

29j
8



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"CUAUTITLAN"**

**ESTUDIO TECNICO PARA LA REHABILITACION DE
RESINA DE INTERCAMBIO CATIONICO DEBIL EN
LA PLANTA DESMINERALIZADORA DE AGUA
DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA
"FRANCISCO PEREZ RIOS"
TULA HGO.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
FELIPE ESTRADA GONZALEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES - CUAUTITLAN**



**Departamento de
Exámenes Profesionales**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

CAPITULO 1: I N T R O D U C C I O N

- 1.1.- Objetivos 1
- 1.2.- Introducción. 3

CAPITULO 2: GENERALIDADES Y ANTECEDENTES

- 2.1.- Importancia del agua en la industria y sus tratamientos generales. 5
- 2.2.- Características físicas de los cambiadores de iones 12
- 2.3.- Algunas bases teóricas de intercambio iónico. 18
- 2.4.- Esquemas principales de los cambiadores de iones 22
- 2.5.- Descripción del proceso de desmineralización y sus reacciones de intercambio iónico 35
- 2.6.- Defectos de operación de sistemas de intercambio iónico. 41
- 2.7.- Problemas en la planta desmineralizadora . 44

CAPITULO 3 : DESARROLLO DEL TRABAJO TEORICO-EXPERIMENTAL EN EL LABORATORIO PARA LA REHABILITACION DE LA RESINA.

- 3.1.- Toma de muestra de resinas. 46
- 3.2.- Determinación de la capacidad de intercambio iónico 48
- 3.3.- Determinación del contenido de sólidos . . 52
- 3.4.- Determinación de la capacidad de intercambio catiónico. 53
- 3.5.- Resultados obtenidos 55
- 3.6.- Análisis del agua influente. 56

CAPITULO 4: ANALISIS DE LOS PROBLEMAS REALES EN LA PLANTA, OCASIONADOS AL OPERAR LOS FILTROS DE RESINA CATIONICA DEBIL.

4.1.- Procedimiento de rehabilitación.	78
4.2.- Análisis de lecho mixto	85
4.3.- Análisis de la unidad aniónica estratificada.	92
4.4.- Análisis de la unidad catiónica fuerte . .	98
4.5.- Análisis de la unidad catiónica débil . . .	105
4.6.- Hojas de resultados	111

CAPITULO 5: COSTO DE LA REHABILITACION

5.1.- Costo actual del equipo	114
5.2.- Costo de agentes químicos	123
5.3.- Valor del capital invertido	124
5.4.- Valor actual del sistema instalado.	125
5.5.- Depreciación y amortización	129
5.6.- Costos de operación	130
5.7.- Capital invertido para la rehabilitación .	135

CAPITULO 6: PROPOSICIONES Y CONCLUSIONES

Conclusiones	137
Apéndice	140
Bibliografía	160

C A P I T U L O 1

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

1.1.- OBJETIVOS

El desarrollo de éste tema, constituye una representación para dar reactivación, funcionamiento y operación adecuada; de manera técnica, a una sección primaria de intercambio iónico en un proceso de desmineralización de agua para alimentación a calderas de alta presión. Dicha sección, constituida por resina de intercambio catiónico debilmente ácido, según previo conocimiento de:

Las características fisicoquímicas, condiciones de operación de la resina, y por ende utilizar el equipo en que se tiene. Para asegurar en esta forma el cumplimiento de los objetivos planteados aquí:

- Señalar los factores mecánicos, físicos y químicos que afectan el intercambio de la resina en cuestión.
- Comprobar que la resina tiene o no propiedades para realizar su función de cambio iónico
- Señalar y explicar los posibles problemas en la resina para la rehabilitación.
- A partir del fundamento de los resultados del trabajo experimental, concluir sobre la solución a los problemas en el equipo de intercambio en la planta desmineralizadora.

- Cambios obtenidos en la sección catiónica fuerte, al poner en funcionamiento la catiónica débil.
- Proponer el método para la rehabilitación de la resina y seguir produciendo agua dealcalinizada, así como también disminuir fuga de cationes (sodio).
- Análisis del aspecto económico.

Estas disposiciones, serán producto de la planeación que se ha dado y que se expresa en los capítulos que integran - - éste trabajo, acorde con los propósitos fijados y que nos darán una idea aproximada de fácil comprensión para conocer y - resolver, problemas más comunes en sistemas de intercambio -- iónico.

1.2.- INTRODUCCION.

La Central Termoeléctrica de Tula, "Francisco Pérez Ríos" es propiedad de la Comisión Federal de Electricidad. Se localiza a 96 kms. al Noroeste de la Ciudad de México y a 8 kms. al Sur de la Ciudad de Tula, Hidalgo, sobre una superficie de 70 há.s., a una altitud de 2,100 m. sobre el nivel del mar. El sitio colinda con la Refinería "Miguel Hidalgo" de PEMEX, de la que se surte de aceite combustible (Combustóleo) y gas natural.

Aproximadamente el 65% de los 80 mil millones de kilovatio-hora de generación bruta anual, se genera por las Centrales Termoeléctricas convencionales, 29% por las Hidroeléctricas y el 4% por las Centrales de carbón, así como el 2% por las Geotérmicas.

La Central de Tula, cuenta con cinco unidades generadoras de 300 MEGA-WATTS/HORA cada una, haciendo un total de 1,500 -- MWH de capacidad instalada y efectiva.

Es una de las principales fuentes de generación de energía eléctrica, del Sistema Eléctrico Nacional y que la colocan en primer lugar entre las Centrales Termoeléctricas del País.

Los generadores de vapor (calderas), son del tipo de hogar presurizado; actualmente utilizan combustóleo pero pueden utilizar indistintamente gas natural como fuente de combusti-

ble, para producir a un ritmo agregado de 3,636 Tons./hora, a plena carga de la unidad.

Se obtiene agua para el circuito de enfriamiento (agua de circulación), de una Planta de Tratamiento de Aguas Negras, que provienen de la Ciudad de México y de 15 pozos para el agua de servicios generales. El circuito de enfriamiento es cerrado -- con sistema de Torre de enfriamiento tipo "humedo". El agua de repuesto, requerida para el ciclo; Agua-Vapor-Sistema Condensado-Agua de Alimentación, es tratada en una planta desmineralizadora con resinas sintéticas de intercambio iónico. Las turbinas son del tipo de reacción y los generadores son enfriados con -- Hidrógeno.

C A P I T U L O 2

GENERALIDADES

Y

ANTECEDENTES

2.-1.- IMPORTANCIA DEL AGUA EN LA INDUSTRIA Y SUS TRATAMIENTOS GENERALES.

El agua constituye una de las principales materias primas para el buen funcionamiento de cualquier planta industrial, y por ende dependiendo del uso para el cual se le requiera, será el tipo de tratamiento al que será sometido, pero también un factor importante de mencionar es la calidad del agua que se dispone (15).

Clasificación del agua según su aplicación:

- I).- Agua para uso municipal o potable
- II).- Agua para uso industrial.
 - A).- Agua de enfriamiento
 - B).- Agua en proceso
 - C).- Agua para servicios generales
 - D).- Agua para caldera

Dados los propósitos anteriormente mencionados sólo se hará hincapié al agua para uso industrial, exclusivamente su pretratamiento del agua para caldera.

A).- Agua de enfriamiento:

El agua para sistemas de enfriamiento evaporativos 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

compresores en los sistemas de refrigeración, para el enfriamiento de productos químicos, etc.

Las especificaciones de control 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:

Un paso y al drenaje; un paso y luego usados para otros propósitos; sistemas abiertos con recirculación y en sistemas cerrados con recirculación.

Los tratamientos más comunes para el agua de enfriamiento son:

Coagulación, asentamiento y/o filtración

Intercambio catiónico ciclo sodio

Desmineralización

Acidificación

Eliminación de hierro y/o manganeso, cloración y uso de sales de cobre y polifosfatos.

B).- Agua de Proceso:

El agua requerida en diferentes procesos, varía en un -- amplio rango de calidad, así el agua si es clara puede sólo re -- querir de una cloración previa a una reducción en la dureza -- del bicarbonato, mientras que en otros casos requiere de un -- tratamiento de intercambio iónico.

C).- 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 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.

D) .- Agua para calderas:

El agua para alimentación a 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 (suavización); para calderas de alta presión en algunos casos basta con remover la dureza y la cantidad 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 funcionan como aislantes.

El agua constituye un servicio indispensable de los generadores de vapor.

En los casos en que se requiere una pequeña reposición de agua, se pueden usar evaporadores para suministrar a las calderas agua destilada como agua de reposición. En las grandes plantas de fuerza que emplean turbogeneradores de condensación, invariablemente utilizan otros procesos para alcanzar la calidad de agua requerida.

Para evitar una frecuente desincrustación de las calderas es necesario un tratamiento del agua; para la remoción de la dureza, alcalinidad o toda impureza disuelta, el intercambio iónico es más común que la destilación, ósmosis inversa y la electrodiálisis, para estos propósitos (8).

El agua químicamente pura es un líquido relativamente escaso y difícil de obtener, debido a que es un solvente casi universal y en el que prácticamente todas las sustancias son solubles hasta cierto grado. Por esta razón el agua se contamina fácilmente con las sustancias con las que entra en contacto.

En general, de acuerdo a su origen se prefiere siempre - tratar aguas subterráneas ya que son limpias y más fáciles de tratar, le siguen en orden el agua superficial como la de ríos o lagos, o eventualmente, agua de mar y según la disponibilidad en la región de que se trate.

Cualquiera que sea su origen, del agua subterránea o superficial nunca es químicamente pura a medida que se evapora de los océanos para formar nubes, que serán arrastradas hacia la superficie terrestre por las corrientes de aire dominante y al caer, ésta en forma de lluvia, disuelve gases principalmente bióxido de carbono, oxígeno y polvo de la atmósfera. -- Conforme penetra en la tierra, el agua absorbe, aun más el -- bióxido de carbono de las capas superiores del suelo, la solución resultante de estos componentes en agua es un ácido moderado y al fluir sobre suelos y rocas disuelve cantidades significativas de minerales (7).

El agua superficial, como la de ríos y lagos mantiene -- arcillas y arena en suspensión que a diferencia del agua subterránea es clara debido a que los estratos del subsuelo - - actúan como filtros (7)

Aun cuando el agua por los materiales disueltos o suspendidos en ella, puede ocasionar una serie de problemas en las

industrias de proceso, pero particularmente en la producción de energía termoeléctrica, tiene características que a la fecha la han hecho instituíble para éste fin; entre estas características se encuentran las siguientes (17):

- Tiene entre todas las sustancias inorgánicas comunes, la más alta capacidad para absorber calor sin cambiar su temperatura.
- No sufre alteraciones químicas con el calentamiento dentro del rango de temperaturas comunmente encontradas en la industria.
- A la temperatura ambiente normal puede controlarse y hacerse fluir fácilmente.
- El hacerla cambiar de estado físico, precisa una tecnología accesible y fácilmente controlable -- por el hombre.
- Su manejo no presenta riesgos y es aún abundante y barata.

Como en todas las industrias, en las que se lleva a cabo un control químico de sus materiales para producir productos de alta calidad, requerén de materias primas de la más alta calidad y pureza que datisfagán las necesidades plenas del usuario. Así las calderas modernas que generan vapor de alta

presión, como las que existen en la Central (168 kg/cm^2 a plena carga), requieren de agua con calidad excepcional.

La desmineralización, por intercambio iónico es frecuentemente el método más flexible y práctico para el tratamiento del agua de repuesto a unidades generadoras de 160 y 360 MWH, dentro de C.F.E., (20).

En las siguientes secciones se describirá el fundamento teórico y los esquemas de base que sirven de partida en el empleo de los cambiadores de iones y sus problemas de operación, en el tratamiento de aguas a nivel industrial.

2.2.- CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS CAMBIADORES DE IONES

Los cambiadores de iones son productos insolubles, que se presentan en forma de granos de 0.3 a 1.5 mm. y poseen las propiedades de permutar algunos de sus iones con la de las sales disueltas en la solución con las que se ponen en contacto.

Las materias dotadas de esta cualidad que primeramente se utilizaron fueron tierras naturales, después silico-aluminatos sintéticos y por último sustancias orgánicas obtenidas por --tratamientos de productos naturales o bien sintéticamente. -- Estas últimas se emplean en la actualidad, casi en forma exclusiva.

Los cambiadores de iones pueden tener diversos orígenes. Se mencionarán solamente los principales (5).

I.- Los silico-aluminatos sintéticos: Utilizados únicamente para el desendurecimiento en frío de las aguas. Estos productos se utilizan cada vez menos en la actualidad.

II.- Los carbones sulfonados: Preparados a partir de carbones grasos, residuos de la destilación del petróleo y en general de materias orgánicas leñosas, sulfonadas en caliente.

III.- Las resinas sintéticas: Existe un gran número de resinas sintéticas, que pueden utilizarse en el intercambio de --iones, presentando cada una de ellas, características y condiciones de empleo bien determinadas:

a).- Grupo de resinas fenol-formaldehído sulfonados: Cuyas características en general, son las mismas que las de los de carbonos sulfonados, pero con un poder de cambio superior. Estos productos como consecuencia de su elevado costo, han sido substituidos por los poliestirenos sulfonados.

b).- Grupo de resinas poliestirénicas: Cambiadores de --elevado poder de cambio y de fuerte acidez, que pueden utilizarse con aguas calientes (hasta 140° C.) y de gran alcalinidad.

c).- Grupo de resinas carboxílicas de características --especiales, con ellas se consigue un agua descarbonatada pero exenta de ácidos fuertes, su gran avidez por los iones H^+ , -permite obtener en el ciclo ácido un rendimiento de la regeneración muy próximo al 100%.

d).- Grupo de cambiadores de aniones, que comprenden dos grandes grupos:

Cambiadores débiles o medianamente básicos, que son generalmente aminas terciarias y que permiten captar los ácidos -- fuertes, pudiendo ser regenerados con carbonato sódico (Soda - Ash) o con sosa cáustica.

Cambiadores fuertemente básicos, que son normalmente de -- dos tipos según sean sus grupos activos:

Las resinas aniónicas fuertes tipo I, amonio cuaternarios, tienen características más básicas que las tipo II, generalmente con grupo dimetiletanolamina. Permiten fijar todos los ácidos, incluso los más débiles (ácido carbónico y sílice), pero que no pueden regenerarse más que con gran cantidad de sosa -- cáustica.

En general los cambiadores de iones fabricados sistéticamente, son usados ampliamente a medida que ha progresado su -- técnica, para usarse en; tratamiento de aguas, industria farmacéutica, industria azucarera, para tratamiento de desechos -- industriales y como catalizadores en reacciones químicas.

El problema de eliminar las sales disueltas del agua, y sus contaminantes, se hace en la actualidad con los cambiadores más utilizados que son las resinas sintéticas tipo gel y macrorreticulares.

La síntesis de las resinas de intercambio iónico envuelve la unión de polímeros lineales mediante enlaces cruzados - para formar el sitio de intercambio. Las unidades de polímeros lineales utilizados son generalmente, estireno, acrilatos y la unión mediante enlaces cruzados es por divinilbenceno.

Se considera una resina tipo gel como una estructura de polímeros homogéneos de enlaces cruzados con grupos de intercambio iónico distribuidos estadísticamente a través de toda la partícula. Es muy difícil describir la porosidad o la estructura del poro de dichos geles ya que la distancia, las cadenas y los enlaces cruzados varía considerablemente, dependiendo de factores tales como la concentración del electrolito del solvente y de los iones móviles e inmóviles y de la temperatura.

Para el año de 1959 se inició una nueva técnica de polimerización que permitió formar varios enlaces cruzados en la estructura del intercambiador, completamente distinto a los de tipo gel convencionales teniendo una estructura macroporosa rígida, similar a aquella de los cambiadores convencionales. A este nuevo tipo de resinas se les ha denominado resinas de intercambio iónico macrorreticulares.

Su estructura macrorreticular está basada en copolímeros como el estireno, divinilbenceno o copolímeros acrílicos y --

son químicamente muy similares en estructura a las resinas - tipo gel convencionales, también basadas en copolímeros similares.

La estructura porosa permite la remoción de sustancias de alto peso molecular tales como materia orgánica y especies coloidales que normalmente pasan a través de sistemas de resinas convencionales.

En cuanto a capacidad de intercambio como a resistencia química, física y al envenenamiento orgánico; son más resistentes lo que ha significado una nueva aplicación de estas resinas en el intercambio de iones.

Hay una gran variedad de razones, por las que se fabrican resinas macrorreticulares. Debe reconocerse que hay ventajas y desventajas inherentes en ambos tipos de resinas, algunas razones de fabricación son:

Estas resinas son más estables física y químicamente, -- que sus contra-partes tipo gel. bajo condiciones severas de esfuerzos.

Su estructura física única hace su uso único en fases gaseosas y otras fases no acuosas.

En cuanto a costo, estas resinas son más caras que las - tipo gel.

Algunas de las firmas que fabrican resinas sintéticas -
actualmente son(10) :

La Sociedad Rohm and Haas, de E.U.	(Amberlite)
La Sociedad Dia-Prosim, Shamrock y Diamond, de Francia y E.U.	(Doulite y- Allaision)
La Sociedad Montedison y Resindion, de Italia	(Kastel y Re lite)
La Sociedad Bayer, de Alemania	(Lewatit)
La Sociedad Nalco, de E.U.	(Nalcite)
La Sociedad Dow Chemical de E.U.	(Dowex)
La Sociedad Pernutit y Zerolit, de E.U. e - Inglaterra	(Z, FF,MP,N)
La Sociedad Imacti, de Holanda	(Imac)

2.3.- ALGUNAS BASES TEORICAS DEL INTERCAMBIO IONICO.

A continuación se describirán brevemente los mecanismos y factores teóricos que rigen el intercambio iónico.

La desmineralización del agua, con resinas sintéticas - de intercambio iónico en columna es un proceso intermitente con reacciones reversibles. En este tipo de proceso se remueven las sales minerales disueltas en el agua.

Las resinas son polielectrolitos o macromoléculas, compuestas por una alta concentración de grupos polares con características ácidas o básicas, débiles y fuertes, incorporadas a una matriz de polímero sintético, con la peculiaridad de tener sólo cationes o aniones con habilidad para tomar parte en la reacción química de permutación iónica, debido a su capacidad de migración. Es decir tienen un ion migratorio y un contraion estacionario, para mantener el balance de cargas eléctricas (5).

Según sea el ión migratorio, un catión o un anión se llaman resinas catiónicas o aniónicas respectivamente.

Como la concentración de grupos polares, en la resina es un número finito, éstas tienen una capacidad definida de intercambio, de acuerdo a la concentración de grupos funcionales.

La ventaja de los intercambiadores iónicos es que tienen

habilidad para recuperar la capacidad de intercambio original, mediante el tratamiento de estos con una solución que puede ser un ácido o una base, según sea el ciclo y el tipo de resina de que se trate; ésta solución desplazará los iones retenidos durante el servicio y los reemplazará por los iones deseados. Ya que las reacciones químicas llevadas a cabo son reversibles, esta fase del proceso se llama regeneración y que mediante este tratamiento, la resina se utilizará una y otra vez, simplemente cuando la resina agota sus propiedades de intercambio se regenerará.

Además del intercambio iónico puro, también tienen lugar otras reacciones fisicoquímicas de acomplejamiento, adsorción etc; que disminuye la vida útil de la resina; para las resinas aniónicas varía entre 70 y 280 m³ y para las resinas catiónicas tipo sulfónico entre 280 y 1200 m³ de agua tratada por cada litro de resina (24).

La desmineralización del agua es un proceso de separación, en el que los constituyentes de la mezcla de interés se intercambian entre dos fases en movimiento relativo a través de la columna en una secuencia de equilibrios de disolución o de adsorción, constantemente desplazados. Una de las fases es estacionaria, que es la propia resina que ejerce el efecto de retención por adsorción entre las dos fases en el intercambio de iones. La otra fase es móvil, el agua que corre de una

extremidad a la otra de la fase estacionaria y permitiendo el avance diferencial de los constituyentes de la mezcla. La separación se basa entonces en los fenómenos de reparto de las especies a separar entre las dos fases.

Obviamente todo es posible gracias a las diferentes afinidades de las resinas hacia los iones. Según las teorías -- aceptadas por la mayoría de los autores; que reportan las siguientes reglas para el mecanismo de intercambio.

