadas antes de poner el agua en un - servicio industrial; esto significa la remoción de sólidos suspendi-- dos o minerales que provocan el incrustamiento, y el ajuste del pH.

Los costos del pretratamiento varían con los problemas lo cales. Mientras que muchas plantas requieren del beneficio de al me- nos un pretratamiento parcial a través de la compra de agua municipal, otras instalaciones industriales consiguen el agua de los lagos, ríos y pozos. Entonces, estas industrias son las que deben implantar sus programas de pretratamiento desde un principio.

Aunque el pretratamiento puede ser muy extenso debido a la alta calidad de agua requerida, puede ser necesario un tratamiento posterior con productos químicos para combatir cultivos microbiológi- cos, problemas de depósito y corrosión. Sin embargo, las cantidades de aditivos químicos empleados para resolver problemas de proceso se mantienen en un mínimo.

Un factor clave en la administración de agua industrial es determinar qué problemas de agua se deberán resolver por medio de un pretratamiento y cuáles se deberán resolver más selectivamente por la adición de productos químicos a los procesos que usan agua.



ESQUEMA No. 1

DIFERENTES TRATAMIENTOS PARA OBTENCION DE AGUA PURA

Las decisiones que se deben tomar acerca del pretratamiento involucra:

1. Fijar estándares de calidad de agua para servicios de -- proceso y enfriamiento.
2. Evaluación del uso total del agua, incluyendo la recircu lación y disposición.
3. Considerar el capital de inversión y los costos de opera ción.

Fijar los estándares de calidad de agua es difícil. Generalmente existe una carencia de disponibilidad práctica de la infor mación acerca de las especificaciones de la calidad de agua por parte de los proveedores del equipo donde dicha agua se va a usar. Esto -- puede ser debido a la carencia de conocimiento, descuido o aversión - para admitir que el equipo es sensible a la calidad del agua.

Además, siendo que el agua es de gran utilidad, todos -- tienen una noción de la calidad de la misma. Por lo tanto, las deci siones son concernientes a la calidad requerida del agua se basan fre cuentemente en acuerdos. Para proteger el equipo es necesario tener toda la información pertinente para ser capaz de hacer juicios técni cos acerca del pretratamiento y el uso de aditivos químicos.

Usualmente la selección de la calidad de agua es marcada mente influenciada por la tendencia de la industria. Las sociedades técnicas y asociaciones industriales son muy útiles para proporcionar

lineamientos acerca de la calidad del agua.

TABLA No. 2

ESPECIFICACIONES DE PUREZA DE AGUA EN PROCESOS  
TÍPICOS (2)

<u>IMPUREZA</u>	<u>ESPECIFICACIONES TÍPICAS</u>
Fierro	< 0.1 ppm
Manganeso	< 0.05 ppm
Sedimentos	-
Turbidez	generalmente < 5 ppm rara vez > 20 ppm
Color	generalmente < 10 ppm rara vez > 20 ppm
Dureza (como CaCO <sub>3</sub> )	rara vez 5-85 ppm rara vez >300 ppm
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	0-35 ppm
Silice	< 0.15 ppm
Acido sulfúrico	-
Cultivos orgánicos	-

Es de gran importancia considerar que lo óptimo es aprovechar a lo máximo tanto materias primas como de desecho, es decir -- aprovechar dichos desechos para tratamiento posterior. Hace aproximadamente 10 años, los desperdicios de un suavizador de cal, por ejemplo, eran desechados. En la actualidad, las plantas más recientes, - estos mismos subproductos son considerados como desechos que requieren

tratamiento. Consecuentemente, los desperdicios alcalinos de un suavizador químico se utilizan como medio de neutralización de desechos ácidos. Ahora bien, si consideramos la posibilidad de que no hay ácido en la planta, se debe hacer una comparación de costos en cuanto a comprar ácido para neutralizar los desechos o si debido al aspecto -- económico, es mejor inclinarnos a la suavización del agua por intercambio iónico.

Las decisiones para la inversión del capital para el equipo de pretratamiento son generalmente enfocadas en el retorno de la inversión. Así se estudia la posibilidad de que los costos mandatorios para tratar desechos puedan ser reducidos o eliminados por otro tratamiento adecuado. Si el ROI (retorno sobre inversión) cambia significativamente.

Para poder representar de una manera más clara los pasos de tratamiento según la utilización del agua a tratar, dividiremos en 3 tipos los procesos de dicho tratamiento: A, B, C.

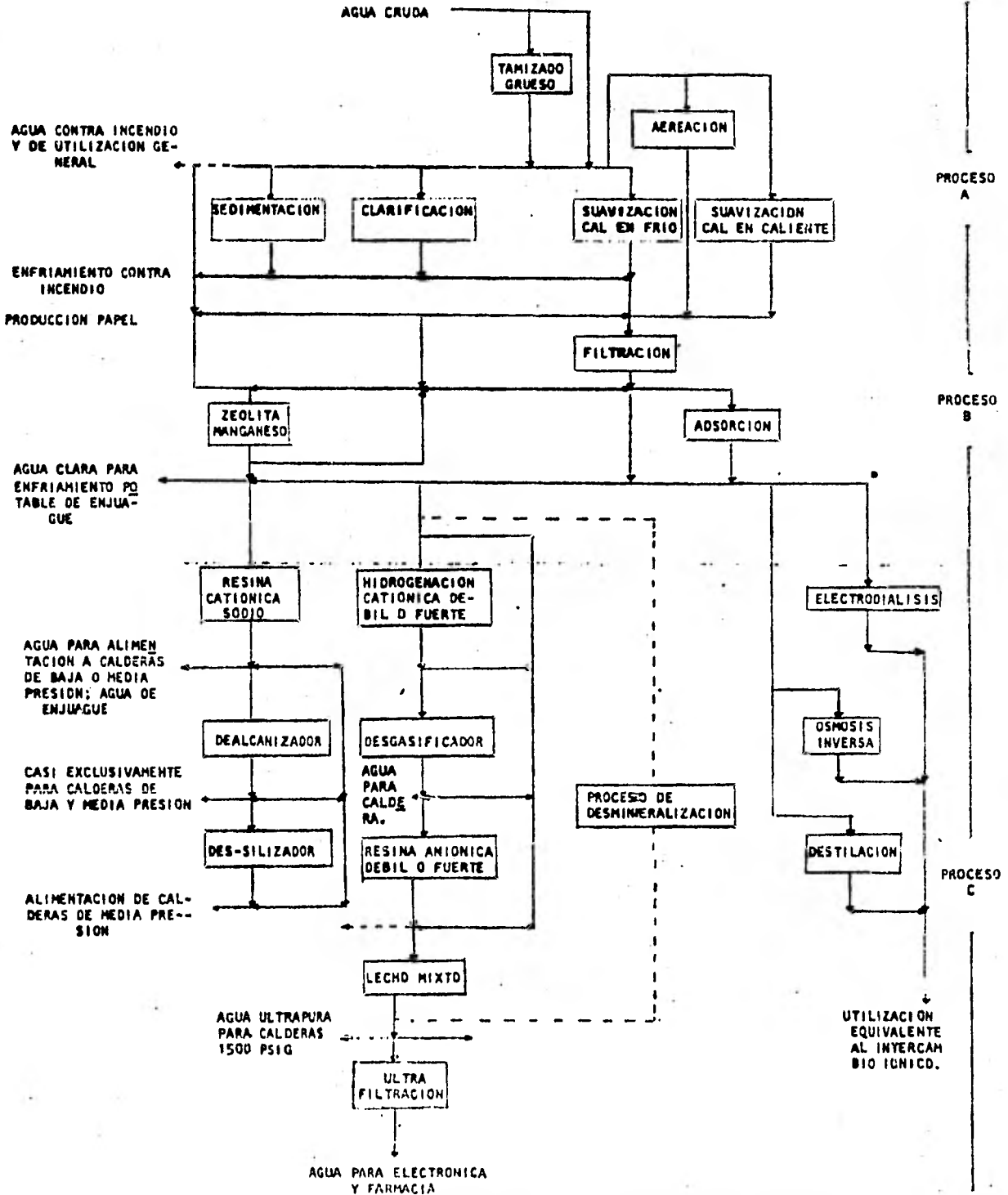
PROCESO A: Este tipo de tratamiento es comúnmente aplicado para el agua que se utilizará como de reposición de torres de enfriamiento. Es un paso preliminar en la obtención de agua de alta calidad.

PROCESO B: Se utiliza para la remoción de sólidos suspendidos.

PROCESO C: Intercambio iónico y otras técnicas para la alteración o remoción de sólidos disueltos por métodos que no involucran precipitación química.

ESQUEMA No. 2

PROCESOS DE TRATAMIENTO EXTERNO DE AGUA (3)



Con el objeto de tener una visión más clara de los equipos de tratamiento de agua se procederá a explicar cada uno de los -- procesos de dicho tratamiento, es decir definir los objetivos de cada uno de ellos.

Sedimentación.- este término se refiere a la remoción - sin ayuda de coagulantes, de materia suspendida, reduciendo la velocidad del agua hasta que sea prácticamente nula. Usualmente, la eliminación que se logra es parcial, dependiendo de la materia que se trate, temperatura del agua y la amplitud de los tiempos de retención. Como las partículas pueden variar en un amplio márgen, desde material relativamente grueso hasta materia coloidal, es evidente que no haya una línea de demarcación perfecta entre los términos de sedimento y -- turbidez.

La sedimentación puede llevarse a efecto en lagos, estanques, depósitos o tanques cuyos tamaños y períodos de retención puedan variar ampliamente. Excepto para los desaeradores, en los que - el tiempo de retención puede ser muy corto, los períodos usados en sedimentación pueden variar desde algunas horas a varios meses. Donde se emplean tanques o estanques se recomienda el uso de deflectores para evitar los cortos circuitos. En los grandes depósitos o lagos el período de retención puede ser tan largo que no sólo se elimina la materia gruesa sino también los sedimentos más finos.

Clarificación.- la clarificación del agua es probable--



mente, la técnica más antiguamente conocida para purificación. Es un proceso aplicado a aguas superficiales para la remoción de sólidos -- suspendidos, otros finos que se manifiestan como turbidez o cloración y otros materiales coloidales.

El proceso de clarificación incluye coagulación, floculación y sedimentación. Cada cual es un procedimiento diferente en que se necesitan ciertos requerimientos para asegurar los resultados deseados. Si hay condiciones contrarias que afecten alguno de los 3 pasos, los resultados serán menores que los deseados.

La remoción de materia suspendida por asentamiento sin coagulación química es raramente utilizada hoy en día. La coagulación requiere de la adición -y mezclado rápido- de un agente químico (coagu--lante). Las reacciones químicas resultantes, neutralizan las cargas coloidales, y forma precipitados (flóculos) para su subsecuente remo--ción; estos flóculos son partículas muy pequeñas.

La floculación es el siguiente paso a la coagulación; en este paso se forman aglomeraciones de flóculos muy pequeños, mediante una agitación suave, con la cual se forman partículas más grandes con alta velocidad de asentamiento. La agitación debe ser cuidadosamente controlada para evitar desintegración de dichos flóculos.

El agua floculada pasa entonces a la fase de sedimenta--ción, que constituye el paso final en el proceso de clarificación. Una vez que los flóculos aglomerados se asientan, el agua clarificada

TABLA No. 3

DESECHOS GENERADOS EN LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA (4)

TRATAMIENTO (1)	CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO	PORCENTAJE EN VOLUMEN	lb SOLIDOS EN BASE SECA POR CADA 1000 GALONES - PROCESADOS (2)
Tamizado	objetos grandes	5-10	
Sedimentación	arena		
Clarificación	generalmente lodos químicamente ácidos y materia asentada.	2-5	1.3
Suavización con cal en frío	lodos químicamente alcalinos y materia asentada.	2-5	1.7
Suavización con cal en caliente (+212 °F)	lodos químicamente alcalinos y materia asentada	2-5	1.7
Aereación	gases, posiblemente aire, -- contaminantes como H <sub>2</sub> S		
Filtración a gravedad o a presión	lodos, sólidos suspendidos	2-5 (para unidades de lecho empacado)	0.1-0.2
Adsorción, carbón activado para olor, sabor, color, materia orgánica, etc.	carbón agotado (si no se ha regenerado), cantidades pequeñas de carbón fino y otros sólidos que pueden aparecer en el retrolavado. En el proceso de regeneración de carbón (generalmente en caliente) -- hay contaminación de aire.		

CONTINUACION TABLA No. 3

Zeolitas de manganeso	óxido de hierro	similar a otros procesos de filtración.	
Osmosis Inversa (3)	suspensión y de 90% a 99% de sólidos disueltos más sustancias químicas de pretratamiento si se requiere.	10-50	1.0-2.0
Destilación	sólidos suspendidos.	10-75	1.5
Procesos de intercambio iónico (4)			
Catiónica-sodio	Ca disuelto, Mg y NaCl	4-6	1.3
2 lechos desmineralización.	Sólidos disueltos más regenerantes.	10-14	4-5
Procesos internos	Debido a que los agentes químicos se añaden directamente al ácido en operación, por lo menos una porción del vapor -- en proceso contiene dichos -- agentes, sólidos suspendidos y disueltos de la alimentación y posible contaminación por el reciclo.	10-14	5

20

NOTAS:

- (1) Los procesos pueden aplicarse individualmente o en combinación dependiendo de las necesidades.
- (2) Las cantidades se basan en la aplicación del proceso del agua cruda (tabla 4 ). Estos valores no necesariamente son aplicables cuando dichos procesos se usan en combinación.
- (3) La alimentación debe estar relativamente libre de materia suspendida.
- (4) Existen más variaciones. Se presentan las más importantes.

TABLA No. 4

ANALISIS TÍPICOS DE AGUA CRUDA Y RESULTADOS DE OPERACION (mg/l, EXCEPTO EN LOS INDICADOS) (5)

EXPRESADO COMO	AGUA CRUDA	DESPUES DE CLARIFICACION Y FILTRACION	DESPUES DE SUAVIZACION CAL EN FRIO Y FILTRACION	DESPUES DE CLARIFICACION, FILTRACION INTERCAMBIO -- IONICO CATIONICO -SODIO-	DESPUES DE CLARIFICACION Y FILTRACION Y DESMINERALIZACION	
Cationes*						
Calcio	CaCO <sub>3</sub>	51.5	51.5	38.7	1.0	0
Magnesio	"	19.5	19.5	17.5	1.0	0
Sodio	"	18.6	18.6	18.6	87.6	1-2
Potasio	"	1.8	1.8	1.8	1.8	0
Total cationes	"	91.4	91.4	76.6	91.4	1-2
Aniones						
Bicarbonato	"	56.8	47.8	0	47.8	0
Carbonato	"	0	0	33.0	0	0
Hidróxido	"	0	0	0	0	1-2
Sulfato	"	21.8	30.8	30.8	30.8	0
Cloruro	"	12.0	12.0	12.0	12.0	0
Nitrato	"	0.8	0.8	0.8	0.8	0
Total aniones	"	91.4	91.4	76.6	91.4	1-2
Hierro	Fe	0.16	Nil	Nil	Nil	Nil
Silice	SiO <sub>2</sub>	9.00	9.0	9.0	9.0	0.01
Color	unidades	15.0	2-5	2-5	Nil	Nil
Turbidez	"	100.6	0-2	0-2	Nil	Nil
pH	"	6.5-7.5	9.0-11.0	9.0-11.0	6.0-8.0	7.0-9.0

\*ligeramente ajustado para balance iónico y para expresar como equivalente de CaCO<sub>3</sub>

se descarga y se separa del sedimento. El proceso no es 100 % eficiente; el agua ya tratada puede contener alguna materia suspendida en forma de flóculos. Los flóculos asentados se remueven como lodos, los --cuáles se diluyen (tabla 3) o condensan para distribuirlos, siendo --éste un procedimiento aún más dificultoso que la misma clarificación.

Aereación.- Ayuda a remover gases indeseables e impurezas volátiles. Estos incluyen  $H_2S$ ,  $CO_2$  y materia orgánica disuelta. También el Fe y el Mn se oxidan por aereación y posteriormente se remueven por coagulación, asentamiento y filtración.

La aereación es un proceso mecánico en el que hay un contacto íntimo entre el aire y el agua. Aplicado al tratamiento de --agua en la aereación se transfieren moléculas gaseosas, principalmente  $O_2$  del aire al agua. La aereación también incluye la remoción de gases indeseables como son  $CO_2$  y metano del agua, proceso que se conoce algunas veces como desgasificación.

La aereación está casi siempre acompañada por otros procesos o reacciones que pueden ser físicos, químicos o de naturaleza --bioquímica.

El principal uso del equipo de aereación está en el campo de la oxidación bioquímica de desechos orgánicos domésticos o industriales, pero también se usa grandemente en la oxidación de impurezas orgánicas como son, Fe, Mn y  $H_2S$  y por remoción u oxidación de impurezas volátiles causantes de malos sabores y olores. En la aereación

simplemente se aumenta el contenido de oxígeno del agua, el cual puede ser posteriormente desechado de ésta.

Filtración.- En tratamiento de agua, un filtro es un lecho de materia granular en el cual hay remoción física de materia suspendida en el agua la cual pasa a través del mismo. El único cambio en la calidad del agua resultante es la reducción de sólidos suspendidos a 1 mg/l o menos.

La filtración es el último recurso para la eliminación de sólidos suspendidos. Los filtros siempre están precedidos de un clarificador, suavizador de cal u otros procesos de tratamiento. Cuando los sólidos se separan del medio filtrante el lecho debe ser lavado. Una aplicación de la teoría de filtración para el diseño de equipo se encuentra en el lecho mixto, en el cual se invierte la secuencia del tamaño de malla al construir el lecho mixto. Esto permite que las mallas más grandes remuevan sólidos en lugar de servir solamente como soporte de la zona efectiva convencional del filtro.

Las variaciones en el filtro son más numerosas que las del clarificador. La mayoría de los filtros operan a periodos de tiempo limitados. Cuando la caída de presión aumenta hasta un cierto nivel del filtro, éste se atasca por lo que requiere de una limpieza por retrolavado.

Debido a que las partículas más pequeñas son las que pasan a través del filtro, la preparación previa del agua es muy impor-

tante. El flujo ya clarificado o floculado no debe ser bombeada, por que este procedimiento o cualquier otra agitación severa destruye los floculos al punto en que consecuentemente pasarían a través del filtro.

Todos los filtros requieren de una cabeza de presión para que el agua fluya a través de la unidad; el término de filtro a presión implica el uso de una bomba para forzar el agua a pasar al filtro bajo presión. Similarmente al filtro de gravedad se le denomina así porque es la cabeza de gravedad que provee la fuerza directora.

El carbón granular activado es ocasionalmente utilizado como un medio filtrante y generalmente los techos de carbón son precedidos de arena o de hulla con proteger los lechos de intercambio iónico que siguen en el proceso.

El carbón activado absorbe trazas de cloro o de otro oxidante pudiendo dañar la resina catiónica y orgánicas las cuales ensucian grandemente las resinas aniónicas básicas. El carbón también se puede utilizar para remover olores, sabores y otras impurezas. Los filtros con carbón activado son generalmente verticales, el flujo es descendente y se retrolava con agua.

Cuando los lechos de carbón granular se utilizan como servicio para descloración, la capacidad del carbón es muy grande y se emplean procesos no regenerativos. El carbón utilizado para remover materia orgánica, tiene sin embargo, una capacidad finita que está determinada por la naturaleza de dicha materia orgánica. Cuando el car-

bón granular se agota es reemplazado o regenerado térmicamente. Cuando la concentración de materia orgánica es baja, se utiliza carbón ac tivado pulverizado, el cual puede ser alimentado continuamente al cla rificador; posteriormente se remueve con los lodos junto con los de-- más sólidos suspendidos. En este proceso la eficiencia es baja, pero los costos capitales para instalación, en un clarificador ya existen-- te es más baja que para lecho granular completamente lleno.

Adsorción.- En aguas crudas típicas, el conjunto de cons-- tituyentes en una muestra filtrada son minerales disueltos. Hay sin embargo, cantidades significativas de materiales no iónicos presentes como son los coloides, como son sílice, óxidos metálicos insolubles y compuestos orgánicos que dan lugar a coloración, sabor y olor en el - agua.

La división entre materia coloidal y partículas de mayor tamaño en el agua es arbitraria. La medida generalmente aceptada es 1.0 micron. Partículas mayores a esta cantidad tienen una velocidad - de asentamiento medible y pueden ser removidos por sedimentación, aun-- que el periodo para reducir la concentración a la mitad es tan grande como una semana o un mes. Las partículas más pequeñas de 1.0 micrón - se encuentran en suspensión por el impacto de las moléculas y de los - iones disueltos en el agua. El movimiento en zig-zag puede ser obser-- vado bajo microscópio y se conoce como movimiento Browniano. A medida que el tamaño de la partícula se reduce de 1.0 micron, la relación en-- tre área y volumen y su correspondiente carga eléctrica por unidad de peso aumenta. El límite más bajo de tamaño para coloide es de 1-10 mi



1 micrones (1 milimicron = 0.001 micron =  $10^{-6}$  milímetro).

La adsorción es la adhesión física de moléculas o coloides a la superficie de un sólido, un adsorbente, sin reacción química. En algunos aspectos, la adsorción es similar a la coagulación y a la floculación. Una diferencia es que la adsorción generalmente usa un adsorbente sólido el cual es especial para tratamiento de agua.

Los adsorbentes pueden ser materiales finamente divididos, aplicados en el agua en un clarificador o a la cabeza del filtro; o bien granulos (0.5 - 1.0 mm) contenidos en un recipiente similar al filtro de presión. El adsorbente más común es el carbón activado, usado en ambas formas (en polvo o en gránulos). Otros adsorbentes son óxido de magnesio y alúmina activada. También se puede utilizar resinas especiales de intercambio iónico.

Siendo la adsorción una reacción de superficie, una medida de la efectividad de un adsorbente es su área superficial. Para el carbón, el área superficial es de 600 a 1000  $m^2/g$ . Esta superficie está negativamente cargada.

Los adsorbentes son porosos y el tamaño del poro es un factor importante, el cual puede ser medido por el número yodo o número molasses. En el número yodo, una titulación simple mide los poros por los cuales pasan los coloides mayores de 1 milimicrón. Para carbón activado, este número está entre 650-1000.

Eliminación de hierro y manganeso .- La separación del hierro y del manganeso constituyen frecuentemente un problema, ya que los metales disueltos se oxidan para formar precipitados. Debido a esto, las aguas superficiales sólo deben contener pocos décimos de ppm de Fe y de Mn. Se dicen que son dañinos debido a que manchan como resultado de oxidación y precipitación; además el Fe da al agua un sabor desagradable.

El hierro en el agua puede estar presente en una o más de las siguientes formas:

- 1) bicarbonato ferroso.
- 2) hidróxido férrico.
- 3) sulfato ferroso.
- 4) hierro orgánico.
- 5) carbonato ferroso.
- 6) hidróxido ferroso.

Los dos últimos casos suceden cuando el agua que contiene hierro se trata con alcalis sin aereación o el uso de otros agentes oxidantes.

Para sistemas municipales o sistemas de aguas de enfriamiento puede ser práctico utilizar 2 ppm de polifosfatos para estabilizar cada ppm de Fe y/o Mn. Para agua de proceso o de reposición es necesario un tratamiento más extenso. En cada tratamiento se sigue una secuencia de oxidación, precipitación y filtración. Otras técni-

cas comunes son suavización con cal, filtrado e intercambio iónico -- con zeolitas; la suavización con cal separa tanto hierro como manganeso debido a que la precipitación es posible a pH alto. El intercambio iónico se utiliza cuando además de la remoción del Fe y Mn es necesario separar otros cationes, así la suavización del agua ciclo sódico separa Fe, Mn, Ca y Mg.

La eliminación del hierro por zeolitas de manganeso se lleva al cabo por precipitación de óxidos superiores de manganeso en los gránulos de las zeolitas.

El Fe se precipita por oxidación, reduciéndose a hidróxido férrico. Esta oxidación se lleva a cabo normalmente con oxígeno del aire, cloro o permanganato de potasio.



Basado en esto, la cantidad teórica de hierro oxidado por 1 ppm de material oxidante es:

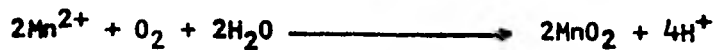
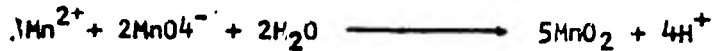
$\text{O}_2$                     7 ppm

$\text{Cl}_2$                     1.6 ppm

$\text{KMnO}_4$                 1.1

Es obvio que el  $O_2$  es mucho más efectivo. Una ligera -- desventaja de utilizar aire es que la oxidación es lenta a pH bajo, - debido a que el potencial de oxidación del aire es bajo. Los métodos para oxidar hierro son también los utilizados para oxidar manganeso, pero a un pH más alto y principalmente cuando el  $O_2$  y el  $Cl_2$  son utilizados como agentes oxidantes.

Reacciones involucradas en la oxidación de manganeso:



Basados en este tratamiento las cantidades teóricas de oxidadas por 1 ppm de material oxidante es:

$KMnO_4$	0.52 ppm
$O_2$	3.4 ppm
$Cl_2$	0.77 ppm

Los requerimientos químicos para oxidar el manganeso es el doble que para el Fe, debido a que hay un intercambio de 2 electrones en la oxidación de Mn por 1 electron en la oxidación de fierro.

Cloración.- Debido a sus propiedades esterilizadoras, el cloro se emplea ampliamente en las plantas de filtración. Se puede --

aplicar:

- 1) Antes de la clarificación.
- 2) Después de la clarificación.
- 3) Antes y después de clarificación.

El cloro se puede comprar económicamente en forma líquida y se alimenta mediante los clorinadores. Cuando la cantidad de agua a tratar es relativamente pequeña, se recomienda usar hipoclorito, el cual se puede alimentar sólo o junto con la cal y la soda-ash con los dosificadores de estas sustancias.

El cloro reacciona con el amoníaco para formar cloraminas o debe ser añadido en suficiente cantidad para oxidar los sabores orgánicos o los materiales que produzcan olor (break-point). También puede usarse con el clorito de sodio para formar el bióxido de cloro que es un agente oxidante poderoso.

Intercambio iónico. El intercambio iónico es uno de los procesos que puede ser el final de la secuencia de tratamiento. Cuando la calidad de agua requerida la remoción de la dureza, alcalinidad o toda impureza disuelta, el intercambio iónico es más común que la destilación, la ósmosis inversa y la electrodialisis.

El intercambio iónico difiere de los procesos previamente mencionados en la rapidez con que ha progresado su técnica. Desde hace 20 años han surgido nuevas resinas iónicas y aplicaciones innovadoras para tales dando como resultado una gran variedad de diseño.

El intercambio iónico es frecuentemente el método más flexible y práctico para tratamiento de agua de calderas de alta presión.

El proceso como su nombre lo indica, substituye o intercambia los iones no deseables por otros no perjudiciales. Es un proceso intermitente con reacciones reversibles.

Hay dos tipos fundamentales de resinas de intercambio iónico: catiónica, la cual remueve algunos o todos los cationes contenidos en el agua ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , etc.) y resinas aniónicas, la cual remueve los aniones ( $\text{HCO}_3^-$  y la alcalinidad por carbonatos, cloruros, sílice, etc.).

La forma más común de intercambio iónico es la suavización del agua en donde se remueve  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  por  $\text{Na}^+$ .

Todos los intercambiadores iónicos de un sólo lecho de resina son esencialmente los mismos; éstos solamente varían en el tipo de resina utilizada, la sustancia química regenerante y en el material de construcción.

Como ya se mencionó, en la desmineralización se remueven prácticamente todos los sólidos disueltos en el agua. El intercambiador catiónico es regenerado con ácido y el aniónico con sosa cáustica. Cuando el intercambiador aniónico debilmente básico se utiliza, se remueven todos los aniones, menos la sílice; este tipo de agua es satisfactoria para muchos usos excepto para utilizarla como de reposición

de agua de caldera de alta presión, donde hay peligro de incrustaciones; en tales casos se utiliza el intercambiador aniónico fuertemente básico para reducir la sílice hasta 0.02 ppm (20 ppb).

Los costos de operación y del equipo para este método -- son generalmente más altos que para otros procesos de tratamiento; -- por esta razón y para aumentar la calidad del agua suelen utilizarse arreglos de lechos iónicos con técnicas especiales de regeneración; -- aunque estos sistemas son complejos, los controles automáticos simpli-  
fican el trabajo del operador.

La desmineralización completa o desionización se lleva a cabo primero por un intercambiador catiónico fuertemente dado en ciclo hidrógeno donde se remueven todos los cationes sustituyéndolos por iones  $H^+$ . El agua acidica pasa entonces a través del intercambiador aniónico fuertemente básico ciclo hidroxilico, el cual remueve todos los aniones, incluyendo sílice, y los reemplaza por iones hidróxido. El efluente de intercambio iónico contiene iones  $H^+$  y  $OH^-$ . Debido a que hay pérdida de iones, el proceso no es 100% eficiente.

Por otro lado cuando el ácido generado reacciona con la alcalinidad del agua cruda se forma  $CO_2$ , el cual puede removerse por Intercambio iónico o por desgasificación. La selección de este último también está determinado por factores de costo.

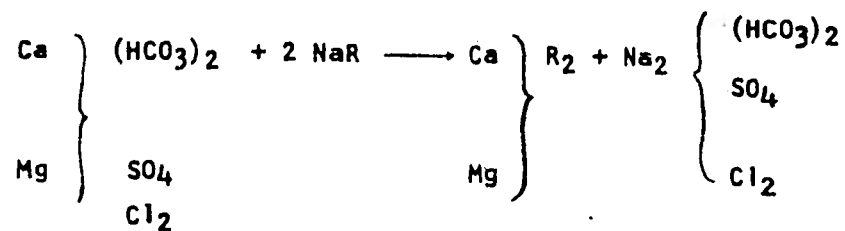
Como regla general, la desgasificación se debe considerar para flujos mayores de 100 ppm y alcalinidad de más de 100 ppm.

El desgasificador se intercala en el sistema de desmineralización y puede ser por corriente de aire o al vacío. La unidad con corriente de aire forzada utiliza tablillas de madera u otro empaque, de esta manera se elimina el  $\text{CO}_2$  y se satura el agua con aire. El deaerador a vacío remueve todos los gases disueltos como son  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  y  $\text{N}_2$ .

Cuando se requiere agua de mayor pureza se utiliza el llamado lecho mixto (mezcla de resina catiónica fuertemente ácida ciclo hidrógeno y resina aniónica fuertemente básica ciclo hidrógeno), y representa una serie infinita de sistemas de intercambio catiónico y aniónico. El lecho mixto puede utilizarse directamente para tratamiento de agua cruda, pero generalmente se utiliza para "pulir" el efluente de un lecho único de desmineralización.

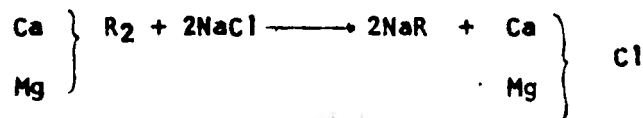
El principio de operación del intercambio iónico es el siguiente:

Al pasar el agua dura a través de un lecho de un intercambiador catiónico el magnesio y el calcio se fijan en el intercambiador catiónico, el que transfiere a la solución una cantidad equivalente de sodio. Usando el símbolo R para el radical intercambiador las reacciones de ablandamiento son:



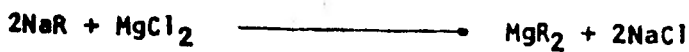
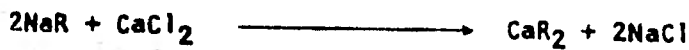
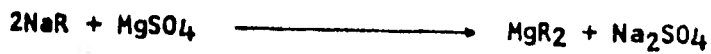
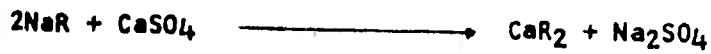
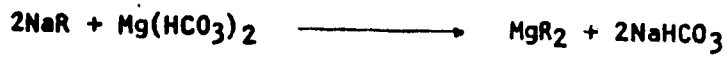


En este caso se está considerando las resinas intercambiadoras ciclo sodio. Cuando la habilidad del intercambiador catiónico para producir un agua completamente blanda se agota, ese ablandador se elimina temporalmente del servicio; se retrolava para limpiarlo y clasificar hidráulicamente el lecho; se regenera con una solución de sal común que elimina el Ca y al Mg en forma de sales solubles de cloro y simultáneamente cambia el intercambiador catiónico a su estado de sal sódica; lavado del producto de estas reacciones y el exceso de sal, la unidad puede volverse al servicio para ablandar otra cantidad igual de agua dura. Las reacciones de regeneración se indican como sigue:

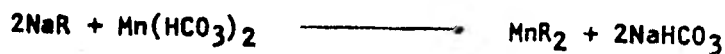


Los intercambiadores catiónicos tienen una mayor afinidad para los cationes divalentes que para los monovalentes. Por lo tanto cuando el agua dura, es principalmente una solución muy diluida de iones calcio y magnesio y sales sódicas, se pone en contacto con un intercambiador catiónico ciclo sódico; los cationes de calcio y magnesio son retenidos por el intercambiador que simultáneamente libera una cantidad equivalente de cationes de sodio. Las reacciones balanceadas con bicarbonato, cloruros, sulfato de calcio y magnesio son las siguientes.



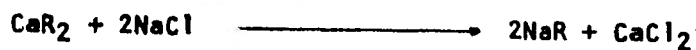


En las aguas duras que contienen bicarbonato de hierro o manganeso, el Fe y el Mn pueden eliminarse por intercambio catiónico simultáneamente con la dureza. Las reacciones son como sigue:



Las sustancias que se emplean más extensamente para la regeneración del intercambiador catiónico agotado es el NaCl, el cual es barato y los productos formados por las reacciones son extremadamente solubles y por lo tanto fácilmente eliminables.

Las reacciones que muestran la eliminación de Ca y Mg -- del intercambiador catiónico son:



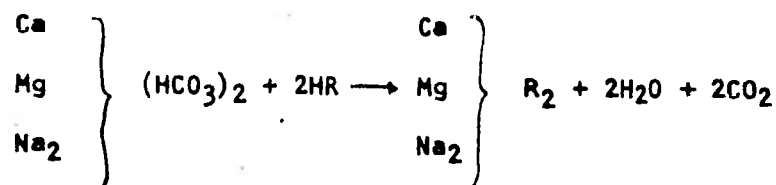
Por otro lado en el proceso de ablandamiento por intercam

bio catiónico ciclo sódico, los iones de Ca y Mg se intercambian por iones sodio, los cuales no afectan el proceso. El resultado es que aunque el agua obtenida es completamente blanda, su contenido total de sólidos disminuye y el efluente contiene las mismas cantidades de aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ ). Es decir, las sales de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  presentes en el agua cruda, simplemente han sido reemplazados por cantidades equivalentes de las sales de sodio correspondientes.

En el proceso de intercambio ciclo hidrógeno, los iones de calcio y magnesio son intercambiados por hidrógeno. El resultado neto es que los iones de calcio, magnesio y también de sodio son removidos del agua; la cantidad teórica de ac. carbónico formado de los bicarbonatos se descompone en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  y las cantidades de ac. sulfúrico y clorhídrico que corresponden a los sulfatos y cloruros presentes en el agua cruda, se encuentran en el efluente.

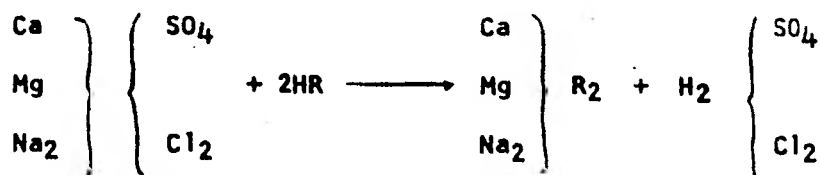
En el proceso de intercambio catiónico ciclo sódico, la regeneración se efectúa con  $\text{NaCl}$ ; en el intercambiador catiónico ciclo hidrógeno se hace con ácido mineral. Los ácidos más comúnmente usados son el sulfúrico y el clorhídrico.

Las reacciones que se presentan en los intercambiadores catiónico ciclo hidrógeno son:



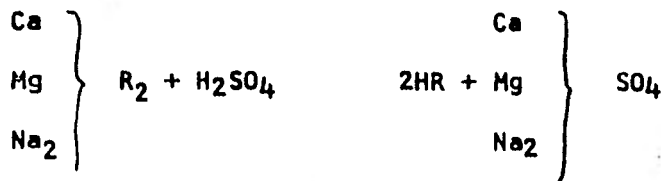
El  $\text{CO}_2$  puede eliminarse por aereación.

Las reacciones de intercambio catiónico ciclo hidrógeno con sulfatos y cloruros son:



Para poder usar un efluente ácido de tal naturaleza, el agua debe neutralizarse o los ácidos necesariamente deben de eliminarse. Si el agua cruda contiene cantidades relativamente grandes de bicarbonatos y pequeñas dosis de sulfatos y cloruros, el efluente puede neutralizarse con sosa cáustica después de la aereación. Si por otra parte, el contenido de sulfatos y cloruros es apreciable lo más recomendable es neutralizar el efluente con otro de un intercambiador catiónico ciclo sódico. Si en lugar de neutralizarse, los ácidos deben eliminarse, el efluente del intercambiador catiónico ciclo hidrógeno se pasa por un intercambiador aniónico; a este proceso se le denomina desmineralización.

Las reacciones de regeneración de intercambiadores catiónico ciclo hidrógeno son:





En el primer caso el sulfato de sodio y el sulfato de -- magnesio son muy solubles y no presentan dificultades. El sulfato de calcio tiene una solubilidad limitada por lo que se requiere una solu- ción suficientemente diluida para evitar que precipite.

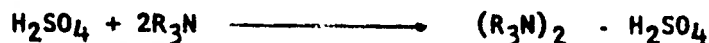
En el segundo caso todos los productos son suficientemen- te solubles.

Solamente hay dos procesos para remover prácticamente to- da la materia mineral del agua, que son: 1) desmineralización por in- tercambio iónico y 2) destilación.

Cualquiera de estos dos procesos produce una calidad exce- lente de agua, pero por lo general el costo por desmineralización es sólo una fracción del costo por destilación.

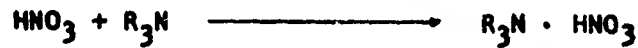
#### Intercambiadores aniónicos debilmente básicos.

Se utilizan para eliminar ácidos ionizados fuertes.

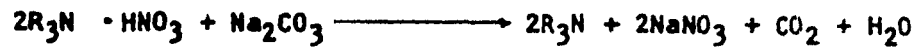


int. aniónico

debilmente básico



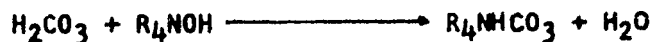
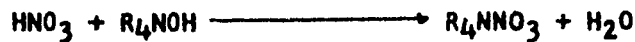
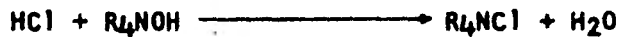
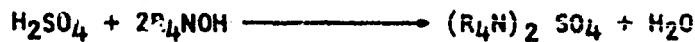
Al final de cada ciclo de operación el intercambiador -- aniónico se regenera con carbonato de sodio, se enjuaga y se pone en servicio.



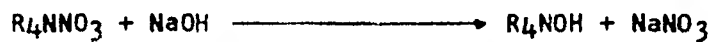
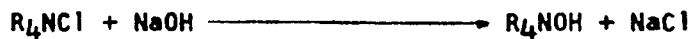
No hay eliminación de sílice. El  $\text{CO}_2$  se puede eliminar con un desgasificador.

#### Intercambiadores aniónicos fuertemente básicos.

Se utilizan para remover tanto los ácidos ionizados como los no ionizados.



Al final de la operación, el intercambiador aniónico fuertemente básico se retrolava y regenera con una solución de sosa cáustica, se enjuaga y se vuelve al servicio.



En la mayoría de las plantas, se elimina el  $CO_2$  por un desgasificador antes de que el agua pase a la unidad aniónica.

#### Intercambiadores aniónicos de basicidad intermedia.

Estos intercambiadores aniónicos tienen casi las mismas propiedades que los debilmente básicos y pueden ser empleados para eliminar ácidos fuertemente ionizados. Se regenera con sosa.

La selección del método y del tipo de resina de intercambio iónico para un proceso de desmineralización depende de muchos factores, incluyendo la composición del agua de alimentación, el grado de tratamiento requerido, y el propósito por el cual se va a usar el agua tratada. Lineamientos simples y la explicación de muchos sistemas disponibles así como la gran variedad de combinaciones posibles son a me-

nudo, muy confusas ya que ellas, evidentemente no cubren completamente algunos puntos que son de importancia para algún lector en particular. Aquí se dará un panorama general de la desmineralización para aplicación en tratamiento de agua industrial.

Como ya se dijo anteriormente la mayoría de las impurezas disueltas en agua natural son:  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  en combinación con  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{NO}_3^-$  así como silicatos. El  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  constituyen la dureza del agua mientras que los  $\text{CO}_3^-$  y  $\text{HCO}_3^-$  dan lugar a la alcalinidad.

En el proceso de desmineralización se remueven estos cationes y aniones del agua por intercambio iónico de sales de cationes a su forma ácida con intercambio catiónico de hidrógeno; después estos se remueven con un intercambiador aniónico.

La planta de desmineralización puede constituirse a partir de unidades de intercambio iónico simples. El tipo particular de resinas de intercambio iónico requerido depende del grado de tratamiento de agua deseado. Normalmente el primer paso involucra una resina de intercambio catiónico fuertemente ácido operando en su ciclo hidrógeno. Cuando el agua cruda pasa a través de esta unidad las sales solubles presentes pasan a su forma ácida correspondiente. El efluente pasa después a una segunda unidad de resinas de intercambio aniónico. Si se emplea una resina aniónica debilmente básica se pueden remover solamente los ácidos minerales y los materiales debilmente ionizados



como son  $\text{SiO}_2$  y  $\text{CO}_2$  permanecen en solución.

Si no se permite la presencia del  $\text{CO}_2$ , éste puede reducirse de 5 a 10 ppm por medio de un desgasificador instalado antes de la unidad debilmente básica. Este arreglo se ilustra en la fig. 4. La resina aniónica debilmente básica es eficiente para remover ácidos fuertes y por lo tanto es útil cuando el agua cruda contiene sulfatos y cloruros. Esta puede ser regenerada del 70 al 85% con soda ash, - sosa o amonio.

Las resinas aniónicas fuertemente básicas muestran una - alta eficiencia para remover ácidos débiles como son  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SiO}_2$ , etc. Estas remueven tanto ácidos débiles como fuertes y generalmente se regeneran con sosa (si se regenera con  $\text{NaCl}$  todos los constituyentes en el agua pasan a cloruros).

La desmineralización produce agua de varias calidades de pendiendo del tipo de sistema empleado. La calidad del agua tratada es frecuentemente medida en términos de sólidos suspendidos, sólidos disueltos, micromhos o ohms/cm<sup>3</sup>. Los micromhos se usan para definir la conductancia del agua mientras que los ohms/cm<sup>3</sup> es una medida de la resistencia del agua. Un micromho conductor es equivalente a la resistencia de 1 millón de ohms y representa aproximadamente 0.5 ppm de - iones disueltos como  $\text{CaCO}_3$ . Ambas medidas son para los electrolitos o para el total de sólidos disueltos ionizables. Los valores típicos mostrando la relación entre resistencia, conductividad y electrolitos presentes se muestra en la (tabla No. 5). Cuando están presentes ga-

TABLA No. 5

RELACION ENTRE RESISTENCIA, CONDUCTIVIDAD Y  
TOTAL DE ELECTROLITOS PRESENTES (6)

RESISTENCIA (ohms)	CONDUCTIVIDAD (microhms)	ELECTROLITO (ppm CaCO ) LECHO FRIO O 2 LECHOS - CON RESINA DEBILMENTE - BASICA	ELECTROLITO (ppm CaCO ) 2 LECHOS ANIONICOS FUER TEMENTE BASICOS
3,000,000...	0.33	0.13	0.06
2,000,000...	0.50	0.20	0.10
1,000,000...	0.10	0.40	0.20
100,000...	10.00	4.00	2.00
50,000...	20.00	8.00	4.00

ses la resistencia se ve afectada y deben ser removidos o debe hacerse una corrección debido a su presencia.

### Selección de Sistemas de Desmineralización.

Para cada caso hay el mejor arreglo de desmineralización. Se debe hacer una selección cuidadosa del tipo de sistema que se va a emplear. Esto incluye una evaluación completa de la composición del agua cruda, cantidad, calidad y tipo de regenerantes usados, condiciones de operación y costos así como la calidad de agua requerida en el efluente final. La siguiente exposición da una visión general de algunos arreglos comunes empleados en uso comercial con los comentarios concernientes a su aplicación.

Tipo I.- 2 lechos, sistema catiónico - aniónico débilmente básico.

Este sistema se utiliza cuando no se requiere la reducción de sílice y además el  $\text{CO}_2$  y el pH en el agua final no representan problema. En este sistema se tienen los costos de equipo y de sustancias químicas más bajas. El agua efluente generalmente tiene un intervalo de conductividad entre 10 y 20 mmhos y puede contener sólidos disueltos equivalentes a 5 ppm como carbonato de calcio además de la sílice.

Tipo II.- 2 lechos, catiónico - aniónico débilmente básico - desgasificador.

Generalmente se utiliza cuando se desea remover  $\text{CO}_2$  y -- no importa la presencia de sílice. La resina aniónica se regenera con soda-ash o con sosa. El efluente del agua es similar a la obtenida en el Tipo I, excepto que el  $\text{CO}_2$  se reduce de 5 a 10 ppm y el pH del agua final es más alto. En muchos casos los costos de operación son 25% más que para el Tipo I.

**Tipo III.- 2 lechos, catiónico-aniónico fuertemente básico.**

Esencialmente todos los iones pueden ser removidos por - sustitución de una unidad aniónica fuertemente básica en vez de la unidad débilmente básica, usando el Tipo I. El agua tratada producida generalmente contendrá menos de 2 ppm de sólidos como  $\text{CaCO}_3$  incluyendo - sílice. En este sistema el contenido de  $\text{CO}_2$  se reduce esencialmente a cero y la sílice a un nivel de 0.1 ppm. El intervalo de conductividad del agua final es de 5-10 microohms. Cuando el agua cruda tratada tiene una alcalinidad alta, la cantidad de cáustica usada por regeneración puede reducirse al colocar un desgasificador a la entrada de la unidad aniónica para reducir la carga de  $\text{CO}_2$  en el intercambiador.

**Tipo IV.- 2 lechos, catiónica-desgasificador-aniónica fuertemente básica.**

Este sistema es el mismo que el tipo III, excepto que el desgasificador se pone antes con objeto de remover la carga de  $\text{CO}_2$  presente. Este arreglo producirá agua tratada de la misma calidad que el tipo III y con costos de operación más bajos, aunque con una inversión

de capital más alto. Además este sistema permite que se use una unidad aniónica en base fuerte más pequeña. Este sistema resulta económico -- cuando se trata agua con alcalinidad alta y se desea remover la sílice.

Tipo V.- 3 lechos, catiónico-aniónico débilmente básico-desgasificador-aniónico fuertemente básico.

Este sistema es altamente eficiente cuando hay grandes cantidades de todos los aniones comunes ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , etc.) incluyendo sílice. La calidad del agua es aproximadamente la misma que la producida en el tipo III pero bajan los costos de operación. Aquí la unidad débilmente básica remueve el total de arranques y la unidad fuertemente básica remueve la sílice, el  $\text{CO}_2$  residual y pequeñas cantidades de otros aniones. La unidad débilmente básica puede ser más eficientemente regenerada y menos costosa para operar que la unidad aniónica fuertemente básica. La sosa cáustica usada para regenerar la unidad fuertemente básica puede ser usada en muchas ocasiones para regenerar la unidad débilmente básica. Este doble uso de regeneración hace que la operación de esta unidad sea tan económica como una unidad de 2 lechos produciendo una más alta calidad de agua.

Tipo VI.- Sistema lecho-mixto.

Este tipo de sistema es utilizado para agua cruda de baja alcalinidad conteniendo una equitativa cantidad de sólidos y se requiere un alto grado de pureza. El agua tratada de esta unidad puede tener una conductancia en un intervalo de 0.1 a 1.0 mmhos y la sílice es redu

cido a un nivel de 0.02 a 0.15 ppm, sin embargo la remoción de sílice es ocasional cuando se utiliza esta unidad. El sistema de lecho mixto tiene una baja inversión inicial pero los costos de operación son más altos que en los sistemas multilechos produciéndose agua de similar ca lidad.

**Tipo VII.- Catiónica-desgasificador-lecho mixto.**

Cuando la alcalinidad de agua cruda es alta una unidad - catiónica y un desgasificador usados antes de la unidad del lecho mixto reducirá la cantidad aniónica y removerá el  $\text{CO}_2$ ; reduciendo así tan to el tamaño como los costos de operación de la unidad de lecho mixto. Este sistema se utiliza cuando se requiere agua altamente pura y remo ción completa de  $\text{CO}_2$  y sílice.

**Tipo VIII.- Catiónico-desgasificador-lecho mixto-sistema -- aniónico fuertemente básico.**

Este sistema es útil cuando se trata agua cruda con una alta alcalinidad, sílice y contenido de sólidos en varias concentracio nes, requiriéndose agua ultrapura. La unidad aniónica fuertemente bá- sica opera como una unidad de pureza con regeneración no frecuente.

Otros arreglos de sistemas de desmineralización.

**ARREGLO:**

A: No se requiere eliminar sílice. Elimina dureza (Ca, Mg), sodio, los ácidos fuertemente ionizados y  $\text{CO}_2$ .

B: Eliminación de sílice, dureza,  $\text{CO}_2$ , ácidos minerales ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$  y/o  $\text{HNO}_3$ ) y débilmente ionizados (carbónico y silícico).