En soluciones acuosas diluidas y a temperaturas normales el potencial de intercambio aumenta con (5):

La valencia de los iones



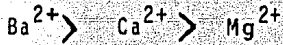
El aumento del número atómico



El potencial de intercambio de los iones, se puede asimilar a su coeficiente de selectividad con la naturaleza de la resina, así pues tenemos que (1):-

Las siguientes dos series expresan la selectividad relativ

va de muchas resinas catiónicas fuertes con respecto a la mayoría de los cationes;



Para las resinas fuertemente intercambiadoras de aniones, tenemos la siguiente selectividad relativa para la mayoría de los aniones monovalentes:



El potencial de intercambio del ión hidrógeno o hidroxilo, depende de la fuerza del ácido o la base que se forma entre el grupo funcional de la resina y cualquiera de estos iones. Cuanto más fuerte menor es el potencial.

Los iones orgánicos de alto peso molecular y los complejos metálicos, aniónicos, tienen un potencial de intercambio extremadamente alto. Sin embargo, la diferencia más importante es que las resinas son insolubles por tanto remueven los iones de las soluciones, formando sales de resinas, mientras que los ácidos y las bases más comunes forman soluciones acuosas.

2.4.- ESQUEMAS PRINCIPALES DE LOS CAMBIADORES DE IONES.

Anteriormente, ya se mencionó que el método común para el tratamiento de agua para calderas y otras aplicaciones, es el de utilizar resinas de intercambio iónico.

Para poder representar de manera más clara, los pasos de tratamiento según la utilización del agua con cambiadores de iones; se tienen dos grandes aplicaciones (10):

a).- Aplicaciones para las que se desea simplemente suprimir la dureza y que consta por lo tanto exclusivamente de cambiadores de cationes, regenerados con cloruro de sodio. Algunas aplicaciones normales son:

Tratamiento de aguas de caldera a presiones bajas y medias.

Tratamiento de aguas para circuitos de refrigeración

Tratamiento de aguas para usos domésticos

Aplicaciones textiles (Blanqueo, Tinte, Etc.)

Fabricación de bebidas gaseosas

b).- Aplicaciones que necesitan una desmineralización más o menos completa:

Tratamiento de agua de alimentación a calderas de alta presión.

Obtención de agua de gran pureza para la industria química.

Aplicaciones generales del agua destilada (cristalería y

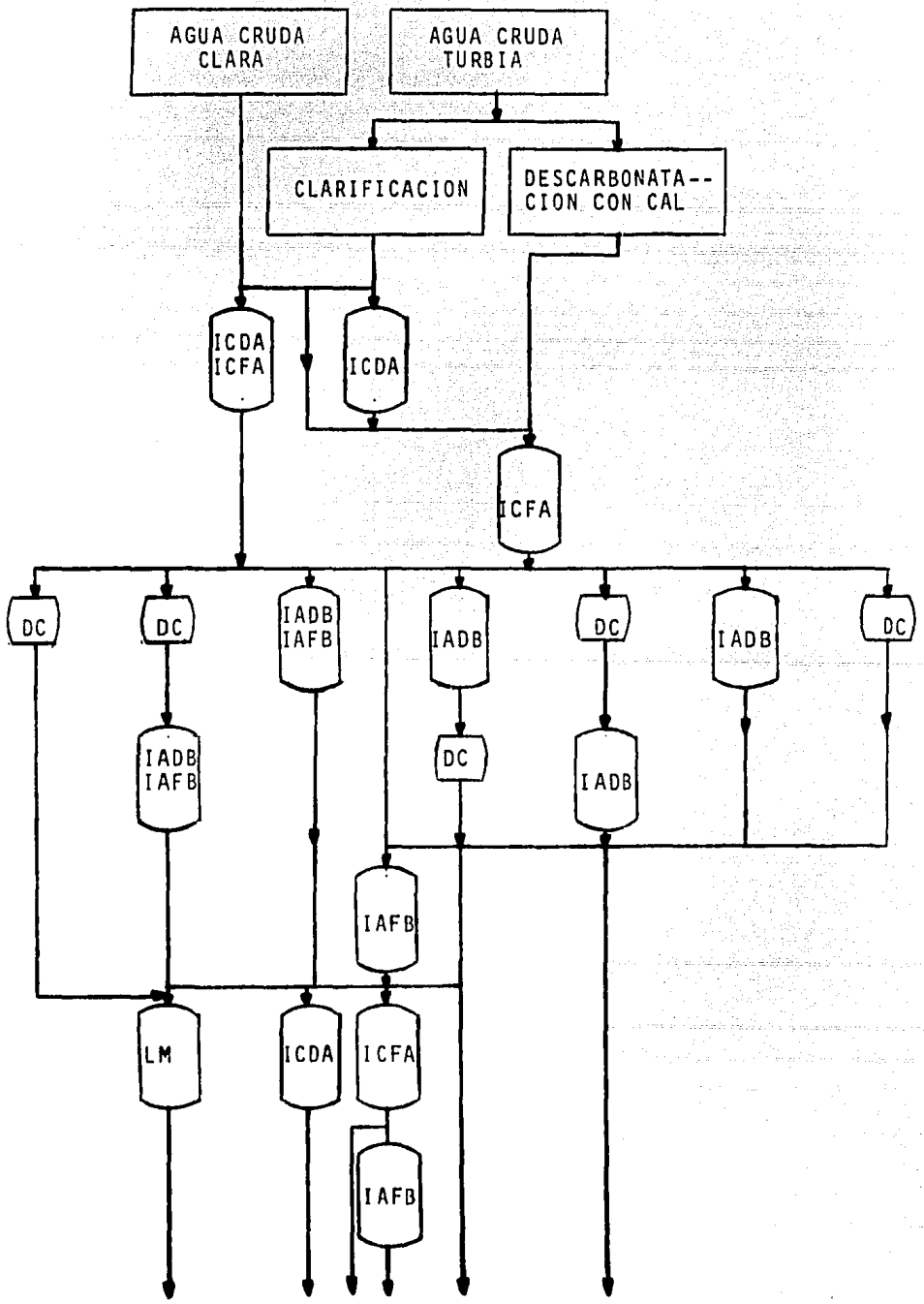
perfumería).

Conservación de la pureza de las aguas de circuitos nucleares.

En los problemas que incluyen la selección de sistemas de desmineralización, según cada caso se deberá tomar en cuenta el resultado de una evaluación completa de la composición del agua cruda, cantidad, calidad y tipo de regenerantes usados, condiciones de operación y costos de equipo, mantenimiento y operación del proceso a elegir, que cumpla con la calidad de agua requerida en el efluente final.

Si es necesario obtener calidades de agua más puras, se utilizarán cadenas con varios pasos de intercambio, según el siguiente cuadro (10).

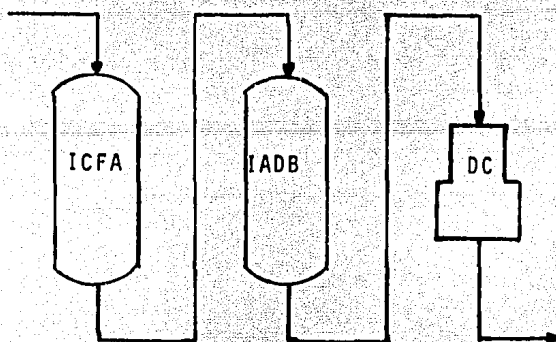
SINOPTICO DE COMBINACIONES HABITUALES EN APARATOS DE DESMINERALIZACION



Para cada caso, hay el mejor arreglo de desmineralización; Se debe hacer una selección cuidadosa del tipo de sistema que se va emplear.

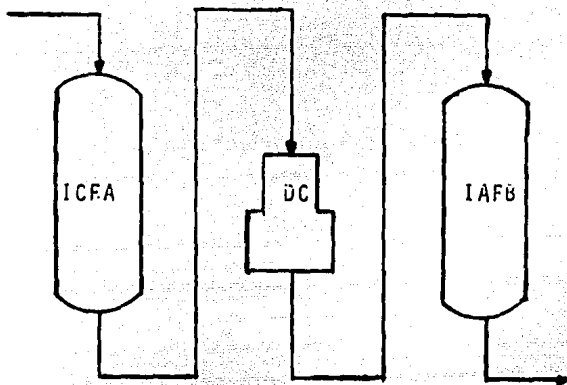
La siguiente exposición da una visión general de algunos arreglos comunes, empleados en uso comercial, con los comentarios concernientes a su aplicación (1) :

E S Q U E M A 1



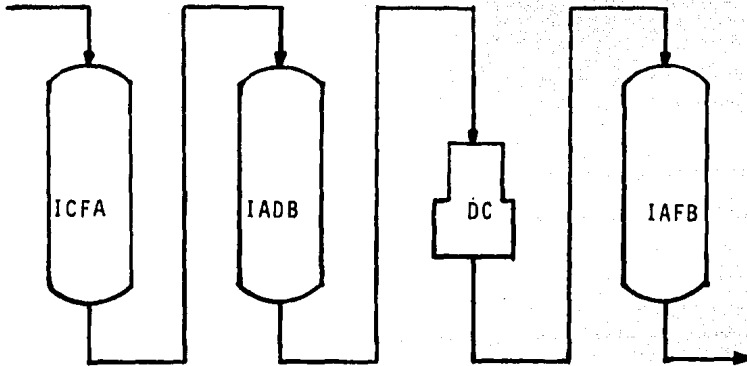
Se recomienda para plantas que requerirán la reducción del electrólito hasta un rango entre 2 y 10 ppm, (conductividad de 10 y 20 micromhos). Sin reducción de SÍlice en el efluente, eliminando las sales del agua para las mezclas cerámicas o de las aguas de enjuague usadas antes de pintar. No se utiliza -
Para tratar aguas de alimentación a calderas.

E S Q U E M A II



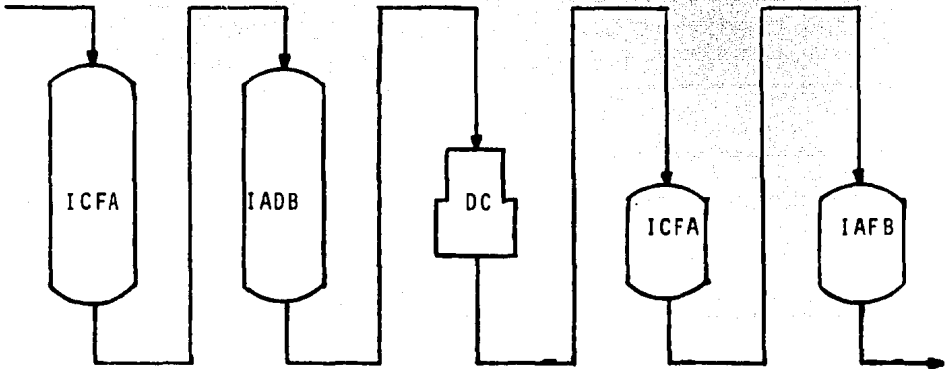
Reduce el electrólito hasta el orden de 2 y 3 ppm, - -
(cond. como I) y sílice hasta un nivel entre 0.02 y 0.1 -
ppm. Aplicable para tratar aguas de alimentación a calde--
ras de 600 y 1400 psi. Sin descarbonatador, remueve impure
zas de los baños de estaño, recuperación de cromato, etc.

E S Q U E M A III



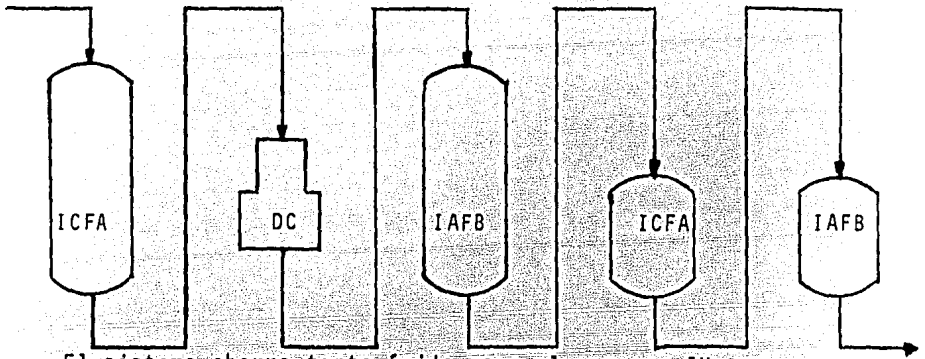
El sistema ahorra regenerante cáustico cuando se tratan aguas con acidez mineral total alta (sulfatos y cloruros). - En estas ocasiones el sistema no requiere del descarbonatador. Cuando se regenera el sistema, el efluente del intercambiador fuertemente básico se hace pasar a través del intercambiador débilmente básico en contra corriente. El intercambiador débilmente básico remueve la mayor parte de la carga. Cuando no se cuenta con el descarbonatador, el intercambiador fuertemente básico, parcialmente se agota por ácido carbónico. El sistema también reduce la sflíce.

E S Q U E M A IV



El sistema reduce el electrólito entre un rango de 0.2 - y 1.0 ppm. y la sílice entre 0.02 y 0.1 ppm. El tener intercambiador catiónicos; primario y secundario se traduce en un ahorro de regenerante ácido. Este sistema se recomienda para tratar aguas con elevados porcentajes de sodio y bajos porcentajes de alcalinidad. En este sistema, el descarbonatador -- siempre se localizará antes de la unidad pulidora. El intercambiador débilmente básico también ahorra regenerante cáustico cuando se tratan aguas con alto porcentaje de ácidos mineral total. Las unidades secundarias, usadas sólo como pulidoras serán más pequeñas que las primarias.

E S Q U E M A V

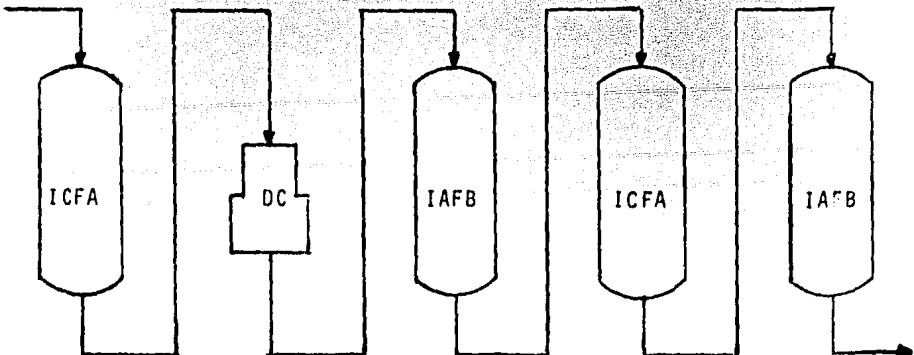


El sistema ahorra tanto ácido como el esquema IV, pero en el caso de los intercambiadores aniónicos fuertemente básicos, la sílice se reduce entre 0.01 y 0.05 ppm. Adecuando en calderas a más de 1400 psi.

En los intercambiadores secundarios, el sistema evita el ensuciamiento orgánico, que actúan como unidades pulidoras.

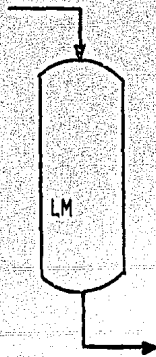
Las unidades secundarias más pequeñas que las primarias, indicadas en los esquemas IV y V, son usadas como pulidoras requiriendo regeneración poco frecuente.

E S Q U E M A VI



Este sistema es usado cuando la producción del agua des mineralizada habra de aumentarse por corto tiempo (Cuando se tratan condensados no tan contaminados por grasas). Tiene gran aplicación, si se tienen arreglos de válvulas y tuberías entre las unidades primarias y secundarias haciendo la operación más flexible. Operar en paralelo cuando se tenga flujo máximo. Mantiene el servicio durante la regeneración de un par de unidades. Se obtiene un efluente de gran pureza como el del esquema V

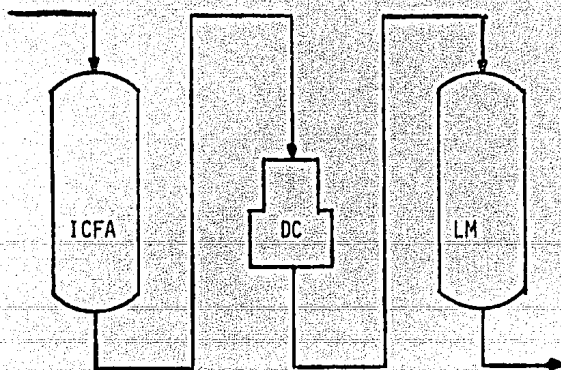
E S Q U E M A VII



Se emplea en plantas pequeñas con objeto de ahorrar costos de inversión, sin embargo tienen elevados costos de ope--ración. En este arreglo, la capacidad de las resinas se considera que opera alrededor de 80 y 85 % respecto a las mis--mas resinas si estuvieran en arreglos individuales, de modo --que requiere más ácido y sosa cáustica en la regeneración.

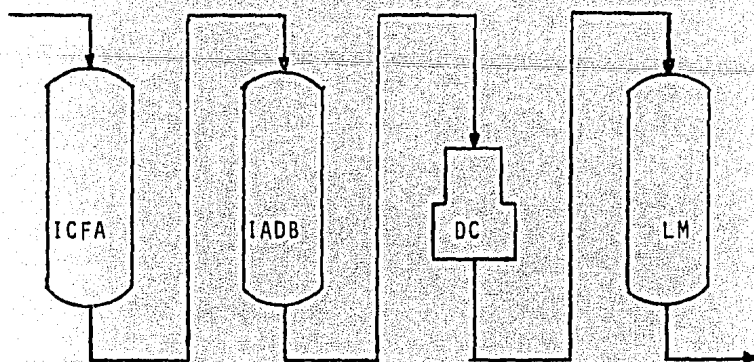
Se obtiene agua con una conductividad de un mocromhom--cm y sflice igual que II. Adecuado para tratar agua para --calderas de presiones supercríticas y reactores atómicos.

E S Q U E M A V I I I



El sistema reduce la cantidad de ácido y sosa comparado con el sistema del esquema siete, se recomienda para aguas con alta alcalinidad. En este caso, la resina catiónica se dice que actúa como pretratamiento protegiendo al lecho mixto. Se obtiene agua con una conductividad igual que el efluente del sistema VII y sílice igual que el II.

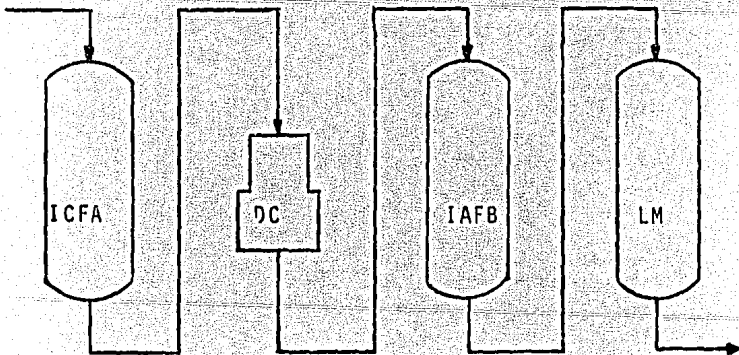
E S Q U E M A IX



Este sistema reduce el electrólito hasta un rango entre 0.04 y 0.1 ppm, y sílice entre 0.02 y 0.1 ppm. Ahorra tanto ácido como ocho, pero emplea una cantidad mayor de sosa cáustica cuando se tratan aguas de una ácida mineral total - - alta.

Usar aniónica fuertemente básica, si se tiene sílice y alcalinidades altas.

E S Q U E M A X



Reduce el electrólito como el sistema nuevo, hasta una concentración entre 0.04 y 0.1 ppm, reduce la sílice hasta un rango entre 0.01 y 0.05 ppm. Se protege totalmente al lecho mixto del ensuciamiento orgánico, con el intercambiador fuertemente básico en la primera etapa. Debido a la alta eficiencia del arreglo se regenera poco al lecho mixto.

En los esquemas anteriores:

ICDA: Intercambiador de cationes débilmente ácido (carbónico)

ICFA: Intercambiador de cationes fuertemente ácido

IAOB: Intercambiador de aniones débilmente básico.

DC : Descarbonatador (eliminador de CO_2)

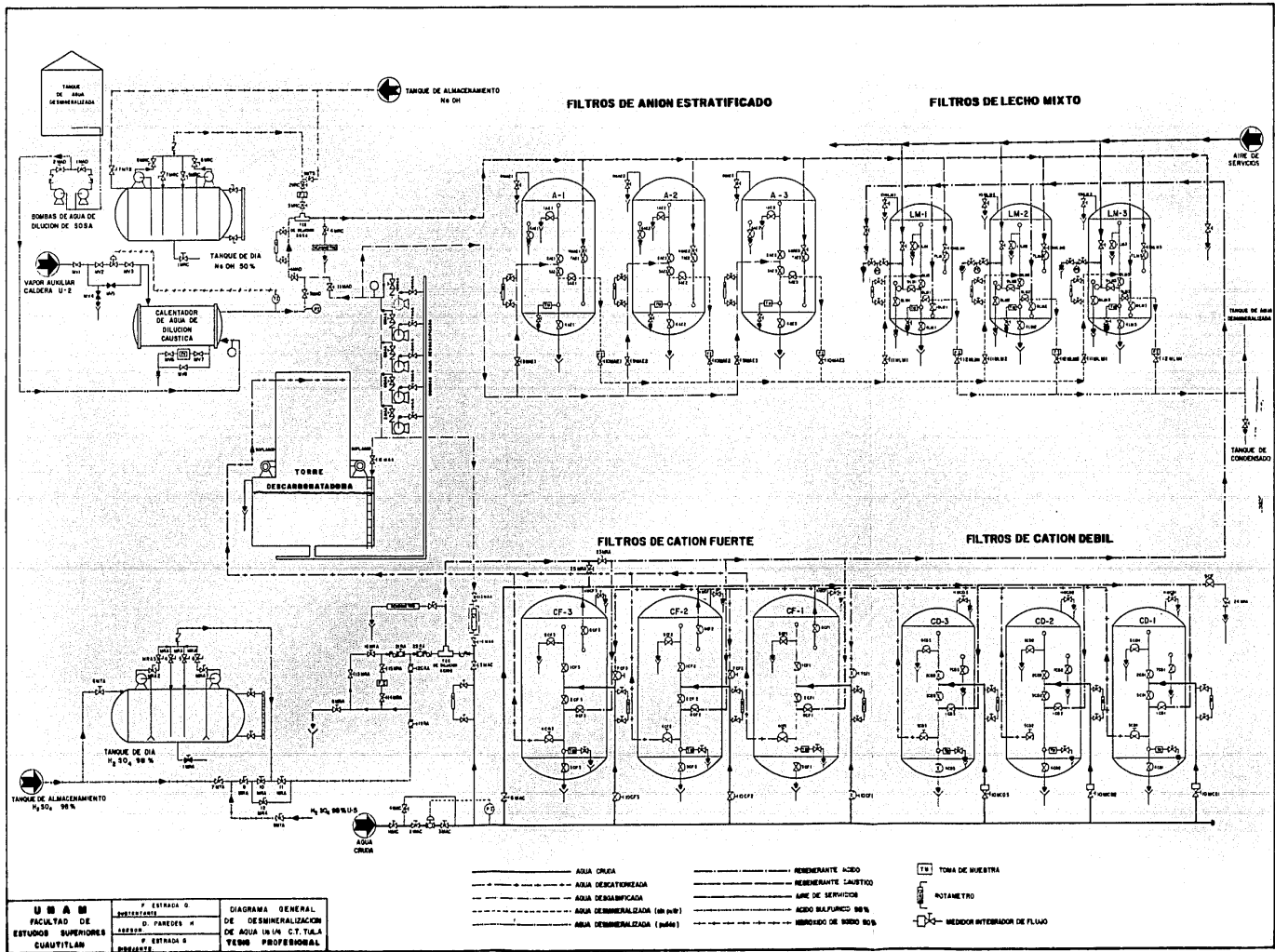
IAFB: Intercambiador de aniones fuertemente básico.

2.5.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESMINERALIZACIÓN Y SUS REACCIONES DE INTERCAMBIO IÓNICO.

El proceso de desmineralización, de la Central Termoeléctrica de Tula es un arreglo que aprovecha técnicas especiales de diseño, diferente a los esquemas antes mencionados, pero bajo el mismo principio. Por lo que de acuerdo al proceso ya se tiene elegido el esquema y las resinas, cuyo arreglo se muestra en el diagrama general de desmineralización.

El equipo desmineralizador, cuenta con intercambiadores catiónicos ciclo hidrógeno e intercambiadores aniónicos ciclo hidróxilo; en recipientes cilíndricos verticales de acero al carbono con tapas abombadas, que resisten la presión. Están recubiertas interiormente con hule, lo mismo que las conexiones, válvulas y tuberías. Estos recipientes en su interior cuentan con accesorios especiales (distribuidores) que permiten, por un lado realizar las operaciones de; retrolavado, regeneración, enjuague y servicio evitando fugas y por otro -- permitiendo una distribución del flujo a tratar de manera homogénea. Estos accesorios, también son construídos de materiales resistentes a la corrosión (acero inoxidable). Las válvulas de los equipos son en su mayoría neumáticas.

Cualquier proceso de desmineralización completo implica dos etapas de intercambio, catiónico y aniónico.



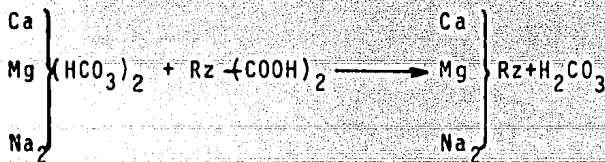
A continuación se hará referencia a los tipos de reacciones químicas con las resinas utilizadas, de acuerdo al arreglo de estas en la planta desmineralizadora.

Notese que el proceso desmineralizador es:

Catión Débil-Catión Fuerte-Descarbonatador-Anión Estratificado y Lecho Mixto. Tal arreglo permite obtener agua con una pureza excepcional.

El agua se bombea desde el tanque de almacenamiento de agua de servicios a la planta desmineralizadora, que primeramente debería ser tratada por las unidades o grupos de filtros con resina debilmente ácida intercambiadora de cationes. En este tratamiento se puede liberar el ácido carbónico por fijación preferencial de la dureza temporal del agua cruda (dureza de bicarbonatos), pero no puede intercambiar los cationes unidos a aniones ; sulfato, cloruro y/o nitrato.

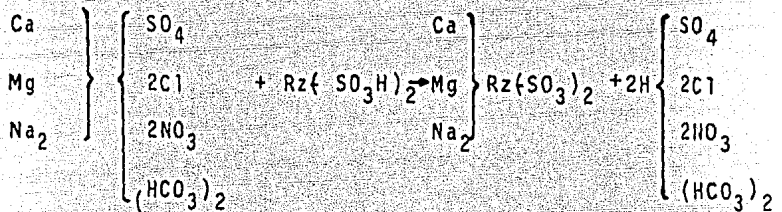
El intercambio de la resina carboxilica debilmente ácida intercambiadora de cationes es:



En donde Rz representa la matriz de la resina.

El agua cruda, actualmente es tratada por el grupo catiónico fuertemente ácido que intercambia los cationes Ca, Mg, Na etc. de todas las sales disueltas en el agua (ácidos minerales).

El intercambio de la resina sulfónica fuertemente ácida intercambiadora de cationes es:



Por efecto del intercambio catiónico, los iones hidrógeno forman una solución de baja concentración de ácido: sulfúrico, clorhídrico, nítrico, carbónico y silícico. El agua ácida antes de pasar al intercambio aniónico, se hace pasar por la torre descarbonatadora, empacada con Tellerete de polipropileno para eliminar en forma física el ácido carbónico como CO_2 , haciendo fluir el agua descationizada en contracorriente con aire. El aire se proporciona mediante tiro forzado con sopladores, y la salida de aire e impurezas se hace por venteo.

Usualmente los desgasificadores se intercalan en el sistema desmineralizador entre las unidades catiónicas y aniónicas,

umentando la eficiencia de estas últimas y aprovechando su capacidad para manejar soluciones ácidas.

Según referencias en la literatura (1) y técnicos de compañías de tratamiento de aguas, el diseño y la instalación de un descarbonador se realiza a partir de flujos de agua entre 20 y 30 gpm/pie² y alcalinidades de más de 100 ppm en el agua cruda.

La reacción llevada a cabo para la eliminación física del anhídrido carbónico en la torre descarbonadora es:



El agua acidulada y desgasificada, se bombea desde el tanque de oscilación que esta en el fondo de la torre; para ser tratada por el grupo de unidades estratificadas y lechos mixtos.

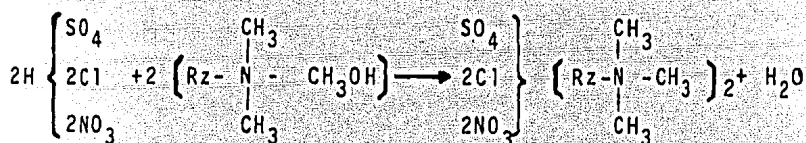
Esta nueva técnica de reunir en un único aparato intercambiador de función fuerte y función débil de la misma polaridad, siempre que su diferencia de densidad sea lo suficientemente favorable, se le ha llamado estrato, lo que coincide con los diversos esquemas representados anteriormente.

Es así que aprovechando la diferencia de densidad entre las resinas aniónicas débil y fuertemente básicas para tenerlas en una misma unidad y ser regeneradas simultaneamente; -

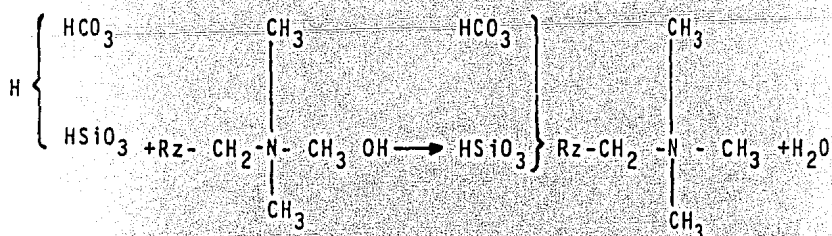
lo que no es favorable entre las resinas intercambiadoras -- catiónicas fuertes (sulfónicas) y débiles (carboxílicas).

De acuerdo a su función de cada resina se tiene:

Resinas débilmente básicas, amina terciarias intercambiadora de aniones.



Resina fuertemente básica tipo 1, amina cuaternaria intercambiadora de aniones.



En el intercambio aniónico, se remueven las sales correspondientes a los ácidos minerales, sílice y el anhídrido carbónico que no se eliminó en el descarbonatador.

Como se requiere agua de gran pureza, es bien utilizado el llamado lecho mixto, como pulidor del efluente de un des--

mineralizador individual. El lecho mixto es una mezcla de resina catiónica fuertemente ácida ciclo hidrógeno y resina - - aniónica fuertemente básica ciclo hidroxilo, la mezcla representa una serie infinita de sistemas de intercambio catiónico aniónico, con este diseño el agua es obtenida con aproximadamente 0.002 ppm de SiO_2 y una conductividad menor que un micromho/cm. El agua con estas características es almacenada - en el tanque de agua desmineralizada, o para reponer los tanques de condensado de cada unidad de generación.

Notese que los equipos del sistema de desmineralización, están constituidos por tres trenes en paralelo. Con una capacidad de producción diseñada de $120 \text{ m}^3/\text{hr}$ de agua desmineralizada, operando dos trenes y el tercero disponible o en regeneración.

2.6. DEFECTOS DE OPERACION DE SISTEMAS DE INTERCAMBIO IONICO.

Las plantas desmineralizadoras de agua, con intercambiadores iónicos, se operan practicamente a base de experiencias que han ocurrido. Siendo estas lo determinante para lograr agua de una calidad superior.

Las experiencias también ayudan a detectar la causa de los principales defectos de operación de las instalaciones, ya en marcha. Defectos que por su origen, son el resultado de una operación inadecuada o de la resina elegida.

Los problemas que se presentan con mayor frecuencia en una instalación desmineralizadora, en general son los ocasionados por contaminación de las resinas (18).

Los síntomas de estos problemas se empiezas a detectar como:

a).- Pérdida de Capacidad de Intercambio debido a:

- Aumento en la salinidad del influente.
- Pérdida de resina.

Regeneraciones deficientes

Distribución incompleta del regenerante.

Control inadecuada durante la regeneración.

Funcionalidad incorrecta de los instrumentos de medición.

Ciclo de operación incorrecto.

Resinas envenenadas o contaminadas.

b).- Alta fuga de las Unidades de Intercambio.

(baja Calidad del Producto). debido a:

Fuga de alcalinidad.

Ensuciamiento con sulfato de calcio.

Fuga de dureza.

Fuga de sodio.

Acumulación de Sílice

Ensuciamiento con hierro, aluminio, manganeso, cobre etc.

Contaminación orgánica.

Contaminación microbiológica.

Contaminación cruzada de lechos mixtos.

Ensuciamiento con aceite.

Ensuciamiento con lodos o polielectrolitos.

Crecimiento de algas o bacterias (esterilización).

Precipitación de sulfato de bario.

c).- Pérdida de Carga Excesiva, debido a:

I. Problemas del propio equipo como:

Distribución de entrada obstruido.

Sistemas colectores inferiores.

Medidores de gasto.

Paredes de las tuberías y columnas.

II.- Problemas de la resina de intercambio iónico --

como:

Degradación física por oxidación.

Depósitos sobre la resina.

Finos.

Choque osmótico.

Esfuerzo mecánico.

Choque térmico.

2.7.- PROBLEMAS EN LA PLANTA DESMINERALIZADORA

Los problemas que se presentan con mayor frecuencia en una planta desmineralizadora, son los ocasionados por contaminación de las resinas. Aquí se tratará sólo la problemática con los intercambiadores catiónicos débiles.

El ensuciamiento de las resinas es un problema que requiere bastante atención. Con frecuencia, las resinas catiónicas pueden contaminarse con materia orgánica presente en el agua cruda, así como con cationes, fierro, manganeso, aluminio, etc. que se absorben en la resina y no se eliminan fácilmente durante la regeneración.

Se realizó una encuesta a los operadores de la planta; con el propósito de recabar diferentes opiniones y razones por las cuales no se opera la resina catiónica débil. De la información proporcionada por cada uno de ellos se tienen las siguientes conclusiones:

Cuando estuvieron en servicio las unidades, ocasionaban incremento en la acidez mineral libre a la salida de la sección catiónica. Provocando disminución del ciclo en las unidades aniónicas y lechos mixtos.

La resina catiónica débil se agota antes que se agote la resina catiónica fuerte del mismo tren y aun así se seguía produciendo agua descationizada, hasta el agotamiento de ésta última.

Durante el retrolavado y regeneración de la resina, el recipiente que la contiene se sobrepresiona bastante.

La resina esta contaminada con sulfato de calcio, - debido a que en la regeneración con ácido sulfurico y el calcio retenido en la resina durante el servicio, se provoca la precipitación de éste compuesto y difícil de eliminar aun con enjuegos prolongados

Actualmente se encuentra dañado el equipo e instrumentos para la medición y control adecuado de los parámetros. exclusivo para la operación correcta de la planta

C A P I T U L O 3

DESARROLLO DEL TRABAJO
TEORICO-EXPERIMENTAL
EN EL LABORATORIO PARA
LA REHABILITACION DE LA
RESINA.

3.1.- TOMA DE MUESTRAS DE RESINAS

La importancia de éste capítulo, radica en la determinación de las propiedades fisicoquímicas de la resina catiónica débil; parece esencial esta parte, ya que los resultados obtenidos nos indicarán, sobre una ayuda para el cumplimiento de los propósitos inicialmente fijados.

En seguida, se expone la forma correcta para toma de muestra de resinas, de casos en que las condiciones de operación sean las adecuadas en las unidades de intercambio iónico, y que se haya detectado pérdida de capacidad o por almacenamiento prolongado de la resina.

I - El método para toma de muestra es el siguiente:

a).- Es deseable que la resina muestreada esté en la forma regenerada.

b). Abrir registro de hombre.

c).- Drenar la unidad hasta un nivel de 6 cm. aproximadamente sobre el nivel superior de la resina

d) - Si los distribuidores del recipiente son metálicos y se cuenta con refuerzos suficientes, introducir - - aire en flujo ascendente a un régimen de $1,500 \text{ ltpm/m}^2$, - con una presión máxima de 0.3 kg/cm^2 , ésto con el fin de homogenizar todo el lecho y no permitir bandas de acumula

ción de finos y poder tener tamaños de resinas promedios que sean representativos de todo el volúmen de resina en la unidad.

e) - Si los distribuidores no son metálicos o no se puede introducir aire, deberán tomarse cuatro muestras - del corazón del lecho y una de cada cuadrante, después juntarlas y mezclarlas lenta y completamente.

f) - Obtener aproximadamente un litro de resina por cada columna, y enviáda al laboratorio en recipiente de vidrio o plástico resistente.

II.- Hay casos especiales en los que:

a).- En unidades donde se tengan lechos estratificados se deberá muestrear conforme a lo indicado en los -- puntos anteriores, tomándose nota que tipos de resina - forman el estrato así como los volúmenes de cada una de ellas en el mismo.

b).- En unidades de lechos mixtos se simplifica el procedimiento de toma de muestra, pues basta con seguir la secuencia de regeneración y al terminar esta. antes - de poner de nuevo la unidad a servicio se deberá hacer - el muestreo también tomar nota de los tipos de resinas y volúmenes que conforman el lecho.

Hecho el muestreo, se procede a cerrar la unidad y proceder a prepararla para ponerla en servicio nuevamente.

3.2.- DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO

A continuación se describirá el fundamento teórico, la metodología base que se aplicará experimentalmente para la determinación de la capacidad condicional de intercambio y otras características de una resina que ha permanecido fuera de servicio durante largo tiempo. Tal capacidad condicional, es una constante dada para cualquier resina y debe ser típica según la capacidad de la columna, la cual decide el potencial de una resina para remover iones específicos, bajo las condiciones actuales del uso para una estimación de pérdida de capacidad.

Las técnicas descritas, representan la capacidad total en términos de miliequivalente por gramo de resina seca (25).

El orden para obtener este valor es necesario para conocer el contenido de sólidos y comprobar la existencia en cada resina. El procedimiento es descrito en seguida.

Generalmente el camino para la determinación de la capacidad sobre una forma iónica específica para cada tipo de intercambiador, que deberá alcanzar algún grado de estandarización con una solución adecuada. De este modo, el procedimiento habla de la capacidad "condicional" de la resina. Existe una lista sujiendo las etapas para

cada tipo de intercambiador.

Aunque estas determinaciones serán dadas sólo en capacidad en peso, la capacidad en volumen que podría ser determinada donde sea deseable, tomando en consideración la densidad condicional de la resina. Esto puede ser hecho. para conocer una medida del peso condicional de la resina en un cilindro graduado, que en la mayoría de los trabajos se encuentra que es más conveniente y exacto el empleo de las columna de intercambio iónico calibrada, en la cual la capacidad actual podría ser determinada.

Una columna tipo bureta es útil y puede caracterizarse por varios parámetros geométricos

De manera general una columna larga es más eficiente que una corta

Las columnas de uso común en el laboratorio tienen una relación longitud diámetro del orden de 10, (5).

La capacidad de volumen. de una resina puede ser encontrada por la siguiente ecuación

$$C_v = C_p \cdot s \cdot l$$

Donde: C_v = Capacidad de intercambio en volumen. (meg/ml)

C_p = Capacidad de intercambio en masa (meg/gr)

C = Densidad (gr/ml)

S = Contenido de sólidos (%)

Recomendaciones:

Antes de determinar la capacidad de intercambio iónico, cada resina deberá estar condicionada iónicamente por un regenerante apropiado según la lista debajo escrita:

TIPO DE INTERCAMBIADOR	SOLUCION ACONDICIONADORA	REQUERIMIENTOS DE ENJUAGUE
Fuertemente Catiónico	1.71 N de NaCl 1.117 N de HCl	Libre de cloruros Neutral al anaranjado de metilo
Debilmente catiónico	1.117 N de HCl	Neutral al anaranjado de metilo
Fuertemente aniónico	1.71 N de NaCl	Libre de cloruros
Debilmente aniónico	1.042 de NaOH	Una gota de H ₂ SO ₄ . 0.1N neutrolize 12 ml del efluente.

Colocar, dentro de una columna condicionada entre 3 y 5 gr. de resina hidratada para determinar, a la vez su capacidad y el % de sólidos.

Pasar más o menos 10 volúmenes de lecho de regenerante, a través de la columna a un caudal entre 0.2 y 0.3 mlpm/ml de resina, seguido de un ejuague final con agua desmineralizada.

Así como para la operación de la columna; ésta técnica de regeneración puede ser también el procedimiento para el retrolavado. Dado que la muestra de resina es - baja el retrolavado será seguido después de que el flujo sea claro.

Posteriormente al enjuague, la muestra será transferida de la columna a un embudo de Buchner donde el exceso de humedad será removida por extracción del aire en el embudo por cinco minutos usando una bomba de succión. La muestra seca es ahora lista para la determinación de la capacidad y el contenido de sólidos.

3.4.- DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.

Tipos de intercambiadores:

Tanto para las resinas débil y fuertemente catiónicas, tipo gel y macrorreticulares el fundamento es el mismo.

Fundamento:

Para neutralizar la forma ácida de una resina catiónica, por conocer el exceso de un alcalí estandarizado.

El alcalí residual es titulado con un ácido estandarizado.

Soluciones empleadas

Normalidad de NaOH al 5% con NaCl = 0.1 (estandarizado)

Normalidad de H_2SO_4 = 0.02 (estandarizado)

Indicador colorimétrico de fenoltaleína (solución)

Solución acondicionadora de HCl = 1.117 N

Agua desmineralizada

Material de vidrio

Procedimiento:

a) - Pesar exactamente un gramo de muestra de resina - intercambiadora de cationes acondicionada y otra muestra para la determinación del contenido de sólidos.