C: Eliminación de sílice. Se utiliza cuando los aniones -- fuertemente ionizados ( $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{Cl}^-$ , y/o  $\text{NO}_3^{--}$ ) constituyen un porcentaje grande de los aniones totales.

D: Es similar al tipo C; difiere en que el segundo intercambiador catiónico se usa precediendo la unidad aniónica fuertemente básica, este intercambiador catiónico secundario, elimina la fuga de cationes tan completamente que el efluente final, usualmente no contiene más de 1 ppm de sólidos totales.

E: Este sistema se usa ampliamente, pero no en forma exclusiva en aguas en que los aniones alcalinos constituyen una gran parte de los aniones totales.

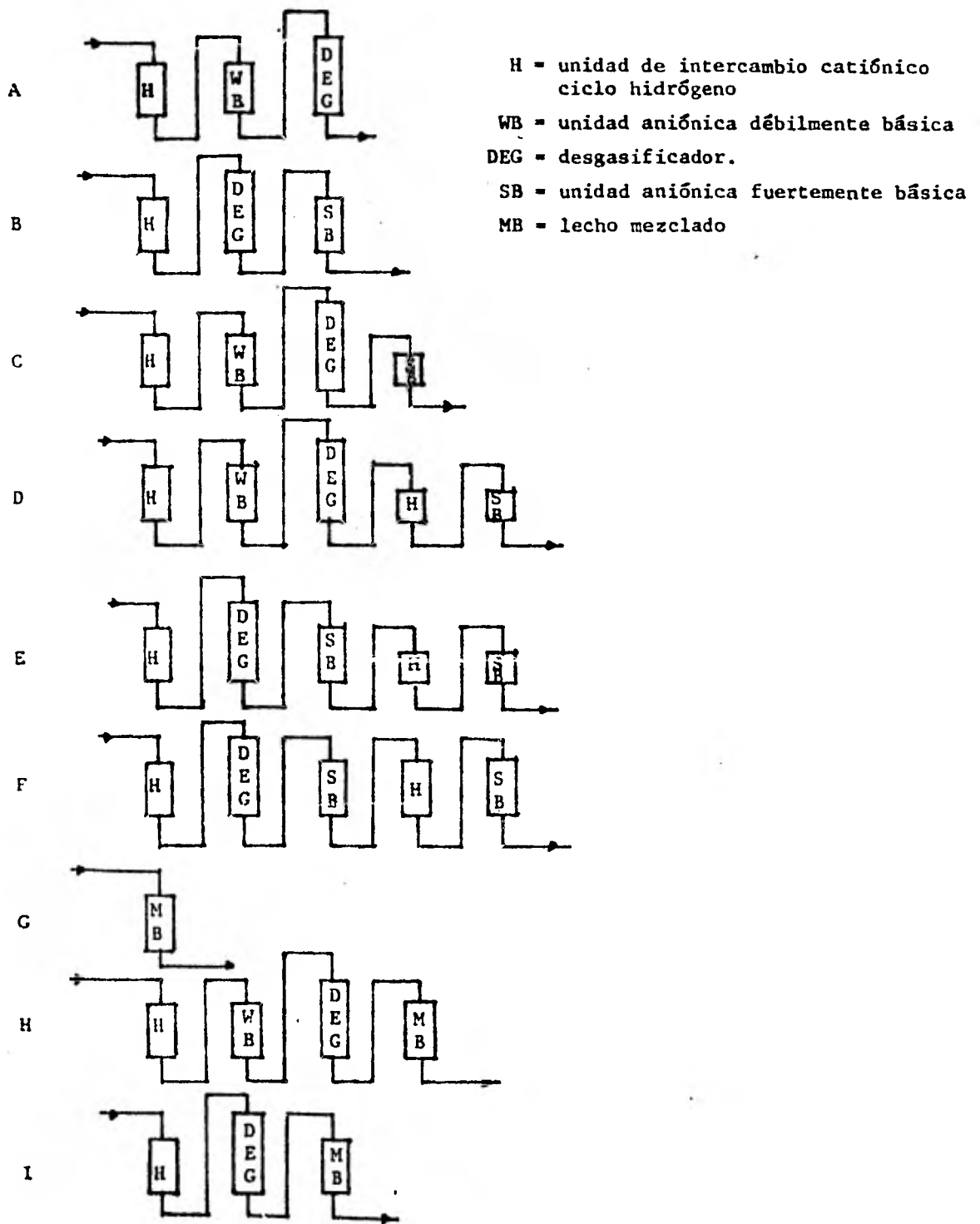
F: Se utiliza en sistemas donde la alcalinidad constituye un porcentaje grande del total de aniones. Si la alcalinidad es baja se puede eliminar el desgasificador.

G: Efectúa una remoción de sólidos tal que la concentración en el efluente es menor a 1 ppm. La eliminación de sílice es equivalente al caso B.

H: Se utiliza en sistemas donde los aniones AMT constituyen un porcentaje sustancial del total de aniones. La calidad del efluente es la misma que la del tipo G.

I: Este sistema es aplicable con aguas en las que los aniones alcalinos constituyen un gran porcentaje de los aniones totales. Por lo tanto siempre se utilizará desgasificador. La calidad del efluente

Fig. 1 ARREGLOS DE SISTEMAS DE DESMINERALIZACION



Nordell Eskell, Tratamiento de Agua para la Industria y otros usos.  
 Cía. Ed. Continental, S. A. 2ad. edición, pág. 305.



II.- S E D I M E N T A C I O N

## EQUIPO DE SEDIMENTACION.

### EQUIPO.

Los tanques de sedimentación pueden ser continuos e intermitentes. Los primeros son aquellos en que el flujo de agua es más o menos constante; en el segundo el flujo varia y dichos flujos son grandes.

Aunque un liquido contenga sólidos en suspensión se encuentra en cierto de relativa quietud, los que tienen una densidad alta, tienden a asentarse y los de densidad baja flotan; estos principios se utilizan en el diseño de los tanques de sedimentación para tratamiento de agua.

Se considera que un tanque de sedimentación es eficiente cuando mueven del 50 al 65% de sólidos suspendidos.

Los tanques más comunes se limpian mecánicamente y su diseño es standard. La selección del tipo de unidad de sedimentación para una aplicación dada depende de las dimensiones del lugar donde se va a instalar y de las condiciones de dicho lugar, así como de la experiencia que tenga el ingeniero de diseño para elegir, tomando en consideración el aspecto económico.

Es conveniente considerar la importancia de que haya 2 ó mas tanques de relevo para mantenimiento o reparación. La longitud máxima de los tanques rectangulares comerciales es de 300 fts, mientras

que los circulares se han construido de 12 a 200 fts, aunque el intervalo más común es de 40 a 100 fts.

Componentes y accesorios de unidades de sedimentación.

Un tanque de sedimentación consiste en un conjunto de -- componentes básicos que son:

- 1) Tanque propiamente dicho.
- 2) Unidad de transmisión y dispositivo de elevación.
- 3) Mecanismo de arrastre.
- 4) Zona de alimentación.
- 5) Dispositivo para flujo ascendente.
- 6) Dispositivo para flujo descendente.
- 7) Instrumentación.
- 8) Facilidad para posible floculación.

1) Tanques.- Se construyen de materiales de acero, concreto, madera u hojas de plástico. La selección del tipo de material depende de los costos, condiciones de tipografía, clima, temperatura de operación y condiciones químicas.

2) Unidad de transmisión.- La unidad de transmisión requiere de 1) la fuerza suficiente para mover los sólidos asentados al punto de descarga 2) un soporte que permita rotación 3) control de alarmas.

Dispositivo de elevación.- Normalmente se utiliza conjuntamente con la unidad de transmisión para remover el mecanismo de una resistencia anormal resultante de una sobretensión de los sólidos de la

alimentación. Cantidades excesivas de sólidos irregulares en cuanto a su tamaño o alguna otra obstrucción que pase por el miembro de arrastre; después de que estos rastrillos han sido elevados pueden ir bajando gradualmente con objeto de eliminar dichas obstrucciones del tanque. Este dispositivo puede ser operado ya sea manualmente mediante motores.

3) Mecanismo de arrastre.- Tiene como función mover los sólidos asentados al punto de descarga. El mecanismo debe ser diseñado para aplicaciones específicas.

Las unidades soportadas por puente o por columna central generalmente usan dos largos brazos con opción para dos cortos y las unidades de tracción emplean uno largo y tres cortos.

La velocidad de arrastre varía con el tipo de material manejado. Esta generalmente está entre 20 y 25 ft/min para materiales de asentamiento lento; es de 25 a 35 ft/min para material de asentamiento rápido y arriba de 50 ft/min para materiales cristalinos y concentrados.

4) Zona de alimentación.- En la mayoría de las unidades de sedimentación se introduce la alimentación con un mínimo de turbulencia, dando lugar a un rápido asentamiento de las partículas. Generalmente se diseñan en base a un flujo vertical laminar descendente con una velocidad máxima de 5 ft/min.

5) Dispositivo para flujo descendente.- La remoción del efluente está generalmente acompañado por un dispositivo de lavado per

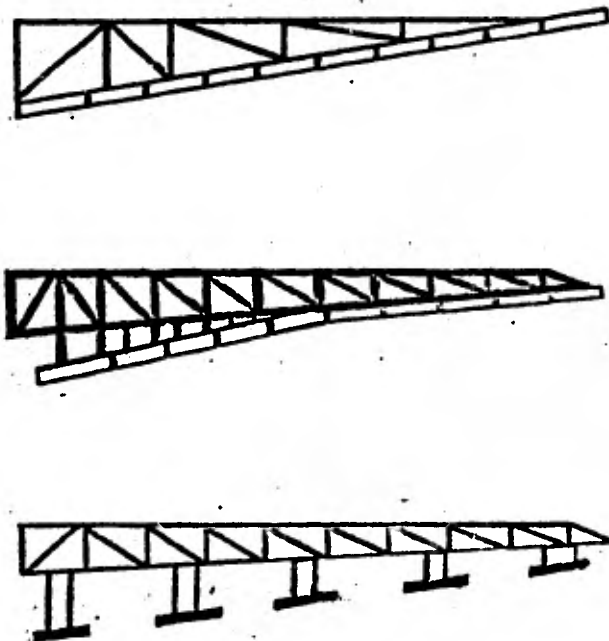


Fig.2. Mecanismo de Rastreo de Lodos . (Eimco Process-Machinery Div., Envirotech Corp.).

férico localizado afuera o adentro del tanque. La entrada del flujo ascendente entra a dicho dispositivo por medio de un vertedero plano o en forma de V. Las velocidades de flujo máximo son de 10000 a 15000 gal/día ft lineal.

6) Dispositivo para flujo descendente.- El flujo descendente de un equipo de sedimentación, ocasionalmente se descarga por gravedad a través de válvulas de control o por medio de un orificio, pero es más común utilizar una bomba conectada al cono de descarga.

Existen 4 arreglos básicos con ligeras variaciones en cada una de ellas: remoción para línea de lodos inaccesibles o para una línea de lodos por medio de un túnel dentro del tanque; descarga periférica del tanque y una remoción por bombeo de columna central.

7) Instrumentación.- Generalmente en el equipo de sedimentación se deben tener los siguientes instrumentos: controles de inclinación parcial o totalmente automáticos, dictadores de la posición de inclinación, alarmas en casos de suspensión de rotación y ocasionalmente un amperímetro. Estos controles son utilizados para variaciones en la alimentación, concentración de sólidos, etc.

#### Diseño.

El diseño de un tanque de sedimentación requiere necesariamente el análisis del agua cruda con objeto de determinar la turbidez y la cantidad de sólidos suspendidos.

En el dimensionamiento de un tanque de sedimentación o --

clarificación, las principales características a considerar son el área, la altura y el tipo de mecanismo. Como bases de diseño se tienen 3 condiciones comúnmente consideradas:

- 1) Área unitaria,  $\text{ft}^2/\text{tpd}$  de sólidos secos o  $\text{lb/h ft}^2$  donde tpd representa toneladas por día.
- 2) Velocidad de flujo,  $\text{gpm}/\text{ft}^2$  o  $\text{gal}/\text{día ft}^2$
- 3) Tiempo de retención o residencia.

Otros datos adicionales que se requieren para construcción mecánica son:

- 1) Densidad relativa de sólidos (Sgr)
- 2) Tamaño y densidad de partículas.
- 3) Concentración del influente.
- 4) Temperatura de operación.
- 5) Altura de la zona de compresión, ft.
- 6) Localización geográfica.

Velocidad libre de asentamiento.

El término de velocidad de asentamiento de sólidos se expresa como:

$$V_m = \frac{K D^2 (\rho_s - \rho_l)}{b}$$

$V_m$  = velocidad terminal

$\rho_s$  = densidad de sólidos

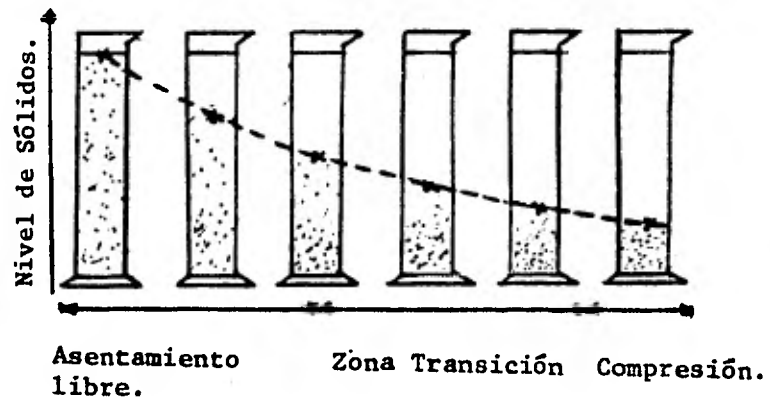


Fig.3. Pasos del Asentamiento de las Partículas en el agua.

The Nalco Water Handbook. Nalco Chemical Co., Mc.Graw Hill Co. 1a ed; N.York., (1979), pág. 9.5.



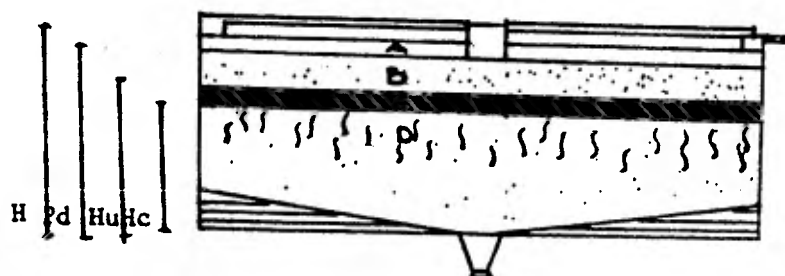


Fig.4. Zonas de Asentamiento.

- |                        |   |
|------------------------|---|
| A.Zona Solución Clara. | B. Consistencia de Pulpa de Alimentación. |
| C.Pulpa en Transición. | D. Pulpa en Compresión.                   |

- $\rho_f$  = densidad de fluido  
 $\mu_b$  = viscosidad de fluido  
 $D$  = diámetro de partículas  
 $K$  = f(concentración sólidos)

Para partículas grandes de asentamiento rápido:

$$V_m = \frac{(\rho_s - \rho_f) g D^2}{18 \mu_b}$$

Método de King para dimensionamiento de clarificador.

En el método de King se considera que la velocidad de -- asentamiento es una función únicamente de la concentración de la zona de asentamiento o de compresión.

La ecuación que rige dicho método es:

$$U \cdot A = \frac{t_x}{C_o H_o} \quad (\text{ft}^2/\text{tpd})$$

donde:

- $t_x$  = tiempo, días  
 $C_o$  = conc. inicial, ton sólidos/ft<sup>3</sup> de pulpa  
 $H_o$  = altura inicial, ft  
 $C_1$  = conc. de todos los sólidos suspendidos en H

El factor de seguridad o de diseño aplicado es de 1 a 1.5.  
 Este método es aplicable a pulpas donde las partículas caen a una velo-

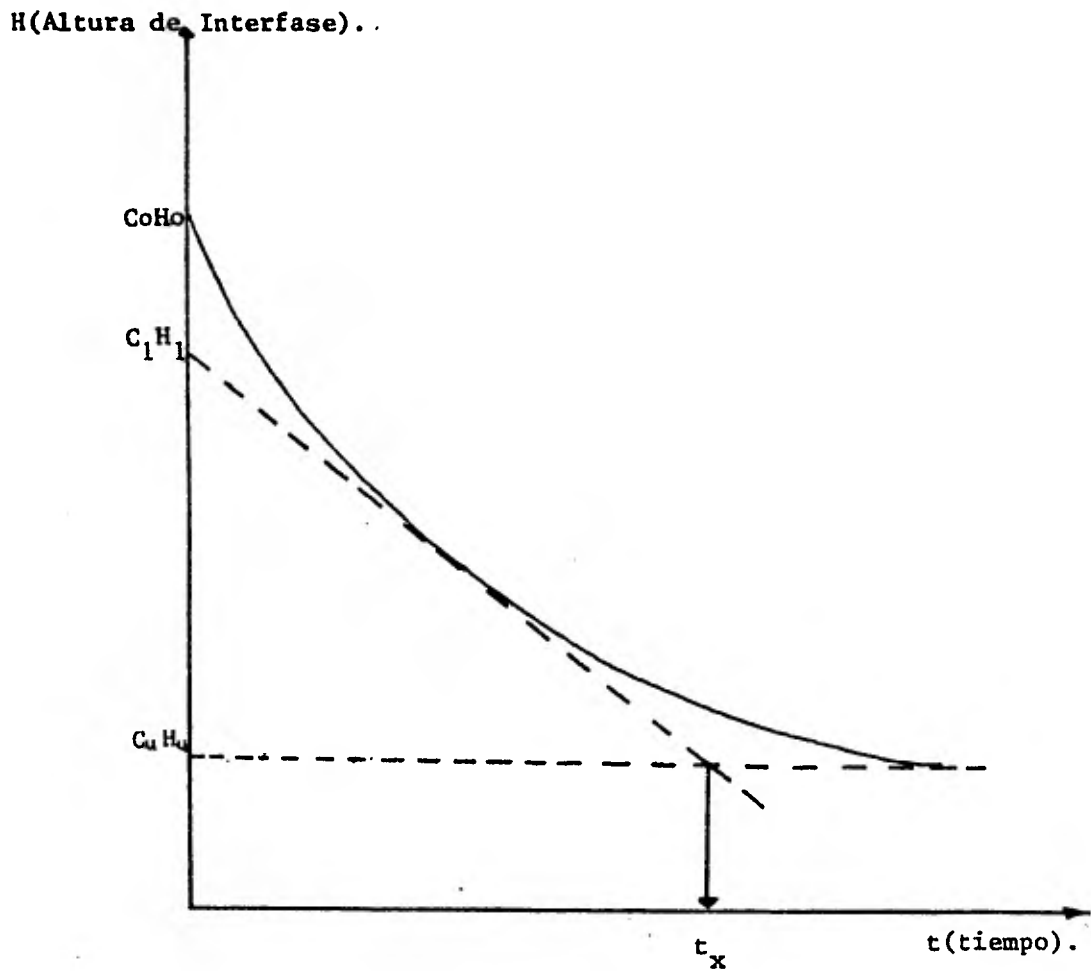


Fig.5. Método de King para Dimensionamiento de Clarificadores.

cidad inicial constante, la cual viene siendo una función de la concentración.

La gráfica de la fig. 5 se obtiene experimentalmente, - llenando probetas a un nivel  $H_0$  y tomando lecturas (H). Se trazan  $\ln(H)$  vs  $\ln(t)$ . Con esta gráfica se puede obtener el nivel al que llegarían los lodos si se dejara sedimentar mucho tiempo.

Un tanque de sedimentación incluye las siguientes zonas: solución clara, de alimentación, de transición y de compresión. La altura total del tanque se determina por la altura de estas 4 zonas. La altura de transición es siempre empírica y la zona compresión, como ya se observó, se determina por pruebas de laboratorio.

Determinación de flujo máximo de sólidos en zona de compresión.

- 1) Determinación de  $C_0$  y  $W$ :

$$W = C_0 V$$

- 2) Construir la gráfica  $H$  vs  $t$

- 3) Determinar  $t_c$  que es el tiempo en que los lodos entran a la zona llamada de compresión. Este tiempo se puede obtener por la gráfica  $H$  vs  $t$ .

- 4) Con  $t_c$  y  $H_c$  se seleccionaría una concentración de salida  $C_u$  y se calcula  $H_u$ :

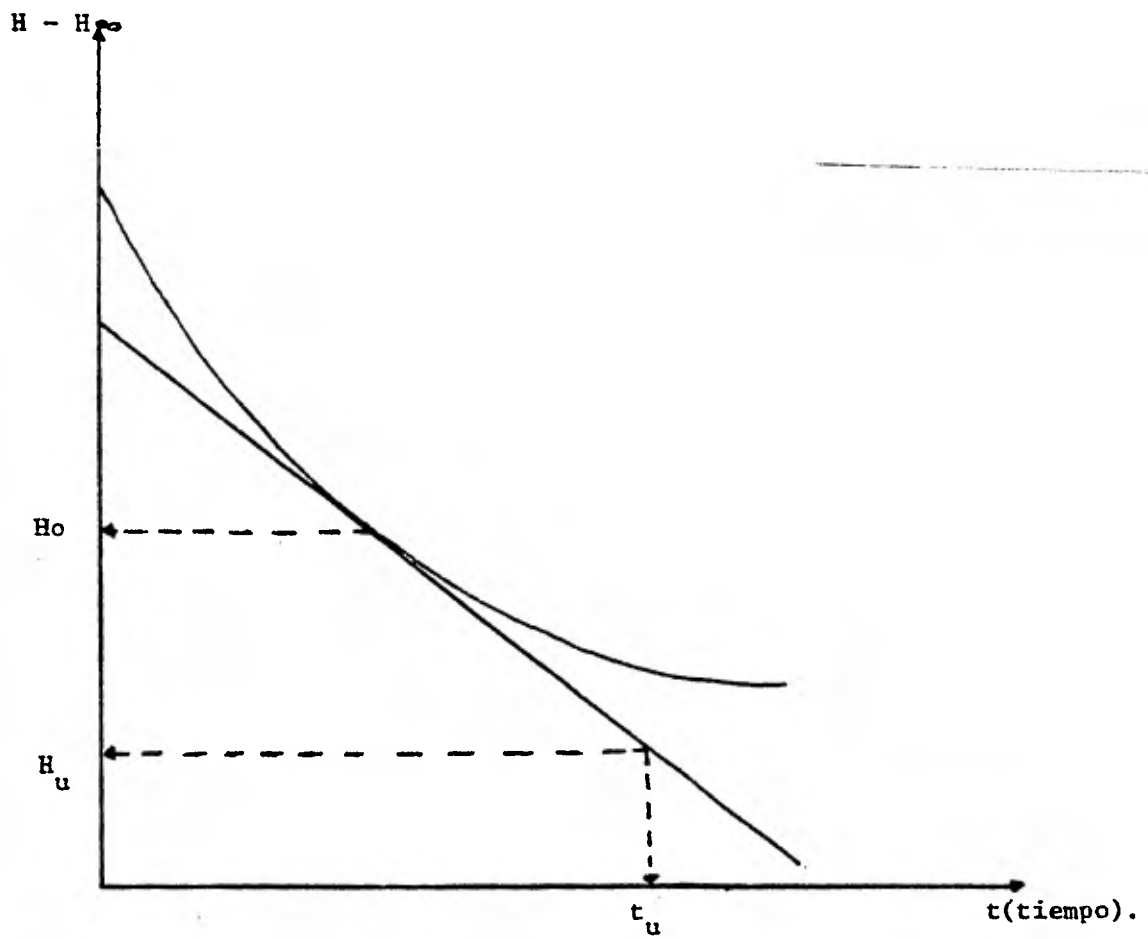
a)  $H_u < H$ 

Fig.6.

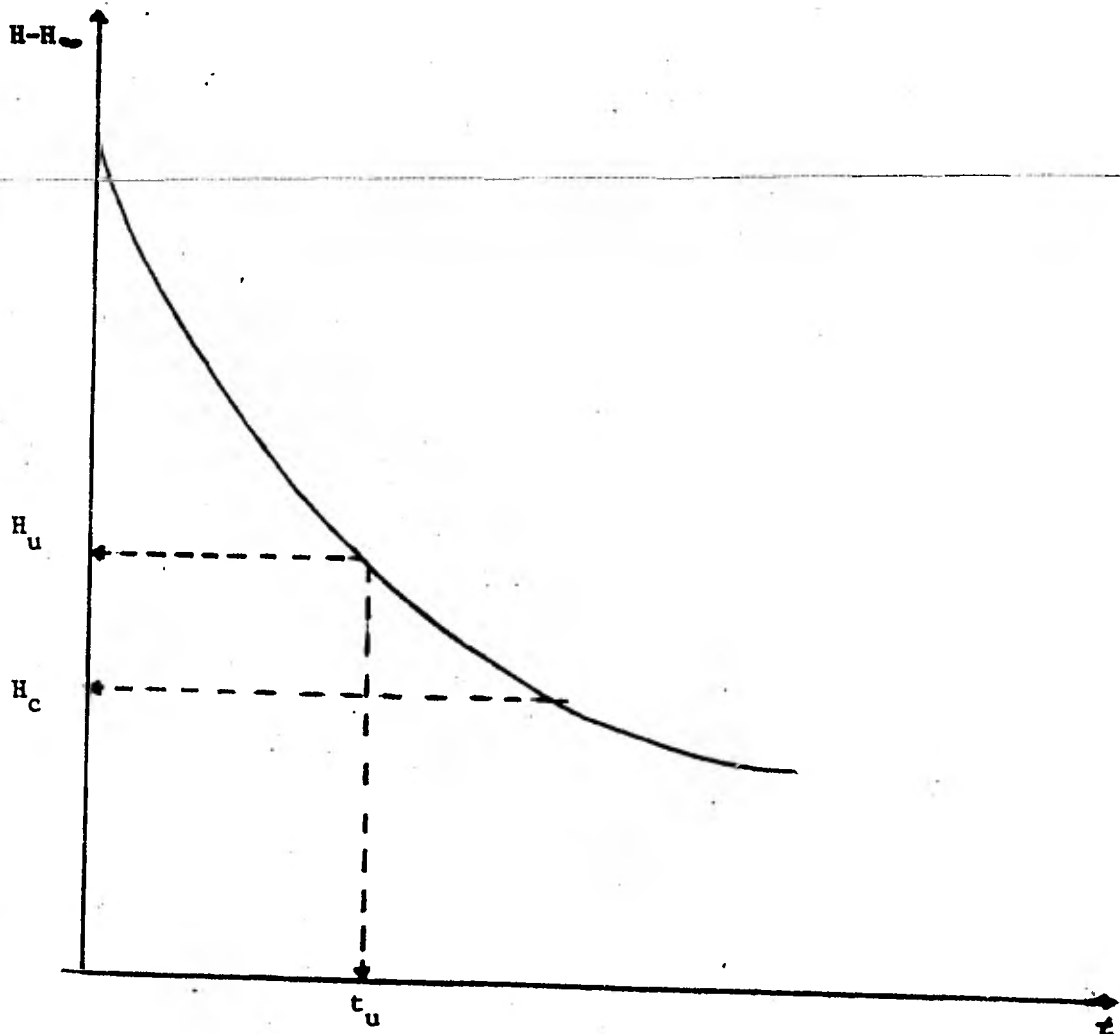
b)  $H_u > H_c$ 

Fig.7.

$$H_u = \frac{H_o C_o}{C_u}$$

5) Con  $C_u$  se calcula  $t_u$  graficando  $(H - H_{co})$  vs  $t$ :

a) Si  $H_u < H$  se traza una tangente a la curva que pase por  $(H_c, t_c)$  y donde se corte con  $H_u$  se tiene  $t_u$ : (fig. 6), b)  $H_u > H_c$  (Fig. 7)

Estos casos son inexactos, pero dan una idea para el diseño. En la práctica casi siempre se presenta el primer caso.

6) Con  $t_u$  se determina el flujo máximo de sólidos que pueden pasar por la zona de compresión  $G_t$ :

$$G_t = \frac{45 W}{t_u K} \quad (\text{ton sólidos/ft}^2\text{día})$$

$W$  = gramos

$t_u$  = min

$K$  =  $\text{cm}^3/\text{ft}$  (factor de conversión)

7) Con  $G_t$  se determina la profundidad de lodos  $P_d$ :

$$P_d = \frac{1.333 G_t v t}{W}$$

$P_d$  = pies

$v$  = volumen promedio de lodos en zona compresión

$t$  = tiempo promedio de compresión

$v$  y  $t$  se determinan de la gráfica  $H$  vs  $t$  con  $t$  de 0 a 24 h.

Se traza una línea paralela al eje de las abscisas que nos da una área aproximadamente igual al área bajo la curva entre los límites  $t_c$  y  $24h$ , donde corte la curva tenemos  $v$ .

Criterios de diseño.

- ° Para tanques intermitentes se recomiendan volúmenes con un sobrediseño de 25% por la acumulación de lodos.
- ° En tanques continuos la eliminación de lodos se hace mecánicamente.
- ° Es necesario la instalación de mamparas en tanques continuos.
- ° Los tiempos de residencia varían de 30 a 120 min.

TIEMPOS DE RESIDENCIA Y LONGITUDES APROXIMADAS

$t(\text{min})$	Long. tanque rectangular (fts)
30	150
45	200
60	225
90	250
120	300

Cuando el área del tanque ha sido establecido, el tiempo de retención del tanque está determinado por la altura del lecho.



TABLA No. 6 (7)

gpd/ft <sup>2</sup>	TIEMPO DE RESIDENCIA (hr) ALTURA (fts)			
	7	8	10	12
400	3.2	3.6	4.5	5.4
600	2.1	2.4	3.0	5.4
800	1.6	1.8	2.25	2.7
1000	1.25	1.4	1.8	2.2

° Velocidad de flujo en el vertedero:

	gpd/ft-lineal
tanques circulares	70 000
tanques rectangulares	215 000

° Materiales de construcción:

La selección del material apropiado depende del costo, clima, temperatura, y condiciones químicas. Generalmente los tanques industriales con diámetros mayores a 100 fts, son construidos con acero inoxidable. El concreto es preferible en tanques más grandes. La madera se utiliza para condiciones corrosivas. En unidades extremadamente grandes se utilizan basines cubiertos de plásticos por cuestión de economía.

° Para definir el tamaño final de un tanque de sedimentación, los criterios de diseño evaluados deben ser multiplicados por ciertos factores de diseño:

PARAMETRO	FACTOR DE DISEÑO
1) Velocidad de flujo	0.5 - 0.7
2) Areas unitarias:	
a) diámetros $\geq$ 100 fts	1.2
b) diámetros < 15 fts	1.5
3) Area (debido a pH, temp., concentración)	1.1 - 1.25
4) Altura de zona de compresión	1.75 (o 3 pies)

° En caso de no disponer de datos experimentales considerar:

altura de zona de alimentación: 2 fts (promedio)

altura de zona transición: 2-6 fts (valores más bajos para pulpas asentadas)

ra pulpas asentadas)

altura de zona de compresión: 3 fts (promedio)

III.- CLARIFICADORES

### Clarificadores.

El equipo utilizado para clarificación puede ser de muchos tipos, pero independientemente de eso debe satisfacer cada una de las etapas: coagulación, floculación y sedimentación.

En los diseños más antiguos de las unidades de clarificación se encuentran el dosificador de agentes químicos, el mezclador, - floculador y asentador separadamente. Las unidades modernas contienen todos los pasos y además existe la recirculación de lodos.

Un sistema de clarificación básico consiste del clarificador y del sistema de alimentación de químicos, el cual mide los aditivos químicos en proporción al flujo. Las reacciones químicas y los resultados de la adición química aparecen en la tabla no. 7.

Las dimensiones de una unidad básica de clarificación estandar está basado en la velocidad de flujo que en promedio es de 1 - gpm/ft<sup>2</sup> (0.5 - 1.5), con un tiempo de residencia de 90 a 240 min. El agua tratada contiene aproximadamente de 5 a 10 mg/l (ppm) de materia suspendida; y cuando se requiere, el calor puede reducirse a 5 unidades o menos.

La clave del proceso es la correcta dosificación de químicos en el punto correcto del sistema. Los aditivos químicos incluyen el coagulante en sí, un controlador de pH y frecuentemente aditivos del coagulante que aseguran los resultados.

### Tipos de clarificadores.

#### 1) Rectangulares.

Un tanque rectangular se muestra en la fig. 8. La remoción de sólidos es el más comúnmente utilizado y consiste de dos cadenas transportadoras sin fin. Ligados a estas cadenas en intervalos de aproximadamente 10 fts se encuentran una piezas de madera de 2 in de espesor y de 6 a 8 in de largo, los cuales extienden la materia sólida. La velocidad común lineal es de 2 a 4 pies/min. Los sólidos asentados son acumulados en pequeños tanques y transportados a otros más grandes, para ser colectados en uno o más receptores de lodos.

Los tanques rectangulares también pueden limpiarse mediante un mecanismo tipo puente que consiste de rieles que se encuentran en la superficie del tanque, arriba y abajo; adaptado a estos rieles se encuentra el mecanismo de barrido o palas que barren los lodos.

Los tanques rectangulares múltiples requieren de menor área que los circulares.

Un clarificador rectangular tiene una relación típica de largo a ancho de 4 a 1 (valores promedio). La remoción de lodos en un tanque de sedimentación rectangular generalmente está acompañado por un sistema aéreo que tiene la función de remover la materia flotante o superficial y llevarla al lugar de descarga.

#### Tanques circulares.

El diseño de tanques circulares ha sido estandarizado. Los tanques de 12 a 30 pies de diámetro tienen el equipo de remoción de sólidos suspendidos soportado en unas vigas que se encuentran en el tanque. Los tanques con diámetro mayores a 35 pies, emplean un soporte central donde se encuentra dicho mecanismo el cual está conectado con un puente donde se transportan dichos lodos.

En la mayoría de los diseños el agua cruda se alimenta en el centro del tanque donde hay un distribuidor que impulsa el agua con igual flujo en todas direcciones. La remoción mecánica es mediante un giro lento y puede contener 2 ó 4 brazos que barren los lodos. Los brazos también contienen cuchillas que remueven la espuma.

Un sedimentador circular se muestra en la fig. 10. El fondo del tanque tiene una pendiente de 1 in/ft, formando así un cono invertido.

Los tanques múltiples se arreglan por lo general en grupos de 2 ó 4 y el flujo se divide por medio de una cámara localizada entre los tanques.

En la fig. 9, la sección colada atiene una zona de transición entre la correspondiente a alta velocidad del influente a la zona de baja velocidad requerida en la correspondiente al asentamiento. Este cambio de velocidad debe ser cuidadosamente controlada para evitar turbulencias y cortos circuitos.

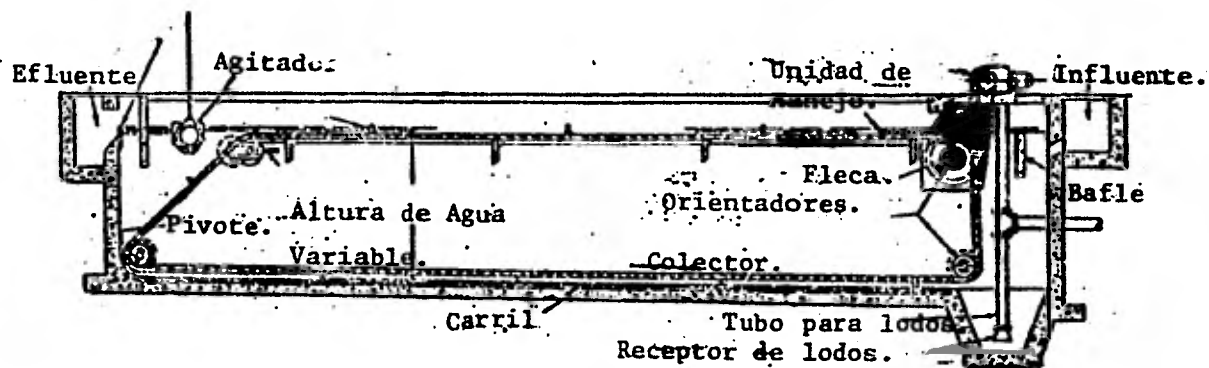


Fig.8. Clarificador Rectangular.

Perry & Chilton, Chemical Engineering Handbook, Mc.Graw Hill - Book Co. 3a. edición, pág 19-52...

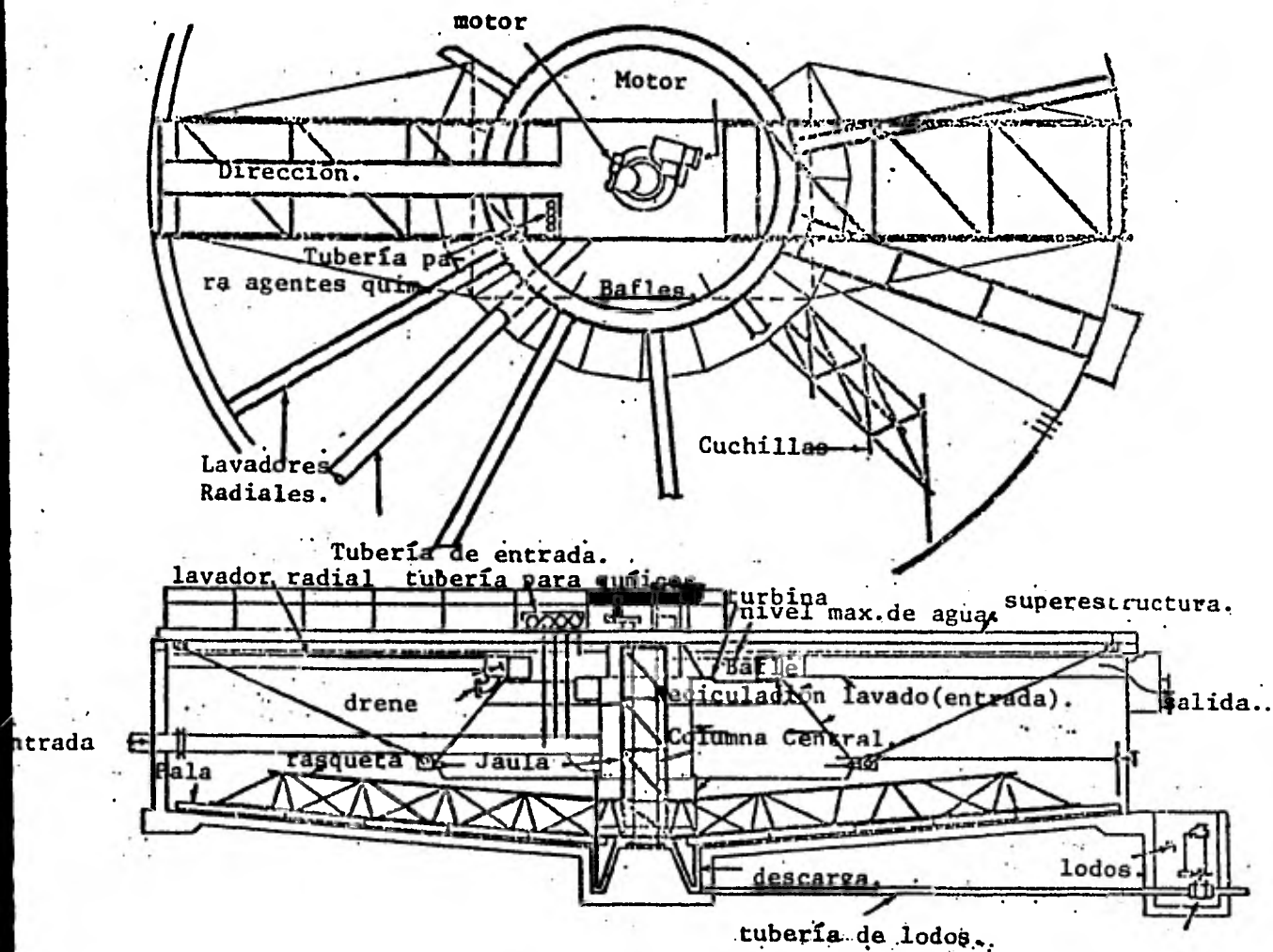


Fig.9. Clarificador-Reactor de Alta Velocidad Tipo Contactor de sólidos..



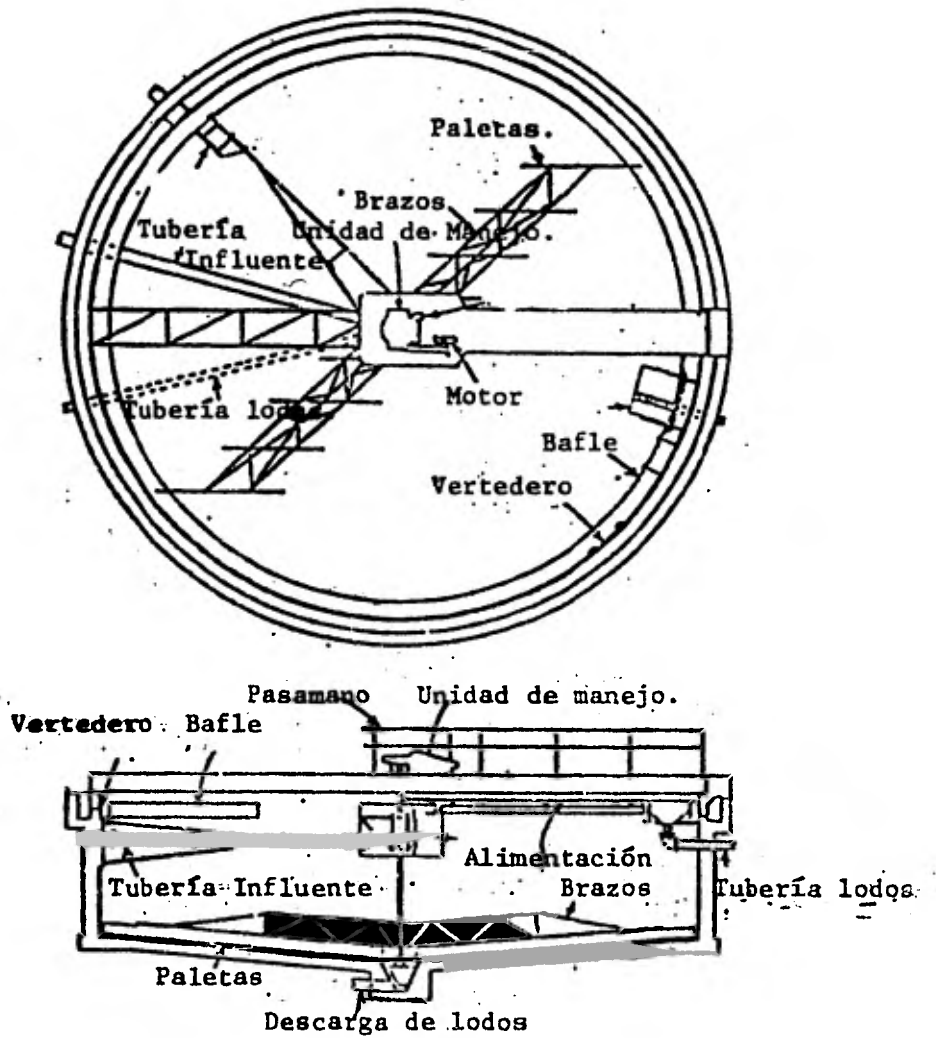


Fig.10. Clarificador Simple con Alimentación Central.

Algunos de los lodos colectados pueden ser recirculados, si es que se está aplicando el tratamiento químico de coagulación.

#### Clarificadores de asentamiento en plano inclinado.

Son dos modificaciones similares al diseño estandar de los clarificadores por gravedad los cuales reducen la distancia de -- caída de las partículas de lodo, aumentando la velocidad efectiva y por consiguiente reducen radicalmente el requerimiento de espacio para el clarificador. Estos son: 1) el equipo de asentamiento tubular y 2) el separador laminar clasificado como equipo de asentamiento plano inclinado.

El primero está constituido por una serie de tubos inclinados conectados a una cámara de floculación a la entrada, y a la salida a un medio de filtración (fig. 10).

El ángulo de inclinación varía dependiendo del efluente requerido. El separador laminar es más complicado pero tiene de hecho el mismo principio, en que las partículas tienen una muy pequeña distancia de asentamiento y los lodos acumulados se envían a un equipo - floculador.

#### Clarificadores específicos.

##### Clarificador tipo Spaulding.

En esta unidad el agua y los agentes químicos se agregan en la parte central que tiene forma de cono invertido. En la parte -

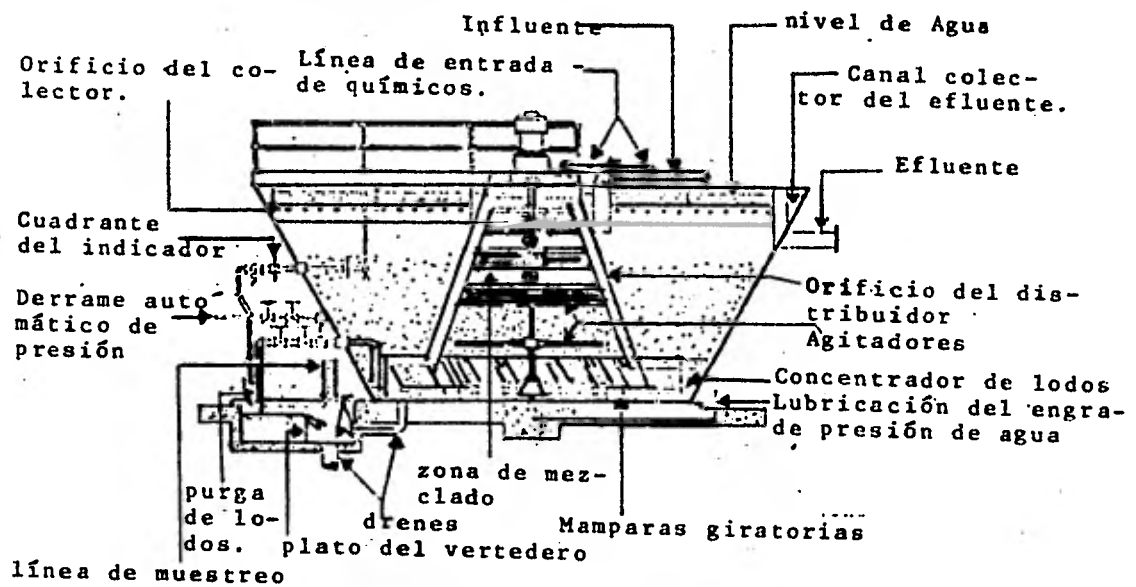


Fig.11. Tanque de Clarificación y Coagulación de Corriente ascendente tipo Spaulding.

Powell T. Shepard. Acondicionamiento de Agua para la Industria editorial Limusa, 1974.

superior el área de flujo es menor y el mezclado el cual es rápido, se lleva a cabo en dicha zona. A medida que el agua baja, su velocidad decrece dando comienzo la floculación. Posteriormente el agua - pasa por la parte interior del cono al compartimiento externo donde pasa a un lecho de lodos que se mantiene a nivel constante y donde - se realiza la floculación. El agua sigue ascendiendo hasta un nivel donde se decanta.

Si la velocidad de sedimentación es mayor que la del -- agua, los flóculos, precipitan; si son iguales es posible mantener - el nivel constante. El compartimiento externo tiene el área de flujo menor en la parte inferior del equipo, de tal manera que al ir ascendiendo el agua, va disminuyendo su velocidad, cuando esta es igual - a la sedimentación, se tiene el lecho de lodos. Para mantener el nivel de lodos constante es importante eliminar en forma continua; la cantidad eliminada debe ser igual a la floculada.

Accelerator.- (Aqua Process, S. A. de C. V.) Infilco.

La unidad de contacto de sólidos reúnen en una estructura unificada los procesos de mezcla, coagulación y floculación, acondicionamiento, separación de líquidos y sólidos y remoción automática de lodos. El agua cruda y los agentes químicos son mezclados en presencia de sólidos previamente precipitados que han sido mantenidos en suspensión. Esto acelerará las reacciones químicas, evita la formación de precipitados coloidales a causa de que la precipitación ocurre en las superficies de los flóculos previamente formados, y aumenta el

peso de las partículas de flóculos aumentando por consecuencia la velocidad de la sedimentación.

Es importante que la mezcla se maneje a velocidades controladas, puesto que pequeñas cantidades de agentes químicos se deben -- combinar con una gran masa de agua; además una cierta cantidad de sólidos deben ser mantenidos en suspensión y en contacto con agua cruda efluente.

Las operaciones de mezcla, coagulación y acondicionamiento de flóculos son normalmente efectuados en periodos que varían de 15 a 30 min, dependiendo del tratamiento empleado y de la temperatura del agua.

Este periodo puede ser llamado periodo de contacto de -- sólidos y la acción obtenida durante este tiempo es muy importante para el rendimiento apropiado de una unidad de contacto de sólidos.

En lo que se relaciona al diseño del decantador y sus dimensiones, los dos factores que se tienen en cuenta son:

- 1) El tiempo en la zona de contacto de los sólidos.
- 2) La máxima velocidad del flujo ascendente en la zona de clarificación.

El accelerator comprende:

- 1) Caño de entrada de agua cruda y conducto de distribución
- 2) Zona de mezcla y reacción primaria.

- 3) Dos tubos de aspiración concéntricos que forma la zona secundaria de mezcla y reacción.
- 4) Un rotor impulsor para mezcla y bombeo accionado por un reductor de velocidades motorizado.
- 5) Un sistema de batea para el líquido efluente.
- 6) Concentraciones para recoger y remover el exceso de sólidos.

Los agentes químicos son comúnmente introducidos en la zona primaria de reacción y mezcla, aunque pueden entrar en la línea de agua cruda o en la zona secundaria de mezcla y reacción.