NOTA: Si la muestra es de una resina fuertemente catiónica, se tendrá que acondicionar el ácido clorhídrico con -

un poco más de cloruro de sodio. En este caso la resina es débilmente catiónica

b) - Colocar la muestra que habrá de determinarse - la capacidad, dentro de un matraz Erlenmeyer seco de 250 ml y pipetear exactamente 200 ml. de solución 0.1 N de NaOH. la cuál deberá estar preparada al 5% con NaCl

c) - Tapar el matraz y colocarlo en un sitio durante toda la noche.

d). Titular por retroceso una alícuota de 50 ml - del líquido sobrenadante con H_2SO_4 0.02 N estandarizado. - usando fenolftaleína, como indicador de punto de equivalencia. Estar seguro de no arrastrar fuera ninguna partícula de resina.

e).- Cálculo para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico

$$\frac{V_b N_b - \frac{V_b}{V_{b_1}} (V_a N_a)}{m \left(\frac{S}{100} \right)} = C_c \quad . \quad . \quad . \quad 4$$

Donde: V_b = Volumen de sln. de NaOH

N_b = Normalidad de sln de NaOH

V_{b_1} = Volumen de la alícuota a titular

N_a = Normalidad del ácido titulante estandarizado

m = Peso de la muestra de resina acondicionada

C_c = Capacidad de intercambio catiónico (meg/gr)

3.5 - RESULTADOS OBTENIDOS.

El objetivo primordial en esta parte fue caracterizar y determinar sus propiedades de la resina, para hacer una comparación con los datos que reporta el fabricante, de acuerdo a las condiciones preestablecidas e intercambiando la resina. iones H^+ - Na^+ de acuerdo a su capacidad de intercambio iónico, % de sólidos y capacidad de retención de humedad.

Observando, comparativamente cada uno de los parámetros que se encuentran en el siguiente cuadro; fácilmente se ve que los valores son parecidos, pero lo importante es que la resina tiene capacidad para el intercambio de iones.

DATOS	FORMA IONICA	DENSIDAD APARENTE (gr/ml)	CONTENIDO DE SOLIDOS (% Aprox.)	CAPACIDAD VOLUMETRI CA (meg/ml)	RETENCION DE HUMEDAD %
Fabricante	Acido	0.752	57	4.1	60
Laboratorio	Acido	0.724	67	3.826	47

3.6.- ANALISIS DEL AGUA INFLUENTE.

Es de gran importancia el desarrollo de las técnicas y marchas necesarias para poder realizar éste análisis del agua cruda y así tener un fundamento prioritario para el establecimiento de, nivel de regeneración y capacidad de intercambio iónico de las resinas utilizadas.

Para la formulación de estos métodos los cuales son oficialmente aprobados por la American Society For Testing Materials (A.S.T.M.) American Public Health Association (A.P.H.A.) y la American Water Works Association (A.W.W.A.) de los E.U.A. y que ya se están siguiendo en las plantas de C.F.E., (3).

Estas marchas están basadas en los métodos estándares de análisis, con algunas modificaciones tendientes a hacer más prácticas y sencillas las determinaciones, en el laboratorio químico de la Central Termoeléctrica.

En este entrenamiento, se prepararon todos los reactivos necesarios para la determinación de todas las sustancias que aquí se mencionan. Se prepararon las soluciones de concentraciones requeridas, atendiendo a las especificaciones de cada soluto.

Se valorarán las soluciones utilizadas en las determinaciones de carácter volumétrico.

Se construirón las gráficas para la determinación de todos aquellos compuestos que se analizan por el método fotocolorimétrico (2).

En la química del agua, interesa conocer generalmente, no el detalle de las diferentes sales disueltas, sino el contenido global de ácidos fuertes, bases, carbonatos, compuestos alcalinoferricos, etc. por eso es que la mayoría de las determinaciones son de carácter volumétrico.

DISCUSIONES GENERALES DE LOS METODOS:

Determinación de pH

Debido a que el pH es una medida de la acidez relativa o de la alcalinidad, su determinación en agua constituye una valiosa ayuda para poder prevenir la formación de incrustaciones o corrosión del equipo que la contenga.

El pH se puede medir electrométricamente mediante el potenciómetro o en forma colorimétrica.

Para obtener datos más precisos y más exactos, el pH se midió con un potenciómetro cuyo procedimiento mecánico no se describe.

Determinación de alcalinidad.

La alcalinidad de un agua, generalmente representa su contenido de bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos y --

ocasionalmente de silicatos, fosfatos y boratos, su determinación se hace mediante la titulación de la muestra con solución colorada de ácido clorhídrico o sulfúrico empleando fenolftaleína (F) y anaranjado de metilo (M) como indicadores, cuyas coloraciones varían a pH de 8.3 y entre 3.3 y 4.4, respectivamente.

Para simplificar los tratamientos y los cálculos se acostumbra considerar que la alcalinidad la producen sólo los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos.

Las reacciones que pueden realizarse hasta la valoración con ácido e indicador de fenolftaleína son:



Al mismo matraz se le agrega anaranjado de metilo y se titula hasta vire de color amarillo a canela. La reacción virificada es la siguiente:



De acuerdo con el gasto del ácido para cada uno de los indicadores, se puede identificar los aniones presentes de acuerdo a la siguiente tabla (1):

a).- F=0	existen HCO_3^-
b).- F=M	existen CO_3^{2-}
c).- M=0	existen OH^-
d).- F>M	existen OH^- y CO_3^{2-}
e).- M>F	existen CO_3^{2-} y HCO_3^-

DETERMINACION DE DUREZA:

El ácido etilendiaminotetracético y sus sales de sodio (EDTA) forman un quelato complejo soluble con iones de calcio y magnesio del agua (4).

Algunos iones metálicos interfieren con este procedimiento dando por resultado la pérdida del virre o cierta -- imprecisión en la apreciación (2).

La interferencia se reduce adicionando ciertos inhibidores a la muestra de agua:

Inhibidor de NaCN: inhibe al Al, Co, Cu, Fe, Ni y Polifosfatos.

Inhibidor de $\text{Na}_2\text{S}_9\text{H}_2\text{O}$: inhibe al Al, Cd, Zn, Co, Cu, - Pb, Fe, Mn, Ni y polifosfatos.

Inhibidor de Clorhidrato de Hidroxilamina: Inhibe al -- Al, Cu, Fe y Ni.

DETERMINACION DE SILICE:

A pH aproximado de 1.2, el molibdato de amonio reacciona con la sílice y también con cualquier fosfato formando -- los heteropoliácidos, como los fosfatos producen interferencia en la determinación de sílice, se agrega ácido oxálico para destruir el ácido fosfomolibdico sin afectar el hetero

poliácido de silicomolibdato amónico amarillo, el cual se le hace reaccionar posteriormente con una solución de ácido 1-amino-2-naftol-sulfónico dando lugar a un complejo de color azul de diferente intensidad. Usando una celda de absorbancia, se medirá ésta, usando un fotocolorímetro Klett-Summerson. La absorbancia corresponderá (lectura) a la concentración de sílice de la muestra analizada.

R e a c c i o n e s :



DETERMINACION DE SULFATOS:

El método, se funda en la reacción de los sulfatos disueltos en el agua con cloruro de bario en presencia de una solución acondicionadora de ácido-sal y glicerina precipitando sulfato bórico insoluble en el agua. El método seguido en la presente norma, se base en la diferente opacidad de la suspensión del sulfato bórico por medio tirbimétrico según el contenido de sulfato bórico presente. Usando, una celda de absorbancia, se medirá ésta y un fotocolorímetro Klett-Summerson. La absorbancia corresponderá (lectura) a la concentración de sulfatos de la muestra analizada.

R e a c c i o n e s :



DETERMINACION DE CLORUROS:

El ión cloruro es uno de los principales aniones de las aguas potables y de las aguas negras. En concentraciones excesivas el cloruro puede impartir al agua un sabor salino.

Este método colorimétrico para su determinación, se basa en la reacción del ión cloruro con el tiocinato de mercurio para producir ión tiocianato, el cual en diferentes combinaciones con ión férrico forma tiocianato ferrico rojo. Usando, una celda de absorbancia, se medirá ésta coloración, y un fotocolorímetro Klett-Summerson. La absorbancia correspondará (lectura) a la concentración de sulfatos de la muestra analizada.



Determinación de nitratos:

Este método está basado en el desarrollo de una coloración amarilla-rojiza producida por la reacción de los nitrato-

tos con el reactivo de sulfato de brucina en medio fuertemente ácido. La intensidad del color formado es proporcional al contenido de nitratos de la muestra.

Usando, una celda de absorbancia, se medirá ésta, y un fotocolorímetro Klett-Summerson. La absorbancia corresponderá (lectura) a la concentración de nitratos de la muestra analizada.

DETERMINACION DE FOSFATOS:

Para el análisis de determinación de fosfatos, el método, se funda en la reacción de los fosfatos disueltos en el agua, con una acidez a un pH fijo, con una solución de molibdato amonico formandose el fosmolibdato amonico amarillo, el cual se le hace reaccionar posteriormente con una solución de ácido 1-amino-2-naftol-sulfónico dando lugar a un complejo de color azul de diferente intensidad. Usando una celda de absorbancia, se medirá ésta, usando un fotocolorímetro Klett-Summerson. La absorbancia corresponderá (lectura) a la concentración de fosfatos de la muestra analizada.

Técnicas Volumétricas:

Alcalinidad a la (F)

50 ml. de muestra

3 gotas de fenolftaleína al 0.5% Mezclar bien

Titular con ácido estandarizado, 0.02 N.

Vire de rosa-incoloro

ppm. de F como $\text{CaCO}_3 = 20 \times \text{ml. de ácido gastados.}$

Alcalinidad a la (M)

50 ml de muestra

5 gotas de anaranjado de metilo al 0.05%. Mezclar bien

Titular con ácido estandarizado, 0.02 N

Vire de amarillo-rojo canela

ppm de M como $\text{CaCO}_3 = 20 \times \text{ml. de ácido gastados}$

Nota: Se puede titular "M" a la misma muestra en que se determinó "F" reportando la "M" como la suma total de la solución de ácido gastada.

DUREZA TOTAL:

50 ml. de muestra

1 ml de solución buffer para dureza total ($\text{pH} = 10 \pm 0.1$), agitar, 0.2 gr. aprox. de indicador para dureza total -

(ENT). Mezclar bien

Titular con EDTA, 0.02 N

Vire de violeta-azul definido

ppm de D.T. como $\text{CaCO}_3 = 20 \times \text{ml de EDTA gastados}$

Dureza de calcio:

50 ml. de muestra

2 ml. de solución buffer para calcio, agitar

0.2 gr. aproximados de indicador para dureza de calcio (murexida). Mezclar bien

Titular con EDTA, 0.02 N.

Vire de rosa salmón-orquídea púrpura

ppm de D.C. como $\text{CaCO}_3 = 20 \text{ ml. de EDTA gastados.}$

DUREZA POR MAGNESIO:

DUREZA por Mg= D.T. - D.C.

El cálculo es:

$$\text{ppm como } \text{CaCO}_3 = \frac{\text{ml gastados} \times \text{leg. de } \text{CaCO}_3 \times \text{Norm. de } -}{\text{EDTA} \times 1000 \text{ ml.} \quad \text{ml. de muestra}}$$

Métodos Fotocorimétricos:

Silice:

50 ml. de muestra

1 ml. de ácido clorhídrico 1:1

2 ml. de molibdato de amonio al 10%. Mezclar bien

Esperar 5 min.

1.5 ml. de ácido oxálico al 10%. Mezclar bien.

Esperar 2 min.

2 ml. de ácido 1-amino-2-naftol=4-sulfónico. Mezclar bien.

Esperar 5 min. Tomar lectura

Blanco: 50 ml. de agua desmineralizada

Ajustar a cero el aparato

SULFATOS:

Blanco: 50 ml. de agua desmineralizada

Ajustar a cero el aparato

Muestra: 50 ml. de muestra

5 ml. de reactivo acondicionador

0,3 gr. de cloruro de bario. Mezclar bien.
agitar 45 seg.

Esperar 4 min. tomar lectura

CLORUROS:

Blanco: 50 ml. de agua desmineralizada

Misma marcha que la muestra. Ajustar a cero el
aparato.

Muestra: 50 ml. de muestra

10 ml. de sulfato-férrico-amónico

5 ml. de sol. de tociato mercúrico. Mezclar
bien.

Reposar 10 min. tomar lectura

NITRATOS:

Blanco: 50 ml. de agua desmineralizada

Ajustar a cero el aparato

Muestra: 5 ml. de muestra

1 ml. de reactivo de brucina

10 ml. de ácido sulfúrico Q.P. Mezclar bien

Reposar 10 min.

25 ml. de agua desmineralizada, mezclar bien
y enfriar a temperatura ambiente (25 min. --

aprox).

Tomar lectura.

FOSFATOS:

Blanco: 50 ml. de agua desmineralizada

Misma marcha que la muestra. ajustar a cero el aparato.

Muestra: 2 ml. de muestra

48 ml. de agua desmineralizada

2 ml. de molibdato de amonio. Mezclar bien

6 gotas de cloruro estanoico diluido. Mezclar bien

Esperar 10 min. tomar lectura.

Los siguientes datos muestran el análisis del agua cruda, fugas permisibles y pureza requerida del efluente (consultando datos de pureza recomendada según uso final), (1) En cada unidad de intercambio en la planta desmineralizadora.

CATIONES	EN TERMINOS	1	2	3	4	5	6	7
Calcio (Ca^{2+})	CaCO_3	340	340	0	0	0	0	0
Magnesio (Mg^{2+})	CaCO_3	188	188	138	0	0	0	0
Sodio (Na^+)	CaCO_3	386	386	386	4	4	4	0
Hidrógeno (H^+)	CaCO_3	0	0	0	520	520	0	0
T O T A L E S	CaCO_3	914	914	524	524	524	4	0

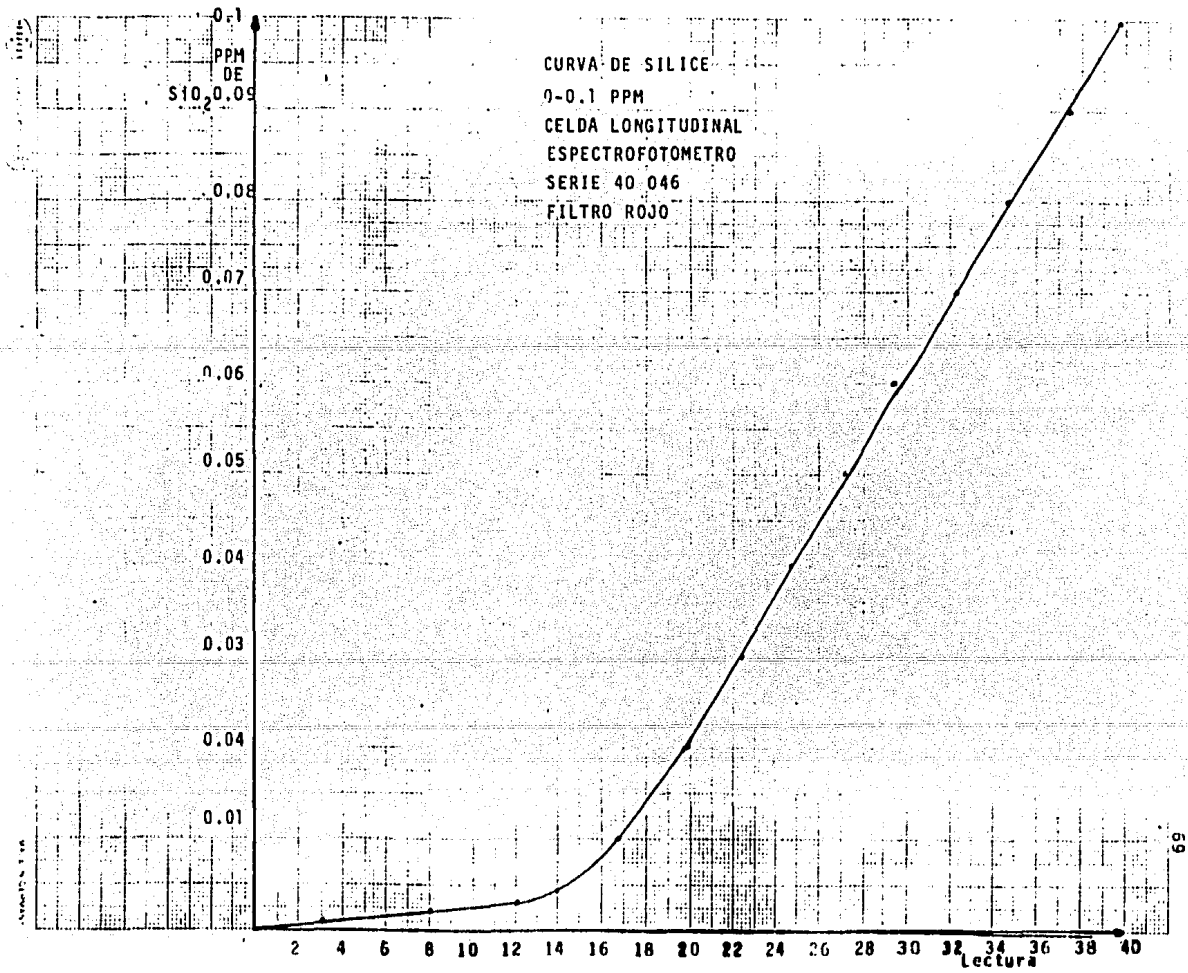
ANIONES	EN TERMINOS	1	2	3	4	5	6	7
Sulfatos (SO_4^{2-})	CaCO_3	180	180	180	180	180	0	0
Cloruros (U^-)	CaCO_3	310	344	344	344	344	2	0
Nitratos (NO_3^-)	CaCO_3	32.8	-	-	-	-	-	-
Fosfatos (PO_4^{3-})	CaCO_3	1.2	-	-	-	-	-	-
Bicarbonatos (HCO_3^-)	CaCO_3	390	390	0	0	0	0	0
Hidróxidos (OH^-)	CaCO_3	0	0	0	0	0	2	0
T o t a l e s	CaCO_3	914	914	524	524	524	4	0

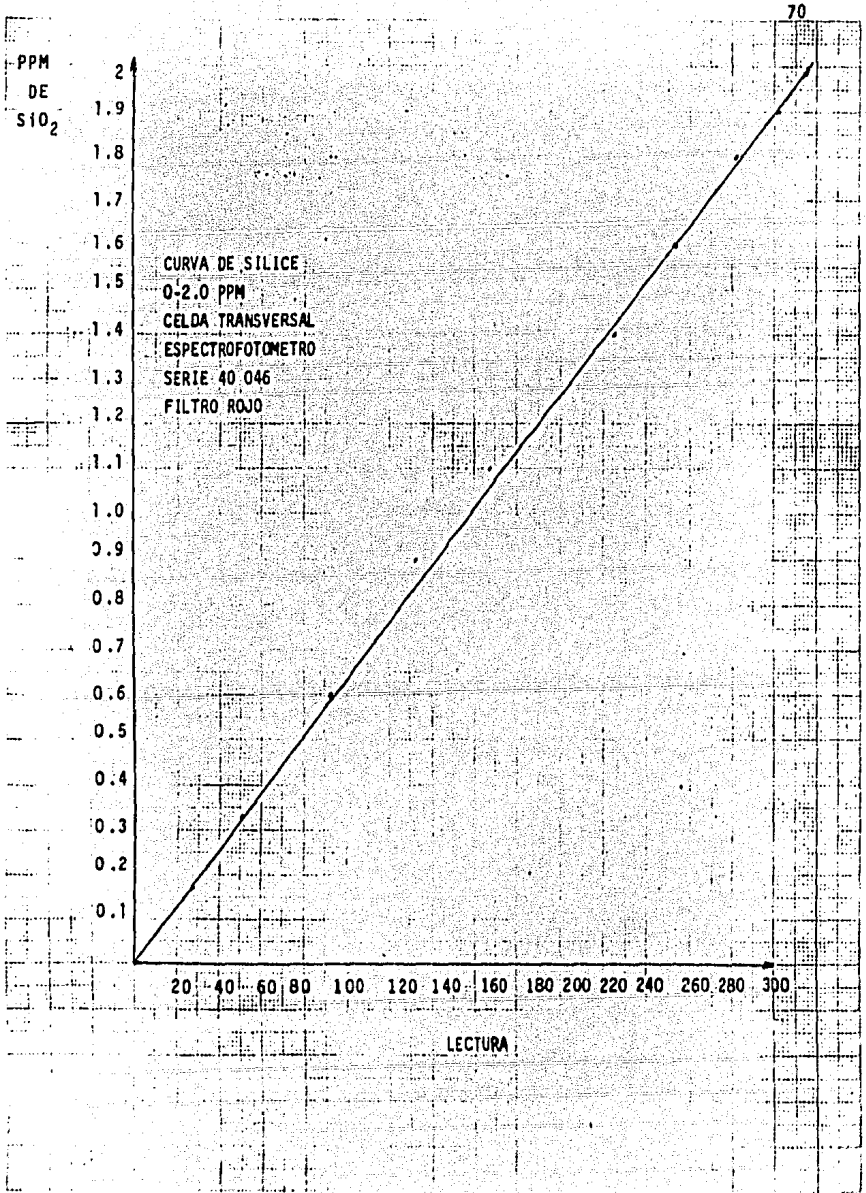
DETERMINACIONES								
Dureza Total	CaCO_3	528						
Dureza no alcalina	CaCO_3	138						
Dureza alcalina	CaCO_3	390						
Alcalinidad F	CaCO_3	0						
Alcalinidad M	CaCO_3	390						
Silice	SiO_2	65	65	65	65	65	0.02	0.002
Anhidrido carbónico	CO_2	-	-	390	390	10	0	0
Solid.Tot.Disueltas	CaCO_3	320					6	0.2
Cond. Espec.	$\mu\text{mhos/cm}$	1600					30	1
pH		7.2						

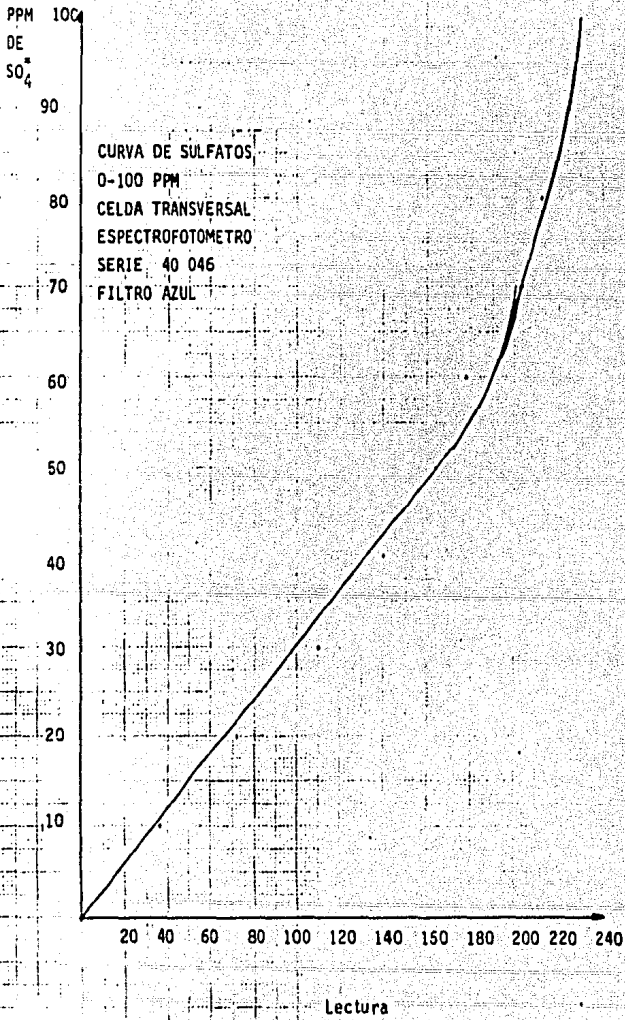
NOTA:

1- Análisis del agua cruda

- 2.- Influyente para la unidad catiónica débil
- 3.- Influyente para la unidad catiónica fuerte
- 4.- Influyente a la torre descarbonatadora
- 5.- Efluente de la torre descarbonatadora
- 6.- Efluente de la unidad aniónica estratificada
- 7.- Agua desmineralizada.







PPM
DE
Cl⁻

7.0

6.0

5.0

4.0

3.0

2.0

1.0

20

40

60

80

100

120

140

160

180

200

220

240

260

280

300

320

340

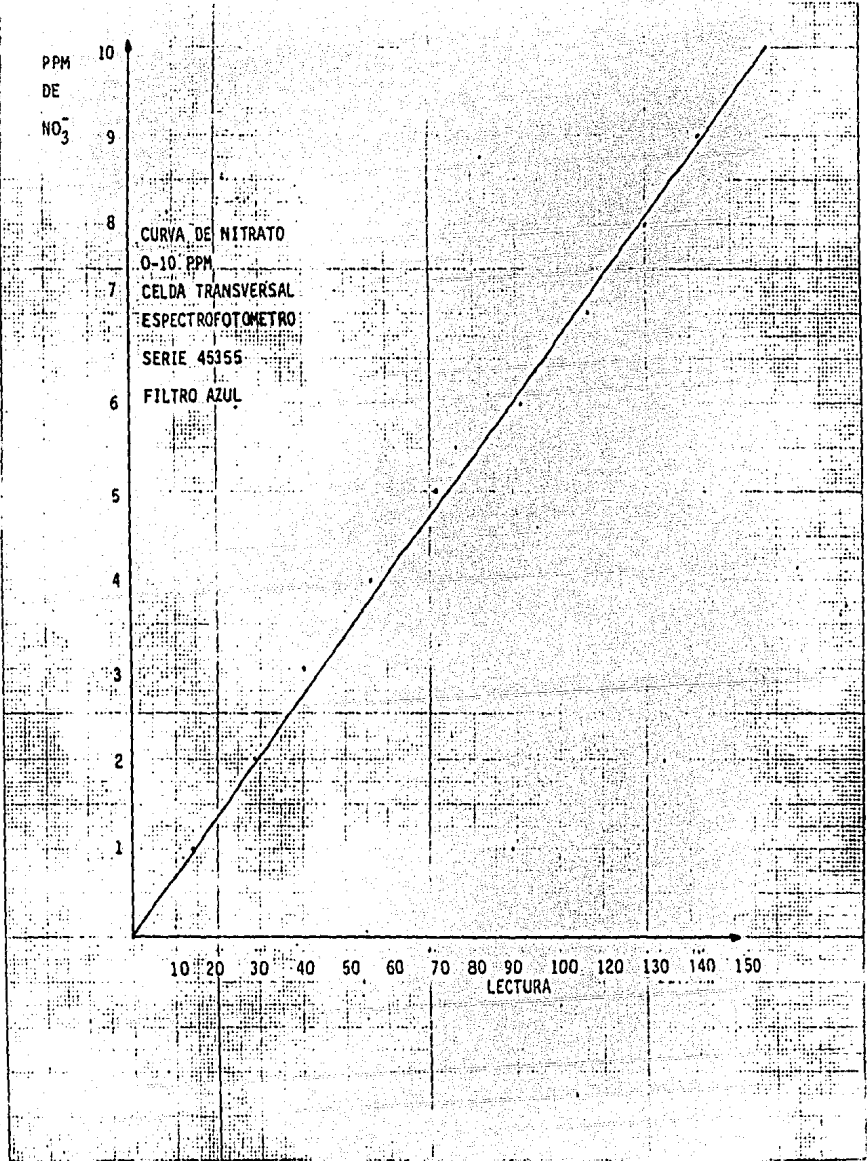
360

380

CURVA DE CLORUROS
0-7.0 PPM
CELDA LONGITUDINAL
ESPECTROFOTOMETRO
SERIE 40046
FILTRO VERDE

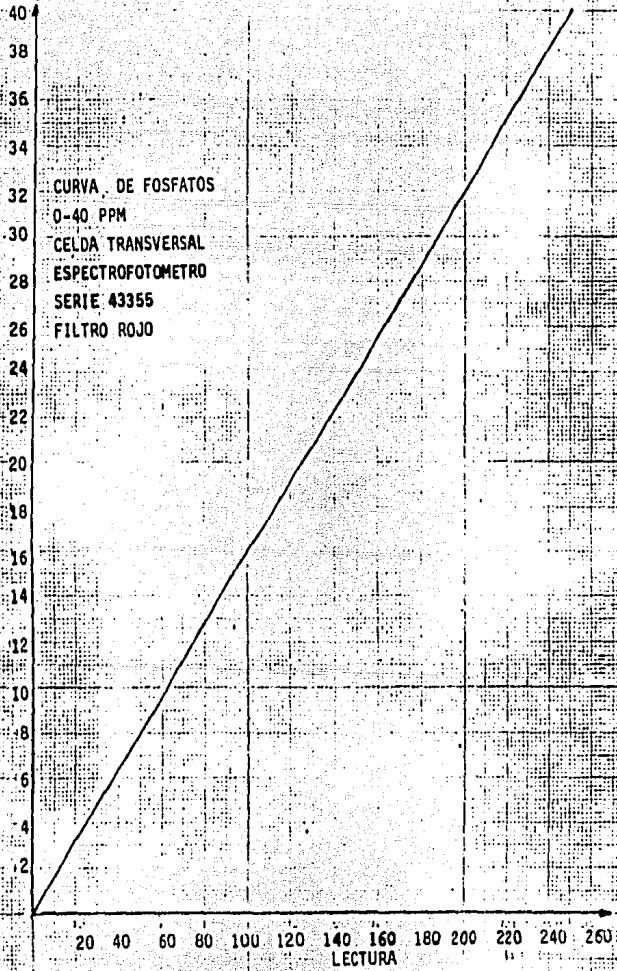
LECTURA

Fig. 1.1



PPM
DE
PO 3-
4

CURVA DE FOSFATOS
0-40 PPM
CELDA TRANSVERSAL
ESPECTROFOTOMETRO
SERIE 43355
FILTRO ROJO



C A P I T U L O 4

ANALISIS DE LOS PROBLEMAS
REALES EN LA PLANTA,
OCASIONADOS AL OPERAR LOS FILTROS
DE RESINA CATIONICA DEBIL

Este capítulo tiene dos fines, el primero es proponer la forma del método correctivo para la reactivación de los grupos activos de la resina en cuestión, y en seguida realizar un rediseño de la planta, de acuerdo a las condiciones de operación más prácticas, con el fin de prevenir y que se origine el mismo problema, según recomendaciones -- del fabricante de resinas para la utilización y aprovechamiento de las unidades catiónicas débiles. Cumpliendo con las especificaciones de la planta, el análisis actual del agua influente y el mismo proceso de desmineralización.

Tomando en cuenta que Rohm and Haas Co., proporciona información útil; cartas, datos, notas técnicas y gráficas (12), sobre las condiciones de operación y regeneración de sus cambiadores iónicos "Amberlite", que son utilizados en el tratamiento del agua, para las calderas de la Central Termoeléctrica de Tula.

Dichas condiciones de operación y regeneración de las resinas catiónicas con ácido sulfúrico y las resinas aniónicas regeneradas con hidróxido de sodio, se resumen en el siguiente cuadro:

TIPO DE RESINA					
CONDICION	IRC-84	IR-120	S-93	S-402	IRA-402
CONDICIONES	DE OPERACION				
Rango de pH	5-14	1-14	0-7	Ninguno	Ninguno
Temp. Max. (°C)	121	121	100	60	60
Prof.min.de lecho (pies)	2	3.25	2	2	2
Flujo de servicio (gpm/pie ³)	1-5	2	1-5	2-5	2-5
CONDICIONES	DE REGENERACION				
Exp.min.en retrolavado (%)	50	50	50	50	50
Flujo de retrolavado (gpm/pie ²)	5-7	*	*	2-3	2-3
Conc.de regenerante (%)	0.7-1	1-5	1-4	4	4
Regte.estequiométrico (%)	110	100-300	110-120	200-300	200-300
Flujo de regte. (gpm/pie ³)	0.25-1.0	0.5-1	0.5-1	0.25-1	0.25-1
Flujo de enjuague (gom/pie ³)	**	**	**	**	**
Reg. de enjuague (gal/pie ³)	50-75	25-75	25-30	40-90	40-90

*: Ver gráfica respectiva de % de expansión de lecho vs. temperatura

** : El desplazamiento del regenerante, se hará con un volumen equivalente de resina al flujo de regeneración para desplazar éste y después 1.5 gpm/pie³ (apéndice)

ESPECIFICACION DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DESMINERALIZADORA

	UNIDADES		CATIONICAS DESCABONATADOR		UNDES. ANIONICAS ESTRAT.		UNDES. LECHO MIXTO	
	DEBIL	FUERTE	TORRE	TGUE. OSCILACION	DEBIL	FUERTE	ANIONICA	CATIONICA
Volumen de resina (pies ³)	185	396	214 (Empaque)		144	144	80	40
Altura del lecho (pies)	4.8071	5.042			3.7417	3.7417	4.0713	4.0371
Ahora de la Unidad (pies)	10	10	13	5	15		12	
Diámetro de la Unidad (pies)	7	10	5.5	8	7		5	
Area de la unidad (pies ²)	38.4845	78.5398	23.7583	50.2655	38.4845		19.6349	

4.1.- PROCEDIMIENTO DE REHABILITACION.

Cuando en un equipamiento en que las condiciones de -- operación son las adecuadas, se sospecha que puede existir pérdida de rendimiento, mayor sensibilidad a los cambios - de caudal o se encuentran fugas anormales. Muchas veces, aún tomando todas las precauciones, las resinas pierden -- parte de su efectividad presentando; baja calidad del pro- ducto debido a la acumulación de coloides y otros materia- les insolubles, que no pueden ser eliminados durante el -- retrolavado.

Esto es causado por la precipitación de hidróxidos de manganeso, hierro, aluminio, titanio y eventualmente zirco- nio, sílice y sulfato de calcio.

Estas precipitaciones generalmente se producen en la - superficie de la partícula de resina, pero también pueden ser muy profundas y en toda la estructura del gel.

La causa que nos permite, más fácil detectar el proble- ma en las unidades catiónicas débiles es el uso de ácido - sulfúrico como regenerante de la resina, que trata agua -- con calcio, el cual genera la precipitación de yeso que se forma ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en la perla de resina.

Cuando se hace evidente la precipitación del sulfato - de calcio en la resina, como en éste caso, se deberá hacer

un tratamiento de recuperación. El tratamiento recomendado para este problema es limpiar la resina con ácido clorhídrico (18).

Procedimiento:

Bajar el nivel de agua dentro de la columna hasta alcanzar una altura entre 2 y 5 cm. arriba del nivel de la resina.

ENERGICO RETROLAVADO:

Entre las técnicas para eliminar este precipitado están la de efectuar retrolavado prolongado con agua suavizada -- (desgasificada), según condiciones de regeneración sugeridas, hasta que no fugue dureza.

TRATAMIENTO DE LIMPIEZA CON ACIDO CLORHIDRICO INHIBIDO

Nivel recomendado	18.7 lb HCl al 100%/pie ³
Flujo recomendado	0.25 gpm/pie ³
Acido requerido	3460 lb de HCl base 100%

Detener la alimentación de ácido y su envío al drenaje cuando se han introducido dos volúmenes de lecho completos de salmuera, ó sean 2768 gal.

De tabla II (apéndice)

$$\text{HCl al 10\%} \quad \frac{2419.5 \text{ lb}}{0.8741 \text{ lb/gal}} = 2768 \text{ gal}$$

HCl al 30% (muñatico comercial)	$\frac{2419.5 \text{ lb}}{2.877 \text{ lb/gal}}$	= 840.9 gal
Agua de dilución		= 1927 gal
Tiempo de inyección	$\frac{2768 \text{ gal}}{46.26 \text{ gpm}}$	= 60 min.

Si es posible, agitar ligeramente la resina con aire -- comprimido. Dejar "remojar" la resina con salmuera durante un período de doce horas si es posible (5 horas mínimo)

Pasar el resto del ácido:

$3460 - 2419.5 = 1040.5$ lb de ácido al 100%

De tabla II (apéndice)

HCl al 10%	$\frac{1040.5 \text{ lb}}{0.8741 \text{ lb/gal}}$	= 1190 gal
HCl al 30%	$\frac{1040.5 \text{ lb}}{2.877 \text{ lb/gal}}$	= 362 gal
Agua de dilución		= 828 gal
Tiempo de inyección	$\frac{1190 \text{ gal}}{46.25 \text{ gpm}}$	= 26 min.

DESPLAZAMIENTO

Según condiciones de regeneración sugeridas

ENJUAGUE COMPLETO

Con agua cruda, según condiciones de enjuague sugeridas o hasta la eliminación del ácido.

EFECTUAR DOBLE REGENERACION COMPLETA

$$60 \frac{\text{Kgr}}{\text{pie}^3} (185 \text{ pies}^3) = 11\,100 \text{ kgr.}$$

110% de ácido estequimétrico

$$1 \text{ lb de H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 100\% = \frac{11\,100 \text{ kgr (1.1)}}{7.14 \text{ kgr/11b de H}_2\text{SO}_4} = 1710 \text{ lb}$$

Flujo recomendado 1 gpm/pie³

De tabla II (apendice)

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 0.7\% \quad \frac{1710 \text{ lb}}{0.0587 \text{ lb/gal}} = 29\,130 \text{ gal}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 98\% \quad \frac{1710 \text{ lb}}{15.02 \text{ lb/gal}} = 114 \text{ gal}$$

$$\text{Agua de dilución} \quad = 29\,016 \text{ gal}$$

$$\text{Tiempo de inyección} \quad \frac{29\,130 \text{ gal}}{185 \text{ gpm}} = 158 \text{ min.}$$

Efectuar desplazamiento y enjuague completos, según condiciones de regeneración sugeridas.

Desde el punto de vista operación, necesidades de regeneración y enjuague, también es la finalidad de este trabajo contribuir en alguna forma a la elaboración de una guía de fácil manejo para el buen desarrollo del proceso de desmineralización.

Es pertinente antes de seguir adelante aclarar cada uno de los puntos tratados para el análisis, en el rediseño de las unidades de intercambio iónico; en el diagrama general de la planta, se nota que cada una de estas unidades es independiente entre sí, tal arreglo en paralelo de los tres trenes esta diseñado para producir $120 \text{ M}^3/\text{hr.}$ de agua desmineralizada, operando dos trenes y el tercero disponible o en regeneración.

Principio de Operación:

La operación de estos equipos se puede resumir en cinco pasos:

- 1).- Servicio
- 2).- Retrolavado
- 3).- Regeneración
- 4).- Desplazamiento
- 5).- Enjuague

- 1).- Servicio: Es cuando la resina está efectuando el -- intercambio de iones del agua, ésta se alimenta por la parte superior y fluye hacia abajo a través de la

- resina efectuando su agotamiento.

2).- Retrolavado: Flujo ascendente de agua a través del lecho de resina para lavar y reclasificar la resina después del agotamiento, y a un caudal tal que se somete la cama del cambiador a una expansión suficiente que permita descompactar la cama de resina para evitar canalizaciones del regenerante. El volumen de agua para el retrolavado es tal que se consiga, eliminar finos y sólidos suspendidos del lecho de resina; se recomienda que sea equivalente al volumen del tanque más el 40% del volumen de resina.

3).- Regeneración: El lavado del cambiador de iones, con una solución apropiada elimina los iones adsorbidos y los reemplaza por los que contenía inicialmente - de forma que le devuelve su composición primitiva.

El cambio de iones juega por lo tanto, el papel de intermediario efectuando el transporte o más exactamente el cambio de iones entre la solución de regeneración y el líquido a tratar.

El rendimiento total de la operación, no alcanza el 100% para intercambiadores fuertes es decir, deberá utilizarse una dosis de regenerante superior a la -

correspondiente a la cantidad de iones a intercambiar. La concentración de la solución regenerante depende de la naturaleza del cambiador y del producto regenerante.

- 4).- Desplazamiento.- Esta operación esencialmente se hace con el fin de concluir con la reacción de regeneración y para desplazar residuos del producto regenerante de, tuberías, válvulas, etc. Deberá ser a un flujo igual al del agua para dilución de regenerante.
- 5).- Enjuague: Como paso siguiente, se añade agua por la parte superior pasando en sentido descendente a través de la resina, con el fin de remover los residuos de regenerante que quedaron en la resina. El volumen ó requerimientos de agua de enjuague depende de la calidad del agua requerida y disponible atendiendo también las recomendaciones del fabricante de resina.

4.2.- ANALISIS DEL LECHO MIXTO

SECCION ANIONICA

Análisis del influente (columna 6)

T.A.1.- Cloruro + hidróxidos

4 ppm como CaCO_3

C1=50%

De fig. 1

Nivel de regeneración 6 lb de Na OH al 100%
/pie³ de resina

De fig. 2

Isocapacidad 13.375 kgr./pie³

De fig. 3

Factor de corrección por C1=0.93

Factor de corrección en L. Mixto=0.8

Capacidad real= 13.375 (0.93) 0.8=9.951 kgr.
como CaCO_3 /pie³ de resina

SECCION CATIONICA

Análisis del influente (columna 6)

C.T. = 4 ppm como CaCO_3 =0.23392 grpg

Alcalinidad=50%

Sodio=100%

De fig. 4

Nivel de regeneración 5 lb de H_2SO_4 al 100%
/pie³ de resina, Isocapacidad 18 kgr./pie³

De fig. 5

Factor de corrección por alcalinidad= 1.12

Factor de corrección en L. Mixto= 0.8

Capacidad real= 18 (1.12) 0.8=16.12 kgr. co
mo $\text{CaCO}_3/\text{pie}^3$ de resina.