Las reacciones ocurren en presencia de un "slurry" de -- precipitados previamente formados y el producto resultante, granular o floculento está casi inmediatamente listo para separación.

De la zona de reacción primaria el agua cruda, más 3 a 5 volúmenes de slurry recirculando pasan a la zona de mezcla y reacción. Aquí el contacto continuado con el "slurry" lleva las reacciones del tratamiento o equilibrio antes de su descarga dentro de la parte exterior del decantador para la separación de sólidos. Al dejar la zona secundaria, o sea el tubo exterior de aspersion, el "slurry" es -- descargado hacia afuera, hacia abajo y a la superficie del estanque -- del slurry.

Todo el slurry está en movimiento direccional hacia afuera y hacia abajo y de esto un volumen de agua tratada igual al volu--

men de agua cruda influente es desplazada hacia arriba. Los restantes de 3 a 5 volúmenes de "slurry" circulantes son inducidos devuelta a la zona de reacción primaria por medio del rotor impulsor.

Estas características de flujo dirigido y separación -- del agua tratada en movimiento del "slurry" circulante en una dirección de aproximadamente ángulo recto a la dirección principal de flujo "slurry".

Es un principio distintivo de operación de la unidad -- Accelerator que vence varias limitaciones inherentes a otras unidades de contacto de sólidos. Por ejemplo, en la unidad accelerator la superficie del estanque "slurry" es constante e independiente del caudal. Pequeños flujos tienen el mismo contacto con el "slurry" que grandes flujos.

Además la tasa del agua tratada de salida en el accelerator no es controlada por un flujo ascendente a través de una suspensión de lodo que impondría un límite muy definitivo en la máxima velocidad ascensional posible. Puesto que el agua tratada se separa en la superficie de la suspensión de sólidos en movimiento descendentes, la máxima velocidad ascensional o tasa de desborde es solamente limitada por la velocidad de sedimentación de la partícula individual bien floculada. Esta velocidad de sedimentación es siempre apreciablemente mayor que la velocidad de sedimentación de una suspensión espesa de las mismas partículas, con lo que se obtiene más rápida separación de líquidos.

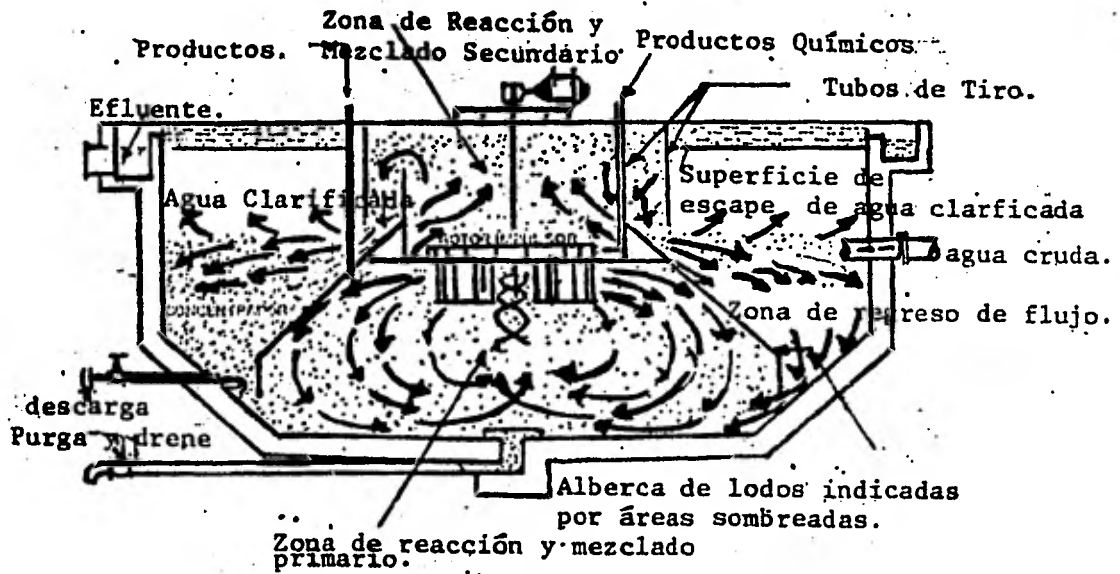


Fig.12. Tanque de Flujo Rápido.

Powell T. Shppard, Acondicionamiento de Aguas para la Industria y otros usos, Editorial Limusa, 1974.



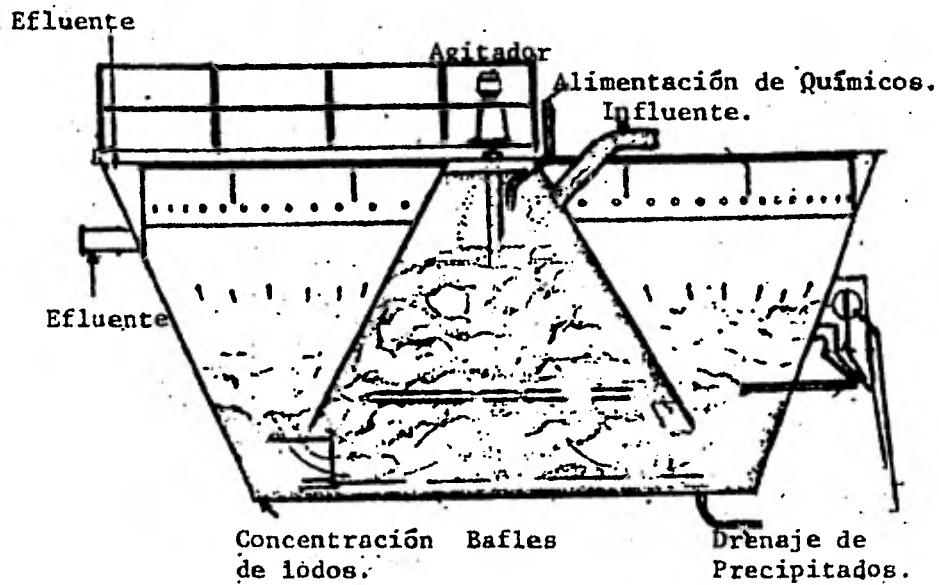
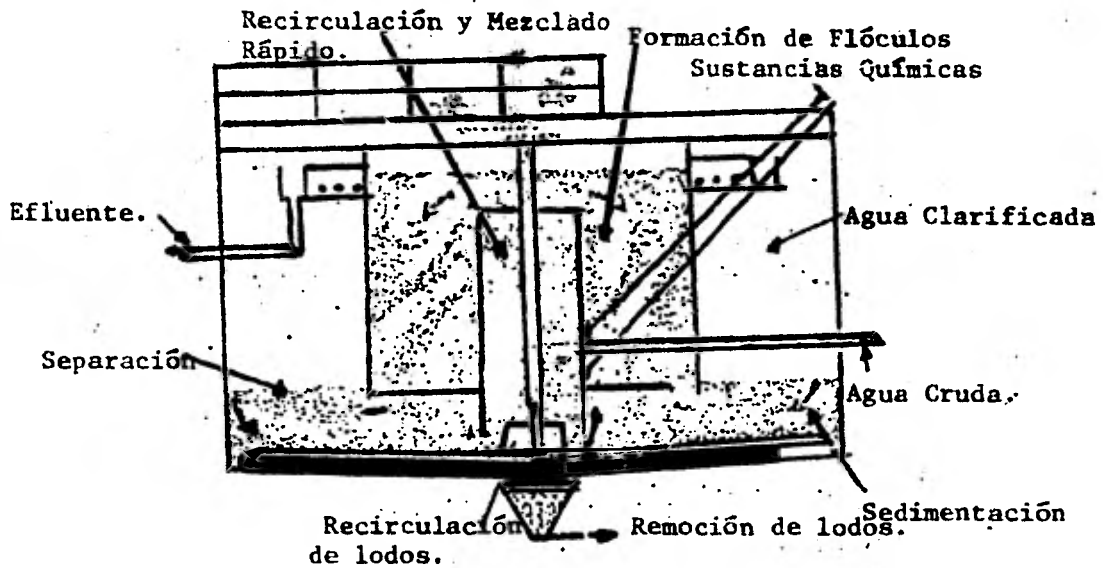
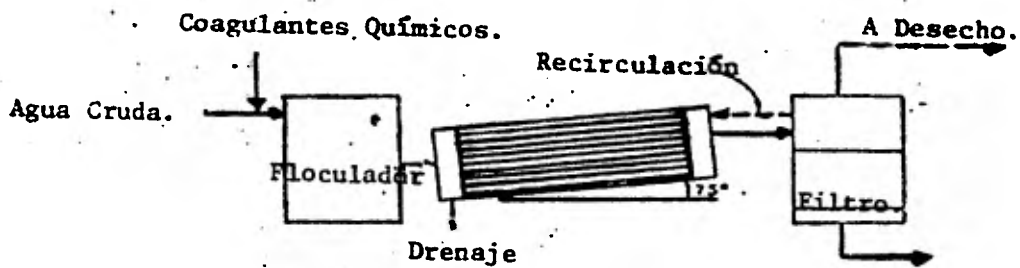
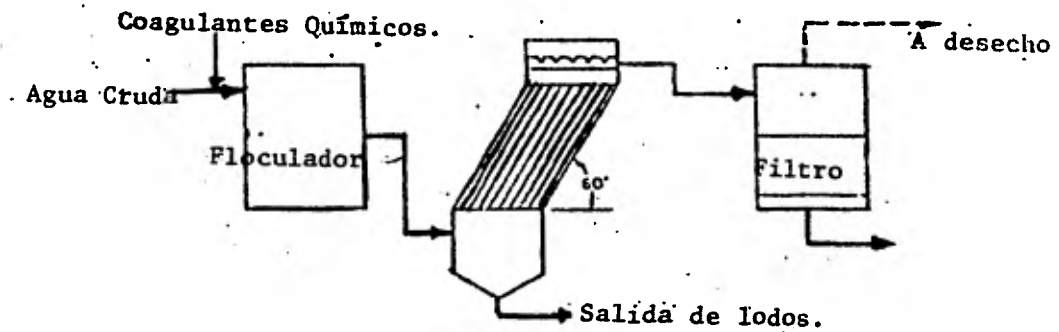


Fig.13. Clarificadores.

The Nalco Water Handbook, Nalco Chemical Co., Mc Graw Hill Co., 1a ed., N.York (1979). pág.9.9.



Asentador Tubular Horizontal



Asentador Tubular Inclinado.

Fig. 10.

El rotor impulsor produce una acción hidráulica potente en la zona primaria. Agua influente, los agentes químicos y "slurry" son rápidamente mezclados para obtener las ventajas reconocidas del tratamiento con contacto de sólidos y prevenir el reposamiento del lodo en el fondo decantador.

El rotor impulsa, mueve grandes volúmenes de agua a una relativamente baja velocidad, evitando así la destrucción del flóculo. La recirculación del "slurry" es siempre bajo positivo control que puede ser ajustada. Debido a las características unidades de diseño del rotor impulsor su máxima velocidad periférica es normalmente menor de 1.2 m/seg y la potencia necesaria es nominal.

El lodo es descargado de los concentradores a través de grandes líneas de extracción provistas con una válvula de descarga que opera en un ciclo ajustable de tiempo.

El promedio de turbidez obtenido es de 5 unidades.

#### Pulsator.

El agua se introduce en la parte inferior por medio de una serie de tubos perforados en forma intermitente, pasa por un lecho de lodos, donde debido a la forma de alimentación el volumen aumenta y disminuye alternativamente. En la parte superior se encuentra otra serie de tubos por las que se recoge el agua y donde se evitan irregularidades. En un lado del mismo se encuentra un decantador de fangos.

Para eliminar el agua en forma intermitente en el centro del aparato hay una campana en la que se hace vacío absorbiendo el flujo de agua a tratar; el agua, entonces, pasa por los orificios de los tubos inferiores. Las purgas se efectúan de manera intermitente.

#### Circulator.

Es un floculador decantador con recirculación de fangos; está constituida por una cuba cilíndrica cónica; el agua se introduce por la parte inferior mediante una tubería a un eyector que realiza la mezcla íntima con los reactivos y la aspiración del lecho de fangos anteriormente floculados que de esta manera se recirculan y entran en contacto con el agua a tratar.

Los reactivos pueden introducirse en la base del difusor o en el agua cruda antes de entrar al clarificador. El equipo puede ser atmosférico o a presión.

#### Diseño.

El dimensionamiento, propiamente dicho, de una unidad de clarificación se basa fundamentalmente en la determinación de la altura de la zona de sedimentación, donde se aplica el procedimiento anteriormente explicado. Las características propias de los dispositivos de dosificación de químicos, floculación, etc., son elegidos dependiendo de las características del influente como son gasto y contenido de sólidos y de las propiedades deseadas en el efluente, así como de un balance económico (mediante convenios con fabricantes).

TABLA No. 7 (8)

CARACTERISTICAS DE LOS ADITIVOS QUIMICOS ACIDOS COMUNMENTE  
UTILIZADOS EN TRATAMIENTO DE AGUA PRIMARIA (COAGULACION)

ADITIVO QUIMICO	ESPECIFICACION	FORMULA	P.M.	PUREZA %	CAMBIO EN CATIONES Y ANIONES (como ppm CaCO <sub>3</sub> )	
					AUMENTO	DISMINUCION DE ALCALINIDAD
Sulfato de aluminio	15.3% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · 18H <sub>2</sub> O	666	95-99%	Sulfato 0.45	0.45
Alumina de Amonia	-	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 24H <sub>2</sub> O	906	-	Sulfato 0.44	0.33
Alumina de potasio	-	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 24H <sub>2</sub> O	949	-	Sulfato 0.421 Potasio 0.421	0.316
Ferrisol	25.2% Fe <sup>3+</sup>	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	400	94.4%	Sulfato 0.105	
		FeSO <sub>4</sub>	152	0.4%	0.710	0.710
Ferrifloc	20.5% Fe <sup>3+</sup> 0.42% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	400	73.4%	Sulfato 0.57	0.47
		FeSO <sub>4</sub>	152	2.04%		
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98	0.42%		
Acijes (Cu)	19.68% Fe	Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> 7H <sub>2</sub> O	278	98%	Sulfato 0.35	0.35
Cloruros	99.62% Cl <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>	71	100%	Cloruro 1.41	1.41
Acijes Clorinados	-	8FeSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O + 1Cl <sub>2</sub> por peso	-	-	Sulfato 0.31 Cloruro 0.15	0.47
Cloruro Férrico	60% FeCl <sub>3</sub>	FeCl <sub>3</sub>	162	60%	Cloruro 0.56	0.56

TABLA No. 8 (9)

COAGULANTES MAS COMUNES EN FUNCION DEL pH

pH	COAGULANTE
5.5 - 8	Alúmina, coagulantes sintéticos
8 - 11	Sulfato férrico, sulfato ferroso
5 - 6	Sulfato férrico

TABLA No. 9 (10)

COAGULANTE, CANTIDADES RECOMENDABLES Y pH OPTIMO DE OPERACION

NOMBRE	COAGULANTE		AGENTE ALCALINIZANTE			OTROS AGENTES		USOS
	pH	DOSIS	CAL-HIDRATADA	SOSA CAUSTICA	SODA ASH	A	B	
Alumbre $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	6-8	15-100	Igual a 1/3 de dosis de alumbre	36% de dosis de alumbre	50-100 % de alumbre			mayor uso.
Aluminato de sodio (50% $Al_2O_3$ )	6-8	5-50 g/m <sup>3</sup>				$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (dosis igual a la del alu- minato de so- dio.)	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (dosis: 12.5% de - aluminato de sodio.)	Remoción de calor. Aguas corrosivas, complemento de -- cal-carbonato)
Alumbre con alu- minato de sodio (50%)	5-6	alumina- to 78% menor - que alum- bre.						Remoción de calor reduco sílice. Complemento cal-- carbonato.
Sulfato ferroso $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	4-3	5-25 g/m <sup>3</sup>	26% de sulfato ferro- so.			Cloro 12% de sulfato ferro- so	$KMnO_4$ 57% de sulfato ferroso.	Aguas muy turbias complemento cal-- carbonato.
Sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	9-3	10-50 g/m <sup>3</sup>	40% de sulfato férric- co.					Aguas muy turbias inconvenientes: mu- cho mat. orgánico en solución. Soluciones corro- sivas.
Sulfato de cobre $CaSO_4 \cdot 5H_2O$		5-20 g/m <sup>3</sup>	30% de la de sulfato de cobre					Eliminación de co- lor, olor, sabo- res vegetales, - algas.

CONTINUACION TABLA No. 9

NOMBRE	COAGULANTE		AGENTE ALCALINIZANTE			OTROS AGENTES		USOS
	pH	DOSIS	CAL-HIDRATADA	SOSA CAUSTICA	SODA ASH	A	B	
Cloruro férrico $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	5	5-30 g/m <sup>3</sup>						Aguas negras sol. corrosivas.
Cloruro de alu- minio. $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		12-40 g/m <sup>3</sup>						
Alumbre de amo- nio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot$ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot$ $24\text{H}_2\text{O}$								Tanque a presión



TABLA No. 10

COAGULANTES COMERCIALES (11)

NOMBRE	FORMULA	CONCENTRACION COMERCIAL	FORMAS DISPONIBLES	PESO lb/ft <sup>3</sup>	MATERIA CON QUE SE MANEJA
Sulfato de aluminio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	17% $Al_2O_3$	terrón, polvos gránulos	polvo: 38-45 otros: 37-67	Plomo, hule, hierro de silicio
Aluminato de sodio	$Na_2Al_2O_4$	55% $Al_2O_3$	Cristales	60	hierro, acero, hule, plásticos
Alumbre de amonio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot$ $(NH_4)_2 SO_4 \cdot 24H_2O$	11% $Al_2O_3$	Terrón	60-68	plomo, hule, hie rro al silicio.
Sulfato ferroso	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	55% $FeSO_4$	Cristales	63-68	plomo, estaño, madera
Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3$	90% $Fe(SO_4)_3$	polvo, gránulos	60-70	plomo, hule, ace ro inoxidable, plástico
Cloruro férrico	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	60% $FeCl_3$	cristales	45-55	hule, vidrio
Oxido magnesio	MgO	95% MgO	polvo	25-35	hierro, acero
Bentonita	-		polvo	60	hierro, acero
Silicato sodio	$Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$	41 °Bé	sol	87	hierro, acero, hu le

TABLA No. 11 (12)

MODIFICACION DEL ANALISIS INICIAL POR LA ADICION DE COAGULANTES

COAGULANTE	FORMULA	REDUCCION ALCALINIDAD (ppm CaCO <sub>3</sub> )	INCREMENTO SULFATO (ppm CaCO <sub>3</sub> )	INCREMENTO DE BIOXIDO DE CARBONO ppm CO <sub>2</sub>
Alumbre	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · 18H <sub>2</sub> O	0.45	0.45	0.40
Alumbre amonio	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 24H <sub>2</sub> O	0.33	0.44	0.29
Alumbre potasio	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 24H <sub>2</sub> O	0.32	0.43	0.28
Sulfato ferroso	FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.36	0.36	0.31
Sulfato ferroso clorinado	FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O + $\frac{1}{2}$ Cl <sub>2</sub>	0.54	0.36	0.48
Sulfato férrico (100%)	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0.75	0.75	0.66

CONTINUACION TABLA No. 11

ALCALI (1 ppm)		INCREMENTO ALCALINIDAD (CaCO <sub>3</sub> )	INCREMENTO CALCIO (ppm CaCO <sub>3</sub> )	REDUCCION CO <sub>2</sub> (ppm CO <sub>2</sub> )
Soda ash	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.94	-	0.41
Sosa cáustica	NaOH	1.23	-	1.08
Cal-hidratada (93%)	Ca(OH) <sub>2</sub>	1.26	1.26	1.11
Cal-viva (90%)	CaO	1.61	1.61	1.41
ACIDOS (1 ppm)		REDUCCION ALCALINIDAD (ppm CaCO <sub>3</sub> )	INCREMENTO SULFATO (ppm CaCO <sub>3</sub> )	INCREMENTO DE CO <sub>2</sub> (ppm CO <sub>2</sub> )
Acido sulfúrico (90%)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.00	1.00	0.88
Acido sulfúrico (66 °Bé)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.95	0.95	0.84
Acido sulfúrico (60 °Bé)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.79	0.79	0.70

TABLA No. 12

TANQUES DE CLARIFICACION NORMALES (13)

	CILINDRO-CONICO	DE FLUJO HORIZONTAL	
		Sin barrido lodos	Con barrido lodos
Flujo agua cruda	pequeño (90 gpm)	muy grandes	muy grandes
Turbidez del agua cruda	no funciona turbidez alta	no funciona bien con turbidez lenta	turbidez pesado y material -- pesado que sedimenta rápido.
Variaciones en la carga de agua cruda	-	-	-
Eliminación lodos	Continua	Intermitente	Continuo
Tiempo de retención	1 a 1.5 horas	Floculador: 20-60 min. Sedimentador: 4 horas	Floculador: 20-60 min Sedimentador: 4 horas
Espacio requerido	pequeño	grande	grande
Sistema agitación	-	-	rosquetas o aspas
Material de construcción	acero, concreto	concreto	concreto

TABLA No. 13

TANQUES DE CLARIFICACION FLUJO RAPIDO (14)

	LECHO DE LODOS		RECIRCULACION LODOS	
	SPAUDIN	PULSATOR	ACCELERATOR	CIRCULATOR
Flujo de agua cruda	50-6940 gpm (comerciales)		250-10 000 gpm (comerciales)	pequeña y media capacidad
Variaciones en la carga de agua cruda	SI	SI	SI	SI
Variaciones en turbidez de agua cruda	SI	SI	SI	SI
Turbidez del efluente	Baja	Baja	Baja (10 ppm)	
Eliminación de lodos	Continua	Continua	Continua	Continua
Tiempo de retención				45 min
Velocidad de agua cruda unitario			2.25-2.50 gpm/ft <sup>2</sup> de separación	
Espacio requerido	pequeño	pequeño	pequeño	pequeño
Sistema agitación		Intermitente		Eyector de agua
Material construcción	Acero, concreto	Acero y concre to	Acero y concreto	Acero y concre- to

TABLA No. 14

VELOCIDADES A LAS CUALES LAS PARTICULAS SUMERGEN EN EL  
AGUA (10 °C, 2.65 g/cm<sup>3</sup>) (15)

DIAMETRO DE PARTICULA (mm)	CLASIFICACION	VELOCIDAD DE SUMERSION (ml/s)	VELOCIDAD DE FLUJO (gpm/ft <sup>2</sup> )
10.0 1.0 0.6	grava	1000.0 100.0 63.0	1475.0 148.0 93.0
0.4 0.2 0.1 0.06	arena gruesa.	42.0 21.0 8.0 3.8	62.0 31.0 11.8 5.6
0.04 0.02 0.01	arena fina	2.1 0.62 0.154	3.1 0.91 0.227
0.004	sedimento	0.0247	0.036*

\* se requiere coagulante.

TABLA No. 15

GASTO POR AREA DE SISTEMAS TIPICOS (16)

COAGULANTE	gal/día ft <sup>2</sup>
sin coagulante	600 - 1200
alúmina	500 - 600
fierro	700 - 800
cal	1400 - 1600

Criterios Generales:

- ° inclinación del tanque para evaluación de lodos: 45° - 60°
- ° Velocidad de rotación de espas del floculador: 5 rpm
- ° Velocidad de rosquetas:
  - Tanques rectangulares: 1 cm/seg
  - Tanques circulares: 2-3 rph
- ° Clarificador Spaulding:
  - Velocidad ascensional agua:  $\leq 2$  m/hr
  - Tiempo de retención: 1 - 1.5 h
  - Area de decantación: caudal honorario entre 4 ó 6
- ° Clarificador Accelerator:
  - Masa velocidad: 2.25 - 2.5 gpm/ft<sup>2</sup>
  - Profundidad de lodos,
    - a) unidades pequeñas: 10 pies (valores promedio)
    - b) unidades grandes: 26 pies (valores promedio)
- ° Circulator:
  - Tiempo retención: 45 min
  - Velocidad ascensional agua:  $\leq 2$  m/hr
- ° Relación L/A de clarificadores rectangulares: 1-4 (promedio)
- ° Masa velocidad estandard para una unidad de clarificación: 1 gpm/ft<sup>2</sup>  
(promedio)
- ° Tiempo de residencia estandard para una unidad de clarificación:  
90 - 240 min
- ° Concentración estandard del efluente: 5 a 10 mg/l.
- ° Velocidad lineal común de tanques rectangulares: 2-4 pies/min



- Tiempo de retención en floculador: 20 a 60 min.
- Tiempo de retención en zona asentamiento: 2 - 6 hr
- Velocidad en tanque de sedimentación: 0.5 - 3 ft/min

IV. FILTROS

**FILTROS.****EQUIPO.-**

El tipo de filtro más comúnmente utilizado en el tratamiento de agua es el llamado filtro de arena o filtros con 2 ó más lechos, de grava y arena.

Las variaciones en el filtro son más numerosas que las variaciones en el clarificador. La mayoría de los filtros operan a períodos de tiempo limitados. Cuando la caída de presión aumenta a un nivel dado el filtro se atasca por lo que requiere de una limpieza de retrolavado.

Todos los filtros requieren de una cabeza de presión para que el agua fluya a través de la unidad. El filtro a presión emplea el uso de una bomba para forzar el agua a través del mismo. Similarmente el filtro de gravedad se le denomina así debido a la fuerza de la gravedad.

Se utiliza una filtración sobre lecho filtrante, cuando la cantidad de materiales que deben retenerse es grande y la dimensión de partículas contenidas en el agua es relativamente pequeño. Efectivamente, para que una filtración de este tipo sea eficaz, es preciso que el o los materiales que componen el lecho se elijan cuidadosamente tanto en su granulometría como en la altura de capa, de forma que el filtrado responda a la calidad deseada.

Puede efectuarse esta filtración sin acondicionamiento - previo del agua: es el caso de la filtración, lenta o rápida, de una agua de la que sólo se desea reducir su contenido en materia en sus-- pensión, sin actuar sobre su color o su contenido en materia orgánica.

Cuando se pretende obtener la clarificación óptima de un agua, por filtración rápida, es necesario acondicionarla previamente por adición de reactivos con o sin decantación.

El buen funcionamiento de un filtro depende del perfecto reparto a través de la masa filtrante del agua a filtrar, del agua de lavado y eventualmente del aire, si se utiliza este fluido en el lava do. Tiene por lo tanto una importancia fundamental la forma recogida de agua filtrada y del reparto de agua de lavado, así como el sistema que se adopta como soporte del lecho filtrante.

Según las características de las partículas que deben re tenerse, puede efectuarse la filtración sobre una capa de mayor o menor altura, de material homogéneo, sobre 2 ó varias capas de diferente granulometría de materiales homogéneos a cada nivel o por último - sobre una o varias capas de materiales de granulometría totalmente he terogénea y escalonada.

La eficacia de un filtro depende fundamentalmente del sis tema de regulación de su caudal, su regulación individual, deben estar al abrigo de cualquier fluctuación y la regulación en conjunto de las instalaciones debe evitar los golpes rápidos e importantes del caudal,

en cada filtro tanto en los periodos de cambio de caudal general, como durante la fase del lavado, ya que en caso contrario, las materias retenidas por el lecho atraviezan rápidamente el filtro que es traspasado prematuramente por la materia en suspensión del agua.

Para asegurar una buena filtración, un filtro debe reunir numerosas condiciones. No existe un filtro universal, sino filtros adaptados especialmente a cada uno de los problemas que se plantean.

Los flóculos que resultan de la coagulación total del agua se eliminan en su mayor parte en el proceso de decantación; el agua que llega a los filtros sólo contiene trazas de flóculos cuya cohesión depende de los reactivos utilizados. Con una buena decantación, los filtros se encuentran en la situación ideal que consiste en recibir una agua de calidad prácticamente constante y poco cargada.

La filtración viene a ser, entonces, un tratamiento de acabado y de seguridad necesaria cuando se destine el agua a consumo público o a tratamiento industrial de productos.

La velocidad de filtración depende de la calidad del filtrado que se desee; puede variar entre 5 y 15 m/h según la calidad del agua decantada y de la naturaleza de los filtros utilizados.

En tratamiento de agua se utilizan principalmente dos tipos de filtros:

- 1) a presión.
- 2) por gravedad.

Este último se utiliza cuando se manejan grandes volúmenes de agua.

#### Filtros a presión.

Los filtros a presión están formados por una coraza metálica cilíndrica donde se encuentra una capa de medio filtrante (arena) soportado por capas de grava. El ciclo de filtración se constituye por:

- 1) filtración.
- 2) retrolavado.
- 3) Enjuague.

Los filtros a presión pueden ser verticales u horizontales. Dependiendo de los requerimientos, las instalaciones pueden contar con varias unidades. En estas unidades la filtración se efectúa pasando el agua en flujo descendente a través de un lecho de arena fina soportada por lechos de grava graduada.

Los accesorios de los filtros a presión son principalmente:

- a) drenes:
  - 1) Para recoger el agua filtrada en la operación de filtrado.
  - 2) Para distribuir el agua de retrolavado.
- b) boquillas para cabezal

- c) deflectores de entrada
- d) controladores de flujo de retrolavado
- e) indicadores de pérdida de carga
- f) indicadores de flujo
- g) controladores de flujo
- h) lavadores superficiales rotatorios

Los filtros a presión se operan a 3 gpm/ft<sup>2</sup>. La operación de filtrado se continúa hasta que los indicadores de pérdida de carga muestran que se deben retrolavar los filtros ( $\Delta P = 5$  psi). El equipo de lecho suspendido usado para eliminar materia insoluble por coagulación está teniendo buena acogida debido a la alta eficiencia.

Cuando los indicadores de pérdida de carga indican que la unidad filtrante debe retrolavarse, el filtro se pone fuera de servicio, se retrolava, se pone a filtrar mandando las primeras porciones de agua al drenaje y luego se vuelve al servicio (15 min).

Los filtros operan en baterías de dos o más unidades, diseñadas de tal manera que mientras una unidad está lavándose la otra puede absorber el flujo total. El flujo mínimo para retrolavar un filtro a presión son 10 gpm/ft<sup>2</sup> y se prefieren flujos más altos. El retrolavado dura de 8 a 10 min.

Una alta concentración de materia suspendida, altos niveles de filtración y bajos flujos de retrolavado, son factores que pueden influir en que un filtro falle, conduciendo a la necesidad de cam-

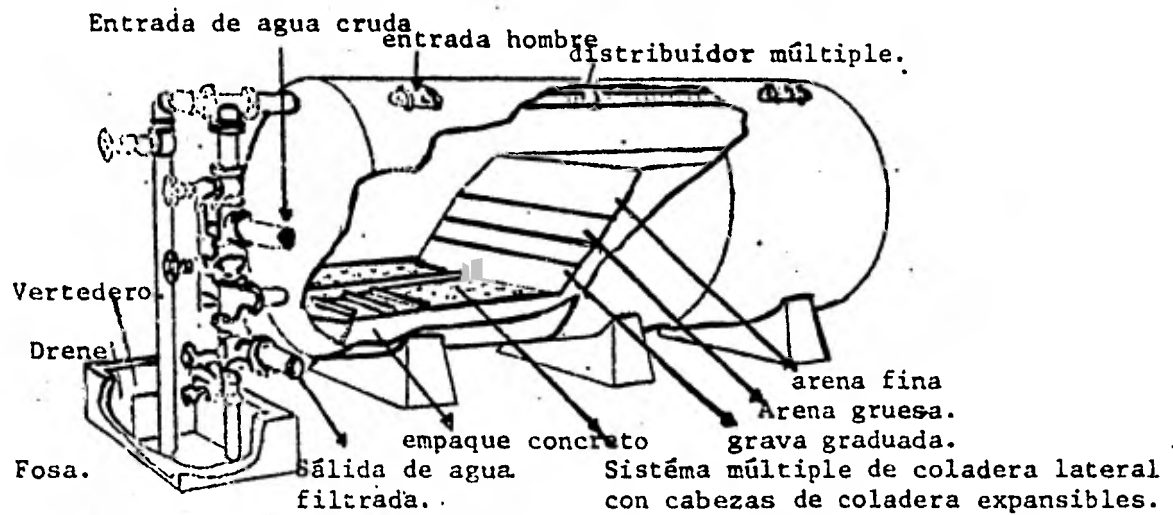
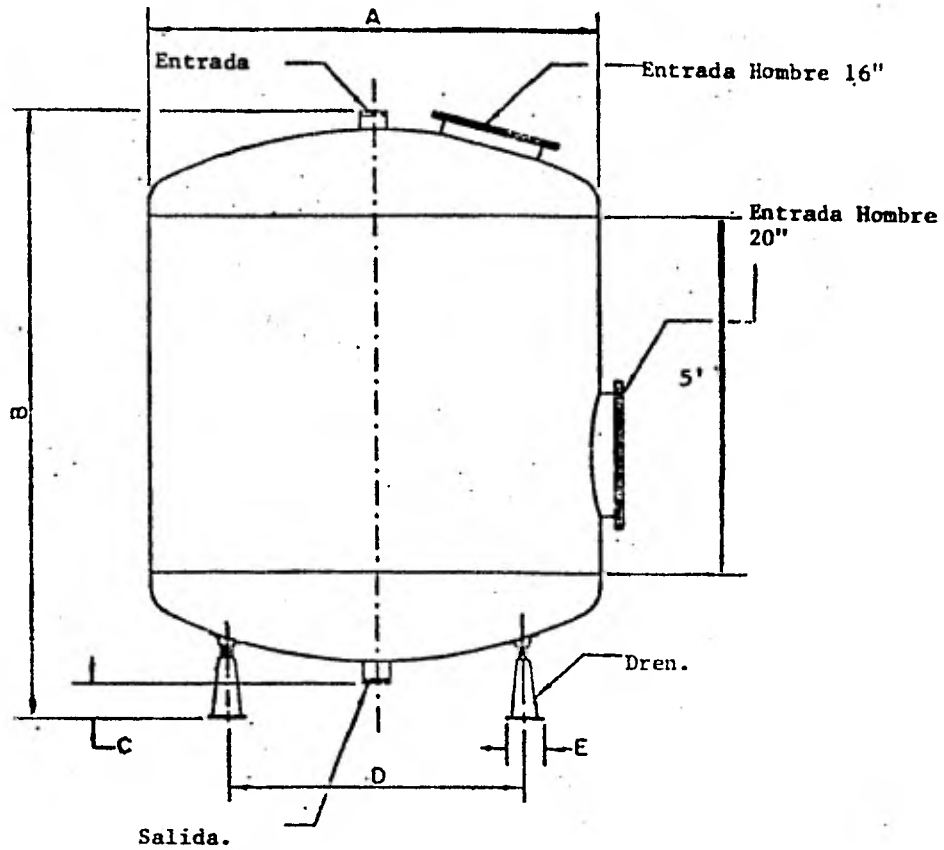


Fig.14. Filtro Horizontal de Presión.





A	B*	C*	D	E	Dren		Entrada y Salida.
					Modelo	No. Requerido	
4'	7'-10"	7"	2'-8"	6"	4410	4	4"
5'	7'-11"	8"	3'-4"	6"	4412	4	4"
5'	8'-4"	7"	4'-0"	6"	4412	4	4"
7'	8'-1"	9"	4'-8"	6"	4416	4	4"
8'	9'-5"	9"	5'-4"	6"	4416	4	4"
10'	10'-4"	9"	6'-10"	8"	4418	5	6"
12'	10'-7"	10"	7'-6"	8"	4418	6	6"

Fig.14. Filtro a Presión  
(Sivalls Tanks Company).

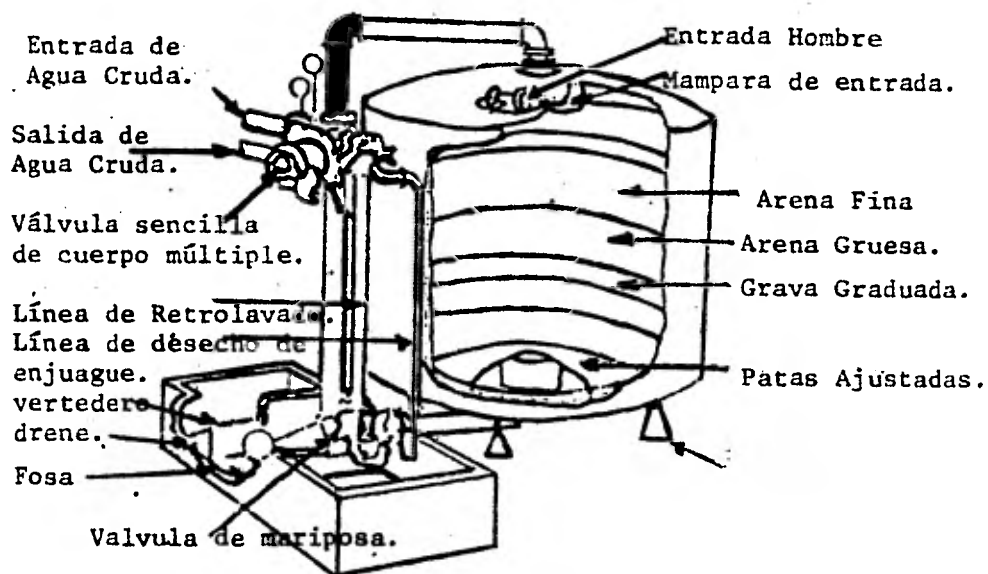


Fig.15.Filtro Vertical de Presión.

biar el lecho filtrante.

En los filtros a presión no se presenta problema de desprendimiento de aire disuelto en agua, ya que la solubilidad del aire en agua bajo presión es varias veces más alta que en el agua a presión atmosférica.

#### Filtros por gravedad.

En un filtro por gravedad el flujo filtrado resulta de la presión hidrostática de la columna. Estos filtros se utilizan en casos donde no se requieren altas velocidades; las ventajas de los filtros por gravedad son: su gran simplicidad y su bajo costo inicial.

Los filtros por gravedad no se usan tanto en la industria como los filtros a presión. Para aplicaciones industriales se usan gastos de 3 gpm/ft<sup>2</sup>. Pueden construirse de madera, concreto o acero y la forma más usada es la rectangular. El filtro se monta sobre una cisterna de la cual se toma el agua para servicio general y para retrolavado. Las canaletas de lavado, ya sean de concreto o de fierro, que están situadas en la parte superior del filtro, tienen el doble propósito de distribuir el agua durante la filtración y coleccionar el agua de retrolavado cuando se efectúa esta operación. En el fondo del filtro está el sistema colector que sirve para recoger el agua durante la filtración y distribuirla durante la operación de retrolavado. Esto puede consistir de un cabezal perforado en el cual se colocan las trampas.

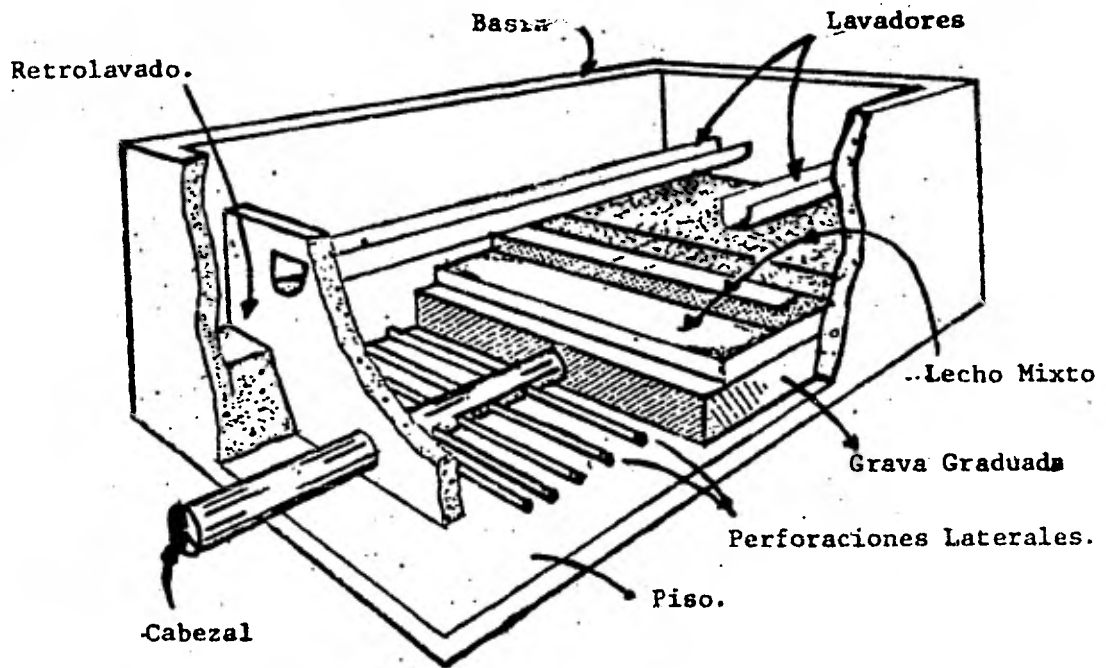


Fig.16.  
 Filtro por Gravedad.  
 (Neptune Microfloc.Incorporation)

Los accesorios de los filtros por gravedad son:

- a) Sistema recolector
- b) Mesas de operación
- c) Controladores de flujo
- d) Controladores de flujo de retrolavado
- e) Manómetros para flujo
- f) Manómetros indicadores de pérdida de carga
- g) Manómetros indicadores de nivel para la cisterna
- h) Lavadores de superficie

Filtros automáticos sin válvula.

En estos filtros el sistema recolector consiste de un -- fondo falso con perforaciones a los que se ajustan trampas de plástico. No es necesario usar una capa de grava y arena gruesa.

El ciclo de operación es el siguiente: El agua coagulada y asentada proveniente de una fuente de nivel constante (reactor de lecho suspendido) entra al filtro a través de una tubería hasta la parte superior del compartimiento filtrante y se filtra a través de la arena. El agua filtrada se colecta en la parte inferior del filtro y luego asciende hasta el exterior. Durante el ciclo de filtrado, los flóculos que se acumulan en el lecho filtrante originan una contrapresión ocasionando una elevación gradual de agua en la tubería de retrolavado. Cuando se alcanza un determinado nivel (4 a 5 pies sobre la salida del agua filtrada), un sistema automático desaloja el aire del

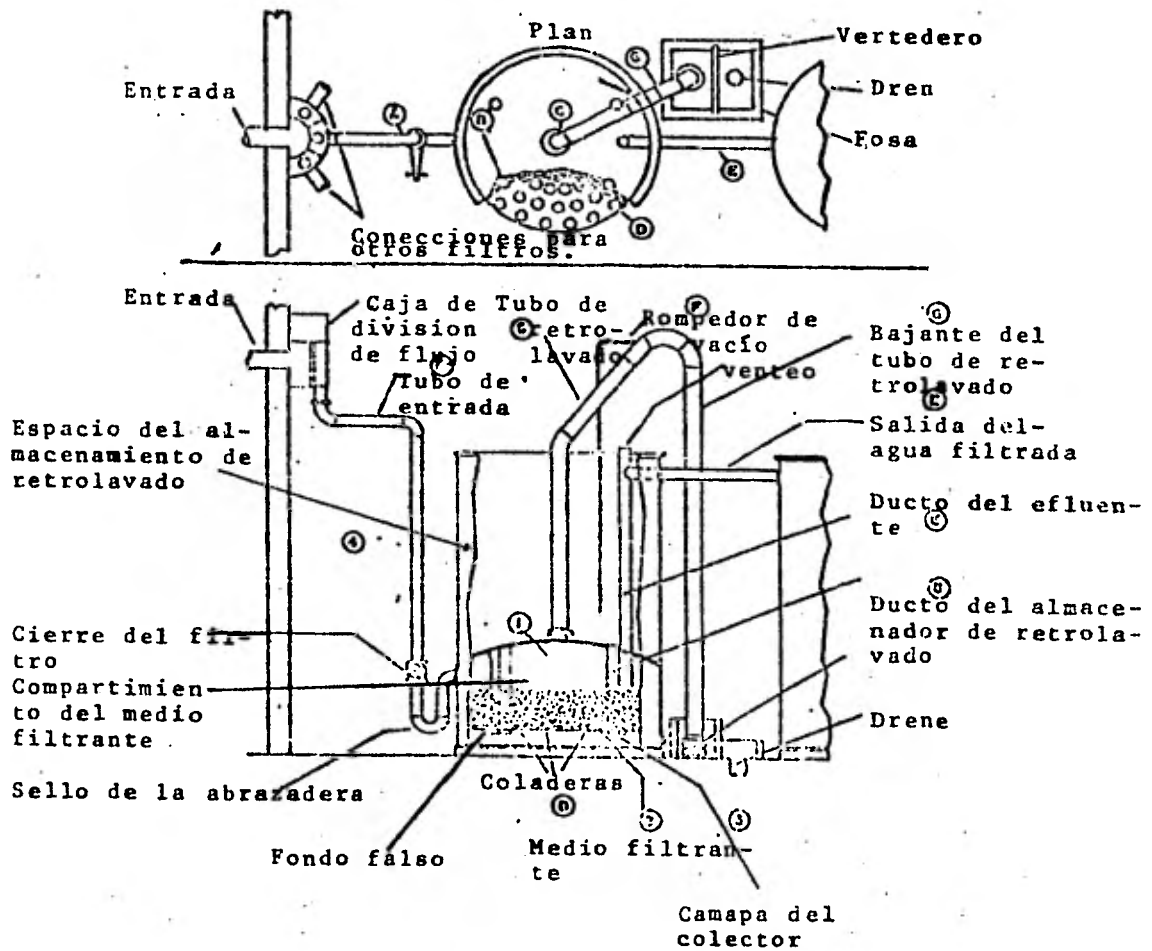


Fig.17. Filtro Automático de Gravedad sin válvulas.

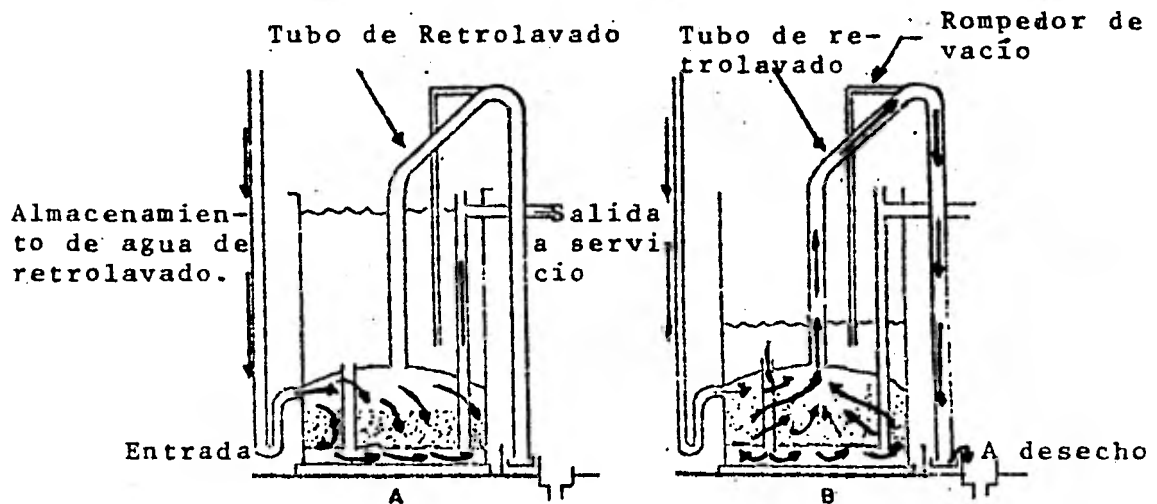


Fig.18. Filtros Automáticos de Gravedad sin válvulas.

Nordell Eskel, Tratamiento de Agua para la Industria y otros usos. Cía. Ed. Continental, S.A. México.

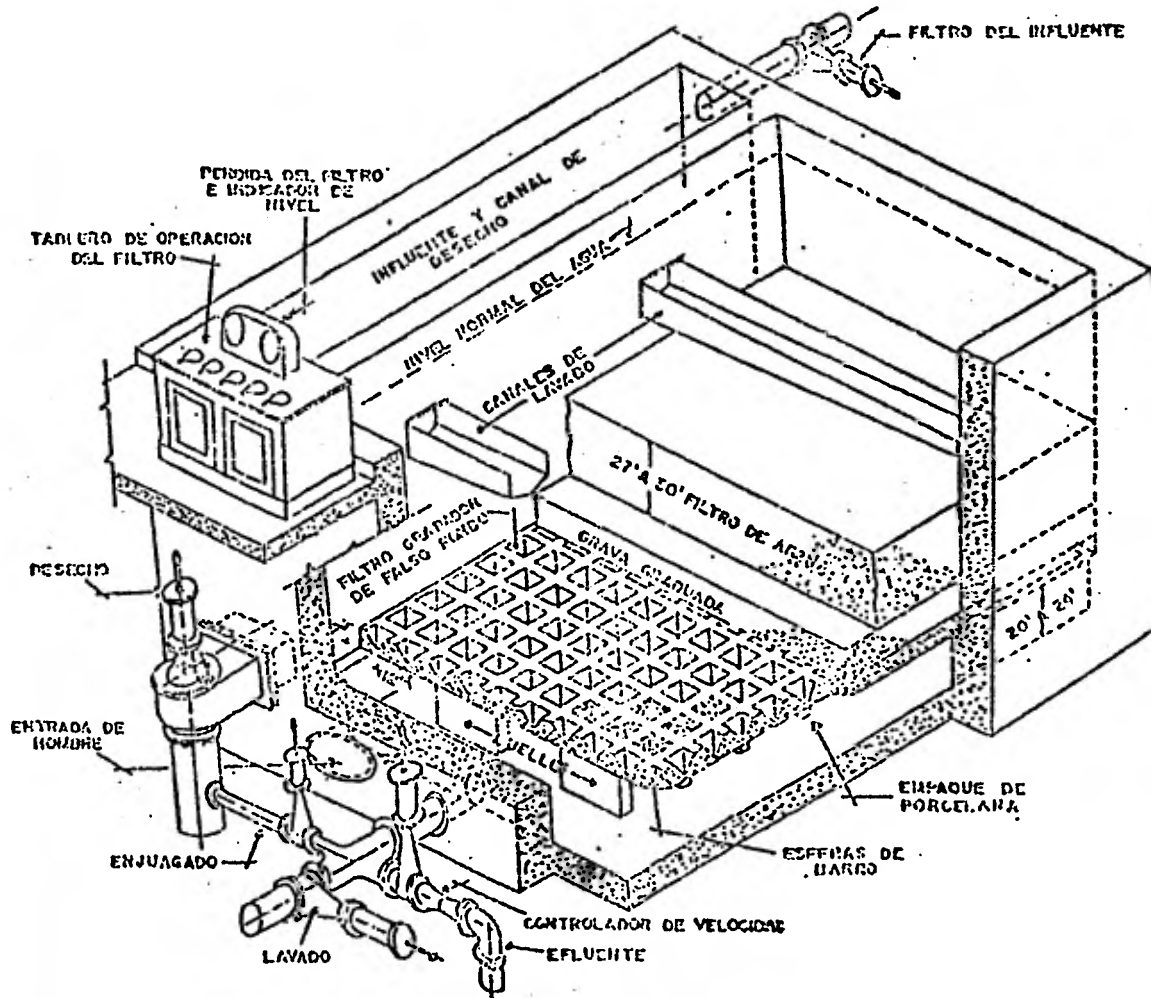


Fig.19. Corte de Un Filtro por Gravedad



Filtros a Presión.