De especificaciones:

Volumen de resina aniónica 80 pies³

Volumen de resina catiónica 40 pies³

Flujo neto a tratar 264.2 gpm

Diámetro del tanque 5 pies

Altura del tanque 12 pies

Duración del ciclo:

Según las especificaciones de C.F.E., (20);

una regeneración cada 144 hrs. mínimo.

Volumen a tratar

$$\frac{16\ 128\ \text{gr. (40 pies}^3\text{) gal}}{\text{pie}^3\ (0.2339\ \text{gr})} = 2\ 757\ 888\ \text{gal/ciclo}$$

$$\frac{2757\ 888\ \text{gal (1 hr)}}{\text{ciclo (264.2 gpm) 60 min.}} = 174\ \text{hrs./ciclo}$$

Altura de la cama de resina:

$$\text{Amberlite IRA-402} = \frac{80\ \text{pies}^3}{19.64\ \text{pies}^2} = 4.07\ \text{pies}$$

$$\text{Amberlite IR-120} = \frac{40\ \text{pies}^3}{19.64\ \text{pies}^2} = 2.03\ \text{pies}$$

$$\text{T O T A L} = 6.1\ \text{pies.}$$

Altura total del tanque:

100% de expansión e internos = 12 pies

Caída de presión

De tabla 1 (apéndice)

Flujo superficial considerado 13.45 gpm/pie²

Flujo manejado 264.2 gpm.

T= 21°C

Para amberlite IRA-402

De fig. 6

$\Delta P = 1.4 \text{ PSI/pie} (0.66) 4.07 \text{ pies} = 3.802 \text{ PSI}$

Para amberlite IR-120

De fig. 7

$\Delta P = 1.15 \text{ PSI/pie} (0.333) 2.03 \text{ pies} = 0.7809 \text{ PSI}$

$\Delta P = 3.802 + 0.7809 = 4.5836 \text{ PSI}$

UNIDAD DE LECHO MIXTO

REGENERACION Y NECESIDADES DE ENJUAGUE

RETROLAVADO Y SEPARACION DE LECHOS:

De fig. 8

T=21°C

Flujo considerado 2.5 gpm/pie²Volumen de retrolavado [12(19.635)+ 1.4 (120)] = 404 -
pies³.
$$\text{Tiempo de retrolavado: } \frac{404 \text{ pies}^3 (7.481 \text{ gal})}{\text{pie}^3 (2.5 \text{ gpm/pie}^2) 19.635 \text{ pies}^2}$$

= 62 min.

INYECCION SIMULTANEA DE ACIDO Y SOSA AL 4%

61b/pie³ (80 pies³) = 480 lb de NaOH al 100%51b/pie³ (40 pies³) = 200 lb de H₂SO₄ al 100%

De condiciones de regeneración

Flujo considerado de regenerante sosa 0.25 gpm/pie³0.25 gpm/pie³ (80 pies³) = 20 gpm

De tabla II (apéndice)

NaOH al 4%	$\frac{480 \text{ lb}}{0.3481 \text{ lb/gal}} = 1379 \text{ gal}$
------------	---

NaOH al 50%	$\frac{480 \text{ lb}}{6.364 \text{ lb/gal}} = 75 \text{ gal}$
-------------	--

Agua de dilución de sosa = 1303 gal

Tiempo de inyección	$\frac{1379 \text{ gal}}{20 \text{ gpm}} = 69 \text{ min.}$
---------------------	---

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 4\% \quad \frac{200 \text{ lb}}{0.3422 \text{ lb/gal}} = 585 \text{ gal}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ Al } 98\% \quad \frac{200 \text{ lb}}{15.02 \text{ lb/gal}} = 14 \text{ gal}$$

$$\text{Agua para dilución de ácido} = 571 \text{ gal}$$

$$\text{Flujo de regenerante ácido} \quad \frac{585 \text{ gal}}{69 \text{ min.}} = 8.48 \text{ gpm}$$

DESPLAZAMIENTO:

De condiciones de regeneración, desplazar un volumen de resina 80 pies^3 (7.481 gal/pie^3) = 598 gal.

$$19.635 \text{ pies}^2 (0.5 \text{ pies}) 7.481 = 73 \text{ gal}$$

$$\text{T O T A L} = 671 \text{ gal}$$

$$\text{Tiempo de desplazamiento} \quad \frac{671 \text{ gal}}{20 \text{ gpm.}} = 34 \text{ min}$$

Desplazamiento ácido

$$40 \text{ pies}^3 (7.481 \text{ gal/pie}^3) = 300 \text{ gal}$$

$$19.635 \text{ pies}^2 (0.5 \text{ pies}) 7.481 = 74 \text{ gal}$$

$$\text{T O T A L} = 374 \text{ gal}$$

$$\text{Flujo} \quad \frac{374}{34} = 11 \text{ gpm}$$

ENJUAGUE LENTO

Bajar conductividad entre $1000 \mu\text{mhos}$ Cond $600 \mu\text{mhos}$

De conducción de regeneración

$$\text{Flujo recomendado } 1.5 \text{ gpm/pie}^3$$

Requerimientos de agua de enjuague 40 gal/pie³

Volumen requerido 40 gal/pie³ (80 pies³) = 3 200 gal

Tiempo aproximado $\frac{3\ 200\ gal}{1.5\ gpm/pie^3\ (80\ pies^3)}$ = 27 min.

DRENADO PARCIAL Y MEZCLA DE LECHOS:

Empezar la mezcla con una altura del agua de 2 a 5 cm. por arriba del nivel de resina y usar aire comprimido a una presión entre 2.15 y 4.25 psig aprox. y a un gasto de 5 pies³ p min/pie² (735 gpm). Durante 60 min.

ENJUAGUE FINAL:

De condiciones de regeneración

Requerimientos de agua de enjuague 60 gal/pie³

Flujo de operación recomendado 1.8 gpm/pie³

Volumen de agua de enjuague 60 gal/pie³ (120 pies³) = --
7 200 gal

Flujo considerado 220 gpm

Tiempo de enjuague $\frac{7\ 200\ gal}{220\ gpm}$ = 33 min.

R E S U M E N

E T A P A	FLUJO (gpm)	DURACION (min)	CONSUMO (gal)
Retrolavado	49	62	3 044
Dilución de Sosa	18.8	69	1 303
Dilución de ácido	8.27		571
Desplazam. ácido	11	34	374
Desplazam. Sosa	20		671
Enjuague lento	120	27	3 200
Mezcla de camas		60	
Enjuague final	220	33	7 200
T O T A L		285	16 363

ANALISIS DE LA UNIDAD ANIONICA ESTRATIFICADA

De análisis del influente (columna 5)

TAM: Sulfatos + cloruros

CO₂: 10 ppm como CaCO₃

Sílice 54 ppm como CaCO₃

$$TAI = \frac{180+344+10+54}{1.7.1} = 34.4 \text{ grpg}$$

1.7.1

NOTA: Para el análisis de la unidad aniónica estratificada, el cálculo será de 264.2 gpm más los requerimientos de agua para regeneración y enjuague, considerando -- que dos trenes en servicio suministran los flujos -- cuando se regenera un lecho mixto; sin disminuir el -- flujo neto de producción normal de agua desmineralizada.

De especificaciones:

Volumen de resina	288 pies ³
Relación del estrato (F/D)	1:1
Flujo a tratar	266 gpm
Diámetro del tanque	7 pies
Altura del tanque	15 pies

Determinación de la capacidad y nivel de regeneración

De fig. 9

Sílice flujada 0.02 ppm

Nivel de regeneración	4 lb ₃ de NaOH al 100% / -- pie ³ de resina
Concentrac. de regenerante	4 %
Temp. de regeneración	120° F
Capacidad total del estrato	16 Kgr/pie ³

De condiciones de regeneración

Corrección de la capacidad por enjuague

Requerimiento de agua de enjuague 50 gal/pie³

Volumen de enjuague 50 gal/pie³ (34.4 gr/gal) = 1720 gr/
pie³

Capacidad real 16 - 1.72 = 14.28 kgr como CaCO₃/pie³ de
resina

Duración del ciclo:

Volumen a tratar $\frac{14\ 280\ \text{gr}\ (288\ \text{pies}^3)}{\text{pies}^3\ (34.4\ \text{gr})} \text{ gal} = 119\ 560\ \text{gal/}$
ciclo

$\frac{119\ 560\ \text{gal}\ (\text{min})}{1\ \text{hr}} = 7.5\ \text{hrs/ciclo}$

Ciclo (266 gal) 60 min.

Altura de Cama de Resina:

Stratabed 93 $\frac{144\ \text{pies}^3}{38.45\ \text{pies}^2} = 3.7417\ \text{pies}$

Stratabed 402 $\frac{144\ \text{pies}^3}{38.45\ \text{pies}^2} = 3.7417\ \text{pies}$

T o t a l

7.48 pies

Altura total del tanque:

100% de expansión e internos = 15 pies

Caida de presión:

De tabla I (apéndice)

Flujo manejado = 266 gpm

Flujo considerado = 7 gpm/pie²

T = 21°C

Para Stratabed 93

De fig. 10

$\Delta P = 1.1 \text{ PSI/pie} (0.5) = 0.55 \text{ PSI/pie}$

Para Stratabed 402

De fig. 11

$\Delta P = 0.65 \text{ PSI/pie} (0.5) = 0.325 \text{ PSI/pie}$

$\Delta P_t = 3.7417 \text{ pies} (0.33 + 0.325) \text{ PSI/pie} = 3.28 \text{ PSI}$

UNIDAD ANIONICA ESTRATIFICADA

REGENERACION Y NECESIDADES DE ENJUAGUE

RETROLAVADO:

Pre calentamiento de cama a 49°C , con un volumen de agua equivalente al de resina.

Flujo recomendado $2-3 \text{ gpm/pie}^2$

Flujo considerado 3 gpm/pie^2 (116 gpm)

Volumen de pre calentamiento 299 pies^3 (7.481 gal/pie^3) =
2 155 gal.

Tiempo de pre calentamiento $\frac{2155 \text{ gal}}{116 \text{ gpm}} = 19 \text{ min.}$

INYECCION DE SOSA CAUSTICA:

4 lb/pie^3 (288 pies^3) = 1152 lb de NaOH al 100%

De condiciones de regeneración

Flujo considerado de regenerante 0.25 gpm/pie^3 (72 gpm)

De tabla II (apēndice)

NaOH al 4 % $\frac{1152 \text{ lb}}{0.3481 \text{ lb/gal}} = 3310 \text{ gal}$

NaOH al 50% $\frac{1152 \text{ lb}}{6.364 \text{ lb/gal}} = 181 \text{ gal}$

Agua de dilución de sosa = 3 129 gal

Tiempo de inyección $\frac{3310 \text{ gal}}{72 \text{ gpm}} = 46 \text{ min.}$

DESPLAZAMIENTO:

De condiciones de regeneración

1 volumen de estrato a desplazar

$$288 \text{ pies}^3 (7.481 \text{ gal/pie}^3) = 2.155 \text{ gal}$$

Tiempo de desplazamiento $\frac{2.155 \text{ gal}}{72 \text{ gpm}} = 30 \text{ min.}$

72 gpm

En regeneración a contracorriente como en este caso, se recomienda utilizar un flujo de agua de bloqueo, igual al flujo de regenerante.

Volumen de agua:

$$72 \text{ gpm} (46+30) \text{ min.} = 5.472 \text{ gal}$$

ENJUAGUE:

De condiciones de regeneración

Flujo considerado 1 gpm/pie³ (288 gpm)

Requerimientos de agua de enjuague 35 gal/pie³ (288 - - pies³) = 10.080 gal

Tiempo de enjuague $\frac{10.080 \text{ gal}}{288 \text{ gpm}} = 35 \text{ min.}$

288 gpm.

R E S U M E N

E T A P A	FLUJO (gpm)	DURACION (min)	CONSUMO FOSA	(GAL) RECIRCULA CION
Precalentamiento	116	19	2 155	
Dilución de Sosa	72	46	3 129	
Agua de Bloqueo	72		5 472	
Desplazamiento	72	30	2 155	
Enjuague deshecho	288	17.5	5 040	
Enjuague recircu- lar	288	17.5		5 040
T O T A L		130	17 950	5 040

Agua desmineralizada para regenerar la unidad	17 950 gal
La mitad del agua de enjuague recirculada	5 040 gal
Agua producida por ciclo	119 560 gal
T O T A L	142 550 gal

4.4.- ANALISIS DE LA UNIDAD CATIONICA FUERTE

De análisis del influente (columna 3)

C.T. : Dureza + Sodio

$$\frac{138 + 386}{17.1} = 30.643 \text{ grpg}$$

TSD= 524 ppm como CaCO_3

$$\text{Na} = \frac{386}{524} = 74\%$$

Fuga requerida de cationes 4 ppm como CaCO_3

$$\text{Fuga} = \frac{4}{524} = 0.76\%$$

De especificaciones:

Volumen de resina 396 pies³

Volumen de tratar por ciclo 142 550 gal

Diámetro= altura del tanque 10 pies

Determinación de la capacidad y nivel de regeneración:

De fig. 12

Nivel de regeneración 10 lb de H_2SO_4 al 100% / pie³Capacidad total de cama 20.5 kgr/pie³

Corrección de la capacidad por % de sodio influente

De fig. 13 1.16 (20.5) = 23.78

Corrección de la capacidad por % de alcalinidad influente

De fig. 14 0.8 (23.78) = 19.024

Corrección de la capacidad por profundidad de cama

$$\text{De fig. 15 } 1.04 (19.024) = 19.78.$$

Corrección de la capacidad por TSD

$$\text{De fig. 16 } 0.98 (19.78) = 19.3$$

De condiciones de regeneración

Corrección de la capacidad por enjuague

Requerimientos de agua de enjuague 25 gal/pie³

$$\text{Volumen de enjuague } \frac{25 \text{ gal}}{\text{pie}^3} (30.143 \text{ gr/gal}) = 766 \text{ gr/pie}^3$$

$$\text{Capacidad real } (19.3 - 0.766) = 18.534 \text{ Kgr como CaCO}_3/\text{pie}^3$$

De fig. 17

Nivel de regeneración 10 lb/pie³

Fuga base 0.0 ppm como CaCO₃

Duración del ciclo:

$$\text{Volumen a tratar } \frac{18.534 \text{ gr } (396 \text{ pies}^3)}{\text{pie}^3 (3.0643 \text{ gr})} \text{ gal} = 239.516 \text{ gal/ciclo}$$

$$\frac{239.516 \text{ gal}}{\text{ciclo}} \frac{(\text{min})}{\text{hr}} = 12.50 \text{ Hrs./ciclo}$$

ciclo (320 gal) 60 min.

Altura de cama de resina:

$$\text{Amberlite IR-120 } \frac{396 \text{ Pies}^3}{78.54 \text{ pies}^2} = 5.04 \text{ pies}$$

Altura total del tanque:

100% de expansión e internos 10 pies

Caida de presión:

De tabla I (apéndice)

Flujo manejado 320 gpm

Flujo considerado 4.07 gpm/pie²

T=70°F

De fig. 7

$\Delta P = 0.3 \text{ PSI/pie (5.04 pies)} = 1.512 \text{ PSI}$

UNIDAD CATIONICA FUERTE

REGENERACION Y NECESIDADES DE ENJUAGUE

RETROLAVADO:

De fig. 18

Flujo considerado 4 gpm/pie²Volumen de retrolavado [10 (28.53) + 1.4 (396)] = 1340 pies³

$$\text{Tiempo de retrolavado} = \frac{1340 \text{ pies}^3 (7.481 \text{ gal})}{\text{pie}^3 (4 \text{ gpm/pie}^2) 78.53 \text{ pies}^2} = 32 \text{ min.}$$

INYECCION DE ACIDO SULFURICO

10 lb/pie³ (396 pie³) = 3960 lb de H₂SO₄ al 100%

De condiciones prácticas de regeneración

Flujo considerado de regenerante 0.4 gpm/pie³ (158.4 gpm)

De tabla II (apéndice) y usando cuatro etapas (24)

ETAPA I

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 1\% \quad \frac{250 \text{ lb}}{0.0839 \text{ lb/gal}} = 2979.73 \text{ gal}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 98\% \quad \frac{250 \text{ lb}}{15.02 \text{ lb/gal}} = 16.64 \text{ gal}$$

Agua de dilución = 2963 gal

$$\text{Tiempo de inyección} = \frac{2979.73 \text{ gal}}{158.4 \text{ gpm}} = 18.81 \text{ min.}$$

ETAPA II

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 1\% \quad \frac{650 \text{ lb}}{0.0839 \text{ lb/gal}} = 7747.31 \text{ gal}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 98\% \quad \frac{650 \text{ lb}}{15.02 \text{ lb/gal}} = 43.27 \text{ gal}$$

$$\text{Agua de dilución} = 7\,704 \text{ gal}$$

$$\text{Tiempo de inyección} \frac{7\,747.3/\text{gal}}{158.4 \text{ gpm}} = 49 \text{ min.}$$

ETAPA III

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 3\% \quad \frac{1056 \text{ lb}}{0.255 \text{ lb/gal}} = 4\,142 \text{ gal}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 98\% \quad \frac{1\,056 \text{ lb}}{15.02 \text{ lb/gal}} = 70 \text{ gal}$$

$$\text{Agua de dilución} = 4\,072 \text{ gal}$$

$$\text{Tiempo de inyección} \frac{4\,142 \text{ gal}}{158.4 \text{ gpm}} = 26 \text{ min.}$$

ETAPA IV

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 5\% \quad \frac{2\,004 \text{ gal}}{0.4305 \text{ lb/gal}} = 4\,655 \text{ gal}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 98\% \quad \frac{2\,004 \text{ gal}}{15.02 \text{ lb/gal}} = 133.4 \text{ gal}$$

$$\text{Agua de dilución} = 4\,521 \text{ gal}$$

$$\text{Tiempo de inyección} \frac{4\,655 \text{ gal}}{158.4 \text{ gpm}} = 30 \text{ min.}$$

DESPLAZAMIENTO

De condiciones de regeneración

$$1 \text{ volumen de resina } 396 \text{ pies}^3 (7.481 \text{ gal/pie}^3) = 2\,963 \text{ gal.}$$

Tiempo de desplazamiento 2963 gal 18 min.
158.4 gpm

Agua de bloqueo

158.4 gpm (18.81 + 49 + 26 + 30 + 18) min. = 22 493 gal

ENJUAGUE

De conducciones de regeneración:

Requerimientos de agua de enjuague

25 gal/pie³ (396 pies³) = 9 900 gal

Tiempo de enjuague 9 900 gal 31 min.

320 gpm.

R E S U M E N

ETAPA	FLUJO (GPM)	DURACION (MIN)	CONSUMO (GAL)	
			DRENAJE	POR M.C.D.
Retrolavado	314	32	10 024	
Diluc.de ácido 1%	158.4	18.81	2 963	
Dil. de ácido 1%	158.4	49		7747.31
Dil.de ácido 3%	158.4	26		4142
Dil.de ácido 5%	158.4	30		
Desplazamiento	158.4	18		
Agua de bloqueo	158.4		22 493	
Enjuague	320	31	9 900	
T o t a l		205	52 415	11 889

Agua cruda para regenerar la unidad	52 416 gal
Agua producida por ciclo	239 516 gal
T o t a l	291 932 gal

4.5.- ANALISIS DE LA UNIDAD CATIONICA DEBIL

De análisis del influente (columna 2)

C.T. : Dureza (D) + sodio

Ca 340

Mg 188

Na 386

Alcalinidad (A): HCO_3^- 390 ppm como CaCO_3 = 22.8 grpg

17.1

Relación dureza-alcalinidad

 $D/A = \frac{528}{390} = 1.35 > 1.0$

390

Como $D/A > 1$, la fuga es:

Ca + Mg = 528

- (HCO_3^-) = 390

Como dureza = 138

Como sodio = 386

Cationes totales = 524 ppm como CaCO_3

De especificaciones:

Volumen de resina 185 pies³

Columen a tratar por ciclo 240 192 gal

Diámetro del tanque 7 pies

Altura del tanque 10 pies

Determinación de la capacidad de intercambio

De fig.19

T= 70°F

Capacidad total de cama 56 kgr/pie³

De condiciones de regeneración

Corrección de la cap. por enjuague

Requerimientos de agua de enjuague 50 gal/pie³

Volumen de enjuague 50 gal/pie³ (22.8 gr/gal) = 1 140 gr/pie³.