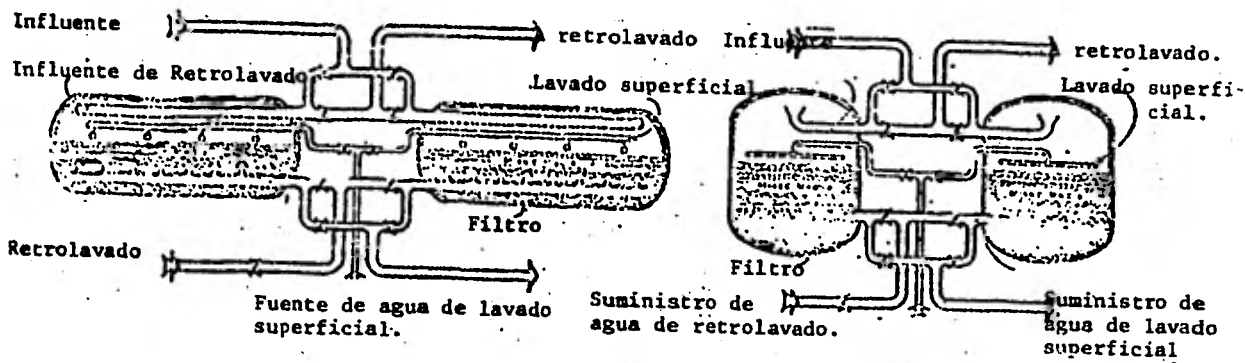
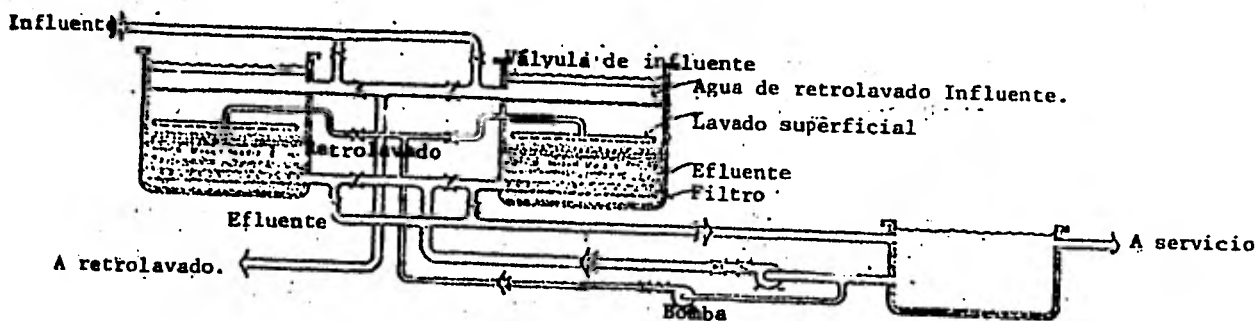


Fig.20. Diagramas de Flujo.  
(Neptune Microfloc Incorporation).



Filtros por Gravedad.

tubo de retrolavado, comenzando la acción del sifón que retrolava el filtro.

Puesto que el tubo de retrolavado transporta 21 gpm/ft<sup>2</sup> de área filtrante y únicamente 3 gpm/ft<sup>2</sup> fluyen por el tubo de entrada, el restante toma del comportamiento de almacenaje del retrolavado a través de los ductos que lo comunican con la cámara colectora. El retrolavado por lo tanto, comienza a 18 gpm/ft<sup>2</sup> y termina en 12 gpm/ft<sup>2</sup> al final de cada ciclo. Cuando el nivel del agua en el tanque de almacenaje de retrolavado alcanza el nivel del rompedor del sifón, éste admite aire a la tubería de retrolavado. Al final de dicha operación, el agua de entrada se filtra a través de la arena y asciende por los ductos del compartimiento colector hacia el almacenador del agua de retrolavado. Cuando este compartimiento se llena, el agua cesa de entrar a él y fluye en forma de agua filtrada hacia el servicio.

#### Filtros de carbón activado.

Estos filtros se utilizan para eliminar olores y sabores del agua. Invariablemente son del tipo vertical a presión. Para evitar acción electrolítica entre el carbón y el metal del recipiente, éste se recubre interiormente de plástico. Su construcción es similar a la de los filtros de arena. La capa de carbón activado varía en espesor de 24" a 36", soportado en capas de grava y arena.

El carbón activado absorbe trazas de cloro u otro oxidante (que pueden dañar la resina catiónica) y sustancias orgánicas (las

cuales ensucian fuertemente las resinas aniónicas básicas).

Cuando la concentración de materia orgánica es baja, el carbón activado pulverizado puede ser alimentado continuamente al clarificador y se remueve con los lodos y los demás sólidos suspendidos. En este proceso la eficiencia es baja pero los costos capitales para instalación en un clarificador ya existente es más baja que para lechos de carbón granular completamente lleno.

#### Operación de filtros.

La eficiencia de cualquier sistema de purificación de agua, es directamente proporcional al cuidado ejercido por el operador en el control del proceso.

Durante muchos años, ha sido una práctica común diseñar los filtros usados para servicio doméstico a un gasto de 2 gpm/ft<sup>2</sup> de arena superficial. En la industria estos gastos se elevan de 2.5 a 3.5 gpm/ft<sup>2</sup>. En filtros a gravedad se ha elevado de 5 a 6 gpm/ft<sup>2</sup>. En filtros a presión el límite máximo es de 3 gpm/ft<sup>2</sup>.

Para tener condiciones óptimas de operación se requiere:

- 1) Mantener el medio filtrante en buenas condiciones.
- 2) Controlar la aplicación de productos químicos.
- 3) Limpieza regular y completa del lecho filtrante.

El medio filtrante es la parte del filtro más importante, y ésta deberá inspeccionarse a intervalos regulares para determinar su

condición. Cuando se emplee arena u otro material similar, existe -- una tendencia de algunas partes de la superficie a cubrirse con acumuladores que, si no se remueven al retrolavar el filtro, pueden ocasionar un serio problema de operación. Este mismo problema también suele suceder al filtrar aguas lodosas.

La falta de uniformidad en la superficie del lecho filtrante indica una distribución desbalanceada del agua de lavado. Cuando existe evidencia de que el lecho de grava ha sido alterado, deberá removerse el medio filtrante e inspeccionarse y reparar el sistema de drenes interiores en caso necesario. Cuando el lecho de grava u otro material empleado para soportar la arena o antracita se ha perturbado, existe el peligro de que el medio penetre en el sistema colector de agua filtrada. Esta condición es particularmente objetable en filtros a presión que se encuentran instalados en líneas a presión.

Cuando un filtro ha sido bien diseñado, deberá existir -- una distribución uniforme del agua de lavado, la cual removerá prácticamente toda la materia extraña que se acumula en la operación del filtro. Esto deberá obtenerse sin ninguna pérdida del medio filtrante. El operador deberá ejercer un control cuidadoso para no exceder el gasto máximo de diseño de agua filtrada o agitar el lecho del filtro con demasiada violencia cuando se emplea agitación mecánica o con aire. No puede establecerse un periodo predeterminado del lavado, ya que el tiempo que el filtro debe operarse entre los lavados está controlado -- por la cantidad y naturaleza del material suspendido en el agua cruda, la temperatura del agua, etc.

El disturbio de los lechos de grava da por resultado un retrolavado deficiente y filtración defectuosa, así como ocasiona muchas otras dificultades de operación.

Los filtros requieren retrolavado usualmente cada 6 a 24 hrs. Pueden ser necesarios periodos mucho más cortos o largos. El agua deberá siempre administrarse a los filtros lentamente, ya que un flujo brusco de agua puede desplazar los coladores o el lecho de grava. La cantidad de agua de lavado utilizada en comparación con el volumen filtrado, variará de 0.5 a 5%. La cantidad de agua de lavado es una función del diseño del filtro.

La aplicación de productos químicos, empleados con el propósito de clarificar, deberá ser controlada por un aparato dosificador calibrado en tal forma que permita un tratamiento suficiente uniforme y preciso.

#### Retrolavado.

La limpieza de filtros generalmente se denomina retrolavado. Existen dos métodos de retrolavado:

1. Por flujo ascendente a altas velocidades sin otros medios de agitación (15 - 30 gpm/ft<sup>2</sup>)
2. Por flujo ascendente a velocidades bajas (7.5 - 12 gpm/ft<sup>2</sup>), mientras que el lecho se agita mediante rastras revolventes accionados mecánicamente o por aire comprimido, vapor o chorro de agua.

La eficiencia en el lavado de los filtros depende de:

1. Gasto aplicado del agua para lavado
2. Uniformidad en la distribución del agua de lavado
3. Tiempo de lavado
4. Clase del material filtrante
5. Tamaño y graduación del medio filtrante
6. Temperatura del agua
7. Profundidad de espacio libre
8. Diseño de los canales colectores de agua para lavado

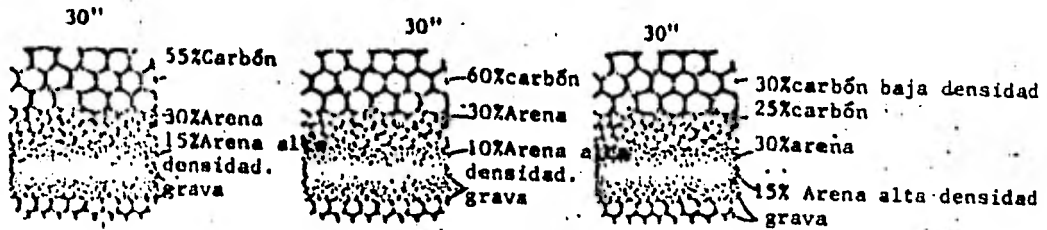
Para un lavado satisfactorio deberá considerarse una expansión de arena del 50-100 %.

#### Medios filtrantes.

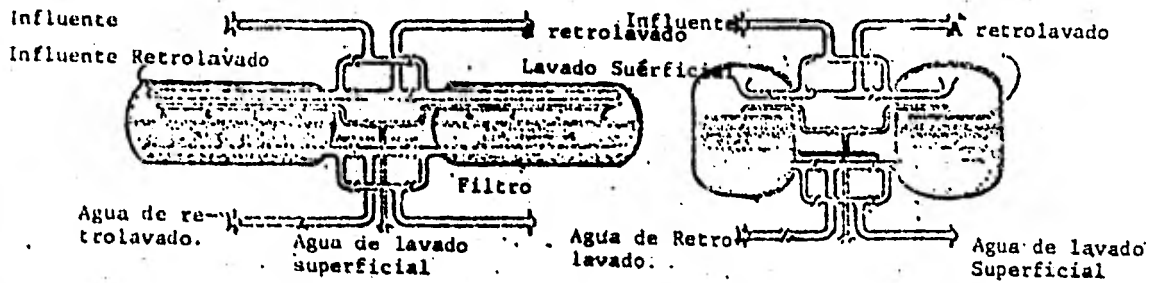
Los tipos de medios filtrantes más utilizados son la arena graduada, la grava y la antracita.

El antiguo medio filtrante compuesto de grava y arena está siendo rápidamente reemplazado por un nuevo tipo de medio filtrante el cual consiste de carbón antracita. Existe un tercer tipo que es el grafito. La antracita es más ligera que la arena y el grafito, esto reduce los costos de manejo y requiere menor volumen. Debido a que su superficie es irregular ofrece mayor área y no se empaca. Los lechos de antracita tienen menor caída de presión que la arena y el grafito. Esto permite un amplio uso de las instalaciones tipo gravedad evitando los costos de bombeo. La antracita es neutra y no reacciona

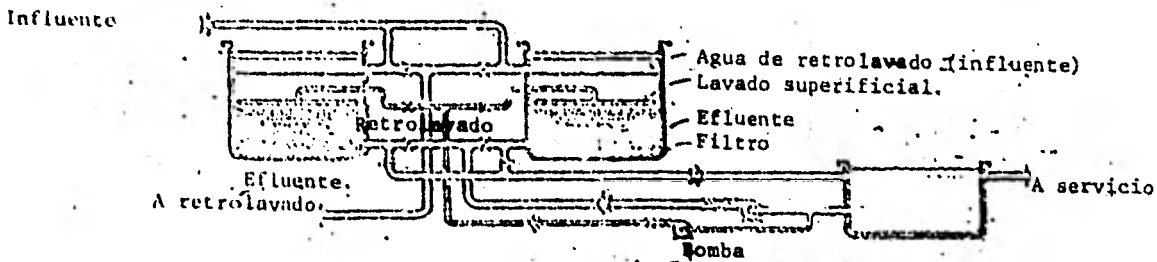
Altura de Lecho:



Diseño de Lechos Multimedia.



Filtro a Presión Multimedia.



Filtro por Gravedad Multimedia.

Fig.21.

(Neptune Microfloc Incorporation).

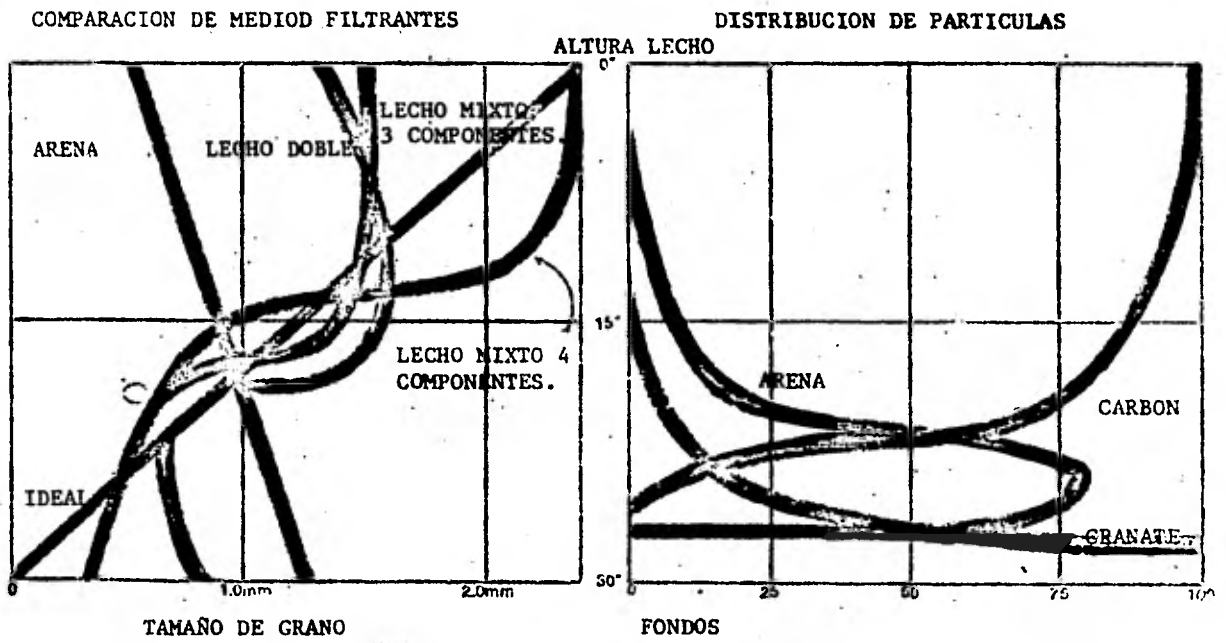


Fig.21. Comparación de Medios Filtrantes.  
(Mixed Media Inc.)



con aguas ni ácidos ni alcalinas. Las sales de fierro y manganeso se precipitan en la antracita pero no se adhieren preferentemente. Estas sales se remueven efectivamente en el retrolavado. La antracita es el más ligero de los 3 tipos de medios filtrantes, por lo que requiere una baja velocidad de retrolavado.

Un medio filtrante mixto invierte la secuencia del tamaño de malla al construir el lecho filtrante. Esto permite que las mallas más grandes remuevan sólidos en lugar de servir solamente como soporte a la zona de trabajo convencional del filtro. Las mallas grandes deben ser menos densas que las más pequeñas ya que sin esta diferencia en densidades el lecho filtrante se volcaría en el lavado.

Los medios filtrantes mixtos han llegado a ser ampliamente aceptados en filtración a alta velocidad. Los medios filtrantes mixtos utilizan una combinación de 3 ó más materiales filtrantes. En este tipo de medio filtrante se combinan diferentes tamaños y densidades.

Un filtro se dice que es ideal cuando el tamaño de medio filtrante disminuye uniformemente en dirección al flujo. La configuración de 3 ó 4 medios filtrantes suministra una serie infinita de "tamices" que remueven progresivamente las partículas de diferente tamaño y las distribuye uniformemente a lo largo del lecho. Por lo general el tamaño de los medios filtrantes varía de 1.5 mm a 0.15 mm y la densidad relativa de los mismos varía entre 1.6 y 4.0

### Especificaciones de Arena y Antracita para Filtros.

#### Especificaciones. (arena para filtros rápidos).

Toda la arena para filtros está compuesta de granos duros, durables ya sea redondos o quebrados, libres de arcilla, lima, suciedad y materia orgánica, con un contenido no mayor de 1% de partículas planas o micáceas. Después de 24 hrs. de inmersión en HCl conc. caliente, la arena triturada y pulverizada, no deberá mostrar una pérdida mayor de 5% de su peso original. La arena deberá contener más de 1.5 % de calcio y magnesio tomados en conjunto y calculados como carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ); y no deberá haber una pérdida superior al 2% en peso por calcinación de la arena triturada y pulverizada.

Dimensión de arena para filtros.- La arena tendrá un tamaño efectivo no menor de 0.55 mm y un coeficiente de uniformidad no mayor de 1.65. No más de 0.2% de las partículas deberán ser menores de 0.2 mm y no más de 1% será menor de 0.25 mm y como mínimo el 90% será inferior a 0.8 mm. Los diámetros de esferas de igual volumen y todos los porcentajes sobre peso.

Colocación de la arena.- Deberá tomarse especial cuidado en el transporte y colocación de la arena para filtros con objeto de prevenir contaminación de cualquier clase, y la arena que haya podido ensuciarse, antes o después de ser colocada en los filtros deberá lavarse o reponerse por arena limpia en forma satisfactoria. Después de colocarse en los filtros deberá lavarse como mínimo 10 veces, mediante los dispositivos de lavado conectados a los filtros y la arena

fina que aparece en la superficie deberá ser eliminada por raspado. Deberá colocarse suficiente arena en cada filtro para garantizar un lecho de 30 in (76.2 cms), después de que la arena ha sido lavada, raspada y se ha apegado a las medidas arriba mencionadas.

Probado y muestreo.- El contratista deberá proporcionar para prueba, muestras de arena no menores de 1.10 litros. Como mínimo se proporcionará una muestra por cada 38.23 m<sup>3</sup> de arena para filtros.

Métodos para examen de arena para filtros.- Los parámetros de prueba son el tamaño efectivo y el coeficiente de uniformidad. El primer término indica el tamaño en mm. de arena bajo el cual el 10% de la muestra es de mayor finura y sobre el cual el 90% de la arena era más gruesa, mientras que el segundo indica la relación entre el tamaño en milímetros tal que 60% de la arena es menor que éste y el tamaño efectivo. Con mallas de aproximadamente 5.5 in. de diámetro, 100 g. es la máxima cantidad por usarse para un análisis de mallas.

#### Antracita.

La antracita tiene una densidad relativa promedio de 1.5, comparado con 2.65 de la arena sílica. Los pesos por pie<sup>3</sup> son aproximadamente 55 lb y 100 lb respectivamente. Una tonelada de antracita llenará un volumen de filtro casi al doble que una tonelada de arena. Las principales ventajas atribuidas a la antracita sobre la arena son las siguientes:

1. Se requiere sólo la mitad aproximadamente, de la velocidad para retrolavar antracita del mismo tamaño para obtener la misma expansión.

2. La antracita con igual tamaño efectivo al de la arena tiene una mayor porosidad.

### Diseño de filtros.

El principal factor en el diseño de un filtro es la resistencia de la torta. Debido a que dicho valor sólo se puede determinar experimentalmente a pruebas de planta piloto, casi siempre es necesario suplir la información necesaria. Después de que se conocen las constantes básicas, es posible utilizar los conceptos teóricos de filtración para establecer el efecto de cambio en las variables de operación como son el área de filtrado, la concentración de la suspensión o la presión.

En los últimos años ha habido un considerable avance en el desarrollo de la teoría de filtración, pero dicho desarrollo no ha llegado a la etapa donde el ingeniero pueda diseñar un filtro directamente de las ecuaciones básicas como sería en el caso de una torre fraccionadora o un cambiador de calor. Preferentemente el diseño final debe realizarse por asesoría del personal técnico relacionado con la manufactura de equipo de filtración o con gente que tenga acceso a los equipos de prueba necesarios y por ende tenga un amplio entendimiento de las limitaciones de las ecuaciones de diseño.

La elección de un filtro para una operación en particular depende de muchos factores, algunos de los más importantes son:

1. Costos Fijos de operación .
2. Propiedades del fluido: viscosidad, densidad, naturaleza corrosiva .
3. Concentración, temperatura y presión de la suspensión.
4. Tamaño de partícula, características superficiales de las partículas y compresibilidad de sólidos.
5. Extensión de lavado necesario para la torta filtrada.

Con objeto de realizar un diseño preliminar de un filtro sin tener la asistencia inmediata de un especialista en el campo, se presentarán las ecuaciones teóricas.

#### Ecuaciones de diseño.

La velocidad con la cual el filtrado es obtenido en una operación de filtrado está gobernada por las características de los sólidos suspendidos y por las condiciones físicas de la operación. Las principales variables que afectan la velocidad de filtración son:

1.  $\Delta P$  a través de la torta y al medio filtrante.
2. Area da filtración.
3. Viscosidad del fluido.
4. Resistencia de la torta.
5. Resistencia del medio filtrante.

La velocidad de filtración es inversamente proporcional a la resistencia combinada de la torta y del medio filtrante e inversamente proporcional a la velocidad del fluido y directamente proporcional al área de filtración y a la  $P$ :

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A \cdot \Delta P}{(R_k + R_f) \mu} \quad (1)$$

donde:

$V$  = volumen del fluido filtrado al tiempo  $\theta$ .

$A$  = área de superficie filtrada.

$\Delta P$  = caída de presión a través del filtro.

$R_k$  = resistencia de la torta.

$R_f$  = resistencia del medio filtrante.

$\mu$  = viscosidad del fluido.

La resistencia de la torta varía directamente con el grosor de la torta:

$$R_k = Cl \quad (2)$$

donde:

$C$  = constante proporcional.

$l$  = grosor de la torta al tiempo  $\theta$ .

La resistencia del medio filtrante  $R_f$ , es expresada en términos de un grosor de torta ficticio,  $l_f$ , cuya resistencia es igual a la del medio filtrante:

$$R_f = C l_f \quad (3)$$

Si asignamos a  $W$ , como las libras de sólidos en la torta seca por unidad de volumen de filtrado,  $\rho_c$  como la densidad de la torta expresada en libras de sólidos de la torta seca por unidad de volumen de la torta filtrada húmeda y  $V_f$  como un volumen ficticio de filtrado por unidad de área de filtración necesario para conseguir un grosor de la torta  $l_f$ , el grosor actual de la torta más el grosor ficticio es:

$$l + l_f = \frac{W(V + AV_f)}{\rho_c A} \quad (4)$$

Combinando la ecuación (1) con la (4):

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A^2 \Delta P}{\alpha W(V + AV_f)\mu} \quad (5)$$

donde:

$$\alpha = \frac{C}{\rho_c} = \text{resistencia específica de la torta}$$

En el intervalo usual de condiciones de operación, el valor de resistencia de la torta específica se puede relacionar con la  $\Delta P$  mediante la ecuación empírica:

$$\alpha = \alpha' (\Delta P)^S \quad (6)$$

donde:

$$\alpha' = \text{constante} = f(\text{propiedades del material})$$

$S$  = exponente de compresibilidad de la torta.

Si  $S = 0 \Rightarrow$  la torta es perfectamente incompresible.

Si  $S = 1 \Rightarrow$  la torta es perfectamente compresible.

para suspensiones comerciales  $S \in (0.8, 1.0)$

La ecuación general para velocidad de filtración se obtiene con las ecuaciones (5) y (6):

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A^2 (\Delta P)^{1-S}}{\alpha' w (V + AV_F) \mu} \quad (7)$$

Ecuación aplicable para el caso de filtración con velocidad constante.

$$V^2 + 2AV_F V = \frac{2A^2 (\Delta P)^{1-S}}{\alpha' w \mu} \quad (8)$$

Ecuación aplicable para el caso de  $P$  constante.

Obtenida de integrar de 0 a  $V$  la ecuación (7);  $A$ ,  $\Delta P$ ,  $s$ ,  $\alpha'$ ,  $w$ ,  $V_F$  y  $\mu$  son constantes para una  $V$ .

Las ecuaciones (7) y (8) son directamente aplicables al diseño de filtros batch o intermitentes. Las constantes  $\alpha'$ ,  $s$ ,  $V_F$  son evaluadas experimentalmente y las ecuaciones generales se pueden



aplicar a condiciones de variación de  $A$ ,  $\Delta P$ ,  $V$ ,  $\theta$ ,  $w$  y  $N$ .

En los sistemas usuales las constantes son evaluadas experimentalmente en filtros de plantas piloto. Estas constantes se -- pueden usar para unidades hasta 100 veces más el área de la unidad experimental. Para reducir los errores, las constantes deben ser obtenidas experimentalmente con las mezclas de suspensión, los mismos filtros ayuda y aproximadamente la misma  $\Delta P$  que se utilizará en el diseño final. Bajo estas condiciones el valor de  $\alpha'$  y  $S$  se podría -- aplicar adecuadamente a grandes unidades. Afortunadamente el valor  $V_F$  es generalmente suficientemente pequeño como para sufrir cambios -- al escalar en las dimensiones de diseño.

Sin embargo en la práctica, es común utilizar los criterios de velocidad o de flujo por unidad de área de medio filtrante, -- ya que por lo general los fabricantes proporcionan las dimensiones -- adecuadas para un determinado criterio a utilizar. Los criterios más usuales se presentan en la siguiente parte de este capítulo.

CRITERIOS GENERALES

CRITERIOS DE DISEÑO.CRITERIOS PARA FILTROS VERTICALES Y HORIZONTALES.

	VERTICALES	HORIZONTALES
Capacidades (gpm)	2.5-235	201-516
Velocidad de filtración	3 gpm/ft <sup>2</sup>	3 gpm/ft <sup>2</sup>
Dimensiones (long)	30 cm a 3 m	3.5-8.5 m

TABLA No. 16

CARACTERISTICAS DE FILTROS A PRESION CON FLUJOS DE 3 gpm/ft<sup>2</sup> (17)

FILTROS VERTICALES

DIAMETRO Ø	AREA (ft <sup>2</sup> )	UNIDADES SIMPLES		FLUJO TOTAL POR BATERIA (gpm)				
		RETROLAVADO (gpm)	FLUJO (gpm)	2	3	4	5	6
30'	4.9	49	15	30	45	60	75	90
36	7.1	70	21	42	63	85	105	125
42	9.6	96	29	58	87	115	145	175
48	12.6	126	38	75	113	150	190	225
54	15.9	159	48	95	143	190	240	285
60	19.6	196	59	118	177	235	295	355
66	23.8	238	71	143	215	285	375	430
72	28.3	283	85	170	255	340	425	510
78	33.2	332	100	200	300	400	500	600
84	38.5	385	116	230	350	460	580	695
90	44.2	442	133	265	400	530	665	795
96	50.3	503	150	300	450	605	755	905
102	56.8	568	170	340	510	680	850	1020
108	63.6	636	190	380	570	765	955	1145
120	78.5	785	235	470	705	945	1180	1415

FILTROS HORIZONTALES

10' - 6'	67	840	201	400	600	800	1000	1200
12' - 2"	79	960	237	475	710	1050	1185	1420
14' - 5'	95	1140	285	570	855	1140	1425	1710
16' - 5'	109	1300	327	655	980	1310	1635	1960
18' - 3'	124	1460	372	795	1115	1490	1860	2230
20' - 2"	137	1600	411	820	1235	1645	2055	2465
25' - 0'	172	200	416	1030	1550	2065	2580	3095

TABLA No. 17

CAPAS DE MEDIO FILTRANTE PARA FILTROS A PRESION

(DE LA PARTE SUPERIOR A LA INFERIOR)

FILTROS VERTICALES

MEDIO FILTRANTE	CARACTERISTICA	ALTURA DE LECHO	TAMAÑO EFECTIVO
Grava y arena	arena fina	12"	0.45 - 0.55 mm
	arena gruesa	10"	0.80 - 1.20 mm
	grava delgada	4"	1/8" - 1/4"
	grava mediana	4"	1/4" - 1/2"
	grava gruesa	8"	1/2" - 1"
Antracita	antracita No.1	18"	0.55 - 0.65 mm
	antracita No.2	9"	3/32" - 3/16"
	antracita No.4	9"	5/16" - 9/16"

FILTROS HORIZONTALES

Grava y arena	antracita No.1	18"	0.55 - 0.65 mm
	arena fina	10"	0.80 - 1.2 mm
	grava delgada	6"	1/8" - 1/4"
	grava mediana	4"	1/4" - 1/2"
	grava gruesa	4"	1/2" - 1"
Antracita	antracita No.1 (fina)	18"	0.40 - 0.60 mm
	antracita No.1 (gruesa)	6"	1.0 mm
	antracita No.2	4"	3/32" - 3/16"
	antracita No.4	4"	5/16" - 9/16"
	antracita No.5	4"	9/16" - 13/16"
	antracita No.6	6"	13/16" - 15/8"

CONTINUACION TABLA No. 17

Para filtros con colector en forma de concha agregar alrededor de esta:

grava y arena	grava gruesa	1" a 1/12"
antracita	No.6	13/16" - 1 5/8"

TABLA No. 18 (19)

CAPAS DE MEDIO FILTRANTE PARA FILTROS POR GRAVEDAD

MEDIO FILTRANTE	CARACTERISTICA	ALTURA DE LECHO	TAMAÑO EFECTIVO
Grava y arena	grava	4'	1/4" - 1/2"
	grava	5'	1/2" - 1"
	grava	5'	1" - 1 1/2"
	grava	4'	3/32" - 3/16"
	arena gruesa	6'	0.8 - 0.12 mm
	arena fina	2 1/2'	0.4 - 0.5 mm
	antracita No.6	5'	13/16" - 1 5/8"
	antracita No.5	5'	9/16" - 13/16"
	antracita No.4	4'	5/16" - 9/16"
	antracita No.3	4'	3/16" - 5/16"
antracita No.2	6'	3/32" - 3/16"	
antracita No.1	2 1/2'	0.55 - 0.65	



TABLA No. 19

TAMAÑOS Y DATOS SUGERIDOS PARA PLANTAS DE FILTRACION POR GRAVEDAD

CUYAS CAPACIDADES VARIAN DE 70 000 a 500 000 000 GPD

(20)

2 gpm/ft												
gpm	mgd	No. FILTROS	TAMAÑO	gpm/ft <sup>2</sup>	AREA ft <sup>2</sup>	RETROLAVADO (gpm/ft)	VALVULA ENTRADA	VALVULA SALIDA CONTROLADOR	VALVULA RETROLAVADO CONTROLADOR	VALVULA RETROLAVADO SAL.	VALVULA DE DRENAJE	
50	0.07	1	5' x 5'	2	25	500	4"	3"	6"	6"	2"	
75	0.11	2	5' x 5'	1.5	25	500	4"	3"	6"	6"	2"	
100	0.14	2	5' x 5'	2	25	500	4"	3"	6"	6"	2"	
150	0.22	2	5' x 7'6"	2	37.5	750	4"	3"	6"	6"	2"	
200	0.29	2	6' x 9'	1.85	54	1080	5"	3"	8"	8"	3"	
250	0.36	2	7'6" x 10'	1.67	75	1500	5"	4"	10"	10"	4"	
300	0.43	2	7'6" x 10'	2.0	75	1500	6"	5"	10"	10"	4"	
300	0.50	2	8'0" x 11"	1.99	88	1760	6"	5"	10"	10"	4"	
400	0.58	2	9' x 12'	1.85	108	2160	8"	6"	10"	12"	4"	
500	0.72	2	9' x 14'	1.98	126	2520	8"	6"	12"	12"	5"	
600	0.86	2	10' x 15'	2.0	150	3000	8"	8"	12"	14"	5"	
700	1.00	2	12' x 15'	1.94	180	3600	8"	8"	12"	14"	5"	
870	1.25	2	12' x 18'	2.01	216	4320	10"	8"	14"	14"	6"	
1046	1.50	2	12' x 21'	2.06	252	5040	10"	8"	16"	16"	6"	
1390	2.06	4	12' x 15'	1.93	180	3600	8"	8"	12"	14"	5"	
1740	2.5	4	12' x 18'	2.01	216	4320	10"	8"	14"	14"	6"	
2080	3.0	4	12' x 21'	2.06	252	5040	10"	8"	16"	16"	6"	
2780	4.0	4	15' x 24'	1.93	360	7200	12"	10"	20"	20"	8"	
3470	5.0	4	18' x 24'	2.0	432	8640	12"	12"	24"	24"	8"	
3 gpm/ft												
50	0.07	1	5' x 5'	2	25	500	4"	3"	6"	6"	2"	
75	0.11	1	5' x 5'	3	25	500	4"	3"	6"	6"	2"	
100	0.14	2	5' x 5'	2	25	500	4"	3"	6"	6"	2"	
150	0.22	2	5' x 5'	3	25	500	4"	3"	6"	6"	2"	
200	0.29	2	5' x 7'6"	2.68	37.5	750	5"	3"	8"	8"	3"	
250	0.36	2	5' x 9'	2.78	45	900	5"	4"	8"	8"	3"	
300	0.43	2	6' x 9'	2.78	54	1080	6"	5"	8"	8"	3"	
350	0.50	2	6' x 11'	2.65	66	1320	6"	5"	8"	10"	3"	
400	0.58	2	7'6" x 10'	2.67	75	1500	8"	6"	10"	10"	4"	
500	0.72	2	8' x 11'	2.84	88	1760	8"	6"	10"	10"	4"	
600	0.86	2	9' x 12'	2.78	108	2160	8"	8"	10"	12"	4"	
700	1.00	2	9' x 13'	2.99	117	2340	8"	8"	10"	12"	4"	
870	1.25	2	10' x 15'	2.90	150	3000	10"	8"	12"	14"	5"	
1040	1.50	2	12' x 15'	2.89	180	3600	10"	8"	12"	14"	5"	
1390	2.0	4	9' x 13'	2.97	117	2340	8"	8"	10"	12"	4"	
1740	2.5	4	10' x 15'	2.91	150	3000	10"	8"	12"	14"	5"	
2080	3.0	4	12' x 15'	2.89	180	3600	10"	8"	12"	14"	5"	

2780	4.0	4	12' x 21'	2.76	252	5040	12"	10"	16"	16"	6"
3470	5.0	4	15' x 21'	2.76	315	6300	12"	12"	18"	18"	6"

NOTAS:

- (1) Pérdidas máximas:  
 Conexiones de entrada al filtro (2.5 ft/seg) ... 0.5 ft/100 ft tubería.  
 Componentes del efluente del filtro ... 12"  
 Controlador y válvulas de retrolavado (10 fts/seg)... 5'/100 ft tubería.

- (2) Gastos:  
 Tubería al drenaje 2 gpm/ft<sup>2</sup>

TABLA No. 20

INTERVALO DE CAPACIDADES DE FILTROS COMERCIALES (21)

TIPO	VELOCIDAD (gpm/ft <sup>2</sup> )	AREA (ft <sup>2</sup> )	FLUJO (gpm)	FABRICANTE
Por gravedad	2 - 4	hasta 500		Pfaudler - Permutit
	2 - 6			Fuller - Infilco
	2 - 4			Pelletier - Degremont
Por gravedad sin válvula	2 - 3		38 - 354	Pfaudler - Permutit
	3		38 - 942	Crane - Cochrane
A presión vertical	2 - 3	hasta 113		Faudler - Permutit
	2 - 4		2 - 380	Crane - Cochrane
	1 - 4		4.9 - 314	Graver
	2 - 4			Pelletier - Degremont
A presión horizontal	2 - 3	hasta 200		Pfaudler - Permutit
	2 - 4	72 - 229	149 - 920	Crane - Cochrane
	1 - 4		67 - 688	Graver
	2 - 4			Pelletier - Degremont

TÁBLA No. 21 (22)

VELOCIDADES DE FILTRACION PARA FILTROS VERTICALES

VELOCIDADES DE FILTRACION														
DIAMETRO Ø (in)	1g/ft <sup>2</sup>		1.5 g/ft <sup>2</sup>		2 g/ft <sup>2</sup>		2.5 g/ft <sup>2</sup>		3 g/ft <sup>2</sup>		3.5 g/ft <sup>2</sup>		4 g/ft <sup>2</sup>	
	min	hora	min	hora	min	hora	min	hora	min	hora	min	hora	min	hora
30	4.9	294	7.35	441	9.8	588	12.25	735	14.7	882	16.25	975	19.6	1.12
36	7.1	426	10.65	639	14.2	852	17.75	1065	21.3	1278	24.85	1491	28.4	1.7
42	9.6	576	14.40	864	19.2	1152	24.0	1440	28.8	1728	33.6	2016	38.4	2.34
48	12.6	756	18.90	1134	23.2	1392	31.5	1890	37.8	2268	44.1	2646	50.4	3.02
4	15.9	954	23.85	1431	31.8	1908	39.75	2385	47.7	2862	55.7	3339	63.6	3.81
60	19.6	1176	29.40	1764	39.2	2352	49	2940	58.8	3528	68.6	4116	78.4	4.7
66	23.8	1428	35.70	2142	47.6	2856	59.5	3570	71.4	4284	83.3	4998	95.2	5.7
72	28.3	1698	42.45	2547	56.6	3396	70.75	4245	84.9	5094	99.1	5943	113.2	6.97
78	33.2	1992	49.80	2988	66.4	3984	83.0	4980	99.6	5976	116.2	6972	132.8	7.96
84	38.5	2310	57.75	3465	77.0	4680	96.25	5775	115.5	6930	134.8	8085	154.	9.24
90	44.2	2652	66.30	3978	88.4	5304	110.50	6630	132.6	7956	154.7	9282	176.8	10.6
96	50.3	3018	75.45	4527	100.6	6036	125.75	7545	150.9	9054	176	10563	201	12.07
102	56.8	3408	85.20	5112	113.6	6816	142.0	8520	170.4	10224	199	11928	227	13.63
108	63.6	3616	95.40	5724	127.2	7632	159	9540	190.8	11448	222.6	13356	254	15.26
114	70.9	4254	106.35	6381	141.8	8508	177.25	10635	212.7	12762	248.1	14489	284	17.01
120	78.5	4710	117.55	7053	157.0	9420	196.25	11775	235.5	14130	274.8	16485	314	18.84

TABLA No. 22 (23)

FILTROS HORIZONTALES

DIAMETRO	LONGITUD	VELOCIDAD DE FILTRACION													
		1 gal/ft <sup>2</sup>		1.5 gal/ft <sup>2</sup>		2 gal/ft <sup>2</sup>		2.5 gal/ft <sup>2</sup>		3 gal/ft <sup>2</sup>		3.5 gal/ft <sup>2</sup>		4 gal/ft <sup>2</sup>	
		min	hora	min	hora	min	hora	min	hora	min	hora	min	hora	min	hora
8' - 0'	10' - 6'	67	4020	101	6060	134	8040	168	10080	201	12060	235	14100	268	16080
8' - 0'	12' - 0'	79	4740	119	7146	158	9480	198	11880	237	14220	277	16620	316	18900
8' - 0'	14' - 3'	95	5700	143	8540	190	11400	238	14280	285	17100	323	19980	380	22800
8' - 0'	16' - 3'	109	6540	164	9840	218	13080	273	16380	327	19620	382	22920	436	29760
8' - 0'	18' - 3'	124	7440	180	11160	248	14880	310	18600	372	22320	434	25040	496	24760
8' - 0'	20' - 0'	137	8220	206	12360	274	16440	343	20580	411	24660	480	28800	548	32880
8' - 0'	25' - 0'	172	10320	258	15840	354	21240	350	25800	516	30960	602	36120	688	41280

TABLA No. 23

ESPECIFICACIONES DE FILTROS DE ALTA VELOCIDAD (24)

Ø x h	PRESION PERMISIBLE (psi)	bpd AGUA (1)	gpm DE AGUA DE RETROLAVADO		CONEXION ENT Y SAL (2)	LIBRAS
			ARENA Y GRAVA	ANTRACITA		
4' x 5'	40,75,100	1080	200	150	4"	1400
5' x 5'	40,75,100	1680	300	235	4"	1600
6' x 5'	40,75,100	2400	425	340	4"	2150
7' x 5'	40,75,100	3300	575	460	4"	2650
8' x 5'	40,75,100	4300	750	600	4"	3200
10' x 5'	40,75	6700	1180	940	6"	5500
12' x 5'	40	9400	1700	1350	6"	10800

(1) Capacidad basada en una velocidad de 2.5 gpm/ft<sup>2</sup> de sección.

(2) Las conexiones standard son uniones.

TABLA No. 24

DIMENSIONES TÍPICAS DE FILTROS A PRESION  
(SIVALLS TANKS, INC.)

Con referencia a la página 99 se tienen las siguientes dimensiones típicas:

A	B	C	D	E	MODELO	No. REQUERIDO	ENTRADA Y SALIDA
4'	7' - 10'	7"	2' - 8"	6'	4410	4	4"
5'	7' - 11"	8"	3' - 4'	6'	4412	4	4"
6'	8' - 4"	7"	4' - 0"	6'	4412	4	4"
7'	9' - 1"	9"	4' - 8"	6'	4416	4	4"
8'	9' - 5'	9"	5' - 4'	6'	4416	4	4"
10'	10' - 4'	9"	6' - 10"	8"	4418	6	6"
12'	10' - 7"	10"	7' - 6'	8"	4418	6	6"

TABLA No. 25

CARACTERISTICAS DE FILTROS POR GRAVEDAD (Fig. 85)

DATOS		GPM						
		100	143	193	251	320	392	575
DIMENSIONES	DIAMETRO FILTRO (PIES)	5	6	7	8	9	10	12
	ALTURA (PIES)	10	10	10	10	10	10	10
PESO	EQUIPO (lb)	3500	4100	4800	5800	6900	8000	10200
	GRAVA (lb)	8200	12000	16000	21000	26000	32000	47000
	OPERACION (lb)	24500	23500	41800	54200	68100	83500	127700
AREA LECHO	FT	19.6	28.3	38.5	50.2	63.6	78.5	113
FLUJO RETROLAVADO	GPM (60 °F)	350	480	655	850	1080	1350	1920
DIMENSIONES VALVULAS Y TUBERIAS	INFLUENTE Y EFLUENTE	3"	4"	4"	6"	6"	6"	8"
	RETROLAVADO	4"	6"	6"	6"	8"	8"	10"
	LAVADO SUPERFICIAL	1 1/2"	1 1/2"	2"	2"	2"	2"	2"
INTERCONEXIONES PARA INSTALACIONES DE FILTROS MULTIPLES.	2 FILTROS	4"	6"	6"	6"	8"	8"	10"
	3 FILTROS	6"	6"	8"	8"	10"	10"	12"
	4 FILTROS	6"	6"	8"	10"	10"	12"	14"



TABLA No. 26

CARACTERISTICAS DE FILTROS A PRESION

FLUJO NOMINAL	GPM	63	100	143	193	251	320	342
DIMENSIONES	DIAMETRO, ft	4	5	6	7	8	9	10
	ALTURA	8'-5"	8'-9"	9'-9"	9'-9"	10'-5"	10'-5"	10'-7"
PESO	LBS	12,100	18,600	26,600	37,200	48,700	61,700	76,200
AREA LECHO FILTRANTE	FT <sup>2</sup>	12.6	19.6	28.3	38.5	50.3	63.6	78.5
TAMAÑO DE VALVULAS	CONEXION AL TANQUE (IN)	3	4	6	6	6	8	8
	INFLUENTE Y EFLUENTE (IN)	1.5	2	2.5	3	4	4	4
	RETROLAVADO (IN)	3	4	6	6	6	8	8
	LAVADO SUPERFICIAL	1.5	1.5	1.5	2	2	2	2
INTERCONEXION DE TUBERIA	2 FILTROS (IN)	2.5	3	4	6	6	6	6
	3 FILTROS (IN)	3	4	6	6	6	8	8
	4 FILTROS (IN)	4	6	6	6	6	8	8
FLUJO DE RETROLAVADO	GPM (60 ° F)	215	333	480	655	850	1080	1350

NOTAS:

1. Controles automáticos.
2. 120 V, 60 Hz, 20 AMPS, 1Ø
3. Requerimiento de aire: 1.5 ft<sup>3</sup>/min @ 60 psig por filtro.

(Sivalls Tank Inc.)

TABLA No. 27

CARACTERISTICAS DE FILTROS VERTICALES

SIVALLS TANKS, INC.

MODELO		PF-5	PF-7	PF-10	PF-13	PF-15	PF-20	PF-25	PF-125	PF-150	PF-175	PF-200	PF-225	PF-250	PF-306
FLUJO NOMINAL	GPM	350	520	720	880	1040	1360	1600	600	1000	1200	1400	1600	1800	2000
DIMENSIONES	CORAZA, Fts.	8	13	18	22	26	34	40	16	20	24	28	32	36	40
	LONGITUD	11'-6"	16'-6"	21'-6"	25'-6"	37'-6"	43'-6"	19'-9"	23'-9"	27'-9"	31'-4"	35'-9"			
PESO	LIBRAS	65000	95000	125000	147000	170000	220000	255000	155000	185000	220000	255000	29000	325000	355000
	AREA LECHO, Ft	64	104	144	176	208	272	320	160	200	240	280	320	360	400
COMPONENTES DEL TANQUE	NUMERO DE ENTRADAS-HOMBRE/TQUE	1	1	2	2	2	3	3	1	2	2	2	2	3	3
	No. ASPAS DE LAVADORES DE SUP./TQUE.	1	2	3	3	4	5	6	2	2	3	4	4	4	4
DIMENSIONES TUBERIA	CONEXION AL TQUE (IN)	8	10	10	12	12	14	16	12	12	14	16	16	16	18
	INFLUENTE Y EFLUENTE (IN)	4	6	6	8	8	8	10	8	8	8	10	10	10	10
	RETROLAVADO (IN)	8	10	10	12	12	14	16	12	12	14	16	16	16	18
	LAVADORES DE SUPERFICIE	2	2	2.5	3	3	4	4	2.5	2.5	3	4	4	4	4
INTERCONEXION DE TUBERIA PARA INSTALACION MULTIPLE DE FILTROS.	2 FILTROS (IN)	6	8	8	10	10	12	12	10	10	12	12	12	14	14
	3 FILTROS (IN)	8	10	10	12	12	14	16	12	12	14	16	16	16	18
	4 FILTROS (IN)	8	10	12	14	14	16	18	14	14	16	18	18	20	20

NOTAS:

1. Controles automáticos.
2. 120 V, 230 V, 60 Hz, 40 AMPS, 10
3. Requerimiento de aire: 1.5 ft<sup>3</sup>/min 60 psig por filtro.

FLUJO DE RETROLAVADO PARA FILTROS CON MEDIO  
FILTRANTE MIXTO (MIXED MEDIA INC.)

TEMPERATURA	4 COMPONENTES	3 COMPONENTES
90 °F	22 gpm/ft <sup>2</sup>	21 gpm/ft <sup>2</sup>
70 °F	19 gpm/ft <sup>2</sup>	17 gpm/ft <sup>2</sup>
60 °F	18 gpm/ft <sup>2</sup>	15 gpm/ft <sup>2</sup>

TABLA No. 28 (25)

ESPECIFICACIONES DE FILTROS POR CARBON ACTIVADO

	%
A través de 20 mallas	0 - 3
A través de 20 mallas y sobre 30 mallas	40 - 55
A través de 30 mallas y sobre 40 mallas	30 - 50
A través de 40 mallas y sobre 50 mallas	5 - 12
A través de 50 mallas	0 - 1
Densidad de carbón activado	30 lb/ft <sup>3</sup>
Velocidad de filtración:	
capac. pequeña	4 gpm/ft <sup>2</sup>
capac. grande	6 gpm/ft <sup>2</sup>
Velocidad de retrolavado	6 gpm/ft <sup>2</sup>
Carga/año de servicio	1
Altura de lecho de carbón activado (soportado en capas de grava)	24' - 36'

TABLA No. 29 (26)

ESPECIFICACIONES PARA FILTROS DE ZEOLITAS

(REMOCIÓN DE Fe y Mn)

Máximo de remoción de Fe y Mn	1 ppm
Flujo máximo (filtro a presión)	3 gpm/ft <sup>2</sup>
Flujo mínimo de retrolavado	8 gpm/ft <sup>2</sup>
Presión que indica inicio de retrolavado	5 - 8 psi
Regeneración	5 - 20 días.

TABLA No. 30

MEDIOS FILTRANTES

ESPECIFICACIONES COMUNES DE MEDIOS FILTRANTES MIXTOS

(ALTURA DE LECHO: 30")

		ALTERNATIVAS		
a)	3 componentes:			
	carbón	55 %	60 %	65 %
	arena sílica	30 %	30 %	30 %
	arena alta densidad	15 %	10 %	5 %
b)	4 componentes:			
	carbón de baja densidad	30 %	30 %	35 %
	carbón	25 %	30 %	30 %
	arena sílica	30 %	30 %	30 %
	arena alta	15 %	10 %	5 %

TABLA No. 31

CRITERIOS DE FLUJO DE SERVICIO Y DE RETROLAVADO

PARA DIFERENTES MEDIDS Y TIPOS DE FILTROS

TIPO FILTRO O MEDIO FILTRANTE	CONDICIONES DE DISEÑO (gpm/ft <sup>2</sup> )	CONDICION DE RETROLAVADO (gpm/ft <sup>2</sup> )
Filtro de arena (Sin lavadores de superficie)	5 - 6	15 - 20
Filtro de antracita (o de arena con lavadores de superficie)	5 - 6	12 - 15
Filtro de antracita (Con lavadores de superficie)	5 - 6	12
Filtro de carbón activado	4 - 6	6
Filtro de zeolitas	3 (máximo)	8
Filtro de lecho mixto		5 - 10
Filtros verticales	~ 3	10 - 12
Filtros horizontales	~ 3	10 - 12

TABLA No. 32

ANALISIS DE MALLAS DE UNA MUESTRA DE  
ARENA PARA FILTROS

MALLA	ABERTURA DE LA MALLA, mm.	PESO RETENIDO, GRAMOS	PORCENTAJE MAS FINO QUE
10	1.651	0.0	100.0
14	1.168	0.4	99.6
20	0.833	18.9	80.7
24	0.701	22.6	58.1
28	0.589	26.7	31.4
32	0.495	16.1	15.3
35	0.417	11.4	3.9
42	0.351	2.8	1.1
50	0.279	1.1	0.0
100	0.140	0.0	0.0

American Water Works Association, New York, 1940, p.178.  
Water Quality and treatment, Manual AWWA, 29ed., p.257



TABLA No. 33

MEDIO FILTRANTE DE ANTRACITA

SEGMENTOS DEL LECHO (1)	ALTURA DEL SEGMENTO	GRADO Y TAMAÑO DEL MATERIAL	VOLUMEN EN ft <sup>3</sup> PARA CADA DIAM.							
			4'	5'	6'	7'	8'	10'	12'	
A	4"	#6 13/16"-15/8"	4	6	8	13	17	26	37	
B	9"	#4 5/16"-9/16"	9	15	21	29	38	59	83	
C	9"	#2 3/32"-3/16"	9	15	21	29	38	59	83	
D	1' - 6"	#1 u. 6 mm-0.8 mm	18	30	42	58	76	118	166	
TOTAL	3' - 4"		40	66	92	129	169	262	369	

TABLA No. 34

MEDIO FILTRANTE DE GRAVA Y ARENA

SEGEENTOS DEL LECHO (1)	ALTURA DEL SEGMENTO	TAMAÑO DEL MATERIAL	VOLUMEN EN Ft <sup>3</sup> PARA CADA DIAM.						
			4'	5'	6'	7'	8'	10'	12'
A	4'	1" - 1 1/2"	4	6	9	13	17	26	37
B	8'	1/2" - 1"	8	12	18	26	34	52	74
C	4'	1/4" - 1/2"	4	6	9	13	17	26	37
D	4'	1/8" - 1/4"	4	6	9	13	17	26	37
E	10'	0.8 mm - 1.2 mm	10	15	23	32	42	65	92
F	12'	0.45 mm - 0.5 mm	12	18	27	39	51	78	111
TOTAL	3' - 6'		42	63	95	136	178	273	388

(SIVALLS TANK, INC.)

TABLA No. 35

ESPECIFICACIONES TÍPICAS DE MEDIOS FILTRANTES

CAPA	ESPEJOR	MATERIAL	TAMAÑO EFECTIVO	COEF. DE UNIFORMIDAD
Arena	12"	Arena	0.45 - 0.50 mm	1.75
	10"	Arena	0.80 - 1.20 mm	
	4"	Grava	1/4" - 1/8"	
	4"	Grava	1/2" - 1/4"	
	8"	Grava	1" - 1/2"	
	4"	Grava	1 1/2" - 1"	
Antracita	18"	Antracita No. 1	0.6 - 0.8 mm	1.75
	9"	Antracita No. 2	3/32" - 3/16"	
	9"	Antracita No. 4	5/16" - 9/16"	
	4"	Antracita No. 6	3/16" - 15/8"	
Carbón activado	30"	Carbón activado	0.35 - 0.50 mm	1.50

TABLA No. 36

PROPIEDADES FISICAS DE VARIOS MEDIOS FILTRANTES

PARAMETROS FISICOS	FILTROS DE ARENA				
		ARENA COMPRIMIDA		ARENA GUARRY	
Tamaño del tamiz (mm)	0.5 - 0.422	0.599 - 0.500	0.853 - 0.699	1.676 - 1.405	2.411 - 2.057
Velocidad cm/seg	5.00	6.54	8.10	16.85	20.90
Diámetro hidráulico (mm)	0.38	0.435	0.600	1.165	1.360
Esfericidad	0.83	0.80	0.78	0.765	0.620
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Porosidad	0.464	0.464	0.464	0.39	0.39

(SIVALLS TANK INC.)

TABLA No. 37

CRITERIOS DE SELECCION DE MEDIOS FILTRANTES (27)

MATERIAL	APLICACION
Arena	Es el medio más utilizado para filtración de agua fría, debe estar libre de barro, arcilla u otro material soluble en ácido. Contamina con sílice.
Antracita	Se usa donde la arena silícea es prohibitiva (ablandamiento con cal-carbonato en caliente). Sus ventajas sobre la arena son: menor densidad y forma irregular, dando como resultado un lecho que no se agrieta y se retrolava con facilidad. Se obtienen ciclos de filtración más largos, tienen mayor capacidad de atrapar turbidez, el flujo de retrolavado es inferior.
Carbón activado	Se utiliza para reemplazar otros medios filtrantes en filtros ya usados, obteniéndose flujos mayores. También se utilizan en filtrado de aguas blandas con cal o que contengan Fe y Mn y en filtración de agua caliente para la alimentación a calderas (caliente o fría) para evitar la contaminación de sílice), así como para la remoción de sólidos.
Neutrolita	Se utiliza para absorber desechos orgánicos -- que dan lugar a color, sabor y olor; así como para absorber el cloro.
Neutrolita	Se usa cuando las aguas a filtrar son corrosivas, ya que aumenta el pH.
Magnetita	Algunas veces los tanques ya existentes no tienen la profundidad suficiente para permitir el uso de antracita con el espesor deseado y obtener la expansión del lecho durante el retrolavado. Esto se resuelve substituyendo una de las capas poco profundas con magnetita.

TABLA No. 38

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE FILTROS A PRESION  
RESPECTO A FILTROS POR GRAVEDAD (28)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Se pueden instalar en líneas a presión, ahorrando bombeo adicional.	1. No se puede inspeccionar fácilmente el material filtrante, por lo que la eficiencia de retrolavado no puede observarse.
2. Ocupan menor espacio.	2. La dosificación de coagulantes no se puede controlar bien.
3. Se construyen rápidamente.	3. Difícil mantener gastos constantes de filtración. La tendencia general es no usar filtros horizontales a presión, porque algunas áreas adyacentes a la envolvente permanecen inactivas durante la filtración y el retrolavado.
4. Pueden operarse a altas pérdidas de carga.	4. Costos de operación y mantenimiento altos.
5. Pueden agregarse tantas unidades adicionales como se requieran sin afectar el diseño general de las instalaciones.	
6. Cuando se usan para purificar agua de pozo tienen menor probabilidad de contaminación externa con bacterias.	
7. Costo de inversión bajo.	

La figura (22) muestra la mayoría de las variaciones básicas posibles en las unidades utilizadas para filtración directa de aguas superficiales o provenientes de un clarificador. Si una línea conecta 2 puntas en la carta, el arreglo es un sistema viable. Hay muchas aplicaciones especiales, las cuales requieren de una modificación de estos diseños básicos. La figura muestra 6 diseños básicos que son:

○ Secuencia.- Se refiere al retrolavado. La selección requiere de que sea una operación manual o automática (válvulas, bombas, etc.).

△ Tipo.- 2 tipos básicos de filtros son posibles; su selección depende de la manera en la que el agua se descarga: por bombeo o por gravedad.

□ Flujo de servicio.- La mayoría de los filtros en operación actualmente manejan flujo descendente. El flujo ascendente es más lógico pero no es muy aplicado.

● Medio filtrante.- El medio filtrante puede ser individual de arena o de antracita; un lecho doble de carbón con tope de arena o un lecho mixto de carbón, arena y grava.

▲ Flujo de retrolavado.- Todas las unidades de retrolavado son de flujo ascendente independientemente del sentido del flujo de servicio. Puede constar únicamente de agua o de una combinación de agua y aire.

□ Control de flujo.- El flujo de agua a través de los filtros puede tener una velocidad constante; cuando la velocidad es variable existe una disminución cuando la  $\Delta P$  aumenta. Los filtros a presión son controlados por el primer principio, mientras que los de gravedad son controlados por flujo.



Fig.22.

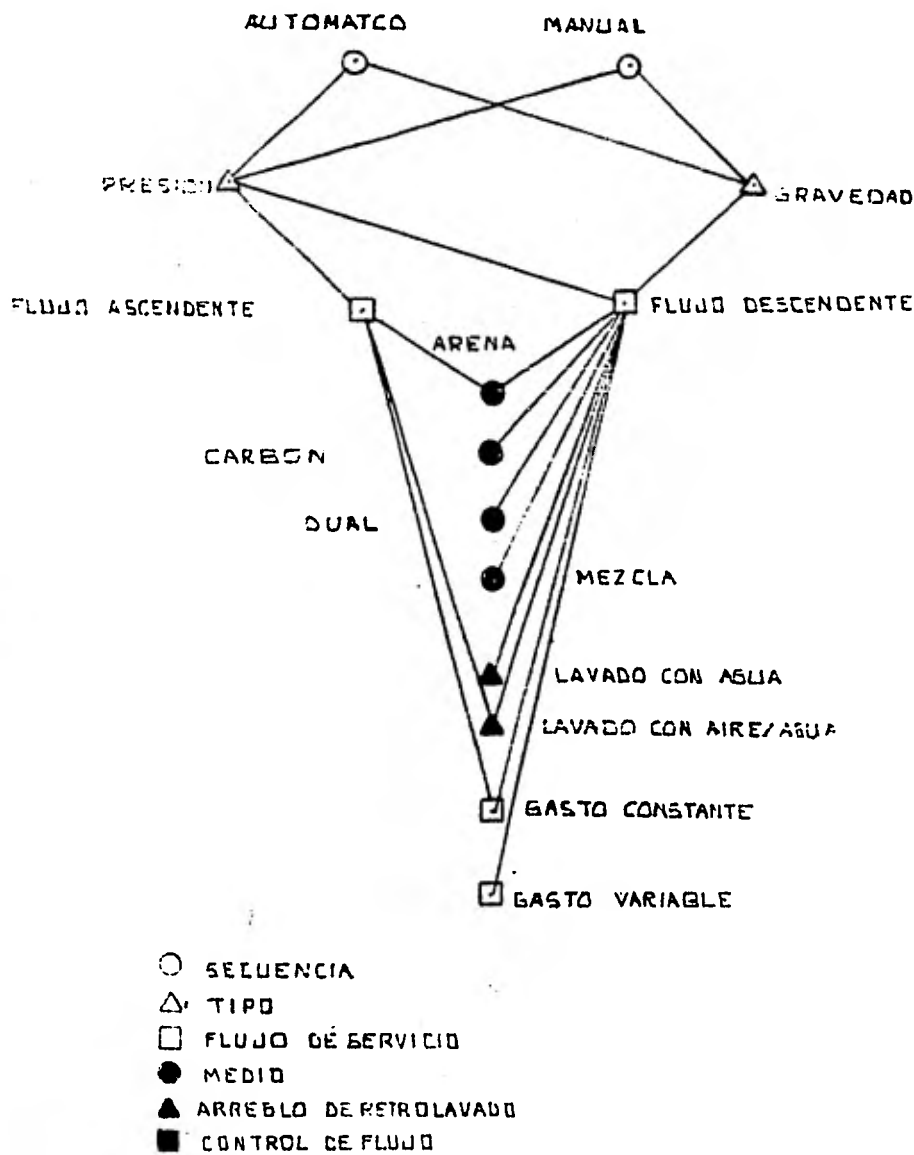


DIAGRAMA DE SELECCION DE FILTROS

V. I N T E R C A M B I O I O N I C O

### INTERCAMBIO IONICO:

#### A. PROCESO DE ABLANDAMIENTO POR INTERCAMBIO IONICO. CICLO SODICO.

#### EQUIPO.

Los ablandadores de agua con intercambiadores catiónicos ciclo sódico se fabrican tanto a presión como por gravedad. Ambos operan con el mismo principio de ablandamiento y regeneración. En el ablandamiento se remueve el calcio y el magnesio, dando una cantidad equivalente de sodio por ellos. La regeneración consiste de 3 pasos:

- 1) Retrolavado.
- 2) Salmuerización.
- 3) Lavado

Retrolavado.- Debe realizarse en un mínimo de 10 min.

El flujo debe ser lo suficiente como para expandir el lecho a un mínimo del 50%; un exceso puede causar pérdidas de la resina. Para un gasto dado, la expansión del lecho depende de la temperatura del agua de lavado. A la temperatura más baja, la expansión es mayor, debido a que la velocidad del agua es más baja.

Salmuerización.- Por lo general la salmuera entra a una concentración del 10%. La salmuera requerida por regeneración depende del volumen de resina y del nivel de capacidad. Generalmente esto se especifica por parte del proveedor de la resina. El flujo de regenera

ción debe ser aproximadamente 1 gal/1 min/ft<sup>3</sup> con objeto de tener -- tiempo de contacto y eficiencia de regeneración óptima.

Enjuague lento.- El flujo utilizado es aproximadamente 1 gal/1 min/ft<sup>3</sup>. La cantidad de agua de enjuague lento es aproximadamente el volumen de la mitad del lecho más el volumen de las superficies de resina a las laterales.

Enjuague rápido.- Debe ser aproximadamente 1.5 gal/min/ft<sup>3</sup> con objeto de remover completamente los cationes intercambiados - contenidos en la salmuera de desecho. Cuando la dureza ha disminuído a 2 ppm (como CaCO<sub>3</sub>) el enjuague se puede considerar completo.

Flujo de servicio.- Se considera de mayor eficiencia - cuando se utiliza un flujo de 6 a 8 gpm/ft<sup>2</sup> en todas las unidades operando paralelamente.

Para operaciones continuas gastos mayores a 15 gpm/ft<sup>2</sup> - puede dar lugar a canalizaciones, compactación del lecho, goteo o ruptura prematura de dureza. Flujos de servicio significativamente abajo del normal en operaciones continuas pueden también producir dificultades como disminución de la capacidad y goteo ya que en flujos bajos el agua no se fuerza a través del lecho; esto da lugar a que las trayectorias del agua sean de menor resistencia y el contacto entre la resina y el agua sea pobre por lo que el intercambio iónico no se lleva completamente a cabo.

La mayoría de los intercambiadores ciclo sódico son a pre

sión y se constituyen por:

Coraza.- Consiste de un cilindro metálico constituido - con placas del grosor suficiente para permitir la presión. En los tipos verticales los diámetros de las unidades varían de 20 in a 10 fts.

Sistema colector.- Tiene como función extraer el agua - blanda durante el ciclo de ablandamiento, distribuir el agua de retro lavado y eliminar la sal y los lavados. Los sistemas colectores más usados son el de placas deflectoras y el de colectores laterales.

Sección de grava y arena.- sobre los sistemas colectores se colocan capas de grava graduada, seguida usualmente de una capa de arena gruesa que sirve como soporte al intercambiador. La función de estas capas es distribuir el agua de retrolavado y coleccionar uniformemente el agua ablandada.

	TAMAÑO	CABEZALES LATERALES	PLACAS DEFLECTORAS
grava gruesa	1" x 1/2"		1"
grava mediana	1/2" x 1/2"		3"
grava	1/4" x 1/2"	6"	3"
grava fina	1/8" x 1/4"	3"	3"
arena gruesa	0.8 - 1.2 mm	3"	3"

NOTA: Para las zeolitas sintéticas y greensand no se emplea - arena y usualmente la capa superior es de grava fina (1/8" - 1/4"), -- utilizándose 6" de espesor.

Sección de zeolitas.- Se coloca en la capa superior de arena o grava fina y ocupa una altura de 2 a 8.5 pies. Sobre el lecho de intercambiador hay un espacio libre lo suficientemente grande para absorber la expansión de la resina en el retrolavado. Este espacio - se expresa como por ciento del grueso del lecho:

	%
Greensand	25
Zeolita sintética	53
Resina de alta capacidad	75

Colector de arena de lavado.- Su función es distribuir el agua que entra en la operación de ablandamiento y lavado así como - colectar y conducir el agua a las líneas de salida durante el retrolavado.

Sistema de distribución de salmuera.- Su función es introducir y distribuir la salmuera diluida sobre el lecho. Las diferentes concentraciones de las soluciones de sal para cada uno de los diferentes intercambiadores son:

para altura de lecho de 36' ó menos:

greensands y zeolitas sintéticas	10% - 12%
carbonácea	5% - 15%
resina de alta capacidad	15% - 18%

para lechos mayores a 36" se utilizan concentraciones del 15% al 25%.

Controles de retrolavado.- Se pueden utilizar válvulas de mariposa en la descarga del retrolavado o controladores de flujo tipo venturi colocado a la entrada de la línea de retrolavado.

Control de enjuague.- Se utilizan válvulas de mariposa operada por flotador en el vertedero y en el sumidero para controlar tanto el retrolavado como el enjuague.

#### Ablandadores Iónicos Automáticos.

Ciclo de ablandamiento.- El agua dura pasa a través de la válvula múltipar hasta llegar a la parte superior del ablandador y entra a él a través del colector de retrolavados, que deflexiona el tubo de manera que no golpea directamente la superficie de las resinas. El agua fluye hacia abajo a través del lecho. A medida que esto sucede los cationes de calcio y magnesio son retenidos por la resina, la que simultáneamente da al agua una cantidad equivalente de sal. El agua ablandada se puede pasar por las gravas, se colecta en la parte inferior y después de pasar por la válvula multiport y el medidor va al servicio.

Retrolavado.- En la posición de lavado la válvula multiport envía el agua dura a través del sistema distribuidor del agua de lavado. A partir de aquí el agua asciende a través de las capas de grava y el lecho de intercambiador catiónico, el cual se expande y lim

pia. Después pasa por el colector hacia la válvula multiport y luego al controlador de flujo, de aquí se descarga a un sumidero donde fluye a través de una placa de orificio. El flotador, que está conectado al controlador de flujo, opera una válvula de mariposa, que de acuerdo con la carga mantenida por los orificios sostiene un flujo -- predeterminado de agua de lavado. La duración de operación de retro-lavado (10 min), se controla por un timer automático dentro de la capa de control.

Regeneración. - En esta posición el agua dura al pasar por la válvula multiport, acciona un eductor conectado al sistema distribuidor de salmuera a la parte superior del ablandador. Al paso -- del agua a través del eductor, se crea una succión en la línea que va al tanque de salmuera, abriéndose la válvula de diafragma permitiendo la entrada al eductor.

La salmuera se forma a partir del exceso de sal que hay en el tanque de almacenamiento y el agua que se administra a este tanque por una caja partidora accionada con flotador. La salmuera así formada fluye hacia el tanque medidor el cual tiene un interruptor, - de tal manera que cuando ha salido el agua de él un volumen determinado de salmuera, se cierra un contactor que actúa el motor de la válvula multiport y cambia a ésta a la posición de enjuague, cerrándose -- así la válvula de salida de salmuera.

La salmuera se diluye a la concentración deseada en el eductor. Esta salmuera diluida se distribuye sobre la superficie del



## LISTA DE PARTES

- 1 Distribuidor Superior
- 2 Cubierta interior, pintura a base de resina Epoxy
- 3 Resina sintética base poliestireno alta capacidad
- 4 Entrada de agua cruda
- 5 Tubería de PVC para succión de la salmuera.
- 6 Tanque saturador
- 7 Cubierta interior, pintura base, resina epoxy y alquitrán de hulla
- 8 Salmuera
- 9 Sal en grano
- 10 Distribuidor de PVC
- 11 Patas de gato ajustables
- 12 Fondo falso
- 13 Drenaje
- 14 Salida del agua de regenerado
- 15 Toberas de PVC ranuradas
- 16 Válvula de puertos múltiples
- 17 Medidor de agua
- 18 Salida de agua suavizada
- 19 Tubería galvanizada

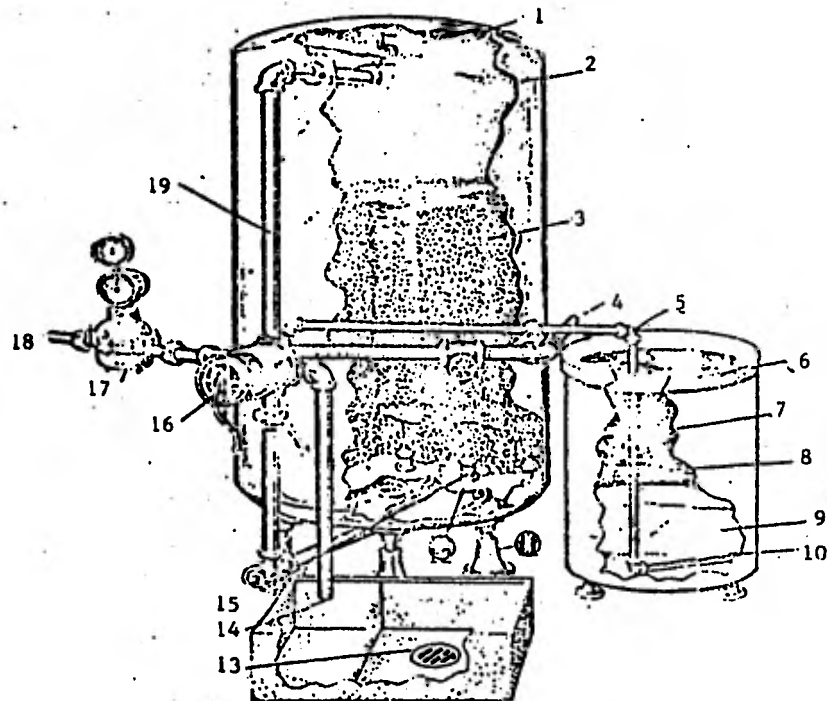


Fig. 23. Intercambio Iónico.

(Aquamex, S.A.)

intercambiador catiónico. La salmuera pasa hacia abajo a través del lecho y es colectada por el distribuidor de agua de lavado, después - hacia la válvula multiport que la envía al sistema controlador de flujo de lavado descargandola al drenaje. La salmuera al pasar por el - intercambiador catiónico, desplaza los iones calcio y magnesio reemplazándolos por una cantidad equivalente de sodio.

Enjuague.- En esta posición el agua dura se envía por - medio de la válvula multiport al sistema colector de lavado en la parte superior del ablandador, de aquí el agua fluye hacia abajo a través del lecho del intercambiador hacia la válvula multiport que la envía al controlador de enjuague y de aquí al drenaje.

#### B. PROCESO DE ABLANDAMIENTO POR INTERCAMBIO IONICO.

##### CICLO HIDROGENO.

##### EQUIPO.

El equipo usado para efectuar el intercambio iónico ciclo hidrógeno se asemeja hasta cierto punto al ablandador de agua por medio de zeolitas, pero difiere en que éste debe ser a prueba de ácidos. El recipiente es usualmente un cilindro vertical de acero con tapas - abombadas, que resista la presión. Se recubre interiormente con hule u otro material resistente al ácido, lo mismo que las conexiones, válvulas y tuberías.

El ciclo de operación del equipo automático es:

(1) La duración del ciclo se gobierna por medio de un medidor de agua. Al final del ciclo el medidor hace un contacto eléctrico que actúa un motor que mueve la válvula a la posición de lavado.

(2) Se inicia la operación de retrolevado.

(3) Regeneración.- se añade el ácido al 20%, el cual se bombea mediante un eductor hidráulico, el que la diluye a la concentración adecuada y la introduce a la unidad a través de un distribuidor. Al pasar en flujo descendente por el lecho, el ácido reacciona con el intercambio catiónico para eliminar los cationes de sodio, magnesio y calcio y los convierte en cantidades equivalentes de cationes  $H^+$ .

(4) Enjuague.- En esta posición se admite agua cruda a la parte superior de la unidad a través del difusor distribuidor y fluye en flujo descendente a través de la unidad hacia el drenaje arrastrando los productos solubles de las reacciones, así como el exceso de ácido.

Como en el caso de operación de los intercambiadores catiónicos sódicos, las tuberías de lavado y enjuague se equipan con flotadores separados que mantienen diferentes niveles mediante los vertederos, sirven para controlar los flujos en un gasto determinado.

Los puntos finales de ablandamiento se miden mediante la conductividad del agua. El final del ciclo se indica por una disminución de la conductividad. Lo mismo se aplica en el ciclo de enjuague

En otros diseños de unidad automática, el ácido concentrado se mide automáticamente y se diluye de manera que no es necesario que éste se haga por el operador. Cuando se emplean métodos de regeneración por incrementos, la concentración del regenerante se puede aumentar automáticamente.

#### Tratamiento de los influentes del intercambio catiónico - ciclo hidrógeno.

Los efluentes obtenidos al tratar varias aguas por el intercambio catiónico ciclo hidrógeno contiene cantidades variables de  $\text{CO}_2$  y/o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{HCl}$ . El  $\text{CO}_2$  se puede reducir por un desgasificador, mientras que el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{HCl}$  se eliminan por:

- (1) Intercambio aniónico.
- (2) Neutralización:
  - con alcali ( $\text{NaOH}$ )
  - con efluente de intercambio catiónico sódico.
  - con agua cruda.

#### Procesos de desmineralización por Intercambio iónico.

La desmineralización es junto con la destilación el único método para remover prácticamente toda la materia mineral del agua. El proceso de intercambio catiónico con zeolitas no reduce  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  y estos en el efluente aparecen como sales de sodio. El intercambio catiónico en ciclo hidrógeno elimina  $\text{HCO}_3^-$  pero no reduce ni  $\text{Cl}^-$  ni  $\text{SO}_4^{2-}$ , los cuales aparecen en la forma de ácidos correspondientes. Por

otra parte cuando el ácido generado reacciona en la unidad catiónica con la alcalinidad del agua cruda se forma  $\text{CO}_2$ ; esto se puede remover por intercambio iónico o por remoción física por desgasificación. Como regla general, la desgasificación se debe considerar para flujos con alcalinidad mayores a 100 ppm; se puede utilizar desgasificador con corriente de aire o desgasificador a vacío. La unidad con corriente de aire forzada utiliza tablillas de madera u otro empaque, de esta manera se elimina el  $\text{CO}_2$  y satura el agua con aire. El desaerador a vacío remueve todos los gases disueltos como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  y  $\text{N}_2$ .

Cuando se requiere agua muy pura, se utiliza el lecho mixto que es una mezcla de resina catiónica fuertemente ácida ciclo hidrógeno y resina aniónica fuertemente básica ciclo hidrógeno, representa una serie infinita de sistemas de intercambio catiónico-aniónico. El lecho mixto puede usarse directamente para tratamiento de agua cruda, pero generalmente se utiliza para pulir el efluente de un lecho desmineralizador individual. El lecho mixto durante la etapa de servicio están íntimamente mezclados; en la regeneración, el retrolavado separa la resina aniónica más ligera de la resina catiónica más densa. La unidad tiene un distribuidor perforado entre las 2 resinas, así que pueden ser regenerados separadamente sin sacarlas de la columna. El método más común de regeneración permite regeneración simultánea de las 2 resinas con el álcali fluyendo descendentemente a través de la resina aniónica en el distribuidor interfacial y el ácido ascendentemente a través de la resina catiónica.

Regeneración a contracorriente de sistemas de desmineralización.

Muchos intercambiadores iónicos operan a flujo descendente y son regenerados en la misma dirección. Generalmente, sin embargo una regeneración mejor puede ser flujo servicio a contracorriente. Por ejemplo, los iones monovalentes (principalmente  $\text{Na}^+$ ) son más difíciles de eludir y son la causa de fugas iónicas en intercambio iónico y estos iones se concentran en la parte más baja del lecho. En la regeneración de flujo ascendente hay un intercambio con regenerante más concentrado y son desplazados ascendentemente, así que después de la regeneración la parte más baja del lecho es regenerada más directamente. El resultado es una reducción práctica de 2/3 partes de fugas subsecuente durante la corrida de servicio, en comparación con la regeneración descendente. Sin embargo la regeneración a contracorriente requiere que el lecho de resina esté empacado lo cual no puede ser llevado a cabo en equipo convencional, con el espacio necesario para la expansión y con el paso ascendente del regenerante.

La regeneración a contracorriente es esencial para una operación eficiente de lechos por capas consistente de 2 resinas de diferente disociación iónica.

En las resinas débilmente ionizadas se ha aplicado la regeneración con los desechos de resinas fuertemente ionizadas y su técnica se aplica en donde las resinas están instaladas en tanques separados. Sin embargo difícilmente se puede aplicar en sistemas aniónicos y catiónicos.

nicos.

### Beneficios.

- ° Se obtiene agua tratada de alta calidad.
- ° La calidad del agua obtenida en lecho mixto se puede obtener con dos lechos con regeneración a contracorriente.
- ° El consumo de agua de lavado es considerablemente menor - que en regeneración a contracorriente.

### DISEÑO.

Las resinas de intercambio iónico son utilizadas en lechos fijos y columnas a contracorriente intermitente. El primero de estos es el más común, consiste como ya se explicó anteriormente, de una columna a presión equipada con tubería, válvulas y accesorios que permiten la regeneración de las resinas. El diseño de cada columna está basado en la velocidad de flujo requerido y la capacidad de la resina bajo las condiciones de operación. En general la velocidad de flujo determina el diámetro máximo y mínimo permisible de la columna. La altura del lecho debe ser tal que incluya la altura de lecho mínimo y el volumen de resina necesario. La altura de lecho mínimo requerido ha sido empíricamente determinado. Si un lecho es poco profundo, la distribución del líquido es difícil y no se lleva a cabo el intercambio completo a través del ciclo. La distribución es particularmente difícil si el equipo opera con intervalos amplios de velocidad de flujo. Generalmente para tratamiento de agua se permite un intervalo de 4 a 1.

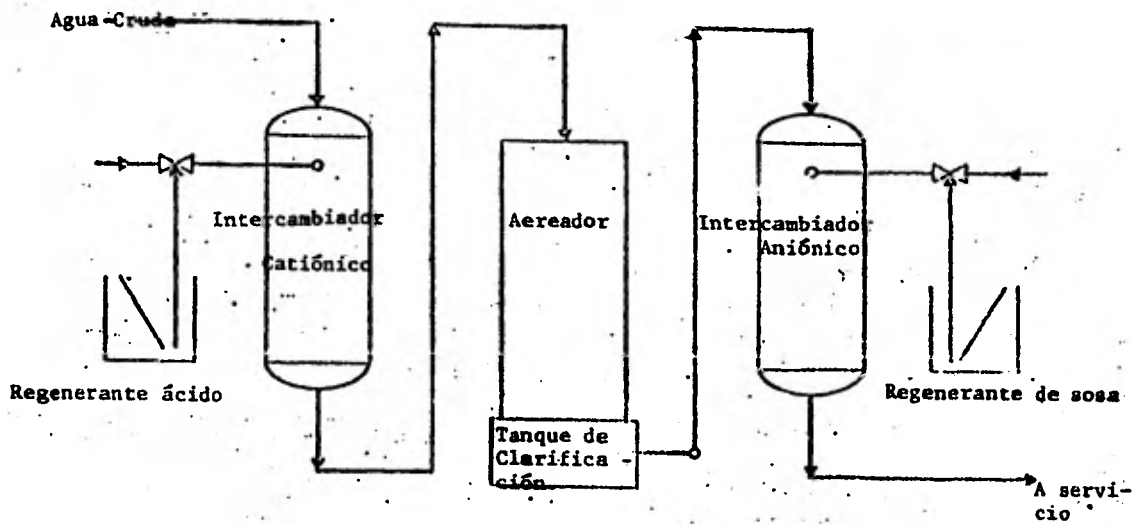


Fig.24. Sistema de doble cama con aerador para desmineralización y remoción de sílice.

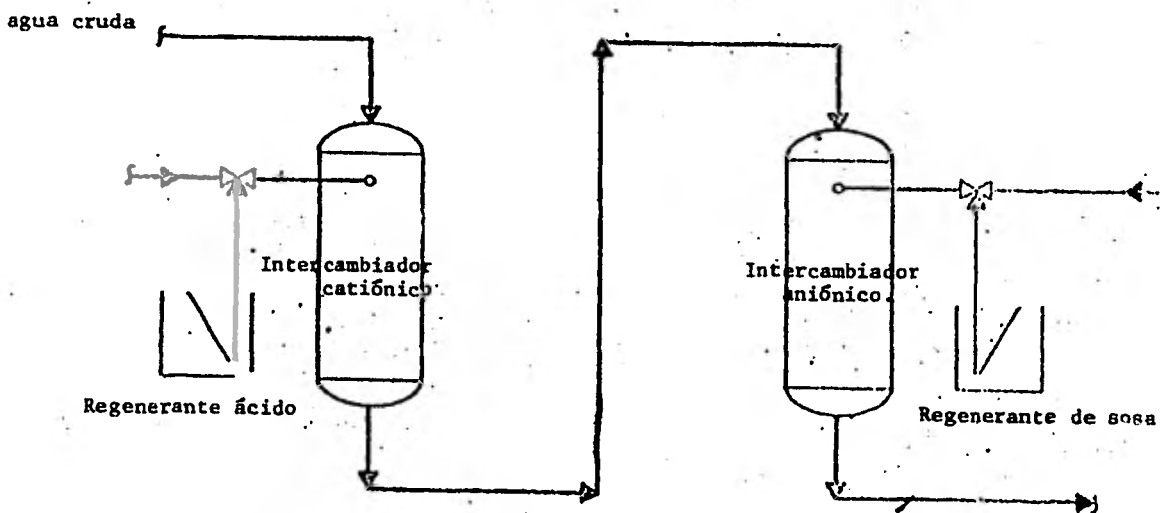


Fig.25: Sistema de doble cama para desmineralización y remoción de sílice.



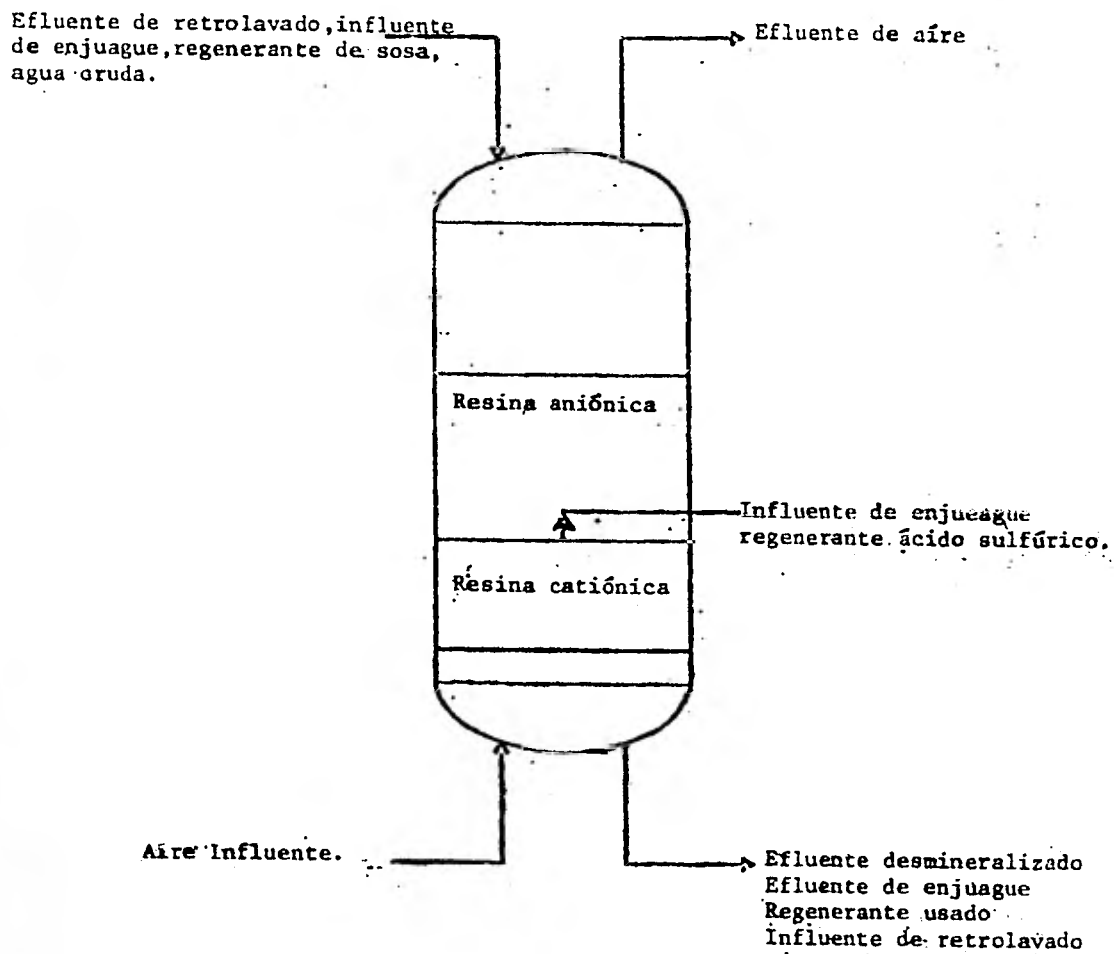


Fig. 26. Arreglo Para desmineralización de cama mixta.

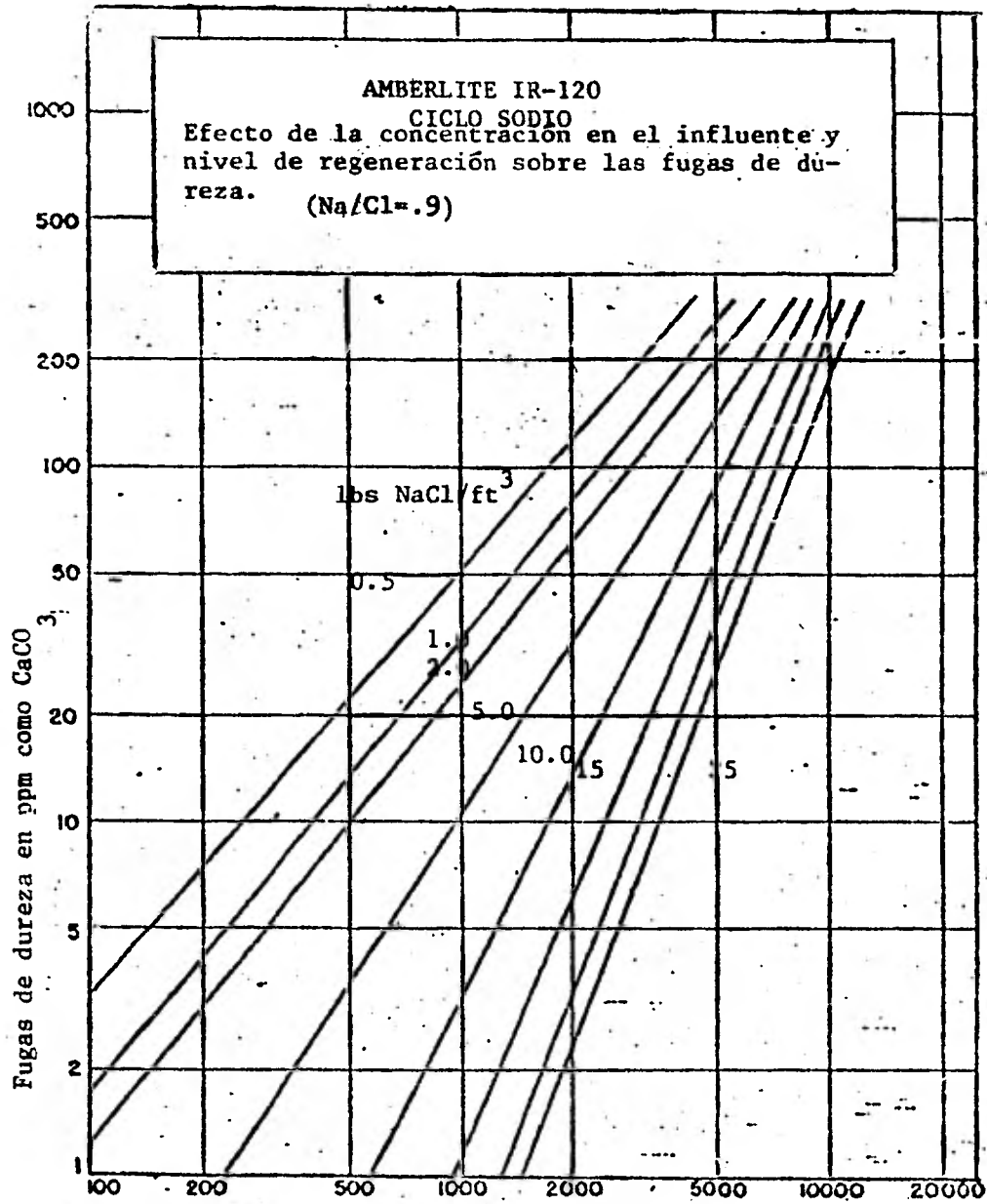


Fig.27. Concentración Combinada de Na-Cl en el Influyente en ppm como CaCO<sub>3</sub> (Rohm & Hass Co.).

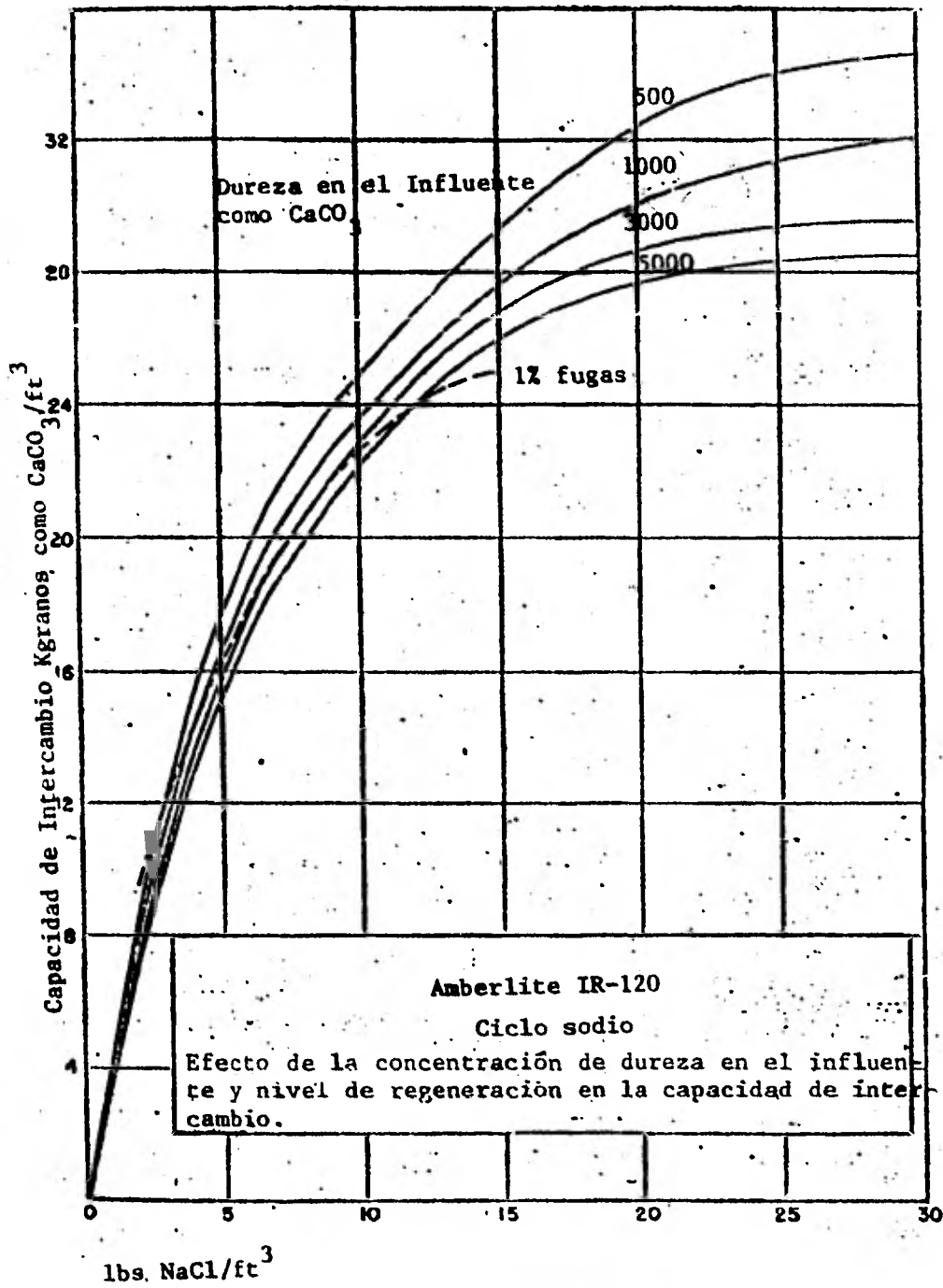


Fig. 28.

(Rohm & Haas Co.)

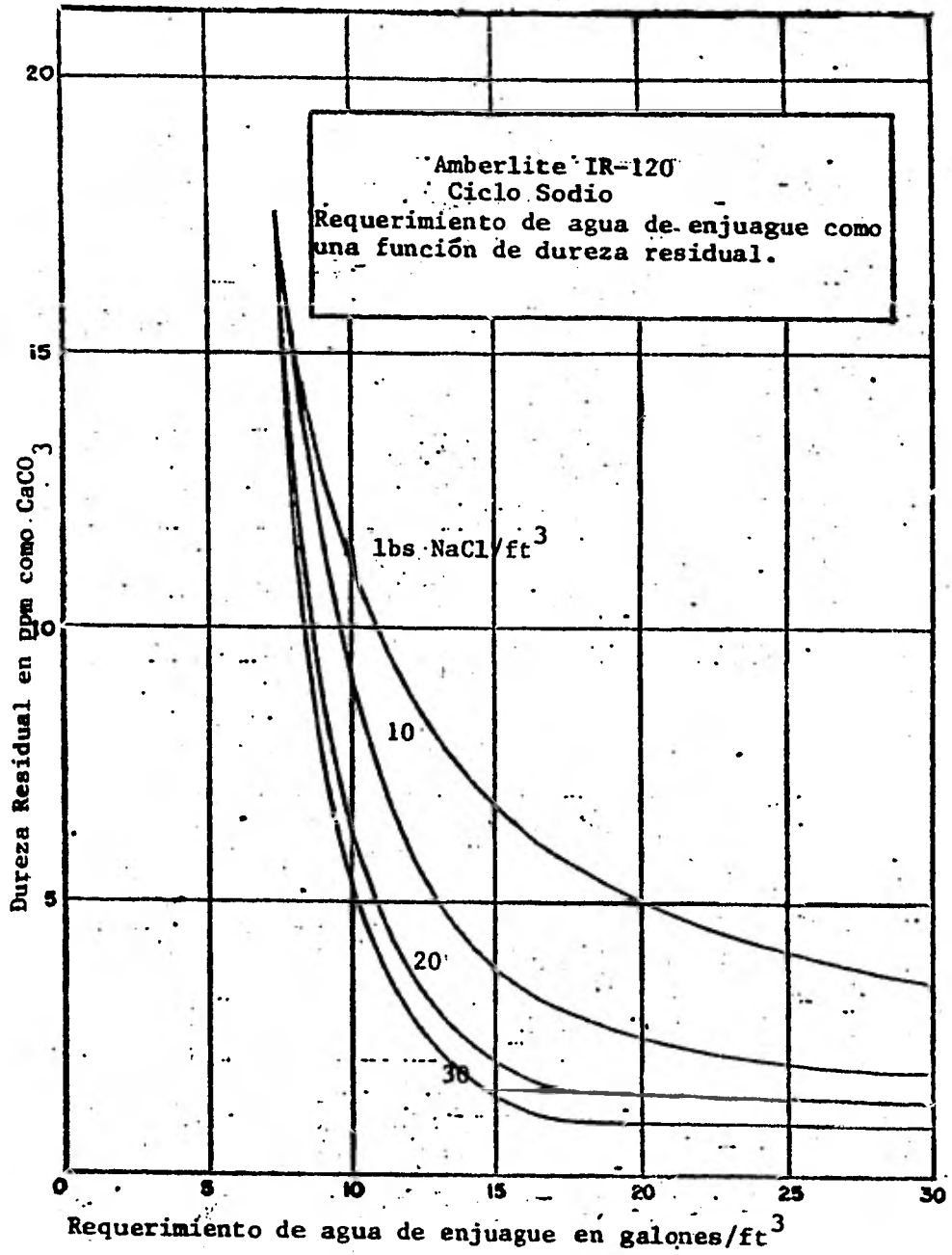
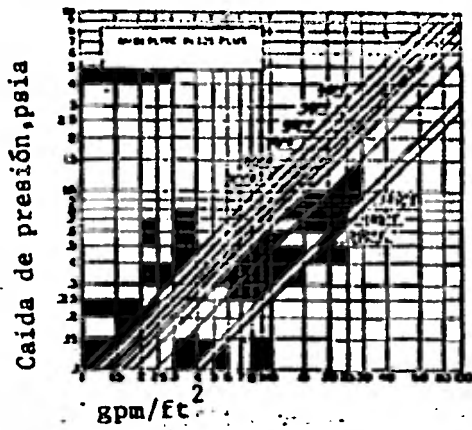
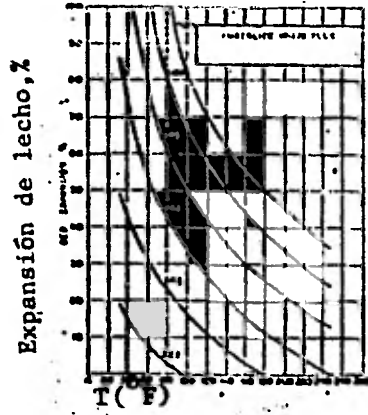


fig. 29.