Capacidad real (56-1.14) = 54.860 kgr como CaCO₃/pie³ de resina.

NOTA: En este caso, la capacidad de la cama de resina es mucho mayor a la requerida en cada ciclo y como D/A > 1, la resina será eficiente durante el servicio pudiéndose utilizar ésta a temperatura menor a 24°C o un flujo mayor de 2 gpm/pie³ que podrían reducir la capacidad de intercambio.

Capacidad para un ciclo de 12.51 hrs.

$$\frac{240\ 192\ \text{gal}\ (22.8\ \text{gr})}{\text{gal}\ (185\ \text{pies}^3)} = 29.6\ \text{kgr/pie}^3$$

$$\frac{240\ 192\ \text{gal}\ (1\ \text{hr})}{12.51\ \text{hrs.}\ (60\ \text{min.})} = 320\ \text{gpm}$$

$$\frac{320\ \text{gpm}}{38.48\ \text{pies}^2} = 8.31\ \text{gpm/pie}^2$$

Altura de cama de resina:

$$\text{Amberlite IRC-84} \quad \frac{185 \text{ pies}^3}{38.4845 \text{ pies}^2} = 4.807 \text{ pies}$$

Altura total del tanque:

$$100\% \text{ de expansión e internos} = 10 \text{ pies}$$

Caída de presión:

De tabla I (apéndice)

Flujo manejado 320 gpm

Flujo considerado 8.31 gpm/pie²

T= 70° F

De fig. 20

$$\Delta P = 1.3 \text{ PSI/pie} (4.807 \text{ pies}) = 6.25 \text{ PSI}$$

UNIDAD CATIONICA DEBIL

REGENERACION Y NECESIDADES DE ENJUAGUE

RETROLAVADO:

De fig. 21

Flujo considerado 6 gpm/pie²Volumen de retrolavado [10 (38.4845) + 1.4 (185)] =
644 pies³Tiempo de retrolavado $\frac{644 \text{ pies}^3 (\text{pie}^2) 7.481 \text{ gal}}{6 \text{ gpm } (38.4845 \text{ pie}^2) \text{ pie}^3} = 21 \text{ min.}$

INYECCION DE ACIDO SULFURICO

Kgr como CaCO₃ a remover 54.86 Kgr/pie³ (185 pie³) = - -
10 149.1 kgr.

Utilizando 120% del ácido estegiométrico

1b de H₂SO₄ al 100% = $\frac{10 \ 149.1 \text{ kg } (1.2)}{7.14} = 1 \ 706 \ \text{lb}$

De condiciones de regeneración:

Flujo considerado de regenerante 1 gpm/pie³Utilizar el regenerante efluente de la unidad catiónica
Fuerte de las etapas II y III.

650 lb al 1% durante 49 min,

1 056 lb al 3% durante 26 min.

NOTA: Durante la regeneración que la temperatura no exceda de --
85°F (30° C), que exista un control riguroso de la concen-
tración del ácido sulfúrico recomendado, y que el caudal -

del regenerante no deberá ser menor a 185 gpm ($42 \text{ m}^3/\text{hr}$ para este volumen de resina).

DESPLAZAMIENTO:

De condiciones de regeneración **

1 Volumen de resina 185 pies^3 ($7.481 \text{ gal}/\text{pie}^3$) = 1384 gal

Tiempo de desplazamiento $\frac{1384 \text{ gal}}{185 \text{ gpm}} = 8 \text{ min.}$

ENJUAGUE

De condiciones de regeneración

Requerimientos de agua de enjuague $50 \text{ gal}/\text{pie}^3$

$50 \text{ gal}/\text{pie}^3$ (185 pies^3) = 9250 gal

$8.31 \text{ gpm}/\text{pie}^2$ (38.4845 pies^2) = 320 gpm

Tiempo de enjuague $\frac{9250 \text{ gal}}{320 \text{ gpm}} = 29 \text{ min.}$

R E S U M E N

E T A P A	FLUJO (GPM)	DURACION (MIN)	CONSUMO (GAL)	
			DRENAJE	DE U.C.F.
Retrolavado	231	21	4 818	
Dil.de ácido 1%	185	49		7 747
Dil.de ácido 3%	185	26		4 142
Desplazamiento	185	8	1 384	
Enjuague	320	29		9 250
T o t a l		133	6 202	21 139

Agua Cruda para regenerar la unidad	6 202 gal
Agua producida por ciclo	240 192 gal
T o t a l	246 394 gal

4.6.- HOJAS DE RESULTADOS

(SISTEMA COMPLETO DE DESMINERALIZACION)

U N I D A D	CATIONICA DEBIL	CATIONICA FUERTE	ANIONICA ETRATIF.	LECHO MIXTO	
				CATIONICO	ANIONICA
Nivel de Regeneración lb/pie ³	9.22	10	4	5	6
Regte.(gal) H ₂ SO ₄	114	264	-	14	-
NaOH	--	--	181	-	76
Tiempo de Regeneración (min)	133	205	130	285	285
Duración del Ciclo (hrs.)	12.51	12.51	7.5	174	174
Necesidades (*) de Agua (gal) (**)	6 202	52 416	22 990	16 363	
	240 192	239 516	119 560	2 757 888	
T O T A L	246 394	291 932	142 550	2 774 251	

*: Necesidades de agua para regeneración y enjuague de cada unidad.

**: Agua producida por ciclo

Producción neta por tren

$$\frac{2\,757\,888 \text{ gal} \times \text{ciclo} (1\text{m}^3)}{174 \text{ hrs}} = 60 \text{ m}^3/\text{hr.}$$

$$\text{ciclo} (174 \text{ hrs})(264.3 \text{ gal}) = 43\,200 \text{ m}^3/\text{mes}$$

(SIN OPERACION DE UDES. CAT. DEBILES)

UNIDAD	CATIONICA DEBIL	CATIONICA FUERTE	ANIONICA ESTRATIF.	LECHO MIXTO	
				CATIONICA	ANIONICA
Nivel de Regeneración (lb/pie ³)	-	9.24	6	22	20
Regte. (gal)					
H ₂ SO ₄	-	243.6	-	60	-
NaOH	-	-	262.5	-	262.5
Tiempo de Regeneración (min)	-	135	135	255	
Duración del Ciclo (hrs)	-	12	6.5	131	
Necesidades (*) de agua por (**) Ciclo (gal)	-	31 460	22 843	24 933	
T o t a l	-	173 051	91 149	1 955 080	
	-	204 511	113 992	1 980 013	

*: Necesidades de agua para regeneración y enjuague de la unidad.

**: Agua producida por ciclo.

Producción Neta por tren

$$\frac{1\ 980\ 013\ \text{gal} \times 1\ \text{ciclo} \times 1\ \text{m}^3}{\text{ciclo}} = 56.5\ \text{m}^3/\text{hrs.}$$

$$\text{ciclo } 131\ \text{hrs. } 264.2\ \text{gal}$$

$$= 40\ 680\ \text{m}^3/\text{mes}$$

Fuentes de información.

Hoja de reporte diario de la planta desmineralizadora
udes. 1/4, mayo de 1986. Departamento Químico de la C.T.T.

C A P I T U L O 5

C O S T O D E L A

R E H A B I L I T A C I O N

5.1.- COSTO ACTUAL DEL EQUIPO

El capítulo anterior se desarrolló con el propósito de optimizar y mejorar el proceso de intercambio iónico, mediante el análisis se especificó; las condiciones de trabajo de cada unidad del sistema desmineralizador, para obtener la misma calidad del agua desmineralizada, y utilizar las unidades de intercambio catiónico débil y bajo la misma capacidad de producción de la planta.

Esta parte del trabajo, representa gran importancia -- antes de decidir la rehabilitación de la resina catiónica débil, y que el realizar un balance y análisis económico -- -comparativo- de las resinas y equipo que integra el proceso de desmineralización, ya que así se percibirá el grado de financiación requerido.

En este análisis económico, sólo se evaluará directamente el costo de; las resinas, tanques desmineralizadores, torre descarbonatadora, tanque de oscilación, sistemas de regeneración; ácido y cáustico y el resto será cálculo aproximado.

El resultado de esta evaluación es necesario ya que -- así se tendrá un valor más real del costo del agua actual y el costo del agua, si se operarán las unidades catiónicas débiles, ya instaladas.

De esta comparación se podrá definir fácilmente cual de las alternativas es económicamente más aceptable permitiendo así el mejoramiento del sistema de desmineralización y obtener un beneficio económico a la central.

C O S T O D E L E Q U I P O

UNIDAD CATIONICA DEBIL

(C O N C E P T O)

(\$)

Costo del tanque	2'200,000.00
Costo de ahulado	2'400,000.00
Distribuidor superior	2'350,000.00
Distribuidor inferior	2'350,000.00
Colector de regenerante	2'350,000.00
7 válvulas	
Costo 7x 450 000	3'150,000.00
Tubería de venteo	100,000.00
Tubería entrada de agua y regenerante	1'850,000.00
Tubería salida de agua	1'770,000.00
Tubería drenaje	515,000.00
Válvulas de muestreo	22,000.00
Controles	
Medidor badger 4"	2'414,000.00
Rotámetro de dilución	835,000.00
Rotámetro de entrada	835,000.00
Celda de conductividad	448,000.00
Medidor de conductividad	572,000.00
Subtotal \$	26'161,000.00

UNIDAD CATIONICA FUERTE:

(C O N C E P T O)	(\$)
Costo del Tanque	5'245,000.00
Costo del ahulado	3'035,000.00
Distribuidor superior	2'620,000.00
Distribuidor intermedio	2'320,000.00
Distribuidor inferior	2'620,000.00
10 válvulas	
Costo 10x450 000	4'500,000.00
Tubería de venteo	100,000.00
Tubería entrada de agua	3'148,000.00
Tubería salida de agua	3'010,000.00
Tubería de regenerante	2'243,000.00
Tubería drenaje	517,000.00
Válvulas de muestreo	22,000.00
Controles	
Rotámetro tipo derivación	610,000.00
Dos manómetros	70,000.00
SUB-TOTAL	\$ 30'060,000.00

UNIDAD ANIONICA ESTRATIFICADA

(C O N C E P T O)	(\$)
Costo del tanque	5'205,000.00
Costo del ahulado	3'045,000.00
Distribuidor superior	2'410,000.00
Distribuidor intermedio	2'095,000.00
Distribuidor de regenerante	2'095,000.00
Distribuidor inferior	2'410,000.00
7 Válvulas	
Costo 7x412000	2'885,000.00
Tuberfa de venteo	91,000.00
Tuberfa entrada de agua	2'895,000.00
Tuberfa salida de agua	2'765,000.00
Tuberfa de regenerante	2'765,000.00
Tuberfa de drenaje	475,000.00
Válvula de muestreo	20,000.00
Controles	
Rotámetro tipo derivación	610,000.00
Dos manómetros	70,000.00
Celda de conductividad	448,000.00
Medidor de conductividad	572,000.00
Medidor badger 4"	2'414,000.00
SUB-TOTAL	\$ 33'270,000.00

UNIDAD DE LECHO MIXTO:

(C O N C E P T O)	(\$)
Costo del tanque	3'982,000.00
Costo del ahulado	1'990,000.00
Distribuidor superior	2'124,000.00
Distribuidor de regte. ácido	1'300,000.00
Distribuidor de regte. cáustico	960,000.00
Colector de regtes.	1'800,000.00
Distribuidor inferior	2'124,000.00
9 válvulas	
Costo 7x430 000	3'010,000.00
Costo 2x300 000	600,000.00
Tubería de venteo	95,000.00
Tubería entrada de agua	3'025,000.00
Tubería de regte. ácido	1'625,000.00
Tubería de regte. cáustico	1'875,000.00
Tubería del colector	1'500,000.00
Tubería salida de agua	3'025,000.00
Tubería de drenaje	495,000.00
Válvula de muestreo	20,000.00
Controles	
Medidor badger 4"	2'414,000.00
Rotámetro tipo derivación	610,000.00
Dos manómetros	70,000.00
Celda de conductividad	448,000.00
Medidor de conductividad	572,000.00
SUB-TOTAL \$	33'664,000.00

DESGASIFICADOR:

(C O N C E P T O)	(\$)
Costo de la torre	2'000,000.00
Empaque	1'835,000.00
Control de nivel	1'300,000.00
Difusor de agua	400,000.00
Sopladores	2'140,000.00
Válvula control de nivel	2'410,000.00
SUB-TOTAL \$	10'085,000.00

TANQUE DE OSCILACION:

Costo del Tanque	1'675,000.00
4 bombas	
Costo 4x2 810,000	11'240,000.00
SUB-TOTAL \$	12'915,000.00

SISTEMA DE REGENERACION ACIDO:

Tanque de día de H_2SO_4 66° Bé	1'500,000.00
Dos bombas	
Costo 2x2'415,000	4'830,000.00
Ratámetro de H_2SO_4 66° Bé	770,000.00
Rotámetro para dilución	930,000.00
Conección Tee de mezcla	445,000.00
Válvula check	185,000.00
Tubo	190,000.00
Controles	
Dos manómetros	70,000.00
Switch de presión	490,000.00
SUB-TOTAL \$	9'410,000.00

SISTEMA DE REGENERACION CAUSTICO

(C O N C E P T O)	(\$)
Tanque de día de NaOH 50%	1'500,000.00
Dos bombas	
Costo 2x 2'500,000	5'000,000.00
Rotámetro de NaOH al 50%	770,000.00
Rotámetro de dilución	970,000.00
Calentador	1'035,000.00
Controles	
Manómetro	35,000.00
Switch de presión	460,000.00
Termostato	160,000.00
SUB-TOTAL	9'930,000.00

TABLERO Y C.C.M.

Huacal	2'400,000.00
Timers	670,000.00
Instrumentos	6'025,000.00
Rack de solenoides	600,000.00
30 lámparas	450,000.00
SUB-TOTAL	10'145,000.00

FUENTES DE INFORMACION: A.E.S.A., S.A. de C.V.
ACTUALIZADO MAYO DE 1986.

C O S T O D E R E S I N A S

Amberlite IRC-84	150,000 \$/pie ³
Amberlite IR-120	45,000 \$/pie ³
Stratabed 93	220,000 \$/pie ³
Stratabed 402	200,000 \$/pie ³
Amberlite IRA-402	180,000 \$/pie ³

FUENTES DE INFORMACION:

Química Trepic S.A.
Actualizado mayo de 1986.

5.2.- COSTO DE AGENTES QUIMICOS

H Cl al 35%	45 \$/kg
H ₂ SO ₄ al 99.5%	35 \$/kg
NaOH al 100%	132 \$/kg
Agua fresca	1.2 \$/m ³
Sueldo	822.956 \$/hr.
Costo de energía eléctrica	4.2 \$/KWH

FUENTES DE INFORMACION:

Agentes Químicos	Departamento Químico
Energía Eléctrica	Departamento de Análisis y Resultados

C.T.T., Actualizado mayo de 1986.

5.-3.- VALOR DEL CAPITAL INVERTIDO

Esta tabulación, ya incluye los tres trenes de unidades.

Unidades catiónicas débiles	\$	78'843,000.00
Unidades catiónicas fuertes		90'180,000.00
Desgasificador		10'085,000.00
Tanque de oscilación		12'915,000.00
Unidades aniónicas estratificadas		99'810,000.00
Unidades de lechos mixtos		100'992,000.00
Sistema de regeneración ácido		9'410,000.00
Sistema de regeneración cáustico		9'930,000.00
Tablero y C.C.M. (resinas)		10'145,000.00
Amberlite IRC-84		83'250,000.00
Amberlite IR-120		58'860,000.00
Stratabed 93		95'040,000.00
Stratabed 402		86'400,000.00
Amberlite IRA-402		43'200,000.00
T o t a l	\$	788'700,000.00

5.4.- VALOR ACTUAL DEL SISTEMA INSTALADO

Es necesario el hacer una evaluación completa del sistema ya instalado, porque así se tendrá un valor real del capital -- invertido.

Además este cálculo permitirá obtener el valor que servirá -- para calcular la depreciación y la amortización de todo el -- equipo.

Esto quiere decir que, el costo de la totalidad de una plan- ta específica esta clasificada la inversión total en porcen- tajes de sus componentes de la manera siguiente (6):

C O M P O N E N T E R A N G O, %

COSTOS DIRECTOS:

Adquisición de equipo	15-40
Instalación eléctrica	2-10
Instalación de equipo	6-14
Instalación de tubería	3-20
Instrumentación y control	2-8

COSTOS INDIRECTOS:

Gastos de construcción	4-16
Imprevistos	5-15
Ingeniería y supervisión	4-21

Debido al carácter tan importante que representan los porcentajes, algunos se les dio el valor máximo pero, quedando dentro de los rangos especificados.

LA CLASIFICACION ELEGIDA ES:

Costos director del sistema:

Adquisición de equipo	40%
Instalación eléctrica	8%
Instalación de equipo	10%
Instalación de tubería	12%
Instrumentación y control	5%

Costos Indirector del Sistema:

Gastos de construcción	4%
Imprevistos	6%
Ingeniería y supervisión	15%

La inversión total es:

Costos directos:

Adquisición de equipo	\$	788'700,000.00
Instalación eléctrica		157'740,000.00
Instalación de equipo		197'175,000.00
Instalación de tubería		236'610,000.00
Instrumentación y control		98'587,500.00

Costos indirectos:

Gastos de construcción		78'870,000.00
Imprevistos		118'305,000.00

Ingeniería y supervisión	295'762,500.00
--------------------------	----------------

COSTO T O T A L	\$ 1,971'750,000.00
-----------------	---------------------

COSTO DE LA INSTALACION

C O N C E P T O	COSTO (\$)
Adquisición de equipo	788'700,000
Instalación Eléctrica	157'740,000
Instalación de equipo	197'175,000
Instalación de Tubería	236'610,000
Instrumentación	98'587,500
Construcción	78'870,000
Imprevistos	118'305,000
Supervisión	295'762,500

5.5.- DEPRECIACION Y AMORTIZACION

La siguiente ecuación se usa ampliamente para calcular el costo de depreciación, misma que es muy simple y aceptable para la evaluación de costos.

$$d = \frac{V - V_s}{n}$$

Donde: d = depreciación anual (\$/año)

V = valor original completamente instalado (\$)

V_s = Valor final (\$)

n = años de servicio

Si: $n = 10$

$V_s = 0.0$

$$d = \frac{1,971,750,000.00 - 0}{10} = 197,175,000 \text{ \$/año}$$

AMORTIZACION:

$$s = \frac{d (1+i)^n - 1}{i}$$

donde: s = amortización

i = interés

Si: $n = 10$

$i = 72.5\%$ anual

$d = 195,825,000 \text{ \$/año}$

$$s = 197,175,000 \frac{(1+0.725)^{10} - 1}{9.725}$$

$s = \$ 63,174,121,000.00$

5.5.- COSTOS DE OPERACION

Para analizar comparativamente el costo del agua por concepto de, inversión y operación del proceso actual y del sistema -- completo (sin operación de las Udes. catiónicas débiles y con operación de éstas, respectivamente), para un sólo tren se -- tiene:

COSTO MENSUAL CON SISTEMA COMPLETO

NaOH al 50%	(Kg/mes)	(\$/mes)
Para U.A.E.	50 163.7	3 310 804
Para U.L.M.	901	59 461
H ₂ SO ₄ 66° Bé	(Kg/mes)	(\$/mes)
Para U.C.F. y U.C.D.	103 380	3 563 749
Para U.L.M.	375.4	12 940
Agua fresca	(m ³ /mes)	(\$/mes)
Para U.L.M.	256.3	307.53
Para U.A.E.	8 353.6	10 024.4
Para U.C.F.	11 418.4	13 702.11
Para U.C.D.	1 351	1 621.3
Lámparas incandescentes	(kw/mes)	(\$/mes)
30 unidades	1 620	6 804
Mano de obra	(hrs./mes)	(\$/mes)
3 turnos diarios	720	592 528.32
T O T A L		7 571 942 \$/mes

COSTO MENSUAL SIN OPERACION DE U.C.D.

NaOH al 50%	(kg/mes)	(\$/mes)
En U.A.E.	86 821.7	5 730 237
En U.L.M.	3 988.8	263 264
H ₂ SO ₄ 66° Bé	(kg/mes)	(\$/mes)
En U.C.F.	99 582.7	3 432 847
En U.L.M.	2 193.8	75 628
Agua fresca	(m ³ /mes)	(\$/mes)
En U.L.M.	518	623
En U.A.E.	9 577	11 493
En U.C.F.	7 144	8 574
Lámparas incandescentes	(kw/mes)	(\$/mes)
30 unidades	1 620	6 804
Mano de obra	(hrs/mes)	(\$/mes)
3 turnos	720	592 528.32
T O T A L		10'121,998.00 \$/mes

CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA

A continuación, se hace una breve estimación del consumo de -- energía eléctrica que es la fuente principal de potencia en la operación de la planta para; el accionamiento de motores -- de bombas, alumbrado y demás equipo mecánico, para tomar en -- cuenta el costo por concepto de energía en la operación de la planta desmineralizadora.