(Rohm & Hass Co.)



Caída de presión en función de la velocidad de flujo.



Expansión hidráulica (parametro: gpm/ft<sup>2</sup> de retrolavado).

fig.30.  
(Rohm & Haas Co.).

La relación más pequeña se utiliza cuando se tienen concentraciones relativamente altas.

Si el volumen de resina requerida es mucho mayor que la que se puede acomodar en la columna, determinado por la velocidad de flujo deseado, se permite una estación del producto, teniéndose así -- una velocidad mínima aceptable. En el caso de que la velocidad de flujo deseada requiera de una columna mayor que la requerida por el volumen de resina fijado se puede utilizar columnas múltiples más pequeñas equipadas con sistemas de regeneración automáticos, con una columna -- normalmente en regeneración y las demás en operación. En los equipos a contracorriente continuos se adaptan más rápidamente estos extremos.

Con objeto de establecer las dimensiones y especificaciones para la capacidad de un sistema de Intercambio Iónico, es necesario conocer el flujo, el análisis de agua influente, las especificaciones de calidad para el efluente, el periodo de ciclo de operación y el número de unidades. Además la capacidad iónica de la resina debe ser conocida así como los costos locales de regenerantes.

#### Metodología de cálculo.

1. Pureza requerida del efluente (se consultan datos de pureza recomendada según uso final).
2. Estudio del análisis del suministro de agua.
3. Selección del tipo de pretratamiento.

4. Selección del esquema de desmineralización.

5. Establecimiento de niveles de regeneración y capacidades de intercambio:

a) Los sólidos disueltos totales especificados establecen la fuga permisible de cationes, lo cual determina el nivel del ácido regenerante requerido.

b) De manera similar la cantidad de sílice deseada en el efluente indica la fuga de sílice permisible y por consiguiente el nivel requerido de sosa cáustica regenerante.

Del análisis de diseño del influente se calcula.

$$1) \quad \% \text{ Na} = \frac{\text{sodio}}{\text{total cationes}} \times 100$$

$$2) \quad \% \text{ alcalinidad} = \frac{\text{alcalinidad}}{\text{total aniones}} \times 100$$

$$3) \quad \% \text{ sílice} = \frac{\text{sílice}}{(\text{total aniones intercambiables})} \times 100$$

**NOTA:**

\* alto porcentaje de sodio aumenta la fuga de cationes y requiere de mayores niveles de ácido para abatir estas fugas.

\* Bajo porcentaje de alcalinidad también aumenta la fuga de cationes y el nivel de ácido requerido.

\* Alto porcentaje de sílice aumentan la fuga de sílice y el nivel requerido de sosa cáustica para regeneración.

c) Con esto se selecciona el nivel de regenerante y la capacidad de intercambio de la resina (por fabricante: Amberlite, Permutit, Res Int, etc.).

d) Calcular el exceso de ácido y sosa descargado durante las regeneraciones con el objeto de evitar contaminación a cuerpos recepto res.

6) Especificación del tamaño de ciclo y flujos unitarios.

Area de la unidad = f(flujo por área)

Volumen de resina = f(ciclo)

$$\text{Volumen de resina} = \frac{(\text{gasto}) (\text{dureza en}) (\text{tiempo})}{(\text{agua}) (\text{agua cruda}) (\text{regeneración}) \text{ capacidad de resina}}$$

$$\text{ft}^3 \text{ resina} = \frac{0.0035 (\text{gpm}) (\text{ppm}) (\text{h})}{\text{Kg/ft}^3}$$

7)

$$\text{profundidad del lecho} = \frac{\text{volumen de resina}}{\text{area}}$$

La profundidad adecuada está entre 30 in y 72 in.

8)

altura del tanque = (profundidad del lecho) factor de expansión.



se deberá considerar 50%-75% de expansión.

- 9) Caída de presión = f(tipo de resina, temperatura de agua, velocidad superficial)

se estima mediante gráficas que proporciona el fabricante

- 10) Tiempo de retrolavado = 10 horas  
 11) Duración del ciclo = 4-8 horas (se puede llegar a 24 h)

Ejemplo ilustrativo.

Diseño de un sistema de ablandamiento con zeolitas de sodio.

- 1) flujo: 50 000 lb/h

$$50\,000 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \times \frac{\text{ft}^3}{62.4 \text{ lb}} \times \frac{7.48 \text{ gal}}{\text{ft}^3} \times \frac{\text{h}}{60 \text{ min}} = 100 \text{ gpm}$$

- 2) Análisis del agua cruda:

Total sólidos disueltos	778 gpm	ppm como CaCO <sub>3</sub>
Silice	29.0	24.3
Fierro	0.6	1.5
Calcio	104.0	260.0
Magnesio	23.0	94.0
Sodio	112.0	243.0
Potasio	6.6	8.5
Bicarbonatos	217.0	178.0
Sulfatos	295.0	154.0
Cloruros	201.0	283.0
Dureza total		354.0

- 3) Calidad del efluente (fugas) = 10 ppm  
 4) Ciclo regeneración: 10 horas.  
 5) 2 Unidades que trabajan al 50% de capacidad simultáneamente y al 100% en regeneración.

6) Nivel de regeneración:

a. Fugas = 10 ppm

$$\text{Relación sodio/calcio} = \frac{243}{260} = 0.935$$

$$\text{Conc. de sodio y calcio en influente} = 243 + 260 = 503$$

De la gráfica ( 27 ) Rohm and Hass Co.

$$\text{Nivel de regeneración} = \frac{3 \text{ lb NaCl}}{\text{ft}^3}$$

b. En la gráfica ( 28 ) se localiza la capacidad de la resina como función de la dureza del influente y del nivel de regeneración:

$$\text{capacidad de la resina} = \frac{16 \text{ Kilogramos como CaCO}}{\text{ft}^3}$$

7) Volumen de resina:

$$\text{ft}^3 \text{ resina} = \frac{0.0035 (\text{gpm}) (\text{ppm}) (\text{h})}{\text{Kg/ft}^3}$$

$$\text{ft}^3 \text{ resina} = \frac{0.0035 (100) (354) (10)}{16} = 77.5$$

## 8) Diámetro del tanque:

Para 8 gpm/ft<sup>2</sup> y 100 gpm el diámetro del tanque es de 48 pulgadas y área de 12.57 ft<sup>2</sup>.

(se recomienda para este tipo de resina 8 gpm/ft<sup>2</sup>; ver -- criterios).

## 9) Profundidad del lecho:

$$\text{Prof. lecho} = \frac{77.5 \text{ ft}^3}{12.57 \text{ ft}^2} \times \frac{12 \text{ in}}{\text{ft}} = 74 \text{ in}$$

## 10) Altura del tanque:

Factor de expansión = 1.75 %

Altura = (74 in) .1.75 = 155 in

## 11) Caída de presión:

De la fig. ( 30 ) para T = 120 °F y 8 gpm/ft<sup>2</sup>, se encuentra P = 0.48 psi/ft

$$P = \frac{0.48 \text{ psi}}{\text{ft}} \times 74 \text{ in} \times \frac{\text{ft}}{12 \text{ in}} = 2.96 \text{ psi}$$

## 12) Flujo de retrolavado:

De la gráfica ( 30 ) con porcentaje expansión del 75% y 70 °F se encuentra un flujo de 8.5 gpm/ft<sup>2</sup>, por lo tanto (para 10 min de retrolavado):

$$\begin{aligned} \text{agua de retrolavado} &= \frac{8.5 \text{ gpm}}{\text{ft}^2} \times 12.57 \text{ ft}^2 \times 10 \text{ min} = \\ &= 1068 \text{ gal} \end{aligned}$$

## 13) Flujo de enjuague:

De la gráfica (29) con nivel de regeneración =

$$= \frac{3 \text{ lb NaCl}}{\text{ft}^3} \text{ y fugas de } 10 \text{ ppm}$$

$$\text{Flujo de enjuague} = \frac{14 \text{ gal}}{\text{ft}^3}, \text{ por lo tanto}$$

$$\text{Agua de enjuague} = \frac{14 \text{ gal}}{\text{ft}^3} \times 77.5 \text{ ft}^3 = 108.5 \text{ gal}$$

CRITERIOS GENERALES

TABLA No. 39

FLUJO TOTAL A TRAVES DE FILTROS Y SUAVIZADORES  
CILINDRICOS VERTICALES (29)

DIMENSIONES		FLUJO, GALONES/MIN/ft <sup>2</sup> AREA DEL LECHO					
DIAMETRO (in)	Area (ft <sup>2</sup> )	3	4	5	6	8	10
18	1.77	5	7	9	11	14	18
24	3.14	9	13	16	19	25	31
30	4.91	15	20	24	30	39	49
36	7.07	21	28	35	42	56	71
42	9.62	29	38	48	58	77	96
48	12.57	38	50	63	75	100	126
54	15.90	48	64	86	95	127	159
60	19.60	59	78	98	118	157	196
66	23.8	71	95	119	143	190	238
72	28.3	85	113	142	170	226	283
78	33.2	100	133	166	199	266	332
84	38.5	116	154	193	231	308	385
90	44.2	133	177	221	265	354	442
96	50.3	151	201	252	302	402	503
108	63.6	191	254	318	382	509	636
120	78.5	231	314	392	471	628	785
132	95.0	285	380	475	570	760	950
144	113.1	339	452	566	679	905	1131

TABLA No. 40

TABLA DE PUREZA DE AGUA DESMINERALIZADA (30)

GRADO DE PUREZA	OHMS-CM RES-ESP (77 °F)	CONDUCTIVIDAD MHOS	LECHO MIXTO O 2 LECHOS CON BASE DEBIL	2 LECHOS CON BASE FUERTE
ULTRA PURA	$10 \times 10^6$	0.1	0.04 *	0.02
MUY PURA	$1 \times 10^6$	1.0	0.40	0.20
PURA	$1 \times 10^5$	10.0	4.00	2.00

\* Concentraciones en ppm como  $\text{CaCO}_3$

TABLA No. 41

INTERVALO DE CONTENIDO DE ELECTROLITO (COMO TDS) Y SILICE EN  
EFLUENTES DE SISTEMAS DE DESMINERALIZACION (31)

CONCEPTO	2 6 3 LECHOS	4 LECHOS	LECHO MIXTO	2 6 3 LECHOS MIXTO
ELECTROLITO (TDS) ppm	2.0 - 3.0	0.2 - 1.00	0.2 - 0.5	0.04 - 0.10
SILICA (como SiO <sub>2</sub> ) ppm	0.2 - 0.1	0.01 - 0.05	0.02 - 0.10	0.002 - 0.1
CONDUCTIVIDAD mhos	10.0 - 15.0	1.0 - 5.0	0.50 - 1.25	0.10 - 0.25
RESISTENCIA ESPECIFICA	67000	200000	800000	4000000
OHMS-CM	100000	1000000	2000000	10000000



TABLA No. 42

RESULTADOS ESPERADOS CON TRATAMIENTO DE ZEOLITAS  
DE SODIO SIMPLES (32)

CONSTITUYENTE	COMO	A	B
CALCIO	CaCO <sub>3</sub>	150	2
MAGNESIO	CaCO <sub>3</sub>	50	1
SODIO	CaCO <sub>3</sub>	100	297
TOTAL ELECTROLITOS	CaCO <sub>3</sub>	300	300
BICARBONATO	CaCO <sub>3</sub>	200	200
CARBONATOS	CaCO <sub>3</sub>	0	0
HIDROXILOS	CaCO <sub>3</sub>	0	0
SULFATOS	CaCO <sub>3</sub>	50	50
CLORURO	CaCO <sub>3</sub>	50	50
NITRATOS	CaCO <sub>3</sub>	0	0
ALCALINIDAD M	CaCO <sub>3</sub>	200	200
ALCALINIDAD P	CaCO <sub>3</sub>	0	0
CO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	20	20
SILICE	CaCO <sub>3</sub>	15	15
FIERRO	Fe	0.2	NIL
TURBIDEZ		NIL	NIL
TDS		350	370
COLOR		NIL	NIL

TABLA No. 43

CARTA DE SELECCION DE UNIDADES DE DESMINERALIZACION (33)

VELOCIDAD DE FLUJO, gpm	CANT. IMPUREZAS PARA REMOCION, mg/l			RESINAS REQUERIDAS			UNIDADES A UTILIZAR				
	FMA	CO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	C	BD	BF	C	DG	A	LM	
Cualquiera	Cualquiera	Ninguna	Ninguna	X	X	-	(1) X (2) -	-	X	-	X
Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Ninguna	X	X	-	(1) X (2) -	X	X	X	X
0-20	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	X	-	X	(1) X (2) -	-	-	X	-
20-50	Cualquiera	0-50	Cualquiera	X	-	X	(1) X (2) -	-	-	X	-
100	0-100	100	Cualquiera	X	-	X	(1) X (2) X	X	X	X	-
100	200	200	Cualquiera	X	X	X	(1) X (2) X	X	X	X	X

NOTAS:

- C = catiónica
- A = aniónica
- DG = desgasificador
- LM = lecho mixto
- BD = base débil
- BF = base fuerte
- AML = acidez mineral libre (SO<sub>4</sub> + Cl + NO<sub>3</sub>)

- (1) planta de multi-lechos
- (2) lecho mixto para efluente micromho.

Intervalos intermedios entre 500 y 100 gpm de flujo, 50-100 mg/l de CO<sub>2</sub>, 100-200 mg/l de ácido libre mineral, requiere de una evaluación cuidadosa para el mejor balance de costos de inversión y de operación.

TABLA No. 44

PROCEDIMIENTOS A SEGUIR PARA FALLAS EN SISTEMAS DE INTERCAMBIO IONICO (34)

$\Delta P$  (CAIDA DE PRESION)

$\Delta P$ ALTA	<u>CAUSA</u>	<u>ACCION</u>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Válvula parcialmente cerrada</li> <li>◦ Aumento en velocidad de flujo</li> <li>◦ Compactación de lecho</li> <li>◦ Finos de resinas.</li> <li>◦ Temperatura del agua más baja</li> <li>◦ Canalización</li> <li>◦ Retrolavado pobre</li> <li>◦ Aumento de altura de lecho de resinas aniónicas en multilechos</li> <li>◦ Cultivos biológicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Chequeo y ajuste de válvulas</li> <li>◦ Disminuir flujo</li> <li>◦ Agitación mecánica para completar el retrolavado.</li> <li>◦ Remoción con retrolavado.</li> <li>◦ Disminuir viscosidad.</li> <li>◦ Retrolavado.</li> <li>◦ Chequeo de colectores</li> <li>◦ Chequeo de válvulas operando</li> <li>◦ Chequeo de soporte de lechos</li> <li>◦ Chequeo regular de flujo</li> <li>◦ Ajuste con cambio en T y P del agua.</li> <li>◦ La resina pasa a la siguiente unidad.</li> <li>◦ Limpieza química.</li> <li>◦ Pretratamiento para controlar organismos.</li> </ul>
$\Delta P$ BAJA	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Reducción de flujo.</li> <li>◦ Aumento de temperatura.</li> <li>◦ Pérdida de resina. Reducción de altura de lecho.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Aumentar flujo.</li> <li>◦ Checar velocidad de lavado a la temperatura más alta.</li> <li>◦ Checar las alcantarillas durante el lavado.</li> <li>◦ Resina gastada debido a uso.</li> <li>◦ Contaminación con aceite.</li> </ul>

<p>CALIDAD BAJA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>° Fugas de válvulas.</li>   <li>° Velocidad de flujo excesivo.</li> <li>° Velocidad de flujo bajo.</li>   <li>° Temperatura baja</li>   <li>° Presencia de Fe en agua tratada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>° Checar muestras de lecho contra - muestras de salida de tubería (antes y después de la válvula). Precaución especial en lavado de válvula de entrada.</li> <li>° Checar topos límites en válvulas eléctricas.</li> <li>° Checar presión del aire en válvulas neumáticas.</li> <li>° Checar daños físicos debido al golpeo del agua si el problema aparece en todas las unidades al mismo tiempo.</li> <li>° Checar suministros (aire o fluido) tamaño y presión.</li> <li>° Tiempo de reacción insuficiente, - reducción de flujo.</li> <li>° Distribución pobre. Colocar una o más unidades en espera. Recircular agua tratada a la entrada.</li> <li>° Velocidad de reacción baja. Reducción de velocidad de flujo precalentar alimentación.</li> <li>° Resina sucia. Pretratar para remover antes del - Intercambiador. Aditivos en regeneración.</li> </ul>
<p>DISMINUCION DE CAPACIDAD</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>° Disminución de carga y/o distribución de iones intercambiables.</li> <li>° Presencia de <math>Fe^{2+}</math>, <math>Mn^{2+}</math> y <math>Al^{3+}</math> y precipitados.</li>   <li>° Canalización, distribución pobre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>° Aumentar regenerante. Añadir resina. Investigar pretratamiento. Checar suministro de agua. Checar lavado. Checar regenerantes químicos. Pretratamiento para remoción. Checar lavado</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Resina vieja.</li> <li>◦ Pérdida de resina.</li> <li>◦ Concentración de regenerante.</li> <li>◦ Enjuague excesivo.</li> <li>◦ Oxidación de resina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Aumentar flujo.</li> <li>◦ Aumentar a 5% año pérdidas en capacidad de contaminantes.</li> <li>◦ Analizar la resina para determinar su vida útil remanente.</li> <li>◦ Retrolavado excesivo.</li> <li>◦ Flotación para disolver gases.</li> <li>◦ Checar bombas, eyectores.</li> <li>◦ Checar flujos de dilución y tiempos de asentamiento</li> <li>◦ Ajustar período de enjuague.</li> <li>◦ Analizar para la determinación final de enjuague.</li> <li>◦ Sustituir si hay 60% o más de humedad.</li> </ul>
--	--	--

RESINA CATIONICA CICLO HIDROGENO

CAPACIDAD BAJA

Todos los puntos listados para suavizadores con capacidades bajas corresponden también a intercambiadores catiónicos ciclo hidrógeno.

- Precipitación de  $\text{CaSO}_4$  ( $\text{BaSO}_4$ )
- Fosfato de calcio, sílice coloidal, óxido de titanio, aceites - o grasas.

- Remoción con limpiado químico
- Reajuste de concentración de ácido
- Limpieza química.
- Pretratamiento para remover antes del intercambio iónico.

CALIDAD POBRE

Todos los puntos listados para suavizadores de calidad baja pueden corresponder al intercambio catiónico de hidrógeno.

CONTINUACION TABLA No. 44

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcio en agua tratada</li> <li>• Dureza en agua tratada.</li> <li>• Exceso de sodio en agua tratada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación de <math>\text{CaSO}_4</math> durante la regeneración con <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math>. Ajuste de la concentración de ácido.</li> <li>• Alimentación de <math>\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2</math></li> <li>• Fugas por válvulas. Flujo alto. Canalización</li> <li>• Distribución baja</li> <li>• Chacar concentración del regenerante y calidad. Investigar flujo o regenerante con HCl.</li> </ul>
	<u>ANIONICA DEBILMENTE BASICA</u>	
CAPACIDAD BAJA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de iones intercambiables</li> <li>• Enjuague excesivo</li> <li>• Precipitación de sílice.</li> <li>• Tiempo de resina</li> <li>• Precipitación química</li> <li>• Resina pobre.</li> <li>• Canalizaciones, distribución pobre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar resina. Aumentar regenerante.</li> <li>• Oxidación de la resina. Retención de sodio</li> <li>• Sustitución de resina. Utilizar amoníaco como regenerante</li> <li>• Ajustar periodo de enjuague</li> <li>• Limpiar químicamente.</li> <li>• Aumentar a 20%/año pérdidas en capacidad de contaminantes.</li> <li>• Checar unidades catiónicas.</li> <li>• Ajustar velocidad del agua a los cambios de PyT.</li> <li>• Como se dijo anteriormente.</li> </ul>
CALIDAD BAJA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{Cl}_2</math> en agua tratada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Checar funcionamiento catiónico. Checar regenerante. Checar para precipitación de sílice en sistemas fuertemente débiles en serie.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Agua tratada con pH alto.</li> <li>◦ Dureza en agua tratada.</li> <li>◦ Sodio excesivo en agua tratada</li> <li>◦ Fugas de todos los iones intercambiables.</li> <li>◦ Ensuciamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Checar goteo en válvulas.</li> <li>◦ Checar funcionamiento catiónico.</li> <li>◦ No hay enjuague suficiente.</li> <li>◦ Checar resina catiónica.</li> <li>◦ Checar fugas en válvulas</li> <li>◦ Controlar flujos.</li> <li>◦ Evitar canalización.</li> <li>◦ Limpieza química.</li> <li>◦ Pretratamiento para remoción.</li> </ul>
<b>CAPACIDAD BAJA</b>	<b><u>ANIONICO FUERTEMENTE BASICO</u></b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Aumento de carga de iones intercambiables.</li> <li>◦ Enjuague excesivo</li> <li>◦ Precipitación química.</li> <li>◦ Ensuciamiento orgánico.</li> <li>◦ Ensuciamiento de metales pesados</li> <li>◦ Cultivos microbiológicos excesivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Adicionar resinas.</li> <li>◦ Disminuir regenerante.</li> <li>◦ Checar desgasificador para remover CO<sub>2</sub>.</li> <li>◦ Analizar para determinación final de enjuague.</li> <li>◦ Ajustar periodo de enjuague</li> <li>◦ Checar recirculación de agua de enjuague.</li> <li>◦ Dureza en agua regenerante y/o fugas de unidad catiónica.</li> <li>◦ Pretratamiento para remoción</li> <li>◦ Limpiar químicamente</li> <li>◦ Checar catiónicamente para ensuciamiento</li> <li>◦ Limpieza química.</li> <li>◦ Limpieza química</li> <li>◦ Pretratamiento de control de organismos.</li> </ul>
<b>CALIDAD BAJA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Aumento de silicio en agua tratada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Ensuciamiento orgánico</li> <li>◦ Limpieza química.</li> <li>◦ Checar concentración de regenerante y cantidad.</li> <li>◦ Checar temperatura del regenerante</li> </ul>

CONTINUACION TABLA No. 44

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de pH en agua tratada.</li> <li>• Cl<sub>2</sub> en agua tratada</li> <li>• Dureza en agua tratada</li> <li>• pH bajo de agua tratada</li> <li>• Conductividad baja de agua tratada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar temperaturas</li> <li>• Limpieza química.</li> <li>• Aumento de fugas catiónicas</li> <li>• Checar pH-metro</li> <li>• Checar fugas en válvulas</li> <li>• Checar contenido de Cl<sub>2</sub> del agua regenerante</li> <li>• Precipitación de sílice en base -- débil</li> <li>• Enjuague suficiente.</li> <li>• Limpieza orgánica y química</li> <li>• Agua descationizada</li> <li>• Checar pH-metro</li> <li>• Cubrir totalmente la capacidad - aniónica.</li> </ul>
	<u>LECHO MIXTO</u>	
CAPACIDAD/CALIDAD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH bajo de agua tratada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensuciamiento orgánico aniónico.</li> <li>• Limpieza química</li> <li>• Mezclado impropio</li> </ul>
ΔP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcio en agua tratada</li> <li>• Dureza en agua tratada</li> <li>• pH alto de agua tratada</li> <li>• Conductividad alta de agua tratada.</li> <li>• Enjuague excesivo</li> <li>• Sílice alto en agua tratada</li> <li>• Calidad pobre en general.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación de CaSO<sub>4</sub></li> <li>• Checar regenerante.</li> <li>• Checar para cambiar carga de iones intercambiables.</li> <li>• Distribuir canalizaciones.</li> <li>• Temperatura baja del agua.</li> <li>• Separación impropia de resina.</li> <li>• Limpieza orgánica.</li> <li>• Limpieza química.</li> <li>• Corregir concentración de regenerante, cantidad y temperatura.</li> <li>• Checar fugas en válvulas.</li> <li>• Checar separación de lechos.</li> </ul>



Checar mezclado  
Checar regenerante (cantidad).

---

TABLA No. 45

FLUJOS RECOMENDADOS EN ETAPAS DE  
INTERCAMBIO IONICO

	TIEMPO DE RESIDENCIA (minutos)	FLUJO RECOMENDADO
SERVICIO		6-8 gpm/ft <sup>2</sup>
REGENERACION	10	1 gpm/ft <sup>3</sup> (6-12 gpm/ft <sup>2</sup> )

TABLA No. 46

COMPARACION DE REGENERACION A CORRIENTE Y A CONTRACORRIENTE  
DE INTERCAMBIADOR CATIONICO (35)

FACTOR DE OPERACION	CORRIENTE	CONTRACORRIENTE
<b>REGENERACION</b>		
Acido, lb/ft <sup>3</sup> Concentración	6.0 2% y 4%	3.7 2%
<b>CAPACIDAD:</b>		
Kgr/ft <sup>3</sup> lbs H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /Kgr	7.7 0.78	14.5 0.26
<b>REGENERACION:</b>		
Consumo de ácido como % del teórico	520%	170%

TABLA No. 47

FLUJOS PARA INTERCAMBIADORES IONICOS Y SUS DIMENSIONES (36)

DIAMETRO	AREA FT <sup>2</sup>	RESINA MINIMA Ft <sup>3</sup> @ 30'	RETROLAVADO, gpm			FLUJO DE SERVICIO, gpm max (4)		
			(1)	(2)	(3)	1 UNIDAD	2 UNIDAD	3 UNIDAD
2' 0"	3.14	8	9	19	38	19	25	50
2' 6"	4.91	12	15	30	59	30	40	80
3' 0"	7.07	18	21	42	85	42	56	112
3' 6"	9.62	24	29	58	116	58	77	154
4' 0"	12.60	32	38	75	150	75	100	200
4' 6"	15.90	40	48	95	190	95	130	260
5' 0"	19.60	49	59	118	235	118	160	320
5' 6"	23.80	60	71	143	285	143	190	380
6' 0"	28.30	71	85	170	340	170	230	460
6' 6"	33.20	83	100	200	400	200	270	540
7' 0"	38.50	96	115	230	460	230	310	620
7' 6"	44.20	110	132	265	530	265	350	700
8' 0"	50.30	126	150	300	600	300	400	800
8' 6"	56.80	142	170	340	680	340	450	900
9' 0"	63.60	160	190	380	760	380	500	1000
9' 6"	70.90	176	213	425	850	425	570	1140
10' 0"	78.50	196	235	470	940	470	630	1260
11' 0"	95.00	240	285	570	1140	570	750	1500

CONTINUACION TABLA No. 47

- (1) Velocidad de flujo de retrolavado: 3 gpm/ft<sup>2</sup> para resinas aniónicas a 70 °F.
- (2) Velocidad de flujo de retrolavado: 6 gpm/ft<sup>2</sup> para resinas catiónicas a 70 °F.
- (3) Velocidad de flujo de retrolavado: 12 gpm/ft<sup>2</sup> para resinas catiónicas a 220 °F.
- (4) El flujo de servicio se basa en velocidades de 6 gpm/ft<sup>2</sup> como velocidad máxima en unidades simples y 8 gpm/ft<sup>2</sup> en unidades múltiples cuando una unidad está fuera de servicio por regeneración. Para suministrar una fuente continua de agua tratada, la mayoría de las plantas usan 2 unidades, así -- que mientras una está siendo regenerada las otras están en servicio.

TABLA No. 48

REPRESENTACION TIPICA DE ZEOLITAS DE SODIO (37)

Consumo de sal	6	8	10	15
Capacidad aprox. Kgr/ft <sup>3</sup>	20	23	25	30
Relación de sal lb/Kgr.	0.30	0.35	0.40	0.50
mg/l sal/mg/l dureza	2.1	2.5	2.8	3.5
Fugas de dureza mg/l				
100 mg/l electrolito total	0.1-0.3	0.1-0.2	0.1	0.1
250 mg/l electrolito total	0.5-2.0	0.5-1.0	0.3-0.5	0.1-0.20
500 mg/l electrolito total	3.0-6.0	2.0-4.0	1.0-3.0	0.5-1.0
1000 mg/l electrolito total	12-25	8.0-15.0	5.0-10.0	2.0-4.0

TABLA No. 49

INTERCAMBIO CATIONICO DE ALTA CAPACIDAD (38)

(CAPACIDADES POR FT<sup>3</sup> CON CONSUMO DE SAL DE 0.275 a 0.50 lb/Kgrano)

CAPACIDADES DE ABLANDAMIENTO Kgrano/ft <sup>3</sup>	CONSUMO DE SAL	
	lb/Kgrano	lb/ft <sup>3</sup>
27	0.50	13.5
26	0.45	11.7
25	0.40	10.0
24	0.35	8.4
22	0.30	6.6
20	0.275	5.5

TABLA No. 50

INTERCAMBIADORES CATIONICOS CICLO SODICO DATOS TIPICOS (39)

INTERCAMBIADORES CATIONICO SODICO	TAMAÑO (MALLA)	lb/ft <sup>3</sup>	COLOR	CONSUMO DE SAL		CAPACIDADES Kg/ft <sup>3</sup>
				lb/Kg	lb/ft <sup>3</sup>	
Resina poliestireno alta capacidad	16-50	53	ambar	0.50	13.5	27
				0.45	11.7	26
				0.40	10.0	25
				0.35	8.4	24
				0.30	6.6	22
				0.275	5.5	20
Carbonáceas	16-50	24-30	negro	0.45	3.15	7
				0.40	2.68	6.9
				0.375	2.37	6.3
				0.35	2.10	6.0
				0.50	5.0	10
Zeolitas sintéticas	16-50	54	blanco	0.45	4.05	9
				0.40	3.2	8
Greensand alta capacidad	16-50	80	negro	0.45	2.25	5
				0.40	1.76	4.4
Greensand standard	16-50	80	verde	0.50	1.5	3.0
				0.45	1.26	2.8
				0.40	0.96	2.4

209

NOTA:

	flujo (gpm/ft <sup>2</sup> )	Retrolavado (gpm/ft <sup>2</sup> )
Resina carbonácea	6-8	6
Greensand	5-6	7
Resina sintética	6-8	7



TABLA No. 51

REPRESENTACION TIPICA DE RESINA CATIONICA FUERTE CICLO HIDROGENO

(REGENERACION ACIDO SULFURICO) (40)

NIVEL DE REGENERACION (ACIDO), lb/ft <sup>3</sup>	6	8
CAPACIDAD APROXIMADA, Kgr/lb/ft <sup>3</sup>		
1. Total electrolito/alcalinidad M=3.0	12	13.5
lbs/Kg	0.5	0.6
partes H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /partes cationes	3.5	4.2
2. Total electrolito/alcalinidad M=2.0	13.5	16
lbs/Kg	0.45	0.5
partes H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /partes cationes	3.20	3.5
3. Total electrolito/alcalinidad M=1.5	15	17
lbs/Kg	0.4	0.47
partes H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /partes cationes	2.8	3.3

1. Para desalcalinización corriente dividida, usese 6 lb H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/ft<sup>3</sup>
2. Para desmineralización:
  - a) 6 lb H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/ft<sup>3</sup> para lecho mixto
  - b) Para sistema de 2 lechos, usese 6 lb/ft<sup>3</sup>, para Na < 50 mg/l, 8 lb/ft<sup>3</sup> en otros casos.

TABLA No. 52

CAPACIDADES TÍPICAS DE UN INTERCAMBIADOR CATIONICO POLIESTIRENO DE ALTA CAPACIDAD

CICLO HIDROGENO, CUANDO SE REGENERA CON 5 y 10 lb HCl/ft<sup>3</sup> (41)

Cationes sodio: porcentaje de los cationes totales como CaCO<sub>3</sub>

Alcalinidad: porcentaje de los aniones totales como CaCO<sub>3</sub>

Fugas: porcentaje de cationes totales.

HCl(lb/ft <sup>3</sup> ) 100%	CATIONES SODIO %	90% ALCALINIDAD		50% ALCALINIDAD		5% ALCALINIDAD	
		Kg/ft <sup>3</sup>	FUGAS %	Kg/ft <sup>3</sup>	FUGAS %	Kg/ft <sup>3</sup>	FUGAS %
5lb a 15%	10	21.7	0.2	21.1	1.5	20.1	2
	20	22.1	0.3	21.3	1.8	20.3	2.4
	40	22.9	0.7	22.1	2.4	20.7	3.2
	60	23.5	1.2	22.7	3.8	21.3	5.0
	80	24.2	2.0	23.5	5.4	22.0	9.0
10lb a 15%	10	27.5	0.2	26.6	0.6	24.0	1.2
	20	27.6	0.3	26.7	0.8	24.1	1.5
	40	27.9	0.4	26.9	1.0	24.3	1.8
	60	28.2	0.6	27.1	1.2	24.7	2.2
	80	28.6	0.8	27.5	1.5	25.3	2.5

TABLA No. 53

CAPACIDADES TÍPICAS DE UN INTERCAMBIADOR CATIONICO CARBONACEO EN CICLO HIDROGENO

CUANDO SE REGENERA CON 2 y 2.5 lb/ft<sup>3</sup> DE H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 66 °Bé (42)

Cationes sodio: % de cationes totales como CaCO<sub>3</sub>

Alcalinidad: % aniones totales como CaCO<sub>3</sub>

Fugas: % cationes totales.

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (66 °Bé) lb/ft <sup>3</sup>	CATIONES SODIO %	90% ALCALINIDAD		50% ALCALINIDAD		5% ALCALINIDAD	
		Kg/ft <sup>3</sup>	FUGAS %	Kg/ft <sup>3</sup>	FUGAS %	Kg/ft <sup>3</sup>	FUGAS %
21b a 2%	10	5.6	0.4	4.6	2.0	3.7	4
	20	5.9	0.5	4.7	2.1	3.8	4.1
	40	6.4	0.6	4.9	2.3	3.8	4.3
	60	6.9	0.7	5.2	2.5	3.9	4.7
	80	7.6	1.1	5.4	3.0	4.0	5.4
251b 2%	10	7.2	0.2	5.4	2.0	3.8	3.4
	20	7.3	0.3	5.5	2.1	3.9	3.5
	40	7.5	0.5	5.7	2.2	4.0	3.6
	60	7.7	0.7	5.9	2.3	4.0	3.7
	80	7.9	0.9	6.2	2.4	4.1	3.8

TABLA No. 54

CAPACIDADES DE INTERCAMBIADORES FUERTEMENTE BASICOS EN  
SISTEMA DE DESMINERALIZACION (REGENERACION CON NaOH a 95 °F  
CON 90 MINUTOS DE TIEMPO DE CONTACTO) (43)

NaOH lb/ft <sup>3</sup>	Cap. Kgr/ft <sup>3</sup>	lbs/Kgr	SiO <sub>2</sub> final Mg/l
3.5	10	0.35	0.6
5.0	12	0.42	0.3

TABLA No. 55

CAPACIDADES TÍPICAS DE INTERCAMBIADORES DÉBILMENTE BÁSICOS (44)

AGENTE QUÍMICO	DOSIFICACION lb/ft <sup>3</sup>	CAPACIDAD Kgr/ft <sup>3</sup>	lbs/Kg
NH <sub>3</sub>	1.5	20.0	0.08
NaOH	3.0	21.3	0.14
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	6.6	19.6	0.34

NOTA:

Capacidades basadas en una relación 1:1 de HCl a H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

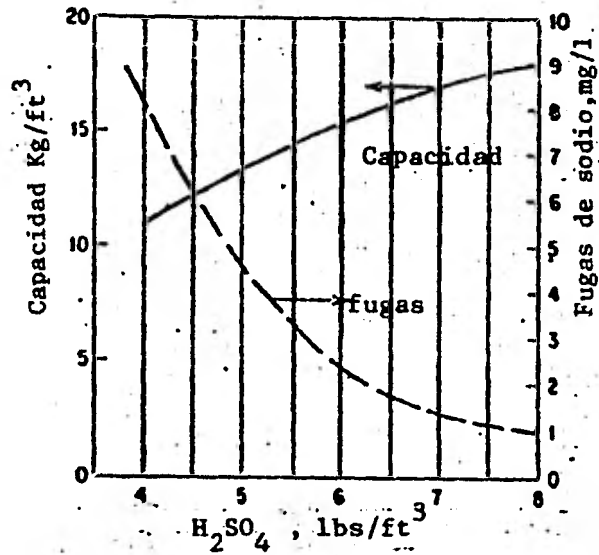


Fig.31. Características Típicas de Intercambiador ciclo Hidrógeno con flujos a contracorriente, resina ácido sulfónico.

The Nalco Water Handbook., Nalco Chem. Co., N.York (1979)

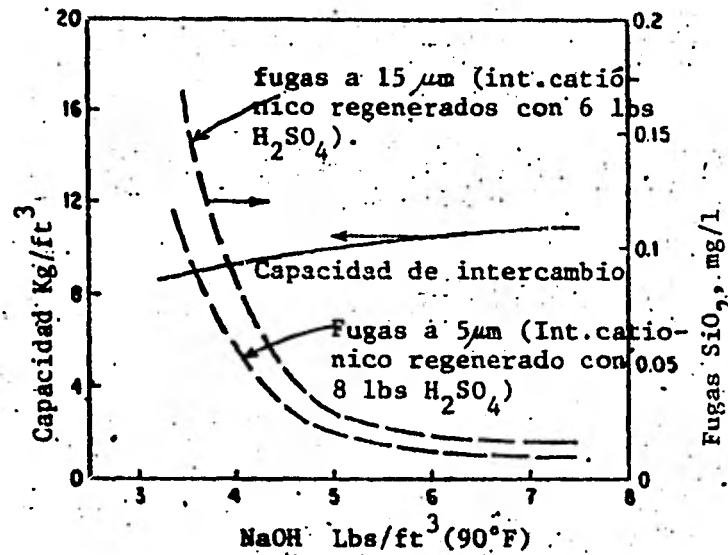


Fig.32.Efecto del Nivel de regeneración sobre las fugas de silicio con un sistema de dos lechos a contracorriente con--desgasificador.

The Nalco Water Handbook, Nalco Chemical Co., N.York (1979) pág.12-22.

TABLA No. 56

CARACTERISTICAS DE CAMBIADORES CATIONICOS (45)

A.- DATOS FISICO-QUIMICOS

GRUPO	DESCRIPCION	CAMBIADOR	NOMBRE COMERCIAL	LIMITES RECOMENDADOS DE OPERACION			
				gpm/ft <sup>2</sup> NORMAL-MAX+	pH:	+ (°C)	CLORO
1	Zeolita natural arenosa (aluminio-silicato-sódico).	(1)	ZeoDur				
		(2)	Inversand	3-4	6.8-8.0	43	sin limite
2	Zeolita sintética de gel de sílice (aluminio-silicato-sódico)	(3)	Decalso				
		(4)	Super nalcólite				
		(5)	Aridzone	3-4	6.8-8.3	60	sin limite
3	Zeolita carbonácea (carbón sulfonado)	(6)	Zeo-Karb				
		(7)	Catex-55 (Na)	4-6	sin limite	49	0
		(8)	Catex-12 (H)				
4	Resina fenólica	(9)	Dualrte C-3	5-8	sin limite	49	limitado
5	Estireno, capacidad media (resina de estireno polivinilo)	(10)	Amberlite IR-112	5-8	sin limite	9	sin limite
		(11)	Chempro C-25				
		(12)	Nalcite MCR				
6	Estireno, alta capacidad (resina de estireno polivinilo).	(13)	Amberlite IR-120	5-8	sin limite	121	sin limite
		(14)	Chempro C-20				
		(15)	Nalcite HCR				
		(16)	Permutit Q				

ACONDICIONAMIENTO DE AGUA PARA LA INDUSTRIA  
 SHEPPARD T. POWELL  
 ED. LINDSA-WILEY, S. A.



B. DATOS DE CAPACIDAD - CICLO SODIO						C. DATOS DE CAPACIDAD - CICLO HIDROGENO			
GRUPO	DESCRIPCION	CAMBIAR	REGENERANTE lb/ft <sup>3</sup>	CAPACIDAD Kg/ft <sup>3</sup>	EFICIENCIA lbs/Kg	ACIDO	REGENERANTE lb/ft <sup>3</sup>	CAPACIDAD Kg/ft <sup>3</sup>	EFICIENCIA lbs/Kg
1	Zeolita arenosa natural.	(1),(2)	1.25	2.8	0.45				
2	Zeolita sintética de gel de sílice	(3)	3.2	8	0.4				
		(3)	4	9	0.45				
		(4),(5)	4	12	0.33				
		(3)	5	10	0.50				
		(4)	5	14	0.36				
		(4),(5)	6	15	0.40				
(5)	6	17	0.53						
3	Carbón sulfonado	(6),(7),(8)	3.15	7	0.45	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	8	0.25
4	Resina fenólica	(9)				H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4	8.2	0.49
							6	10.0	0.60
							8	11.1	0.75
							10	12.0	0.80
						HCl	4.5	10.5	0.43
							8.0	12.5	0.64
							12.5	14.5	0.86
							17.0	16.0	1.06
							21.0	17.0	1.23
5	Capacidad media estirénica.	(10),(11),(12)				H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.5	9.5	0.26
							4.0	11.8	0.34
							5.0	13.5	0.37
							6.0	14.2	0.42
							8.0	16.2	0.49
6	Alta capacidad estirénica	(13),(14),(15),(16)					2.5	9.0	0.28
							4.0	10.5	0.38
							5.0	11.0	0.45
							6.0	12.0	0.50
							7.5	13.5	0.55
							8.0	15.0	0.53
							10.0	25.0	0.40
							13.5	27.0	0.50
							15.0	30.0	0.50
							HCl	10.0	19.0
15.0	21.6	0.70							
20.0	25.0	0.80							

\* Los nombres comerciales están identificados con los siguientes fabricantes.- Arizona Mineral Corp. (5); Chemical Process Co. (9), (11); Dow Chemical Co. (Naico Inc., Dist.) (12), (15); Malco Inc. (4); Infilco Inc. (7), (7), (8); The Permutit Co. (1), (3), (6), (16); Rohm & Haas Inc. (10), (13).

+ Basado en profundidad mínima = 30' in.

+ El agua no es incrustante, en donde no se da el límite superior.

Los cambiadores del grupo 6 se prefieren para servicio en agua caliente.

Pesos basados en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de 60° B $\ddot{e}$  y HCl de 30%.

TABLA No. 57

**CARACTERISTICAS Y CAPACIDADES TÍPICAS DE UN INTERCAMBIADOR CATIONICO**  
**POLIESTIRENO DE ALTA CAPACIDAD EN CICLO HIDROGENO, CUANDO SE RE-**  
**GENERA CON 3,6,9,12 lb H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 66 °Be/ft<sup>3</sup> (46)**

Cationes sodio en porcentaje a los cationes totales (como CaCO<sub>3</sub>)

Alcalinidad en porcentaje a los aniones totales (como CaCO<sub>3</sub>)

Fugas en porcentaje a los cationes totales (como CaCO<sub>3</sub>)

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (66 °Be) lb/ft <sup>3</sup>	CATIONES SODIO %	90% ALCALINIDAD Kg/ft <sup>3</sup>	FUGAS %	50% ALCALINIDAD Kg/ft <sup>3</sup>	FUGAS %	5% ALCALINIDAD Kg/ft <sup>3</sup>	FUGAS %
3lb = 2%	10	7.5	0.5	7.0	2.6	6.6	3.8
	20	7.8	0.9	7.2	3.1	6.7	4.5
	40	8.5	2.0	7.8	4.8	7.3	6.5
	60	9.7	3.9	9.0	8.2	8.4	11.0
	80	11.9	5.8	11.1	18.6	10.4	25.0
6lb Incrementos	10	11.1	0.4	10.6	1.3	10.1	2.0
	20	11.7	0.6	11.0	1.4	10.3	2.1
	40	13.3	1.0	12.1	1.9	11.2	2.6
	60	15.4	1.9	14.0	3.9	12.9	4.8
	80	18.1	3.5	17.0	10.0	15.8	12.0
9lb Incrementos	10	15.9	0.2	14.2	0.5	13.4	1.1
	20	16.4	0.3	14.6	0.6	13.7	1.2
	40	17.5	0.5	15.6	0.8	14.6	1.8
	60	19.0	0.7	16.9	1.1	15.7	3.2
	80	21.4	1.7	19.0	3.8	17.7	6.8
12lb Incrementos	10	18.6	0.2	17.7	0.4	17.2	1.1
	20	18.9	0.2	18.0	0.5	17.4	1.2
	40	19.4	0.3	18.4	0.7	17.6	1.8
	60	20.7	0.4	19.4	1.2	18.2	2.5
	80	22.8	0.8	21.4	2.5	20.3	4.3

TABLA No. 58

CARACTERISTICAS DE CAMBIADORES ANIONICOS (47)

DATOS FISICO-QUIMICOS	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	
<b>CAMBIADOR ANIONICO</b>	<b>DEBILMENTE BASICO</b>	<b>FUERTEMENTE BASICO, TIPO I</b>	<b>FUERTEMENTE BASICO, TIPO II</b>	
<b>NOMBRES COMERCIALES Y BASE DE LA RESINA.</b>	(1) Deacidite (2) Nalcite WBR (3) Amberlite IR-45 (4) Dualite A-2 (5) Dualite A-7	alifático poliestireno estireno polivinilo fenólica fenólica fenólica	(6) Nalcite SBR (7) Permutit S-1 (8) Amberlite IRA-400 (9) Dualite A-42	ESTIRENO DIVINIL BENCENO
			(10) Nalcite SAR (11) Permutit S-2 (12) Amberlite IRA 410 (13) Dualite A-40	ESTIRENO DIVINIL BENCENO
<b>GRUPOS DE CAMBIO POLAR</b>	<b>AMINO PRIMARIO</b>	<b>NITROGENO CUATERNARIO</b>	<b>NITROGENO CUATERNARIO</b>	
<b>TOLERANCIA:</b> Temp (°C) max. Flujo recomendado: gpm/ft normal y max. gpm/ft	105 5-7.5 2-3	140-150 5-7.5 2-3	105 5-7.5 2-3	
<b>REQUERIMIENTOS PARA REGENERAR:</b>  Regenerante y conc. % T (°C) Or. (min)	Sosa cáustica, ceniza sosa, NH <sub>3</sub> Frio 20-40	Sosa cáustica (4), 12 lb/ 95-130	Sosa cáustica 2 ó 4 95 para mejor eficiencia 12 lb/ft	
<b>PROPIEDADES ESPECIALES</b>	Las resinas fenólicas sensibles al cloro.	Preferibles para ácidos débiles cuando son 30% o más del total de iones intercambiadores. Menor eficiencia para ácidos -- fuertes. Mayor basicidad que el tipo 2. Retienen su capacidad mejor que el tipo 2.	Preferibles para ácidos débiles, bajo 30% del total de iones intercambiadores. Mas eficiente para ácidos fuertes. Menor basicidad que el tipo I. Pierden lentamente su capacidad a lo largo de muchos ciclos. Preferibles para intercambio de cloruros bicarbonatos.	

**B. DATOS DE CAPACIDAD:**

NaOH 100%  
Ceniza sosa 100%  
NH<sub>4</sub>OH 100%

POWELL

B.

DATOS DE CAPACIDAD	GRUPO 1			GRUPO 2			GRUPO 3		
	lb/ft <sup>3</sup>	Kg/ft <sup>3</sup>	lb/Kg	lb/ft <sup>3</sup>	Kg/ft <sup>3</sup>	lb/Kg	lb/ft <sup>3</sup>	Kg/ft <sup>3</sup>	lb/Kg
SOSA CAUSTICA 100%	3.2	25	0.13	3.5	11	0.32	4	12.5	0.33
	3.5	25	0.14	4.0	9.0	0.44	4	15	0.27
				4.5	11.0	0.41	4.5	14	0.32
				5.0	11.75	0.42	5	13.5	0.37
				6.0	10.0	0.60	6	16.2	0.37
				6.0	10.0	0.60	6	16.0	0.37
				7.5	13.0	0.57	7.5	14.5	0.52
				8.0	10.9	0.73	8.0	16.9	0.47
				8.0	11.9	0.72	8.0	17.0	0.46

\* Los nombres comerciales está identificados por los siguientes fabricantes: Chemical Process Co., (4),(5),(9), (13); Dow Chemical Co. (Nalco), (2),(6),(10); Permutit Co., (1),(7),(11); Rohm & Hass, (3),(8),(12).

Las capacidades de cambiadores aniónicos fuertemente básicos han sido seleccionados para aplicaciones de remoción de sílice en las que el contenido de sílice total es del orden de 10 ppm y constituye el 30% de los aniones intercambiadores totales. Pueden obtenerse mayores capacidades y eficiencias cuando no se requiere remover sílice hasta un residual bajo. Dado que las capacidades reales varían con el análisis del influente los valores anteriores típicos en la práctica de agua para alimentación de calderas, no deberán usarse para fines de diseño.

TABLA No. 59

PROPIEDADES FISICAS DE INTERCAMBIADORES ANIONICOS TIPICOS (48)

INTERCAMBIADORES ANIONICOS	COLOR	TAMAÑO MALLAS	lb/ft <sup>3</sup>
Resinas fuertemente básicas Tipo-I (aminas cuaternarias de resina de poliestireno - que contienen grupos alquílicos).	amarillo Esferas pequeñas.	16-50	43-45
Resinas fuertemente básicas Tipo-II (aminas cuaternarias de resina de poliestireno que contienen grupos alquili <u>co</u> y alcohol).	amarillo Esferas pequeñas.	16-50	43-45
Resinas de basicidad intermedia (aminas alifáticas).	gránulos ambar	16-50	20
Resinas débilmente básicas - (aminas alifáticas)	gránulos café-rojizo	16-50	17

## CAPACIDADES TÍPICAS DE INTERCAMBIADORES ANIONICOS (49)

TIPO DE INTERCAMBIO ANIONICO	REGENERANTE lb/ft <sup>3</sup>	CAPACIDAD EN Kg/ft <sup>3</sup> CON 0% A 100% SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>					
		0%	20%	40%	60%	80%	100%
Tipo I fuertemente básico	NaOH						
	2.0	5.8	6.2	6.5		7.3	7.6
	2.5	6.6	7.0	7.4	8.0	8.3	8.6
	3.0	7.5	7.9	8.4	9.0	9.4	9.7
	4.0	8.7	9.2	9.8	10.5	10.9	11.3
	5.0	9.6	10.1	10.7	11.5	12.5	12.4
	6.0	10.0	10.6	11.2	12.0	12.5	13.0
Tipo II fuertemente básico	3.0	11.4	11.5	11.6	12.0	12.7	13.8
	4.0	13.3	13.4	13.6	14.0	14.8	16.1
	5.0	14.3	14.4	14.6	15.0	15.9	17.3
	6.0	15.2	15.3	15.5	16.0	17.0	18.4
	8.0	16.2	16.3	16.5	17.0	18.0	19.6
	10.0	17.1	17.3	17.5	18.0	19.1	20.7
* Basicidad intermedia	3.2,4.0,4.5	16.0	17.3	18.5	20.0	20.7	21.2
Debilmente básico	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>						
	4.2	13.1	14.3	15.6	17.0	18.3	20.1

\*

Con el intercambiador aniónico de basicidad intermedia, la sosa usualmente empleada en lb/ft<sup>3</sup> es 3.2 si en el influente es 10 ppm o menos, 4.0 si es de 10-50 ppm y 4.5 si es de 50 a 100 ppm.

TABLA No. 61

DATOS DE DISEÑO PARA INTERCAMBIADORES IONICOS EN LECHO FIJO (50)

TIPO DE RESINA	FLUJO MAXIMO gpm/ft <sup>2</sup>		ALTURA DE LECHO min (in)	TEMPERATURA MAX OP (°F)	CAPACIOAO Kg/ft <sup>3</sup> CaCO <sub>3</sub>	REGENERANTE
	MAX	MIN				
Catiónica débilmente ácida	8	1-2	24-30	250	11-60	HCl ó H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (110%)
Catiónica fuertemente ácida.	7-12	1-2	24-30	250	18-32 11-20 15-30	5-5 lb NaCl 2-12 lb H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 66 °Bé 5-30 lb HCl 20 °Bé
Aniónica débil o intermedia.	4-7	1-2	30-36	100	18-24	2-4 lb NaOH
Aniónica fuertemente básica.	5-7	1-2	30-36	100-120	8-16	4-8 lb NaOH
Catiónica mixta y aniónica fuertemente básica.	8-12		36-48	100	5-8	Los mismos que catiónicos y aniónicos individuales.

TABLA DE PROPIEDADES TÍPICAS Y APLICACIONES DE RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO (AMBERLITE-DOW AND MAAS CO.).

RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO MICRORETICULADAS.

GRADO DE LA ESTRUCTURA	FUNCIÓN IÓNICA DISPONIBLES	DENSIDADES VERDADERA (g/cm <sup>3</sup> )	DENSIDADES APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	PESO DE EMPAQUE	TAMAÑO EFECTIVO	CONTENIDO DE HUMEDAD (H <sub>2</sub> O)	BAÑO DE pH	TEMP. MÁX. OP. (°C)	CAPACIDAD TOTAL a) mEq. CaCO <sub>3</sub> /litro b) mg/ml. número c) gCaCO <sub>3</sub> /l	HINCHAMIENTO OBSERVABLE % (CONSERVACIÓN COMPLETA)	OBSERVACIONES	APLICACIONES
<b>INTERCAMBIADORES CATIONICOS FUERTEMENTE ACIDOS-FUNCIONALIDAD SULFONICA-ACIDA.</b>												
Amberlite 200	sodio	0.80	1.26	58 803	0.49	4.8	0.14	150	a) 38.2 b) 1.7 c) 80	Na <sup>+</sup> -H <sup>+</sup> 3-5	Excelente estabilidad física y realí tencia a la oxidación.	Acondicionamiento de agua descalcificación desmineralización.
Amberlite 200C Estireno-DVB	sodio	0.80	1.27	50 803	0.58	5.0	0.14	150	a) 39.2 b) 1.8 c) 82	Na <sup>+</sup> -H <sup>+</sup> 3-5	Alta capacidad de operación de resinas tipo gel.	Acondicionamiento de agua descalcificación.
<b>INTERCAMBIADORES ANIÓNICOS FUERTEMENTE BASICOS-FUNCIONALIDAD AMONIO CUATERNARIA.</b>												
Amberlite 1RA900 Estireno-DVB	cloruro	0.67	1.07	42 674	0.53	6.0	0.14	60(40°) 37(17°)	a) 21.0 b) 1.0 c) 50	Et <sup>+</sup> -OH <sup>-</sup> 15-20	Adecuada para desaminación o otros flujos.	Acondicionamiento de agua, remoción de S <sub>2</sub> .
Amberlite 1RA910 Estireno-DVB	cloruro	0.67	1.08	42 674	0.50	5.5	0.14	40(40°) 37(17°)	a) 34 b) 1.1 c) 55	Cl <sup>-</sup> -OH <sup>-</sup> 12-17	Resina tipo I (dimetilacetamina) - buena eficiencia de regeneración.	Tratamiento de agua, descalcificación, remoción de sílice.
Amberlite 1RA95B Acrílico-DVB	cloruro	0.67		42 674	0.49	6.0	0.14	40(40°) 37(17°)	a) 17.4 b) 0.8 c) 52	Cl <sup>-</sup> -OH <sup>-</sup> 15-20	Resistente a la contaminación orgánica.	Remoción de color, orgánicos y cloruro.
<b>INTERCAMBIADORES ANIÓNICOS DEBILMENTE BASICOS-FUNCIONALIDAD POLIAMINA.</b>												
Amberlite 1RA83 Estireno-DVB	base libre	0.61	1.06	38 410	0.46	5.0	0.9	100	a) 26.2 b) 1.2 c) 60	FO-Cl <sup>-</sup> 23	Resistente a la oxidación. Alta capacidad de intercambio largo vida de operación.	Descalcificación, desaminación, remoción de metales orgánicos.
Strato-AB 53	base libre	0.64	1.04	40	0.49	5.0	0.9	100	a) 26.2 b) 1.2 c) 60			Tratamiento de agua reducción de sílice.
<b>RESINAS INTERCAMBIADORAS DE IONES TIPO BIL.</b>												
<b>INTERCAMBIADORES CATIONICOS FUERTEMENTE ACIDOS-FUNCIONALIDAD SULFONICA-ACIDA</b>												
Amberlite 1A110 Plus-Estireno-DVB	sodio	0.85	1.26	53 854	0.50	6.0	0.14	110	a) 41.4 b) 1.9 c) 82	Na <sup>+</sup> -H <sup>+</sup> 5-7	La calidad de esta resina es tal que puede usarse en operación normal y regular.	Acondicionamiento de agua, descalcificación.
Amberlite 1A122 Estireno-DVB	sodio	0.87	1.32	54 847	0.54	6.0	0.14	120	a) 45.9 b) 2.1 c) 85	Na <sup>+</sup> -H <sup>+</sup>		Descalcificación de agua, descalcificación.
<b>INTERCAMBIADORES CATIONICOS DEBILMENTE ACIDOS-FUNCIONALIDAD CARBOXILICA</b>												
Amberlite 1RC4 Acrílico DVB	hidrógeno	0.75	1.19	47	0.42	6.3	4.14	120	a) 87.8 b) 4.0 c) 200	H <sup>+</sup> -OH <sup>-</sup> 60-70 H <sup>+</sup> -OH <sup>-</sup> 20-35	Tiene un valor de 5.3 y campo los ej los de los metales alcalinos de catiónes amoniacales y de silicatos.	Descalcificación, acondicionamiento de agua.
<b>INTERCAMBIADORES ANIÓNICOS BASICOS-FUNCIONALIDAD AMONIO-CUATERNARIA</b>												
Amberlite 1RA403 Estireno-DVB	cloruro	0.71	1.11	44	0.46	4.5	0.14	60(40°) 76(17°)	a) 30.5 b) 1.4 c) 70	Cl <sup>-</sup> -OH <sup>-</sup> 18-22	Usualmente para el tratamiento de agua libre de sal orgánica	Acondicionamiento de agua, reducción y remoción de, descalcificación.
Amberlite 1RA402 Estireno-DVB	cloruro	0.68	1.07	43	0.55	5.4	0.14	60(40°) 76(17°)	a) 26.7 b) 1.3 c) 60	Cl <sup>-</sup> -OH <sup>-</sup> 20-25		Desaminación, remoción de sílice descalcificación.
Amberlite 1RA418 Estireno-DVB	cloruro	0.71	1.12	44	0.44	4.7	0.14	60(40°) 76(17°)	a) 26.5 b) 1.3 c) 62	Cl <sup>-</sup> -OH <sup>-</sup> 10-15	Resina tipo II (dimetil-etanolamina) menos eficiente en reacción S <sub>2</sub> .	Acondicionamiento agua (desaminación, descalcificación).
<b>RESINAS HÍBRIDO-MEZCLA DE FUERTEMENTE ACIDA Y FUERTEMENTE BASICA</b>												
Amberlite MB-1 Estireno DVB	hidrógeno o hidróxido	0.69	0.69	43	0.50	5.5	0.14	60	capacidad de la columna 30 mEq. CaCO <sub>3</sub> /litro min = 23 g/l			Alta calidad de agua desmineralizada.



TABLA No. 63

## R E S I N A S

TIPO DE RESINA	FABRICANTE
Zeolita natural arenosa (aluminio silicato de sodio).	Permutit, Co.
Zeolita sintética de gel de sílice	Permutit, Co. Nalco Inc. Arizona Mineral Corp.
Zeolita carbonácea	Infilco, Inc.
Resina fenólica	Chemical Process, Co.
Estireno (capacidad media)	Chemical Process, Co. Nalco Inc., Dist.
Estireno (alta capacidad)	Rohm & Hass, Inc.

TABLA No. 64

CARACTERISTICAS DE RESINAS (AMBERLITE-ROHM & HASS, CO)AMBERLITE IR-122 (POLIESTIRENO SULFONATADO).

## a) Características físicas:

$\rho = 51-54 \text{ lb/ft}^3$   
 humedad 39-43 %  
 grado de tamizado = 16-50 mesh.  
 tamaño efectivo = 0.45 - 0.60 mm  
 coef. uniformidad = 1.8 max  
 volumen vacío = 45-50%

## b) Condiciones de operación sugeridas: (ciclo sodio o hidrógeno)

pH = 1.0-1.4  
 $T_{\text{max}} = 250 \text{ }^\circ\text{F}$   
 altura mínima de lecho = 24 in  
 flujo de retrolavado = 7 gpm/ft<sup>2</sup> @ 72 °F  
 flujo de servicio = 2 gpm/ft<sup>2</sup>

## c) Operación ciclo hidrógeno:

concentración de regenerante: 4-10% HCl o 1.5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
 flujo de regenerante: 0.5-0.75 gpm/ft<sup>2</sup>  
 flujo de enjuague: 0.5-0.75 gpm/ft<sup>2</sup>, inicialmente: 1.5 gpm/ft<sup>2</sup>  
 Requerimiento agua enjuague: 25-50 gal/ft<sup>2</sup>

CONTINUACION TABLA No. 64

SOLUCION AGOTADA (como ppm CaCO <sub>3</sub> )	NIVEL DE REGENERACION (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 66 °Bé) lb/ft <sup>3</sup> resina	CAPACIDAD Kgranos como CaCO <sub>3</sub> /ft <sup>3</sup> resina
500 ppm NaCl	2.5	11.5
	5.0	19.0
	7.5	23.0
	10.0	25.0
	15.0	27.0
	25.0	28.5
500 ppm CaCl <sub>2</sub>	2.5	7.5
	5.0	12.5
	7.5	15.0
	10.0	17.0
	16.0	19.0
NIVEL DE REGENERACION (HCl 30%) lb/ft <sup>3</sup>		
500 ppm CaCl <sub>2</sub>	5.0	11.0
	10.0	17.4
	15.0	22.6
	20.0	26.5
	25.0	29.0

CONTINUACION TABLA No. 64

## d) Operación ciclo sódico.

NIVEL DE REGENERACIÓN (lbs NaCl/ft <sup>3</sup> resina)	CAPACIDAD (Kgra CaCO <sub>3</sub> /ft <sup>3</sup> resina)	EFICIENCIA REGENERACION (lbs NaCl/Kg removido)
5.0	19	0.26
7.5	24	0.31
10.0	27	0.37
15.0	32	0.47

\* 500 ppm como CaCO<sub>3</sub> de CaCl<sub>2</sub>

AMBERLITE-200 (RESINA INT. CATIONICA FUERTEMENTE ACIDA)

## a) Características físicas.

$\rho = 51-54 \text{ lb/ft}^3$   
 humedad = 46-51 %  
 grado de tamizado = 16-50 mesh  
 tamaño efectivo = 0.4 - 0.50  
 coeficiente de uniformidad = 2 máx

## b) Condiciones de operación.

pH = 1.0 - 4.0  
 Tmax = 300 °F  
 Altura mínima de lecho = 24 in  
 Flujo de retrolavado = 7 gpm/ft<sup>2</sup> @ 72 °F  
 Flujo de servicio = 2 gpm/ft<sup>3</sup>

## c) Operación ciclo hidrógeno.

concentración de regeneración 4-10% HCl o 1-5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
 flujo de regeneración 0.5 - 0.75 gpm/ft<sup>3</sup>  
 flujo de enjuague 0.5 - 0.75 gpm/ft<sup>3</sup>, inicialmente = 1.5 gpm/ft<sup>3</sup>

CONTINUACION TABLA No. 64

SOLUCION AGOTADA (como ppm CaCO <sub>3</sub> )	NIVEL DE REGENERACION (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 66 °Bé) lb/ft <sup>3</sup> resina	CAPACIDAD Kilogramos como CaCO <sub>3</sub> /ft <sup>3</sup>
500 ppm NaCl	4	14
	6	17
	8	19.7
	10	21
500 ppm CaCl <sub>2</sub>	4	8.9
	6	11
	8	12.4
	10	13.7
HCl (700 % lb/ft <sup>3</sup> resina)		
500 ppm NaCl	2	15.5
	4	20
	6	23.8
	8	25.9
500 ppm CaCl <sub>2</sub>	2	12.3
	4	17.3
	6	20.9
	8	22.7

## d) Ciclo sodio.

concentración regenerante = 10% NaCl  
 flujo de regenerante = 1 gpm/ft<sup>3</sup>  
 flujo de enjuague = 1 gpm/ft ; inicialmente: 1.5 gpm/ft  
 requerimiento de agua de enjuague = 25-75 gal/ft

SOLUCION AGOTADA (como ppm CaCO <sub>3</sub> )	NIVEL DE REGENERACION (lbs NaCl/ft <sup>3</sup> ) resina	CAPACIDAD Kgrano como CaCO <sub>3</sub> / ft <sup>3</sup>	EFICIENCIA DE RE- GENERACION (lbs - NaCl/Kg removido)
500 ppm CaCl <sub>2</sub>	4	15.2	0.26
	6	18.6	0.32
	8	20.7	0.39
	10	22.2	0.45
	15	24.7	0.61

CONTINUACION TABLA No. 64AMBERLITE IRA-400 (RESINA FUERTEMENTE BASICA).

## a) Características Físicas.

$e = 42-48$  lb/ft  
 grado de tamizado = 16-50 mesh  
 tamaño efectivo = 0.41-0.48 mm  
 coef. uniformidad = 1.8 max

## b) Condiciones de operación.

sin límites de pH  
 $T_{max} 140$  °F  
 altura mínima de lecho = 24 in  
 flujo de retrolavado = 2.3 gal/ft<sup>2</sup> min @ 70 °F  
 concentración de regenerante = 4% NaOH  
 flujo de enjuague: 0.25 - 0.50 gal/ft<sup>3</sup> min; inicialmente: 1.5 gal/ft min  
 requerimiento de agua de enjuague = 40-90 gal/ft  
 flujo servicio = 2-gal/ft<sup>3</sup>min

## c) Capacidad de Intercambio

500 ppm HCl (como CaCO <sub>3</sub> )	NaOH, lb/ft <sup>3</sup>	CAPACIDAD (como CaCO <sub>3</sub> ) Kgranos/ft <sup>3</sup> resina	EFICIENCIA (lbs NaOH/ Kgrano como CaCO <sub>3</sub> )	% FUGAS EN INF(Cl <sup>-</sup> )
	2	8.1	0.247	
	4	11.3	0.354	
	8	14.0	0.571	
	10	15.5	0.645	
50 ppm CaCl <sub>2</sub> (como CaCO <sub>3</sub> )	1	5.0	0.200	12
	2	6.1	0.328	5.5
	3	8.3	0.362	3.7
	4	9.7	0.413	1.5
	6	11.8	0.508	0.7
	8	13.5	0.602	0.2
	10	14.3	0.700	0.1
	12	14.9	0.806	

AMBERLITE IRA-402.

## a) Características físicas.

$\rho = 43 \text{ lb/ft}^3$   
 contenido de humedad = 50-57%  
 grado de tamizado = 16 a 50 mesh  
 tamaño efectivo = 0.45-0.55 mm  
 coeficiente de uniformidad = 1.75 max

## b) Características de operación.

sin límites de pH  
 temperatura máxima  
     forma (OH<sup>-</sup>) 140 °F  
     forma (Cl<sup>-</sup>) 170 °F  
 altura de lecho mínimo: 24 in  
 flujo de retrolavado 2-3 gal/ft<sup>2</sup>/min 70 °F  
 concentración de regenerante = 4% NaOH  
 flujo de regenerante = 0.25 - 1.0 gal/ft<sup>3</sup>/min  
 flujo de enjuague = 1.5 gal/ft<sup>3</sup>/min  
 requerimiento de agua de enjuague 40-90 gal/ft<sup>3</sup>  
 flujo de servicio = 2-5 gal/ft<sup>3</sup>/min

## c) Nivel de regeneración y capacidad.

lbs NaOH/ft <sup>3</sup> resina	CAPACIDAD (como CaCO <sub>3</sub> Kgrano/ft <sup>3</sup> resina)						
	HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> COOH
2	9	11.3	--	16	4.7	14	13.9
4	12	14.6	12.6	19	7.9	16.1	19.8
8	14.9	17.5	16.7	21.3	11.3	18.4	23.4
10	17	19.6	18.9	21.7	13.0	19.8	25.2
12	20.1	22.9	22.0	22.0	15.6	21.8	27.0

**AMBERLITE IRA-410 (RESINA FUERTEMENTE BASICA, TIPO II)****a) Características físicas.**

$\rho = 44 \text{ lb/ft}^3$   
 contenido de humedad = 38-43 %  
 grado de tamizado 20-50 mesh  
 tamaño efectivo 0.41-0.48 mm  
 coeficiente de uniformidad 1.8 max

**b) Condiciones de operación.**

sin límite de pH  
 temperatura máx.  
     (OH<sup>-</sup>) 105 °F  
     (Cl<sup>-</sup>) 170 °F  
 altura mínima de lecho = 24 in  
 flujo de retrolavado = 3 gpm/ft<sup>2</sup> @ 70 °F  
 concentración de regenerante = 4% NaOH  
 flujo de regenerante = 0.5 gpm/ft<sup>3</sup>  
 flujo de enjuague = 0.5 gpm/ft<sup>3</sup>; inicial = 1.5 gpm/ft<sup>3</sup>  
 requerimiento de agua = 75 gal/ft<sup>3</sup>  
 flujo de servicio = 2.4 gpm/ft<sup>3</sup>

**c) Capacidad de intercambio**

	lbs NaOH/ft <sup>3</sup> de resina	CAPACIDAD Kgranos como CaCO <sub>3</sub> /ft <sup>3</sup> resina	EFICIENCIA (lbs NaOH/ Kgrano) (como CaCO <sub>3</sub> )
500 ppm (como CaCO <sub>3</sub> ) de HCl en influente	4	21.6	0.185
	6	23.1	0.260
	8	23.8	0.336
	10	24.4	0.410
	12	24.9	0.483
500 ppm (como CaCO <sub>3</sub> ) de NaCl en influente	4	19.5	0.205
	6	20.7	0.290
	8	21.6	0.370
	10	22.2	0.450
	12	22.6	0.531



AMBERLITE IRA-900 (FUERTEMENTE BASICA TIPO I)

## a) Características físicas.

$\rho = 42 \text{ lb/ft}^3$   
 contenido de humedad = 60-64%  
 grado de tamizado = 16-50 mesh  
 tamaño efectivo = 0.43-0.52 mm  
 coeficiente uniformidad = 1.8 max

## b) Condiciones operación.

sin límite de pH  
 temperatura máxima  
     (OH<sup>-</sup>) 140 °F  
     (Cl<sup>-</sup>) 170 °F  
 altura de lecho min = 24 in  
 concentración de regenerante = 4% NaOH  
 flujo regenerante = 0.25-0.5 gal/ft<sup>3</sup>/min  
 velocidad de flujo de enjuague = 1.5 gal/ft<sup>3</sup>/min (inicial);  
 0.5 gal/ft<sup>3</sup>/min  
 agua de enjuague = 75 gal/ft<sup>3</sup>  
 flujo de servicio = 1-3 gal/ft<sup>3</sup>/min

## c) Nivel de regeneración y capacidad.

NaOH/ft <sup>3</sup> resina (75 °F)	HCl	CAPACIDAD (Kgrs CaCO <sub>3</sub> /ft <sup>3</sup> resina)		
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
4	8.8	10.3	8.6	14.4
6	10.4	11.8	10.3	15.6
8	11.5	13.0	11.5	15.9
10	12.2	13.9	12.4	16.2

**AMBERLITE 910 (RESINA FUERTEMENTE BASICA, TIPO 1)****a) Características físicas.**

$\rho = 42 \text{ lb/ft}^3$   
 contenido de humedad 50-55%  
 grado de tamizado 16-50 mesh  
 tamaño efectivo 0.40 - 0.50 mm  
 coeficiente de uniformidad

**b) Condiciones de operación.**

sin límites de pH  
 temperatura máx.  
     (OH<sup>-</sup>) 105 °F  
     (Cl<sup>-</sup>) 170 °F  
 altura lecho mínimo: 24 in  
 concentración de regenerante = 4% NaOH  
 flujo de regenerante = 0.25-0.5 gal/ft<sup>3</sup>/min  
 flujo de enjuague = 1.5 gal/ft<sup>3</sup>/min (inicial); 1.5 gal/ft<sup>3</sup>  
 requerimiento de agua de enjuague = 75 gal/ft<sup>3</sup>  
 flujo de servicio = 1-3 gal/ft<sup>3</sup>/min

**c) Nivel de regeneración y capacidad de intercambio.**

lb NaOH/ft <sup>3</sup> resina	CAPACIDAD (Kgrs CaCO <sub>3</sub> /ft <sup>3</sup> resina)			
	HCL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
4	16.2	18.4	20	16.1
6	17.3	19.6	22.4	17.2
8	17.8	20.1	22.7	17.9
10	18.3	20.6	23.7	18.3

**AMBERLITE IRA-93 (RESINA DEBILMENTE BASICA)****a) Características físicas.**

$\rho = 38 \text{ lb/ft}^3$   
 contenido de humedad = 53-59%  
 grado de tamizado = 16-50 mesh  
 tamaño efectivo = 0.4 - 0.5 mm

coeficiente de uniformidad = 2 máx

b) Condiciones de operación.

límites de pH = 0 - 7

T<sub>max</sub> = 212 °F

altura de lecho min = 24 in

concentración de regenerante = 4%

flujo de regenerante = 0.5 - 1.0 gal/ft<sup>3</sup>/min

flujo de enjuague = 0.5 gal/ft<sup>3</sup>/min (inicial); 1.5 gal/ft<sup>3</sup>/min

requerimiento agua de enjuague = 25 - 50 gal/ft<sup>3</sup>

flujo de servicio = 1 - 5 gal/ft<sup>3</sup>/min

c) Nivel de regeneración y capacidad.

19 Kg (como CaCO<sub>3</sub>)/ft<sup>3</sup> resina

27 lb NaOH/ft<sup>3</sup>

24 lb NH<sub>4</sub>OH/ft<sup>3</sup>

1.2 lb NH<sub>3</sub>/ft<sup>3</sup>

3.6 lb Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/ft<sup>3</sup>

AMBERLITE IR-120

a) Características físicas.

Contenido de humedad = 44-48%

tamaño efectivo = 0.47 - 0.62 mm

coeficiente de uniformidad = 1.8 máx

ρ = 48-54 lb/ft<sup>3</sup>

volumen vacío = 35 - 40%

b) Condiciones de operación (ciclo sodio e hidrógeno)

pH 1.0 - 14.0

T<sub>max</sub> 250 °F

altura mínima de lecho = 24 in

flujo de servicio 2 gal/ft<sup>3</sup>/min

c) Operación ciclo hidrógeno

concentración de regenerante: 10% HCl

1-5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

velocidad de flujo de regenerante = 0.5 - 1.0 gal/ft<sup>3</sup>/min

velocidad de flujo de enjuague = 1.5 gal/ft<sup>3</sup>/min

requerimientos de agua de enjuague = 25 a 75 gal/ft<sup>3</sup>

Regeneración.-

SOLUCION AGOTADA (ppm como CaCO <sub>3</sub> )	NIVEL DE REGENERACION (lbs H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 66 °Bé/ft <sup>3</sup> ) resina	(Kgranos como CaCO <sub>3</sub> /ft <sup>3</sup> ) resina
500 ppm NaCl	5	19
	10	25
500 ppm CaCl <sub>2</sub>	5	12.5
	10	17

NIVEL DE REGENERACION  
(lbs HCl 30%/ft<sup>3</sup> resina)

500 ppm CaCl <sub>2</sub>	5	11.0
	15	22.5
	25	27.5

## d) Operación ciclo sódico.

concentración de regenerante = 10% NaCl  
 velocidad de flujo de regenerante = 1 gpm/ft<sup>3</sup>  
 velocidad de flujo de enjuague = 1 gpm/ft<sup>3</sup>; inicialmente =  
 1.5 gpm/ft<sup>3</sup>  
 requerimientos agua de enjuague = 25-75 gal/ft<sup>3</sup>

	NIVEL DE REGENERACION (lbs NaCl/ft <sup>3</sup> )	CAPACIDAD Kgranos como CaCO <sub>3</sub> / ft <sup>3</sup>	EFICIENCIA DE REGENERACION (lbs NaCl/Kg removido)
500 ppm como CaCO <sub>3</sub>	5	17.8	0.28
	15	29.3	0.51
	25	34.0	0.74

VI. AEREADORES

### AEREADORES

Siendo el  $O_2$  un gas, es ligeramente soluble en agua, a  $20^\circ C$  a nivel del mar la concentración de saturación es 9.5 mg/l.

Como en la mayoría de los gases la solubilidad del oxígeno es inversamente proporcional a la temperatura.

La tabla No.65 muestra la solubilidad del oxígeno del agua a varias temperaturas, elevaciones y concentraciones de sólidos disueltos:

### EQUIPO

Los tipos de aereadores existentes son:

- 1) Aereadores en los cuales fluye el agua a través del aire:
  - a) de escalones
  - b) Cono estriado
  - c) Charolas
  - d) Charolas con coque
  - e) De tablillas de madera
  - f) Con boquillas de aspersión
  - g) Aereadores de tiro forzado o desgasificadores.
- 2) Aereadores en los cuales el aire se burbujea en el agua en un tanque de aspersión.
  - a) Por difusión.
- 3) Aereadores en los cuales el aire se bombea al agua y se disuelve bajo presión en un tanque cerrado.
  - a) aereadores a presión

TABLA No. 65

SOLUBILIDAD DEL O<sub>2</sub> EN AGUA COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA,

ELEVACION Y SALINIDAD (SOLIDOS DISUELTOS) (51)

TEMPERATURA		ELEVACION, ft				SALINIDAD (mg/l)*	
°F	°C	0	1000	2000	5000	400	2500
32	0	14.6	14.1	13.6	12.1	11.55	14.25
50	10	11.3	10.9	10.5	9.4	11.25	11.00
68	20	9.2	8.8	8.5	7.6	9.16	8.97
86	30	7.6	7.4	7.1	6.4	7.57	7.40

1.

a) Aeradores de escalones.

Estos aeradores consisten de una serie de escalones por los que el agua fluye en cascada. Usualmente éstos escalones se hacen de concreto y termina en un recipiente del mismo material; ocasionalmente se pueden hacer de madera. El número de escalones varia de 3 a 10.

b) Aeradores de Cono estriado.

Se emplean a menudo en pozos de flujo libre con pasacarga. Se construyen de madera en forma cónica ó piramidal. Su altura es de un metro a metro y medio. Se les añaden estrias para crear turbulencia. La arista inferior del cono deberá estar sobre el nivel del agua en el recipiente inferior. Este aerador no es eficiente debido al grueso de la película de agua que fluye sobre el, a la pequeña area del cono y a la insuficiente turbulencia.

c) Aeradores de Charolas

Consiste de 4 a 5 platos circulares de diferente diámetro montados uno sobre otro, el más pequeño en la parte superior y el más grande en la inferior. La eficiencia aumenta con la caída del agua de plato a plato. Su eficiencia depende del grosor de la película en los bordes de los platos.

d) Aeradores de Charolas con Coque.

Este tipo de aerador tiene su principal aplicación en la eliminación de hierro y manganeso. Su forma puede ser rectangular ó cilíndrica. Se utilizan deflectores para disminuir las pérdidas por arrastre de viento.



Estos equipos están montados sobre unos depósitos que usualmente contienen una válvula de flotador para evitar que se inunden.

El agua entra al aerador por la charola superior y escurre a través de las demás charolas y sus espacios de aire donde después de un tiempo de retención (15 a 30 min), pasa a los filtros.

En el caso en que la cantidad de fierro sea muy grande, se requieren largos periodos de asentamiento y el sistema debe estar provisto de un drenaje de lodos.

Cuando se requiere eliminar manganeso, los tiempos de retención aumentan, ya que para la oxidación de manganeso, además del oxígeno, requieren de un pH elevado, el cual se obtiene mediante la adición de alcali que se adiciona inmediatamente después de la aereación, de aquí la necesidad de un mayor tiempo de retención.

e) Aerador con rejillas de Madera.

Estos tipos de aeradores se fabrican en sección rectangular. Las rejillas de éstos aeradores están espaciadas de tal manera que el agua de una rejilla cae al centro del siguiente inferior. Para una aereación completa es importante que el agua fluya en forma de película en las charolas. Una mejor aereación se obtiene con un número mayor de charolas y con poca altura entre ellas.

Estos aeradores se usan para la eliminación de gases como son el metano, el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno, como es el caso de charolas con coque.

f) Aeradores de rocío.

En éstos aeradores el funcionamiento es puramente mecánico.

nico. Los orificios de atomización son de 1" a 1 3/8". Los rociadores se colocan generalmente sobre el depósito apuntando directamente hacia arriba de manera que el agua se coloca en el recipiente directamente \_ después de haber puesto el aire.

g) Desgasificador

En este tipo de aereadores el agua entra por la parte superior y por medio de un distribuidor se reparte sobre toda la superficie del aereador, fluyendo hacia abajo a través de las charolas; el agua de la gradilla superior cae en el centro de la inferior. En la parte inferior el agua pasa por el depósito a través de un sello hidráulico. El aire se proporciona mediante un ventilador y la salida de aire y eliminación de las impurezas se hace por venteo.

Estos aereadores se utilizan principalmente para la eliminación de bióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno. Estos equipos casi siempre se construyen de madera y son capaces de manejar todo tipo de agua. Usualmente los desgasificadores se utilizan en los sistemas de desmineralización para eliminar  $CO_2$ , aprovechando su capacidad para manejar ácidos.

En ocasiones en lugar de charolas de madera se utilizan anillos rashing.

II.

a) Aereadores por difusión.

Consisten de un tanque abierto (casi siempre de madera), en cuyo fondo se coloca un difusor, donde el aire es forzado a entrar

dando lugar a la formación de burbújas. Esto implica un buen contacto entre el oxígeno y el agua. Los difusores pueden ser porosos, no porosos o simplemente un tubo perforado. El tipo de difusor a utilizar se selecciona en base a las características de transferencia del oxígeno y a las facilidades de mantenimiento requerido.

Estos equipos se usan comunmente para eliminar el bióxido de carbono del efluente de los intercambiadores iónicos que operan en ciclo hidrógeno por lo que se les ha denominado descarbonatadores.

### III.

#### a) Aereadores a presión.

En éstos equipos el aire necesario para saturación se proporciona mediante un compresor que se opera mediante un control de nivel y una válvula solenoide. El agua entra por la parte superior del saturador y baja contra un deflector cayendo al fondo del equipo a través del espacio de aire, del fondo sale para mezclarse con el resto de la corriente de agua a tratar.

Su uso se limita a agua con bajo contenido en Fe, Mn y  $\text{CO}_2$ . Otra aplicación a este equipo es en las plantas para eliminar hierro mediante zeolitas de manganeso.

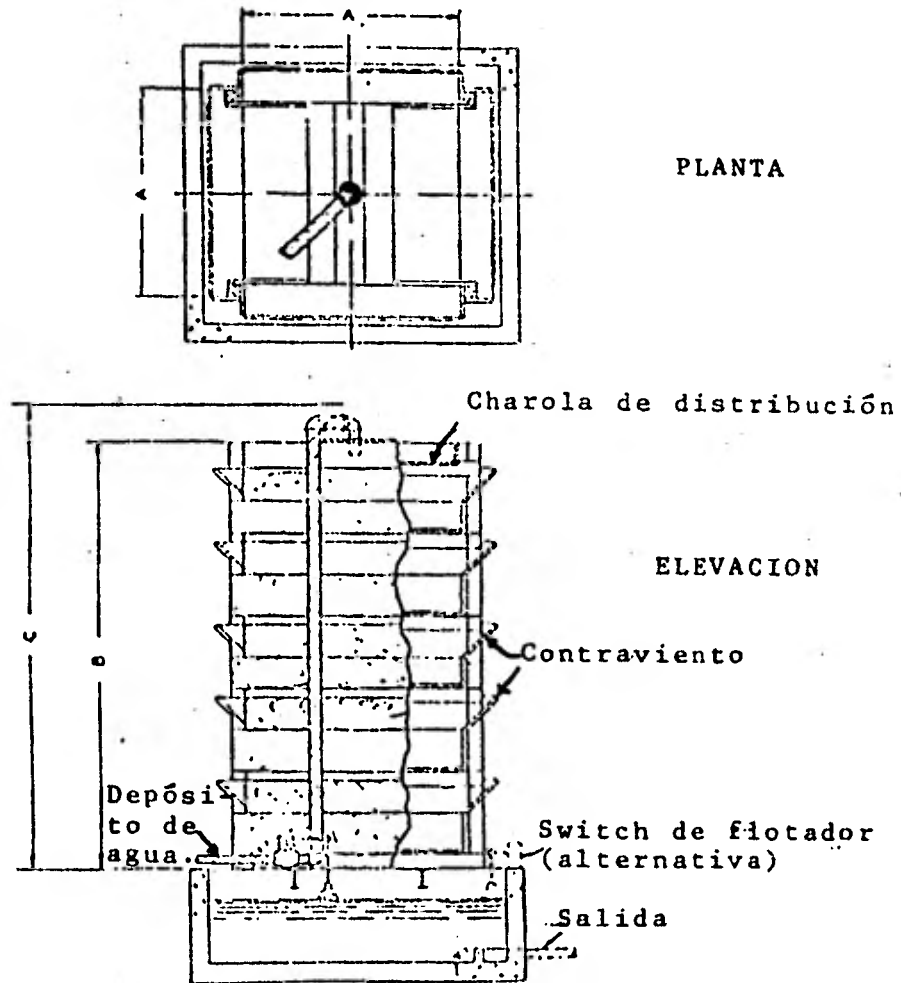


Fig.33. Aereador de Charolas de Madera

Nordell. Tratamiento de Agua para la Industria y otros usos, Cía. Ed. Continental, S.A., México, pág. 347

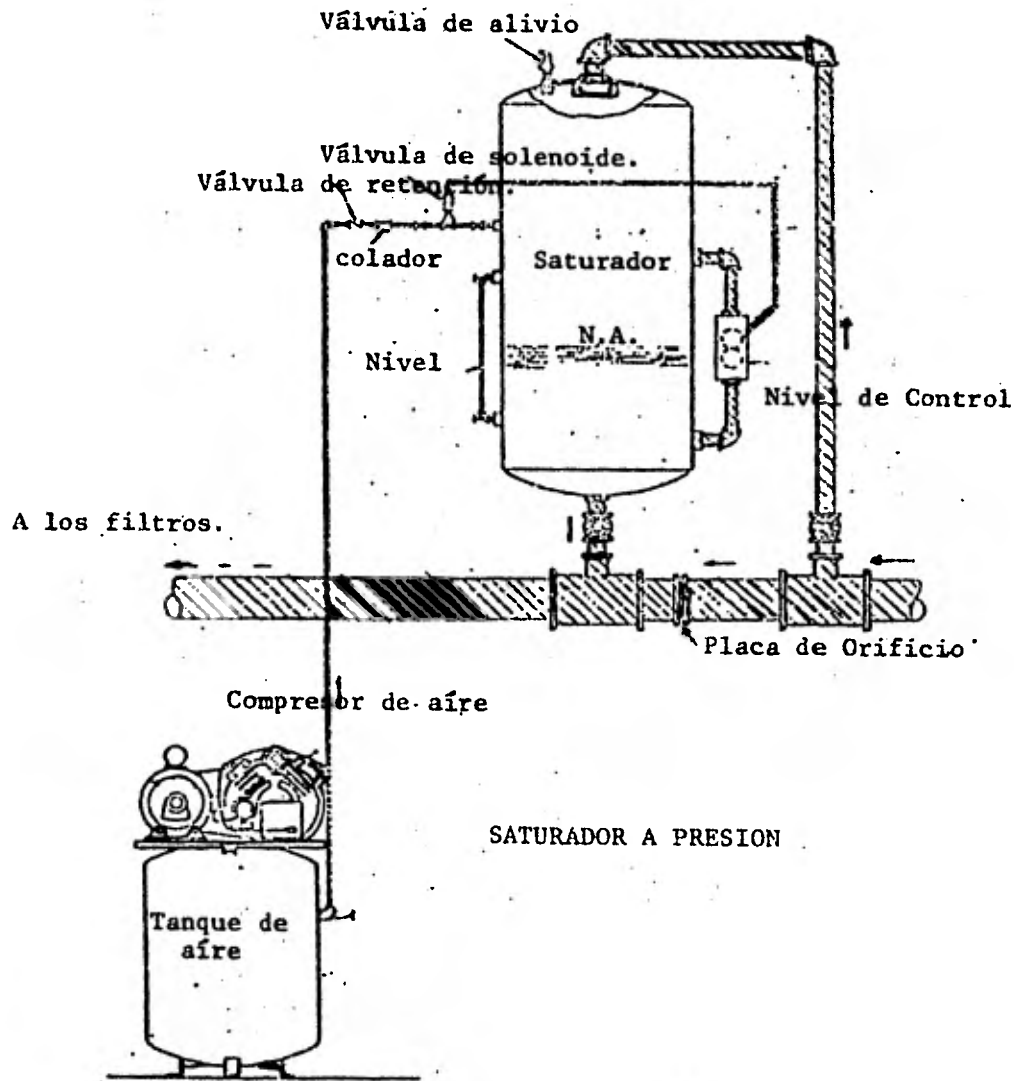


Fig.34. Saturador a Presión (aerador).

Nordell Tratamiento de agua para la industria y otros usos, Cía.  
Ed., Continental, S.A. México, pág 351

## PLANTA

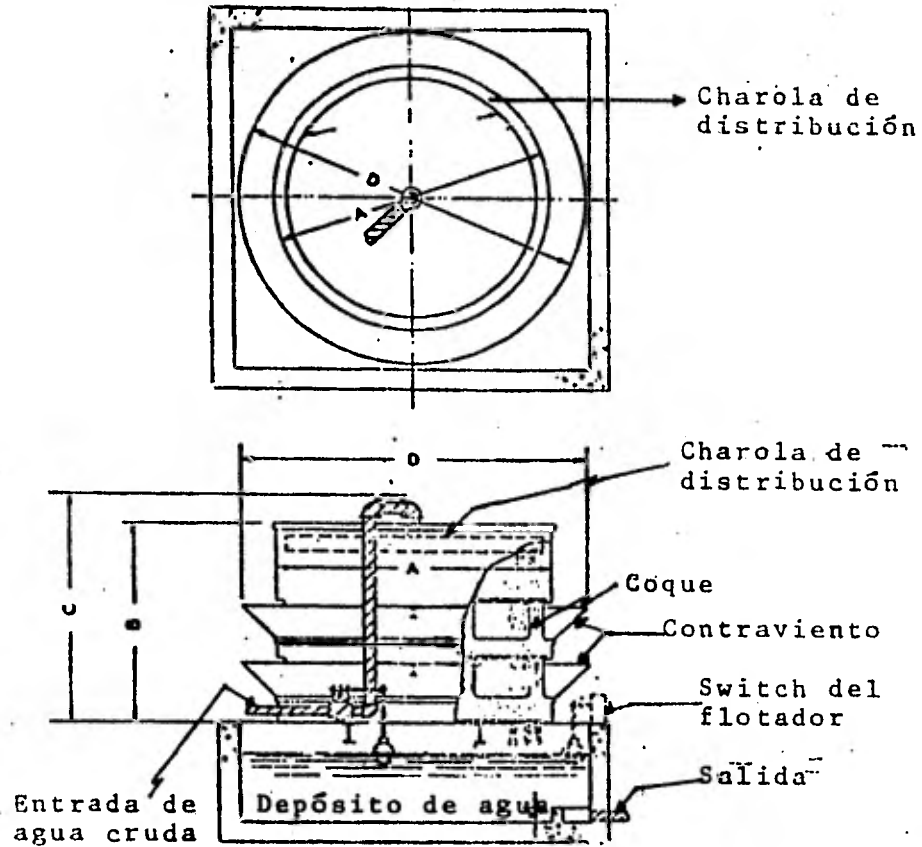


Fig.34. Aerador de Charolas con Coque

Nordell Eskel, Tratamiento de Agua para la Industria y otros usos, Cía. Editorial Continental, S.A., México, pág 345

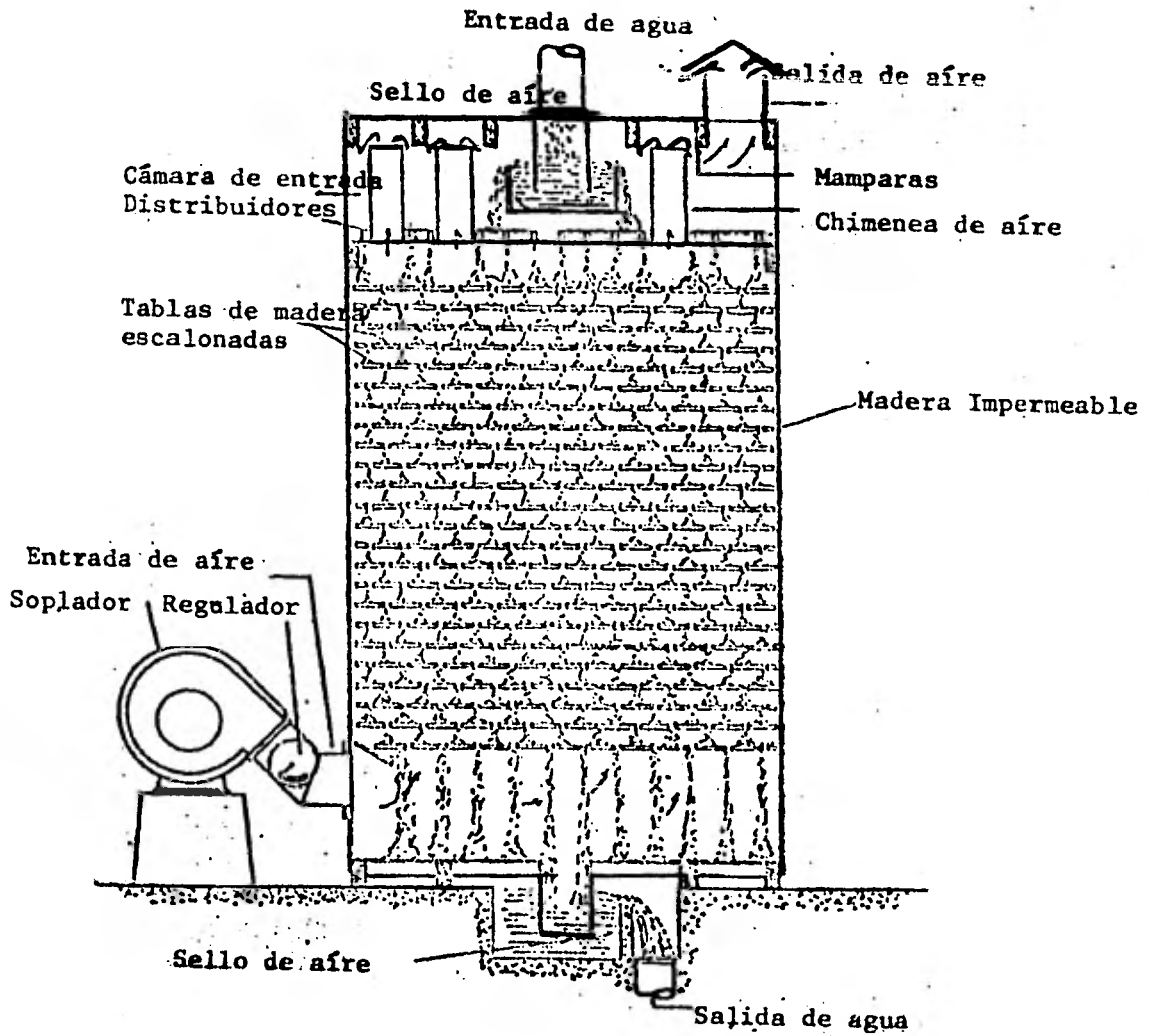


Fig. 35. Aereador de Circulación Forzada.  
(Degasificador).

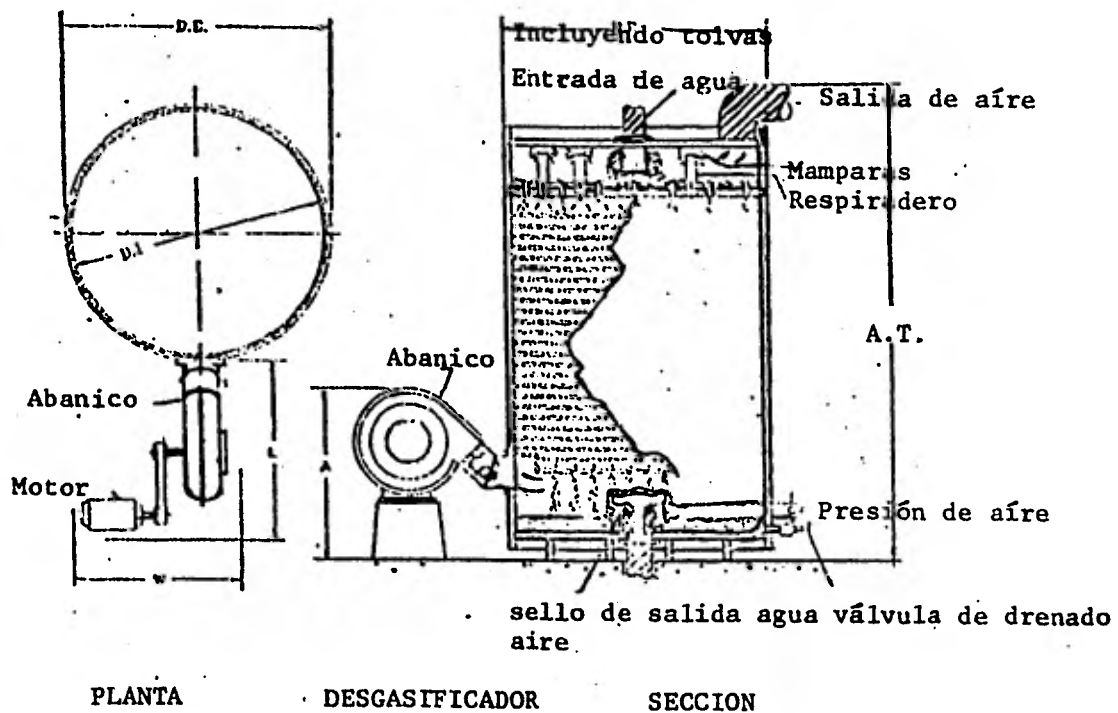


Fig.36. Aereador Tiro Forzado. (Desgasificador).

Nordell Tratamiento de agua para la industria y otros usos,  
Cía. Ed. Continental S.A. México, pág. 349.



DISEÑO.

El sistema básico del diseño de un sistema de aereación consiste en transferir la información de un aereador en particular, para un proceso prueba, al sistema requerido a las condiciones de diseño.

Para lograr un máximo de aereación dentro de los límites básicos, las siguientes condiciones deberán ser tomadas en cuenta:

- 1) Eficiente agotamiento de los gases disueltos en el agua desmineralizada.
- 2) Tendencia al equilibrio entre la fase líquida y la fase vapor.
- 3) Eficiente remoción de los gases disueltos.
- 4) Baja tensión superficial en el agua.

Actualmente en México, no se hace el diseño de los desgasificadores, sino que se seleccionan. Hasta ahora un modelo confiable que permita establecer el número de unidades de transferencia y la altura de un desgasificador no ha sido aún desarrollado.

Las ecuaciones que expresan el comportamiento del desgasificador son las siguientes:

Si  $t < t_w$

$$hf = a(M - Mct) + h_u - (aM - h_1 - h_u) e^{-Wct/h}$$

donde,

$hf$  = Entalpia del agua saturada en el desaereador después de  $t$  minutos de reducción en la carga, BTU/lb.

$a$  = gradiente de entalpias de agua caliente, BTU/lb.

$$a = (h_4 - h_5) / M_w$$

$h_4$  = Entalpia de los condensados que entran al desaerador después de  $t$  minutos, en que existe la reducci3n de la carga. BTU/lb

$h_5$  = Entalpia de los condensados que entran a la precalentadora, BTU/lb.

$M_w$  = Masa de condensado contenido en los precalentadores, lb

$M$  = Masa de agua en el tanque de almacenamiento del agua desaerada, lb.

$h_1$  = Entalpia de agua saturada, BTU/lb.

Si  $t = t_w$

$$h_3 = a(M - M_w) + h_4 - (aM - h_1 + h_4) e^{-M_w/M}$$

donde,

$h_3$  = Entalpia del agua saturada en el desaerador al tiempo en que el condensado caliente ha sido reemplazado y el condensado entra al desaerador a una presi3n  $p_3$ , BTU/lb.

$p_3$  = Presi3n del desaerador en el tiempo en que el condensado caliente ha sido reemplazado y el condensado de entrada a los precalentadores entra en el desaerador, psias.

si  $t > t_w$

$$h_f = h_5 + [aM(e^{-M_w/M} - 1) + (h_1 - h_4)] e^{-(w_c/M)t}$$

donde,

$h_5$  = Entalpia del condensado de entrada a los precalentadores.

El tamaño del sistema puede expresarse como la potencia total requerida, número de unidades de aereación, etc., generalmente la información para un aereador particular, se designa como la eficiencia estándar de transferencia, expresado como lbs. de  $O_2$  transferido por hp-hr.

$$\dot{q}_o = Q_o/P_o$$

donde,

$$\dot{q}_o = \text{EET (lbs/hp-hr)}$$

La relación básica de diseño que correlaciona la eficiencia estándar con la de transferencia para las condiciones de campo es:

$$\eta = (\eta_o \frac{(C_s - C_1)}{\theta(t - 20)}) / C_{ss}$$

donde,

$\eta$  = Eficiencia estándar de  $O_2$

$C_{ss}$  = Concentración de OD a  $20^\circ C$  y 760 mm de Hg (9.2 mg/l).

$C_s$  = Concentración de OD a saturación para la temperatura y presión de diseño (mg/l).

La cantidad de potencia requerida para un sistema particular de aereación se expresa dependiendo de si el calculo esta basado en la cantidad de energía eléctrica requerida por el sistema o la cantidad de energía suministrada al agua.

En la evaluación de la eficiencia de transferencia de los aereadores establecidos por los fabricantes, es importante hacer notar si estan basadas en la potencia instalada. El establecimiento de la potencia del aereador puede estar basada en los requerimientos de po\_

tencia en línea o instalada debido a que en éstas está basado el costo de operación del sistema de aereación, es fundamental hacer una evaluación económica.

Algunas veces la efectividad de los aereadores puede estar basada correctamente en la potencia de suministro del agua. Los requerimientos de mezclado por unidad de volumen varían dependiendo del tipo de aereador; sin embargo los requerimientos de mezclado pueden estar siempre relacionados a la potencia liberada o cedida del agua puesto que ésta es realmente la energía necesaria para mezclar el agua.

En relación con los requerimientos de energía del sistema que usan difusores de aire es necesario tener capacidad para convertir el flujo de aire requerido en energía eléctrica y viceversa.

Los requerimientos de potencia del motor se basan en la compresión adiabática del aire:

$$WHP = \frac{WR (TA + 460)}{550 \times .283 e} \left[ (P_1/P_2)^{.283} - 1 \right]$$

donde:

- WHP = Requerimiento de potencia instalada.
- W = Flujo de aire (lbs/seg).
- R = Constante de los gases.
- T = Temperatura de entrada al compresor (° F).
- e = Eficiencia de liberación de aire (96/100).
- P<sub>2</sub> = Presión de descarga (psia).
- P<sub>1</sub> = Presión de succión (psia).

Las técnicas más comunes de aereación son:

- 1) Introducción de aire u oxígeno dentro del agua por medio de difusores ó boquillas.
- 2) Agitando el agua a tratar mecánicamente para disolver el oxígeno atmosférico.

TABLA No. 66

CRITERIOS DE TIEMPO DE RETENCION (52)

1) ELIMINACION DE FIERRO:

AGUA CRUDA		FIERRO EN AGUA AEREADE Y FILTRADA (ppm)			
PH	FIERRO (ppm)	15 min	30 min	60 min	
5.00	10.0	9.0	--	7.5	
5.50	10.0	5.5	4.6	4.0	
5.95	10.0	5.0	4.0	3.5	
6.15	10.0	4.4	3.5	2.5	
6.50	10.0	2.8	1.8	0.3	
6.65	10.0	0.7	0.2	0.1	
6.80	10.0	0.2	0.1	0.1	
7.00	10.0	0.1	0.1	0.1	
7.45	10.0	0.1	0.1	0.1	
8.05	10.0	0.1	0.1	0.1	

CONTINUACION TABLA No. 66

2) ELIMINACION MANGANESO:

AGUA CRUDA		MANGANESO EN AGUA AEREADA Y FILTRADA (ppm)			
PH	MANGANESO (ppm)	15 min	30 min	60 min	
8.5	10.0	-	-	10.0	
9.0	10.0	-	-	9.0	
9.3	10.0	8.5	8.0	7.5	
9.5	10.0	7.5	5.0	3.2	
9.7	10.0	3.0	1.3	0.9	
9.95	10.0	0.9	0.7	0.06	
10.3	10.0	0.02	0.02	0.02	

TABLA No. 67

CARACTERISTICAS DE OPERACION COMPARATIVAS EN

AEREADORES

	AREADOR DE CHAROLAS	AREADOR DE REJILLAS DE MADERA	AREADOR DESGASIFICADOR
a) Capacidad	10 gpm/ft <sup>2</sup>	5-10 gpm/ft <sup>2</sup>	22 gpm/ft <sup>2</sup>
b) Gases disueltos (máx)			
CO <sub>2</sub> (ppm)	1700	1700	1700
H <sub>2</sub> S (ppm)	3900	3900	3900
c) Número de charolas	3-4	4-18	-
e) Tiempo de retención	15-30 min		15-30 min
f) Características efluente			CO <sub>2</sub> ≤ 10 ppm
g) Flujo (gpm)	140-2400	140-2400	67-7700



TABLA No. 68

DIMENSIONES TÍPICAS DE AEREADORES CILINDRICOS DE  
CHAROLAS CON COQUE (53)  
 (ver fig. 34)

AEREADOR No.	CAPACIDAD MAXIMA gpm	OPERACION PESO lb	AREA FT	DIAMETRO DEL TUBO DE ENTRADA	DIMENSIONES			
					A	B	C	D
1	71	2900	7.1	2.0'	3'-0"	6'-10"	7'-0"	4'-10"
2	126	4500	12.6	2.5'	4'-0"	6'-10"	7'-2"	5'-10"
3	196	6400	19.6	3.0'	5'-0"	6'-10"	7'-2"	6'-10"
4	283	8500	28.3	4.0'	6'-0"	6'-10"	7'-3"	7'-10"
5	385	11000	38.5	4.0'	7'-0"	6'-10"	7'-3"	8'-10"
6	503	13900	50.3	5.0'	8'-0"	6'-10"	7'-6"	9'-10"
7	636	17100	63.6	5.0'	9'-0"	6'-10"	7'-6"	10'-10"
8	785	20500	78.5	6.0'	10'-0"	6'-10"	7'-9"	11'-10"
9	950	24500	95.0	6.0'	11'-0"	6'-10"	7'-9"	12'-10"
10	1130	28600	113.0	8.0'	12'-0"	6'-10"	8'-3"	13'-10"

TABLA No. 69

DIMENSIONES PARA UN AEREADOR DE TIRO FORZADO  
(DESGASIFICADOR) EN FUNCION DE LA CAPACIDAD (54) (Fig. 36)

CAPACIDAD EN	DIAMETRO INTERNO DI	AREA EN ft <sup>2</sup>	DIAM. ENT.	TUBOS SAL.	DIAMETRO EXTERNO DE.	ALTIMA TOTAL DEL DESGASIFICADOR (ppm CO <sub>2</sub> AGUA CRUDA)						DIMENSIONES DEL MOTOR Y DEL VENTILADOR (APROX.)		
						REDUCTOR A 10 ppm			REDUCTOR A 5 ppm			H	W	L
						35 ppm	100 ppm	400 ppm	35 ppm	100 ppm	400 ppm			
70	2'-0"	3.1	2"	2"	2'-6"	11'-8"	15'-8"	17'-8"	15'-8"	19'-8"	21'-8"	1'-8"	1'-3"	4'-8"
105	2'-6"	4.9	2.5"	2.5"	3'-0"	11'-8"	15'-8"	17'-10"	15'-8"	19'-8"	21'-10"	2'-0"	1'-8"	5'-0"
155	3'-0"	7.0	2.5"	3"	3'-6"	11'-8"	15'-10"	17'-10"	15'-8"	19'-10"	21'-10"	2'-0"	1'-8"	5'-0"
210	3'-6"	9.6	3"	4"	4'-0"	11'-8"	15'-10"	18'-0"	15'-8"	19'-10"	22'-0"	2'-2"	2'-0"	5'-4"
275	4'-0"	12.5	4"	5"	4'-6"	11'-10"	16'-0"	18'-2"	15'-11"	20'-0"	22'-2"	2'-4"	2'-2"	6'-0"
350	4'-6"	15.9	4"	5"	5'-0"	12'-0"	16'-2"	18'-8"	16'-0"	20'-2"	22'-8"	2'-6"	2'-8"	7'-0"
430	6'-0"	19.6	5"	6"	5'-6"	12'-2"	16'-8"	18'-8"	16'-2"	20'-8"	22'-8"	2'-6"	2'-8"	7'-0"
620	7'-0"	28.3	5"	6"	6'-6"	12'-8"	16'-8"	18'-8"	16'-8"	20'-8"	22'-8"	2'-6"	2'-8"	7'-0"
850	8'-0"	38.5	6"	8"	7'-6"	12'-8"	16'-8"	18'-8"	16'-8"	20'-8"	22'-8"	2'-8"	2'-8"	7'-2"
1100	9'-0"	50.3	8"	8"	8'-6"	12'-8"	16'-8"	19'-0"	16'-8"	20'-8"	23'-0"	3'-0"	3'-0"	7'-6"
1400	9'-0"	63.0	8"	10"	9'-6"	12'-8"	16'-8"	19'-0"	16'-8"	20'-8"	23'-0"	3'-0"	3'-0"	7'-8"
1720	10'-0"	78.0	10"	10"	10'-7"	12'-8"	17'-0"	19'-0"	16'-8"	21'-0"	23'-2"	3'-0"	3'-2"	7'-8"
2090	11'-0"	95.0	10"	12"	11'-7"	12'-8"	17'-0"	19'-2"	16'-8"	21'-0"	23'-2"	3'-6"	3'-6"	8'-0"
2480	12'-0"	112.0	12"	14"	12'-7"	13'-0"	17'-2"	19'-11"	17'-0"	21'-2"	23'-11"	4'-3"	4'-0"	8'-6"
2900	13'-0"	135.0	12"	16"	13'-7"	13'-0"	17'-8"	19'-11"	17'-0"	21'-8"	23'-11"	4'-3"	4'-0"	8'-6"
3380	14'-0"	158.0	14"	16"	14'-7"	13'-2"	17'-11"	20'-5"	17'-2"	21'-11"	24'-5"	5'-4"	4'-9"	9'-4"
3880	15'-0"	180.0	14"	18"	15'-8"	13'-2"	17'-11"	20'-5"	17'-2"	21'-11"	24'-5"	5'-4"	4'-9"	9'-4"
4420	16'-0"	200.0	14"	18"	16'-8"	13'-8"	17'-11"	20'-8"	17'-0"	21'-11"	24'-8"	5'-10"	5'-2"	10'-0"
5600	18'-0"	260.0	16"	20"	18'-8"	13'-11"	18'-5"	21'-0"	17'-11"	22'-5"	25'-0"	6'-2"	5'-8"	10'-8"
6900	20'-0"	314.0	16"	20"	20'-8"	14'-5"	18'-8"	21'-4"	18'-5"	22'-8"	25'-4"	6'-2"	5'-8"	10'-8"

VI. C O S T O S

## COSTOS.-

A continuación se presentan los costos actualizados (Nov 1981) de algunos de los equipos utilizados en tratamiento de agua, según información de Aquamex, S. A.:

EQUIPO	CAPACIDAD	CANTIDAD EN PESOS (M.N.)
Filtros a presión de arena y antracita.	1537.2 m <sup>3</sup> /h	8 359 154.00
Instalación mecánica		1 838 483.00
Filtro a gravedad, automático	1481.2 m <sup>3</sup> /h	1 135 820.00
Instalación mecánica		249 815.00
Sistema de dosificación de ayuda coagulante (filtro a pre sión).		259 208.00
Instalación mecánica		56 900.00
Tanque clarificador	1618.4 m <sup>3</sup> /h	2 071 138.00
Instalación mecánica		2 618 811.00
Sistema de dosificación de coa gulante (clarificador)		365 421.00
Instalación mecánica		79 660.00
Sistema de dosificación de ayu da coagulante		263 002.00
Instalación mecánica		56 900.00
Sistema de cloración automáti co		410 940.00
Instalación mecánica		89 775.00
Columnas catiónicas fuertemente ácidas	224.73 m <sup>3</sup> /h	1 609 621.00
Instalación mecánica		352 800.00
Columnas aniónicas fuertemente básica	103.0 m <sup>3</sup> /h	283 906.00
Instalación mecánica		563 936.00

## CONTINUACION

Columnas lecho mixto Instalación mecánica	100.0 m <sup>3</sup> /h	2 313 909.00 508 723.00
Columnas aniónicas débilmente básicas. Instalación mecánica	97.0 m <sup>3</sup> /h	1 996 221.00 439 074.00
Columnas catiónicas débilmente ácidas. Instalación mecánica	76 m <sup>3</sup> /h	1 308 686.00 288 080.00
Desgasificador Instalación mecánica	224.7 m <sup>3</sup> /h	2 566 795.00 - 563 936.00
Desgasificador a vacío Instalación mecánica	67.0 m <sup>3</sup> /h	2 087 037.00 617 042.00
Tanque de almacenamiento de agua desmineralizada Instalación mecánica	10 m <sup>3</sup> /h	264 546.00 54 370.00

BELCO MEXICANA

SECCION	EQUIPO	DIMENSIONES	CANTIDAD EN PESOS (MN)
Pretratamiento	Clarificador	110' 0 x 16' 6"	
	Dosificador de químicos	60' 0 x 54'	
	Sistema de cloración	216 lb/día	
	Tanque de agua clara 4 filtros a presión	9' 0 x 43'	TOTAL: 14 744 342
Suavización	Suavizadores	5'-6" 0 x 8'	
	Sistema de regeneración	6'-6" 0 x 5' 6"	TOTAL: 6 885 186
Desmineralización	Unidad catiónica base fuerte (3 trenes)	11' 0 x 12'	
	Unidad aniónica base débil (3 unidades)	10' 0 x 7'-6"	
	Unidad de lecho mixto (3 unidades)	5' 0 x 8'	
			TOTAL: 15 405 902

I N T E N S A

SECCION	EQUIPO	DIMENSIONES	CANTIDAD EN PESOS (MN)
Pretratamiento	Clarificador	120' 0 x 14'	
	Dosificador Cal	50' 0 x 8'	
	Dosificación de ácido	4' 0 x 5'	
	Filtro a presión	12' 0 x 36'	
	Filtro de carbón activado	12' 0 x 22'	TOTAL: 15 436 878
Suavización	Suavizador	8' 0 x 10'-6'	TOTAL: 2 471 577
Desmineralización	Unidad catiónica (3 unidades)	10'-6' 0 x 14'	
	Unidad aniónica Base fuerte (3 unidades)	5' 0 x 6'	
	Unidad aniónica base débil (3 unidades)	9'-6' 0 x 13'	
	Sistema de regeneración ácida	4' 0 x 5'	
	Sistema de regeneración base	4' 0 x 5'	TOTAL: 10 439 224

TABLA No. 70 (55)

RELACION DE COSTOS DE EQUIPO PARA TRATAMIENTO  
DE AGUA PARA LA INDUSTRIA

	DIMENSIONES	UNIDAD	COSTO 10 <sup>3</sup> \$	INTERVALO	n	ERROR
Sedimentador	4	diam., in	6.8	1.5-6	1.54	
Desaeradores (vacío)	200	capacidad, us gpm	8.8	50-1000	0.43	
Filtro de lecho fijo	100	área horizontal; ft <sup>2</sup>	72	1-20000	0.63	
Aeradores de super- ficie	20	hp	8.5	1-200	0.55	
Intercambio iónico (tanque)	102	volumen de resina, ft <sup>3</sup>	15	3-1000	0.53	40
Sistema de desminera- lización de agua	0.5	capacidad, 10 <sup>6</sup> us gal/d	330	0.25-1	1.00	



CONTINUACION TABLA No. 66

$$I = I_B \left( \frac{Q}{Q_B} \right)^n$$

- I = costo estimado de la inversión para una capacidad Q  
I<sub>B</sub> = costo base del equipo con una capacidad Q<sub>B</sub>  
n = pendiente de la curva de correlación

Estrategia de Ingeniería de Procesos para países en vías de desarrollo.  
Vol. II (Tesis)  
Victor F. Rodall Oseguera (1979)  
pag. 225

COSTOS DE RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO

	<u>\$/Ft<sup>3</sup> (MN)</u>
Resina catiónica débilmente ácida (Resintsa RIC 40)	3 900.00
Resina catiónica alta capacidad fuertemente ácida (Resintsa RIC-160)	675.00
Resina aniónica fuertemente básica (Resintsa RIA-55)	3 850.00
Resina aniónica débilmente básica (Resintsa RIA-77)	3 600.00

### COSTOS DE EQUIPO DE INTERCAMBIO IONICO.

La estimación de costos por unidad de lechos simples sin resinas o equipos de regeneración se muestran en la fig. 36. Todos los costos están basados en material de construcción de acero al carbón, altura de lecho 27 in y una altura de recipiente de 6 pies. Otras combinaciones de dimensiones de nivel con la misma capacidad variará ligeramente el costo.

La fig. (38) se utiliza para determinar los costos de las unidades de lecho mixto sin resina, el tamaño de la unidad, la capacidad total de intercambio de resina, la cantidad total del agua tratada producida entre regeneración. Cuando se requiere el costo de una unidad de desgasificación se utiliza la gráfica (40). Los costos de dichos equipos son del 5% - 10% de los costos de compra de la unidad de intercambio iónico.

Los costos de instalación para los arreglos de intercambio iónicos serán del 25-35% del costo total de compra por unidad; esto incluye base del 5 al 10% de transporte y del 15-25% dependiendo del tipo de controles, número de unidades y arreglos empleados. Todos los precios se basan en unidades de regeneración manuales.

La estimación preliminar del costo de producción de agua tratada, utilizando la combinación más común de sistemas de intercambio se muestran en la fig. 41. Esto enfatiza la necesidad de un análisis económico riguroso antes de la selección.

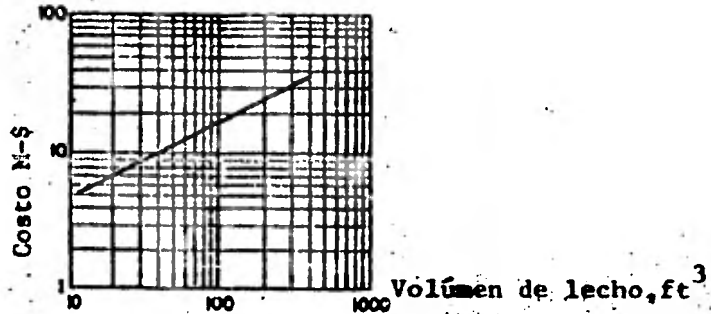


Fig. 36.

Estimación de costos para un intercambiador sin resina o equipo regeneración. Datos basados en unidades simples de acerbo al carbón con resina de 27" de altura y recipiente de 6 pies de altura. Estimación de costos de regeneración.

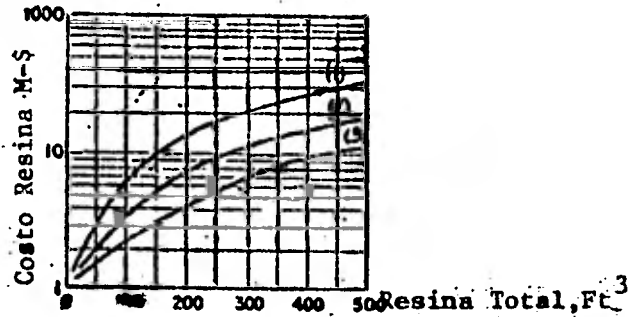
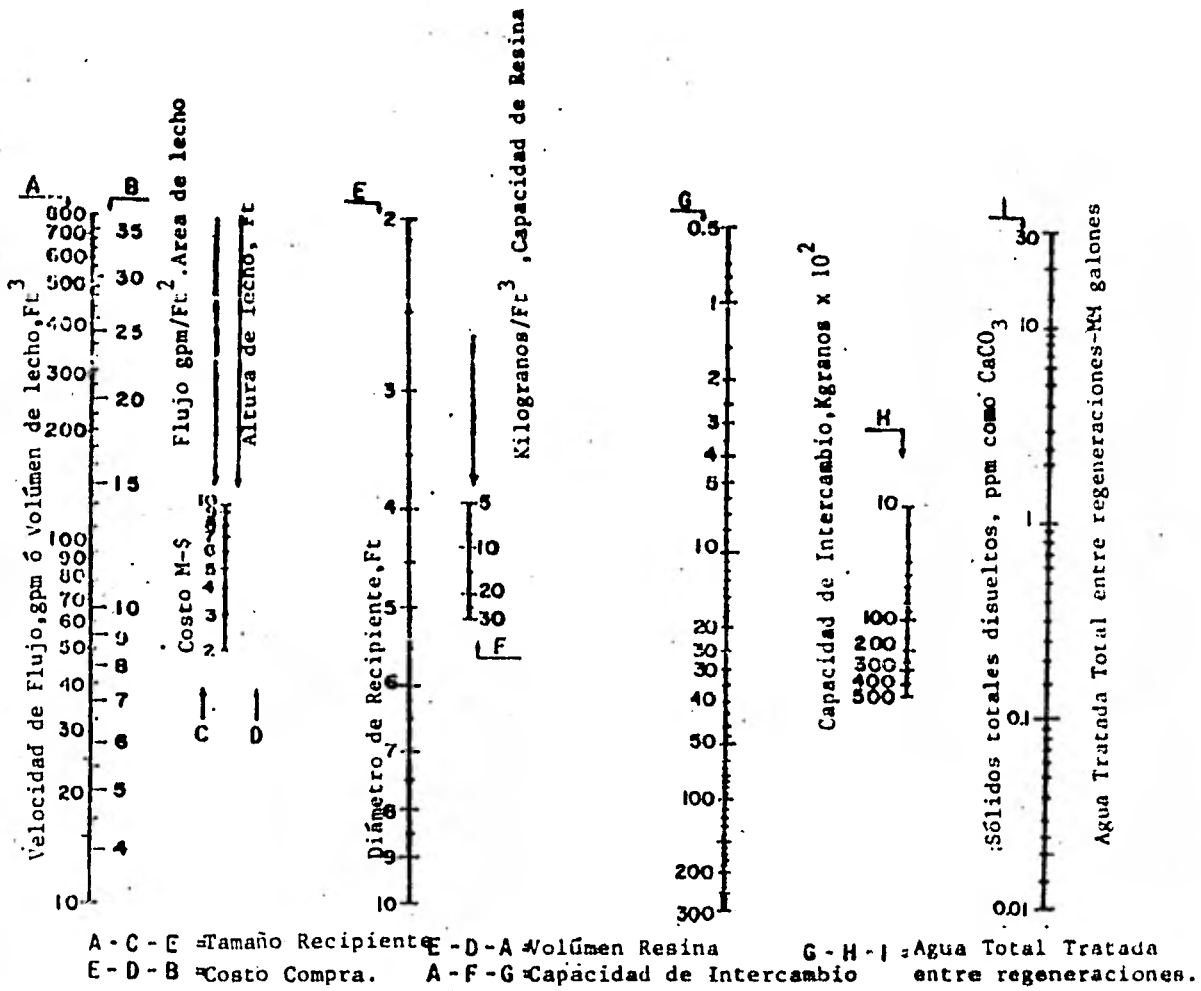


Fig. 37.

Estimación de costos de varios intercambiadores catiónicos. Se debe añadir costos de fletes. (1) Aniónica fuertemente básica, (2) Aniónica debilmente básica, (3) Catiónica.



Usando este nomograma se puede estimar el costo de unidades de lecho mixto sin resina el tamaño de la unidad, la capacidad de intercambio y la cantidad total del agua tratada producida entre regeneraciones.

Fig. 38.

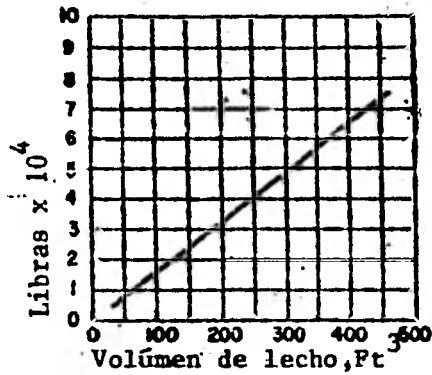


Fig. 39. Estimación de Cantidad de Resina.

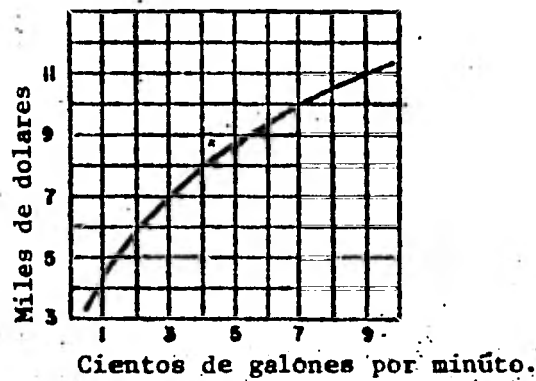
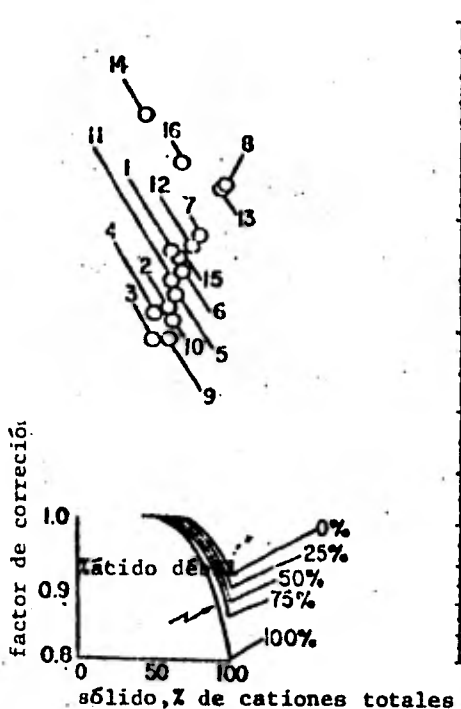


Fig. 40. Use esta curva de precios para determinar el costo del desgasificador, los datos se basan en uno tipo de tiro forzado del ventilador e incluye motor, basin, válvulas de control de nivel y 2 bombas (acero inoxidable). Para desaeferadores a vacío se multiplica el costo por los siguientes factores de capacidad:

gpm	factor
150-250	2.0
250-650	1.5
650-1000	1.25

Sólidos Totales Disueltos en Agua Cruda, ppm CaCO<sub>3</sub>



Costo de Agua Tratada, Cientos/1000 galones.

No. TIPO DE SISTEMA

- 1 catiónico-aniónico debilmente básico.
- 2 Catiónico-aniónico fuertemente básico.
- 3 Lecho-mixto, 2/3 catiónico - 1/3 aniónico fuertemente básico.
- 4 catiónico-aereación-aniónico fuertemente básico.
- 4 0% ácido débil.
- 5 25% ácido débil.
- 6 50% ácido débil.
- 7 75% ácido débil.
- 8 100% ácido débil.
- 9 Alcalinidad 0%
- 10 Alcalinidad 25%
- 11 Alcalinidad 50%
- 12 Alcalinidad 75%
- 13 Alcalinidad 100%
- 14 Intercambio Catiónico Ciclo Hidrógeno.
- 15 Intercambio Aniónico Fuertemente básico
- 16 Intercambio Aniónico Debilmente básico.

Fig.41. Estimación de Costos de Producción de Agua Tratada Utilizando la Combinación común de sistemas de intercambio iónico.

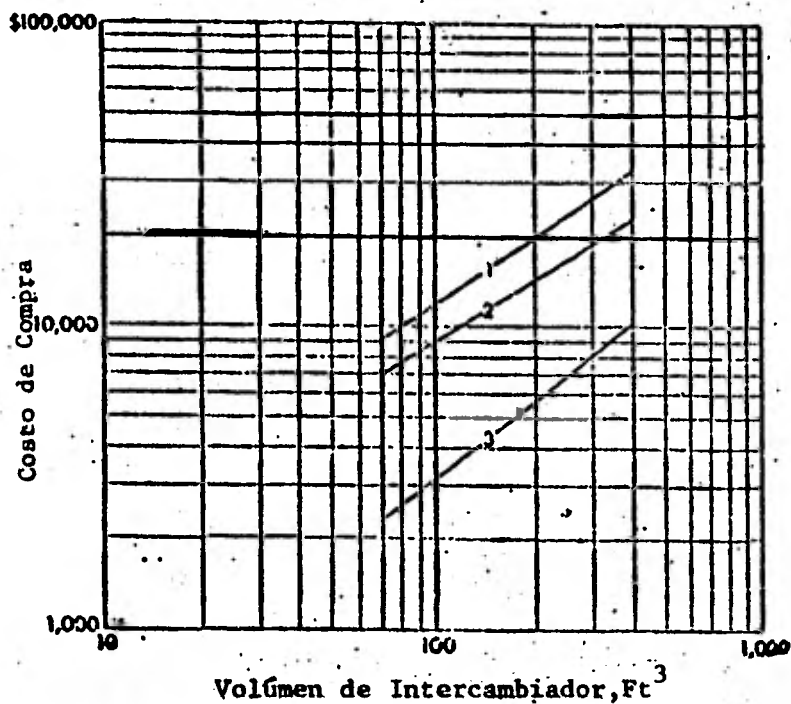


Fig. 42. Intercambiadores Iónicos (1) Aniónico, (2) Catiónico Ciclo Hidrógeno, (3) Catiónico - Ciclo Hidrógeno.

Cost of Ion Exchanger, Chem. Eng., Marzo 1950.



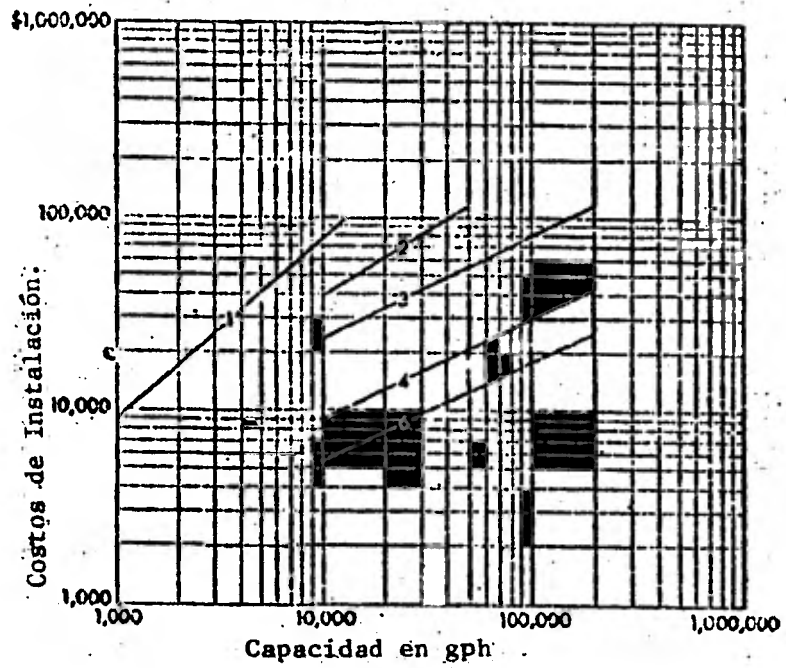


Fig. 43. Sistema de Agua (1) desmineralizada, (2) Suavización, (3) Filtración, (4) Pozos, (6) Estación de bombeo.

Chem. Eng. Costs Estimation. Aries & Newton, Chem. Eng. Series, Mc Graw Hill 1955.

Los costos obtenidos de las gráficas deben ser actualizados, de tal manera que:

$$\text{Costo actual} = \text{costo obtenido} \frac{\text{Índice 1981}}{\text{Índice 1960}}$$

De la revista Chemical Engineering se obtienen los índices M & S, para dichos equipos:

$$\text{Índice 1981} = 757.9$$

$$\text{Índice 1960} = 237.0$$

Costos de filtros.

A continuación se presentan las gráficas por medio de las cuales se obtiene el costo de filtros de diferentes clases. Los precios se deben actualizar mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Costo actual (Nov. 1981)} = \text{costo obtenido} \frac{\text{Índice 1981}}{\text{Índice del año de referencia}}$$

Los índices M & S son los siguientes:

$$\text{Índice 1981} = 757.9$$

$$\text{Índice 1970} = 301.0$$

$$\text{Índice 1967} = 256.0$$

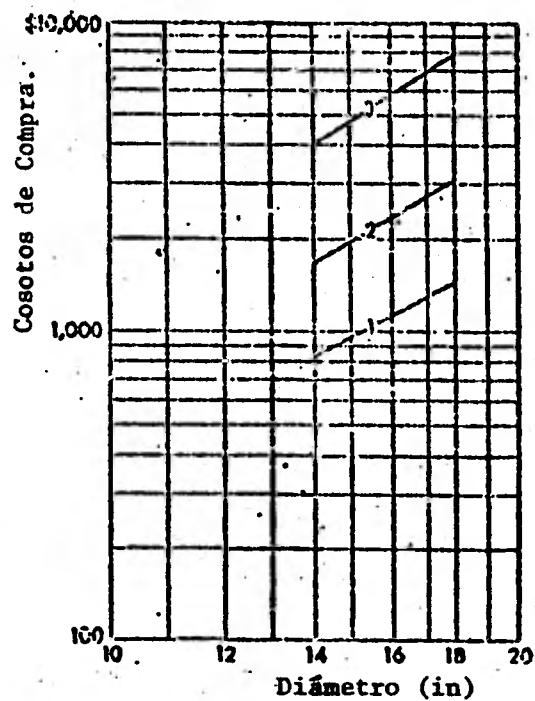


Fig. 44.

Filtros:

- (1) Acero al Carbón
- (2) Acero Inoxidable
- (3) Hastelloy

Preliminary Estimating by Selective Unit Costs  
 Ind. Eng. Chem., Oct 1951.

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

### CONCLUSIONES

° Las decisiones que se deben tomar en cuenta acerca del --  
pretratamiento de agua involucra:

a) Fijar estándares de calidad de agua para servicios de pro  
ceso y enfriamiento.

b) Evaluación del uso total del agua, incluyendo la recircu-  
lación y disposición de la misma.

c) Consideración del capital de inversión y de los costos de  
operación.

° En una gran cantidad de casos se carece de la información  
necesaria para la aplicación de ecuaciones de diseño. Es recomendable,  
como paso preliminar utilizar criterios de diseño ya establecidos, los  
cuales dan una idea de las dimensiones del equipo a utilizar. Por lo -  
general los proveedores de dichos equipos pueden proporcionar también -  
criterios de selección, que dan una mayor orientación.

° En el caso de diseño de equipo de tratamiento de agua, las  
ecuaciones de diseño presentadas son de poco uso, y es más común utili-  
zar los criterios de flujo por unidad de área para el dimensionamiento  
de los mismos, como sucede en el caso de diseño de filtros, equipo de -  
desmineralización y suavización. En el caso de dosificación de quími--  
cos se recurre a recomendaciones dadas por los fabricantes, basados es-  
tos en estudios de planta piloto o de laboratorio.

RELACION DE TABLAS PRESENTADAS

<u>REFERENCIA</u>	<u>No. DE TABLA</u>	<u>TITULO</u>	<u>RELACION BIBLIOGRAFICA</u>	<u>PAGINA</u>
(1)	1	Impurezas comunes en el agua.	10	8
(2)	2	Especificaciones de pureza de agua.	26	14
(3)	3	Procesos de tratamiento externo de agua.	3	16
(4)	3	Desechos generales en los procesos de tratamiento de agua.	3	19
(5)	4	Análisis típicos de agua cruda y resultados de operación.	3	21
(6)	5	Relación entre resistencia, conductividad y total de electrolitos presentes.	1	43
(7)	6	Tiempo de residencia vs gpd/ft <sup>2</sup>	1	66
(8)	7	Características de los aditivos químicos ácidos comúnmente utilizados en tratamiento de agua primaria.	2	86
(9)	8	Coagulantes más comunes en función del pH.	2	87
(10)	9	Coagulantes. Cantidades recomendadas y pH óptimo de operación.	2	88

CONTINUACION RELACION DE TABLAS.

(11)	10	Coagulantes comerciales	2	90
(12)	11	Modificación de análisis inicial por la adición de coagulantes.	2	91
(13)	12	Tanques de clarificación normales.	-	93
(14)	13	Tanques de clarificación flup rápido.	-	94
(15)	14	Velocidad a las cuales las partículas sumergen en agua.	-	95
(16)	15	Gasto por área de sistemas típicos.	-	96
(17)	16	Características de filtros a -- presión con flujo de 3 gpm/ft <sup>2</sup> .	1	132
(18)	17	Capas de medios filtrantes para filtros a presión.	1	133
(19)	18	Capas de medios filtrantes por gravedad.	1	134
(20)	19	Tamaños y datos sugeridos para plantas de filtración por gravedad.	1	138
(21)	20	Intervalo de capacidades de filtros comerciales.	12	140
(22)	21	Velocidad de filtración para fil		141

CONTINUACION RELACION DE TABLAS.

		tros verticales.		
(23)	22	Filtros horizontales.		142
(24)	23	Especificaciones de filtros - de alta velocidad.	2	143
	24	Dimensiones típicas de filtros a presión.	13	144
	25	Características de filtros por gravedad.	13	145
	26	Características de filtros a presión.	13	146
	27	Características de filtros ver- ticales.	13	147
(25)	28	Especificaciones de filtros de carbón activado.	1	149
(26)	29	Especificaciones para filtros - de zeolitas.	1	150
	30	Especificaciones comunes de me- dios filtrantes mixtos.	13	151
	31	Criterios de flujo de servicio y de retrolavado para diferentes medios y tipos de filtros.		152
	32	Análisis de mallas de una muestra de arena para filtros.	13	153



CONTINUACION RELACION DE TABLAS.

	33	Medios filtrantes de antracita.	13	154
	34	Medios filtrantes de grava y arena.	13	155
	35	Especificaciones típicas de medios filtrantes.	13	156
	36	Propiedades físicas de varios - medios filtrantes.	13	157
(27)	37	Criterios de selección de medios filtrantes.	12	158
(28)	38	Ventajas y desventajas de filtros a presión y de gravedad.	2	159
(29)	39	Flujo total a través de filtros y suavizadores cilíndricos verticales.	2	191
(30)	40	Pureza de agua desmineralizada.		192
(31)	41	Intervalo de contenido de electrolitos como TDS y sílice en afluentes de sistema de desmineralización.		193
(32)	42	Resultados esperados con tratamiento de zeolitas de sodio simples.	6	194
(33)	43	Carta de selección de unidades.	6	195

CONTINUACION DE RELACION DE TABLAS.

(34)	44	Procedimientos a seguir para fallas en sistemas de intercambio iónico.	3	196
	45	Flujos para intercambiadores - iónicos y sus dimensiones.	6	203
(35)	46	Comparación de regeneración a contracorriente de intercambio catiónico.	13	204
(36)	47	Flujos para intercambiadores -- iónicos y dimensiones.		205
(37)	48	Representación típica de zeolitas.	6	207
(38)	49	Intercambio catiónico de alta - capacidad.	1	208
(39)	50	Intercambio catiónico ciclo sódico.		209
(40)	51	Representación típica de resinas catiónicas fuerte, ciclo hidrógeno.	1	210
(41)	52	Capacidades típicas de intercambiadores catiónicos poliestireno de alta capacidad.	1	211
(42)	53	Capacidades típicas de intercambiadores catiónicos carbonáceo en ciclo hidrógeno.	1	212

CONTINUACION RELACION DE TABLAS.

(43)	54,55	Capacidades de Intercambiadores fuertemente básico en sistemas de desmineralización.	6	212
(45)	56	Características de cambiadores - catiónicos.	2	217
(46)	57	Características y capacidades de intercambiadores catiónico, poliestireno de alta capacidad ciclo hidrógeno.	1	219
(47)	58	Características de cambiadores - aniónicos.	2	220
(48)	59	Propiedades físicas de intercambiadores aniónicos típicos.	1	222
(49)	60	Capacidades típicas de intercambiadores aniónicos.	1	223
(50)	61	Datos de diseño para intercambiadores iónicos en lecho fijo.	4	224
	62	Tablas de propiedades típicas y aplicaciones de resinas de intercambio iónico.	13	225
	63	Resinas.		226
	64	Características de resinas.	13	227
(51)	65	Solubilidad de O <sub>2</sub>	4	240

CONTINUACION DE RELACION DE TABLAS.

(52)	66	Criterios de tiempos de retención.	1	255
	67	Características de operación comparativas en aereadores.	1	257
(53)	68	Dimensiones típicas de aereadores cilíndricos con coque.	1	258
(54)	69	Dimensiones típicas de aereadores en tiro forzado.	1	259
(55)	70	Relación de costos de equipo - para tratamiento de agua para la industria.	11	266

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

## BIBLIOGRAFIA

1. Nordel Eskel Industrial Water Treatment and other uses. Reinhold Publishing; 29 ed.; New York (1961)  
Capítulos: 1, 3, 4, 10, 13, 14, 15, 16, 17.
2. Sheppard T. Powell Acondicionamiento de Agua para la Industria Ed. Limusa; 2a. ed.; New York (1965)  
Capítulos: 1, 2, 4, 5, 8, 10.
3. Drew. Principles of Industrial Water Treatment Published by Drew Chem. Co., 3a. ed.; New Jersey (1979)
4. Metcalf & Eddy, Inc. Westwater Engineering Mc. Graw Hill Book Co.; New York (1970)  
Capítulos: 11, 13, 14
5. Peters and Klaus. Plant Design and Economics for Chemical Engineering International Student Edition, 2a. ed.; Tokyo (1958)  
Capítulos: 2, 3, 4, 10.
6. Kemmer Frank. The Nalco Water Handbook Nalco Chemical Co. Mc. Graw Hill Book, Co., 1a. ed.; New York (1979)  
Capítulo: 1, 2.
7. Perry & Chilton Chemical Engineering Handbook Mc. Graw Hill Eng. series, 4a. ed.; New York (1973)  
Capítulo: 16
8. Douglas M. Considine. Chemical and Process Technology Encyclopedia Mc. Graw Hill Book Co., 1a. ed.; New York (1974)  
pág. 1158-1166.
9. Derek Solid Liquid Separation. Equipment scale up Uplands Press LTD., 19ed.; London (1977)  
Capítulos: 4, 6, 8-13.

10. Arien & Newton Chemical Eng. Cost Estimation  
Mc Graw Hill, 2a. ed.; New York (1965)  
Capitulos: 2, 3, 4.
11. Rase & Barrow Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso  
C.E.C.S.A., México (1977)  
pags. 625
12. Rodall Oseguera Victor. Estrategia de Ingeniería de Procesos  
para países en vías de desarrollo. Tesis Profesional, Universidad  
Iberoamericana (1980)  
pag. 225-228.
13. Martínez Martínez Martha. Diseño de un Sistema de Tratamiento de  
Aguas. Tesis Profesional FES Cuautitlán, UNAM (1980)  
Apéndices.
14. Catálogos:
  - Rohm and Hass Co. Resinas.
  - Res Int., S. A. Resinas.
  - Sivalls, Inc. Water Treating Equipment. Design Manual  
Mixed Media. Medios filtrantes.
  - Neptune Microfloc. Inc. Filtros.
  - Aqua Mex. S. A., Filtros, Equipo para Tratamiento de Agua.
15. Coplan Is your Water Scaling or Corrosive?  
Chem. Eng., Vol. 79, No. 17, pág. 29 (1972).
16. Hutches Ray Activated Carbon Systems.  
Chem. Eng., Vol. 80, No. 16, pág. 133 (1973)
17. Smith Robert Water Treatment Design Important  
The Oil and Gas Journal, Sept. 1º, pag. 113 (1975)
18. Cúlver R. H. Diatomaceous Earth Filtration  
Chem. Eng. Progress, Vol. 71, No. 12, pág 51 (1975)
19. Hoerner George Nomograph up Dates Process Equipment Costs.  
Chem. Eng., Vol. 83, No. 10, pág 141 (1976)

20. Amortino Nicholas. New Ion Exchange, Options.  
Chem. Eng., Vol. 80, No. 1, pag 66 (1973).
21. Strauss. Sheldon Water Treatment.  
Power., Vol. 55, No. 6, pag. S-26(1976)
22. Flood. Filtration Practice Today.  
Chem. Eng., Vol. 73, No. 12, pag 163 (1966)
23. Bellew Edward. Comparing Chemical Precipitation Methods for Water Treatment  
Chem. Eng., Vol. 85, No. 5, pag. 85 (1978)
24. Marks RH. Water Treatment. Special Report. part 1.  
Power, Vol. 55 , No. 12, (1958)
25. Marks R.H. Water Treatment. Special Report. part 2.  
Power, Vol. 55 , No. 3, (1959)
26. Vermuelen. Process Arrangements for Ion Exchange and Adsorption  
Chem. Eng. Progress, Vol. 72, No. 10, pag. 57 (1977)
27. Seels Frank H. Industrial Water Pretreatment  
Chem. Eng./Desbook ISSUE/Vol. 80, No. 4, pag. 27 (1973)
28. Anerouses John Softening Water with Sodium Zeolite.  
Chem. Eng., Vol. 83, No. 11, pag. 129 (1976)
29. Mc. William Donald. Protecting desmineralizers from Organic Fouling  
Chem. Eng., Vol. 85, No. 10, pag. 80 (1978).
30. Ronaid. Universal Problems in Cooling Water Treatment  
Chem. Eng. Progress, Vol. 71, No. 7, pag 88-93 (1975).
31. Johnson. New Methods Simplifiers Design of ... Activated Carbon Systems.  
Chem. Eng., Vol. 80, No. 19, pag. 25, (1973).



32. Flood. Industrial Water Pretreatment.  
Chem. Eng., Vol. 80, No. 5, pag. 27, (1973).
33. Bellew Edwards. Selecting Economic Boiler Water Pretreatment Equipment.  
Chem. Eng., Vol. 80, No. 9, pag. 114, (1973).
34. Strauss Sheldon Selecting a Thermal Regeneration System for Activated Carbon Systems.  
Chem. Eng., Vol. 85, No. 1, pag. 212, (1978).
35. Culver R.H. Comparing Chemical Precipitation Methods for Water Treatment.  
Chem. Eng., Vol. 85, No. 5, pag. 85, (1978).
36. Birds. Water Treatment with Ion Exchange Beds.  
Chem. Eng. Progress, Vol. 72, No. 10, pag. 57, (1977).
37. Hutches Flocculants and Separation Technology.  
Chem. Eng. Progress, Vol. 73, No. 4, pag. 92, (1978).
38. Derek. Water Treatment  
Chem. Eng. Vol. 84, No. 13, pag. 157, (1977).
39. Amortino. Cost Estimating for Major Process Equipment  
Chem. Eng. Vol. 84, No. 10, pag. 106, (1977).
40. Smith Robert. Chemical Precipitation Methods for Water Treatment  
Chem. Eng. Vol. 85, No. 5, pag. 85, (1978)
41. Coplan. Water Treatment Design Important  
The Oil and Gas Journal, Vol. , No. 9, pag. 113, (1975).
42. Waste Treatment & Flare Stack Design Handbook  
Reprinted from Hydrocarbon Processing  
Gulf Publishing Co., New York (1960)  
pag. 15 sgs.