En seguida se enlistan los principales datos tomados de las -- placas de los diferentes motores accionados eléctricamente.

Motores 1 y 2; de las bombas Norte y Sur de agua fresca, res-- pectivamente.

Motores 3 y 4; de los sopladores Norte y Sur de la torre des-- carbonatadora, respectivamente.

Motores 5,6,7 y 8; de las bombas de agua desgasificada (nor-- malmente operando dos bombas)

Motor 9; de la bomba de agua de dilución de sosa cáustica

Motor 10; del soplador para mezcla de lechos mixtos

Motor 11; de la bomba dosificadora de H_2SO_4 66° Bé

Motor 12; de la bomba dosificadora de NaOH al 50%

CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA

No. DE MOTOR	No. DE FASES	VOLTAJE	AMPERES	HP	KW	Hrs/mes		\$ / m e s	
						*	**	*	**
1-2	3	220/440	243/121.5	100	74.57	720	720	225 499	225 499
3	3	220/440	14.2/7.1	5	3.73	720	720	11 275	11 275
4	3	220/440	14.2/7.1	5	3.73	720	720	11 275	11 275
5-8	3	220/440	77.5/38.8	30c/u	44.74	720	720	135 299	135 299
9	3	220/440	25.2/12.6	11.6	8.64	159.1	145.33	5 773	5 273
10	3	460	29.5	24.8	28.5	4.14	5.5	320	427
11	3	220/440	9/4.5	2	1.5	128.5	75.5	810	476
12	3	220/440	9/4.5	2	1.5	78.36	116.26	493	732
T O T A L								390 747	390 259

*: Operando sistema completo de desmineralización.

** : No operando las Udes. Cat. Débiles.

Analizando comparativamente el costo del agua desmineralizada, sin las udes. cat. débiles y del sistema completo por concepto de inversión y operación, se tiene:

Valor actual del sistema instalado \$ 1,971,750,000.00

SISTEMA COMPLETO:

Producción de agua desmineralizada	43 200 m ³ /mes
Depreciación del sistema (mensual)	5 477 084.0 \$
Costo de operación	7 571 942.0 \$
Consumo de energía eléctrica	390 747.0 \$
T o t a l	13 439 772 \$/mes
Costo de agua desmineralizada	311.1 \$/m ³

SIN OPERACION DE LA UDES. CAT. DEBILES

Producción de agua desmineralizada	40 680 m ³ /mes
Depreciación del sistema (mensual)	5 477 084.0 \$
Costo de operación	10 121 998.0 \$
Consumo de energía eléctrica	390 258.0 \$
T o t a l	15 989 339 \$/mes
Costo de agua desmineralizada	393.0 \$/m ³

5.7.- CAPITAL INVERTIDO PARA LA REHABILITACION

Se hará el cálculo del costo de la rehabilitación de la resina catiónica débil en dichas unidades, tomando en cuenta lo siguiente:

- a).- Balance de materia
- b).- Consumo de ácido muriático y sulfúrico
- c).- Gastos de mano de obra y supervisión.

Todo el equipo y almacenamientos requeridos, ya se tienen en la central.

HCl al 30%

$$18.7 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \times 185 \text{ pies}^3 \times 3 \times \frac{1 \text{ kg}}{2.21 \text{ lb}} \times 1.2 = 5650 \text{ kg de HCl}$$

H₂SO₄ 66° Bé

$$9.22 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \times 185 \text{ pies}^3 \times 3 \times \frac{1 \text{ kg}}{2.21 \text{ lb}} \times 2 \times 1.2 = 5572 \text{ kg de H}_2\text{SO}_4$$

Agua desmineralizada

$$[6 (21139 + 6202) + 3 (8957)] \text{ gal} \times \frac{1 \text{ m}^3}{264.2 \text{ gal}} = 723 \text{ m}^3$$

Mano de obra

25 hrs.

Capital invertido en las 3 unidades cat. débiles

161 733 000.00 \$

Supervisión

Se estimo el doble de horas de la mano de obra (50 hrs)

Gastos requeridos:	(\$)
HCl	254 250
H ₂ SO ₄	195 020
Agua desmineralizada	478 843
Mano de obra y supervisión	61 722
T o t a l	\$ 989,835.00

Como puede distinguirse claramente, es realmente notorio el gran beneficio que traerá el poner en operación el sistema - completo de desmineralización, porque la comparación entre precios por ambas alternativas es bastante significativa. Esto es:

	PRECIO \$/m ³
Sistema completo	311.1
Sin op. de U.C.D.	393

Cabe hacer notar que; los costos de rehabilitación, operación de las unidades catiónicas débiles y de mantenimiento, - son demasiado pequeñas comparados con el capital invertido en - dichas unidades.

Esto es:

Capital invertido	\$ 161 733 000.00
Gastos para la reha- bilitación	989 935.00

C A P I T U L O 6

P R O P O S I C I O N E S

Y

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

Después de revisar el costo de inversión y operación, -- del sistema de desmineralización completo y comparandolo con el costo total que se esta pagando actualmente (sin operación de - las unidades catiónicas débiles), se puede facilmente observar, el beneficio económico que brindará a C.F.E., operando el siste - ma completo, para la producción de agua desmineralizada.

Se puede asegurar que el conjunto de unidades catiónicas débiles operará en condiciones adecuadas durante 10 años, siem - pre que se respeten las condiciones de operación de éstas, para evitar la precipitación del sulfato de calcio y además que:

Durante la regeneración (que sea suficiente), que la tem - peratura no exceda de los 29°C.

Que exista un control riguroso de la concentración del - ácido sulfúrico recomendado.

Y, que el caudal del regenerante no deberá ser menor a 1.0 gpm/pie³, ya que depende tanto del % de calcio en el agua - influente y por ende del nivel de regeneración establecido.

Ya que es de tomarse en cuenta que deberá hacerse la re - generación en serie, aprovechando de éste modo el bajo costo - de operación de la resina catiónica débil, esto es que el rege - nerante que sale de la unidad catiónica fuerte no deberá ser - menor al 110% del ácido teórico estegiométrico de la capaci - dad de la resina débil. Con el gran ahorro de regenerante y -

gran afinidad de la resina por los iones H^+ utilizando el mínimo de ácido, y adoptando la forma de operación del sistema catiónico fuerte-débil, según el análisis hecho en el capítulo 4 de éste mismo trabajo. Regenerando la unidad catiónica fuerte en contra-corriente para evitar ó disminuir así, la fuga de cationes (sodio).

Los resultados obtenidos del trabajo de laboratorio, - - indican que el procedimiento de limpieza con ácido clorhídrico inhibido es el indicado para la reactivación de resina envenenada con sulfato de calcio y que además es un recurso efectivo - para la eliminación de otros posibles contaminantes que pudieran existir en el interior de la resina como son; las precipitaciones de $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$ y óxidos hidratados de hierro y aluminio.

Aunque este procedimiento de limpieza es exclusivo para intercambiadores catiónicos, es recomendable efectuar tratamientos de limpieza pero que no se mencionan aquí, hacerlos periódicamente a las demás resinas del sistema desmineralizador, dependiendo del tipo de resina que se trate, la frecuencia puede ser desde un tratamiento por año a un tratamiento por mes.

Cabe mencionar algunas ventajas de menor importancia, que se consiguieron en la realización del presente trabajo, por - - ejemplo, se muestra un claro ejemplo ilustrativo de; la metodología de cálculo para diseñar un sistema de intercambio iónico desde:

La consulta de datos de pureza (requerida del efluente), recomendada según uso final.

Estudio del análisis del suministro de agua.

Selección del esquema de desmineralización.

Establecimiento de niveles de regeneración y capacidades de intercambio así como los costos locales de regenerantes.

Especificación del tamaño del ciclo y flujos unitarios.

Profundidad del lecho

Altura del tanque.

Caída de presión.

Tiempo de regeneración y necesidades de enjuague.

Durante el tratamiento de rehabilitación con ácido clorhídrico que es sumamente corrosivo, se recomienda conocer y - - practicar las medidas de seguridad recomendadas por el fabricante de ácido.

A P E N D I C E

TABLA I
FLUJO TOTAL A TRAVÉS DE FILTROS Y SUAVIZADORES
CILINDRICOS VERTICALES

DIMENSIONES DIAMETRO (In)	FLUJO, GALONES/MIN/FT ² AREAS DEL FLUJO									
	Area ft ²	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	23.0	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	244	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	906	1131			

NOTA: El diámetro del tanque es función del flujo del agua a tratar y de la velocidad superficial

Ref: Tesis 1982
 Olvares de Lachica Lydia
 (Ver bibliografía No. 15)

TABLA II

PESO ESPECÍFICO	BAUME	POR CIENTO	NORMALIDAD	GRAMOS POR LITROS	lbs. por pie cúbico	Lbs. por galón
SLN. DE HIDROXIDO DE SODIO						
1.0428	6.0	4	1.042	41.71	2.604	0.3481
1.5253	49.9	50	19.07	762.7	47.61	6.364
SLN. DE ACIDO SULFURICO						
1.0047	0.67	0.7	0.1435	7.033	0.4391	0.0587
1.0051	0.7	1.0	0.2051	10.05	0.6275	0.0839
1.0054	0.8	1.3	0.2667	13.07	0.8161	0.1091
1.0118	1.7	2	0.4127	20.24	1.263	0.1689
1.0184	2.6	3	0.6234	30.55	1.907	0.255
1.025	3.5	4	0.836	41	2.56	0.3422
1.0317	4.5	5	1.053	51.59	3.22	0.4305
1.8361	66	98	36.68	1799	112.3	15.02
SLN. DE ACIDO CLORHIDRICO						
1.081	2.6	4	1.117	40.72	2.542	0.3399
1.0474	6.6	10	2.871	104.7	6.539	0.8741
1.1493	18.8	30	9.456	344.8	21.52	2.877
1.174	21.5	35	11.27	411	25.65	3.43
1.1789	22	36	11.64	424.4	26.49	3.542

REF: Engineering Manual for the
 Amberlite ion exchange resins
 Rohm and haas Co.
 (ver bibliografía No. 12)

- Useful charts and tables-

DATOS TECNICOS

Ref: Eng. manual for the Amberlite
ion exchange resins
Rohm and Haas Co.
(Ver bibliografia No. 12)

- engineering Data-

Amberlite IRA-402

Stratified Beds of Anion

Exchange Resins

Stratabed-93/Stratabed-402

Amberlite IR-120

Countercurrent Regeneration

Using Sulfuric Acid

Amberlite IRC-84

FIGURA 1

Fuga de sílice

a 5 lb de NaOH a l 100%/pie³Promedio de sílice fugada (ppm como CaCO₃)

Concentración de sílice (fracción del total de aniones)

FIGURA 2

Curvas de capacidad para AMBERLITE IRA-402

Condiciones:

Nivel de regeneración: 6 lb de NaOH al 100%/pie³

Temperatura: 24°C

Flujo de regenerante: 0.25 gpm/pie³

Flujo de servicio: 2 gpm/pie³

Fuga: Punto final, 0.3 ppm de SiO₂

Aplicar factor de
Corrección por Cl-SO₄
(fig. 3)
Para valores arriba de
la línea punteada.

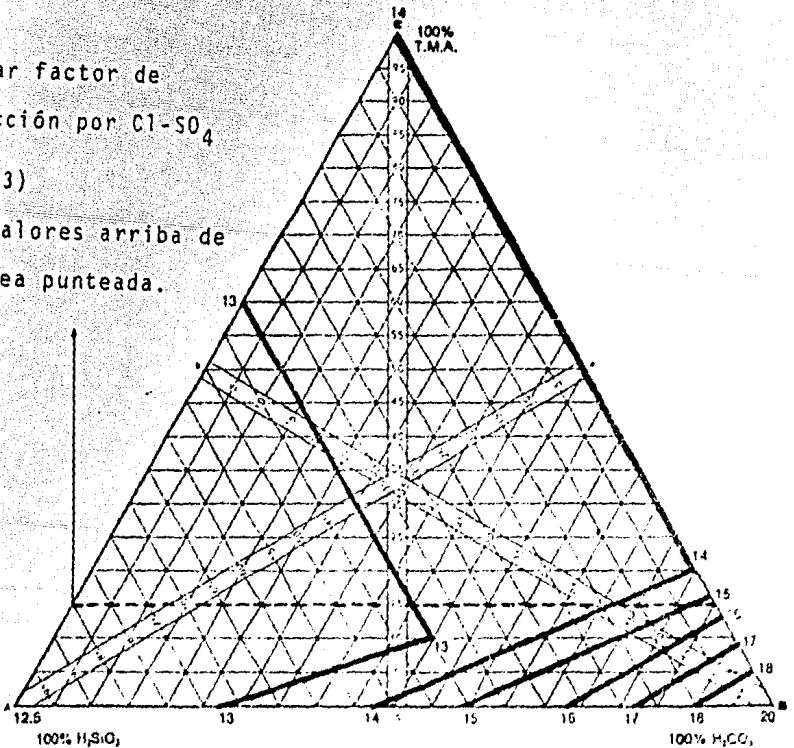
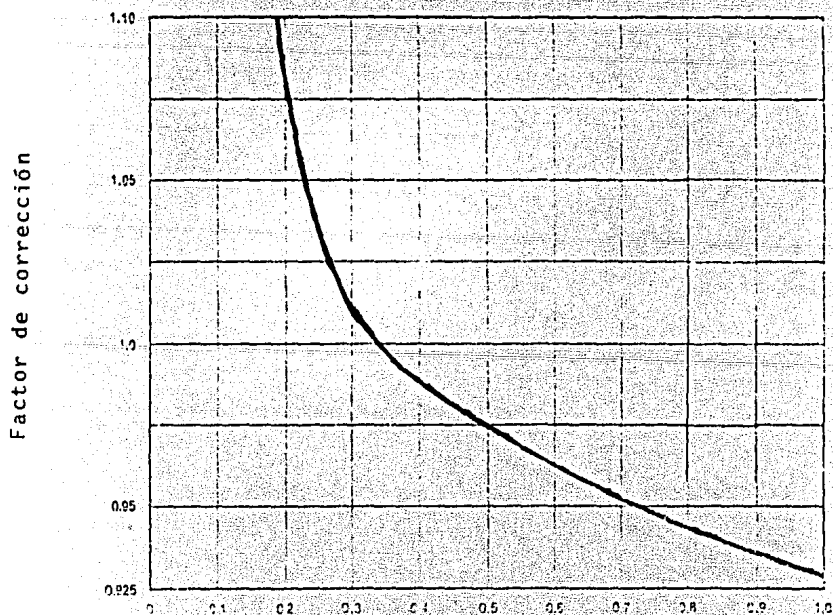


FIGURA 3

Curva para factor de corrección por Cloruros y Sulfatos.

Usar sólo para área superior a la línea punteada en la fig. 2



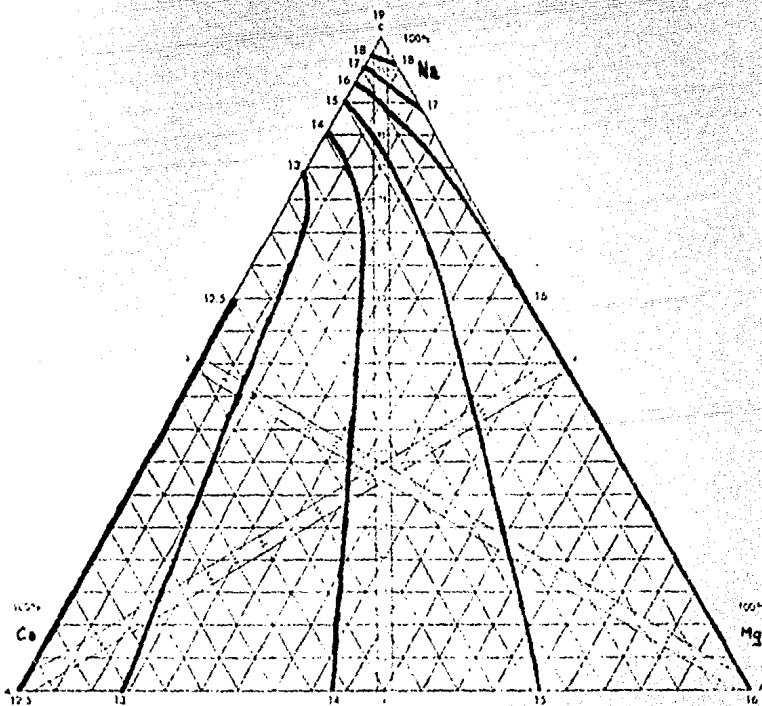
Cloruros

Cloruros & Sulfatos

FIGURA 4

Curvas de isocapacidad para AMBERLITE IR-120

CONDICION:

Nivel de regeneración: 5 lb de H_2SO_4 66° BÉ/pie³

Kilogramos como $CaCO_3$ /pie³ @ cero de alcalinidad
 (Ajustar para otra alcalinidad con la fig. 5)

FIGURA 5
Corrección de la capacidad por alcalinidad para
AMBERLITE IR-120

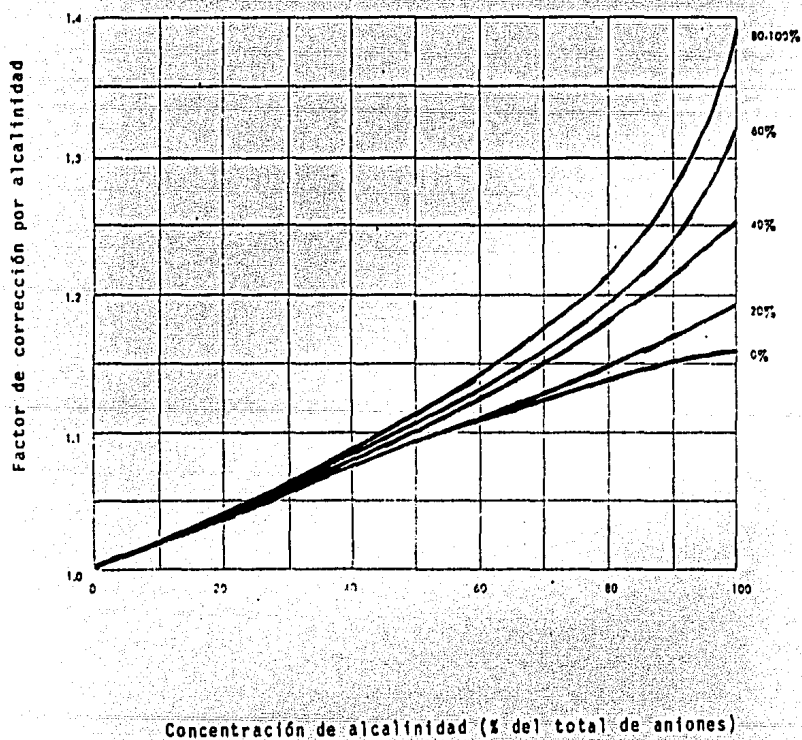
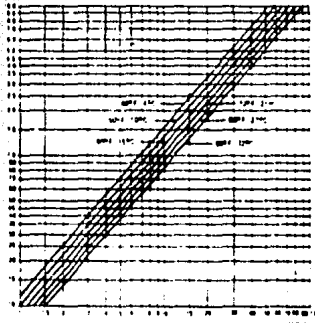


FIGURA 6

Caída de presión para AMBERLITE IRA-402

Caída de presión en PSI/pie

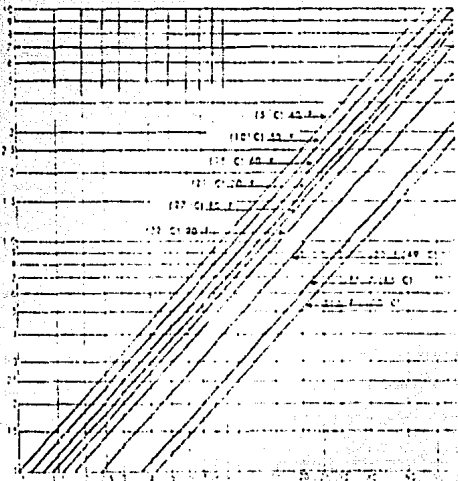


Flujo en gpm/pie²

FIGURA 7

Caída de presión para AMBERLITE IR-120

Caída de presión en PSI/pie



Flujo de gpm/pie²

FIGURA 8

Dato de expansión hidráulica para AMBERLITE IRA-402

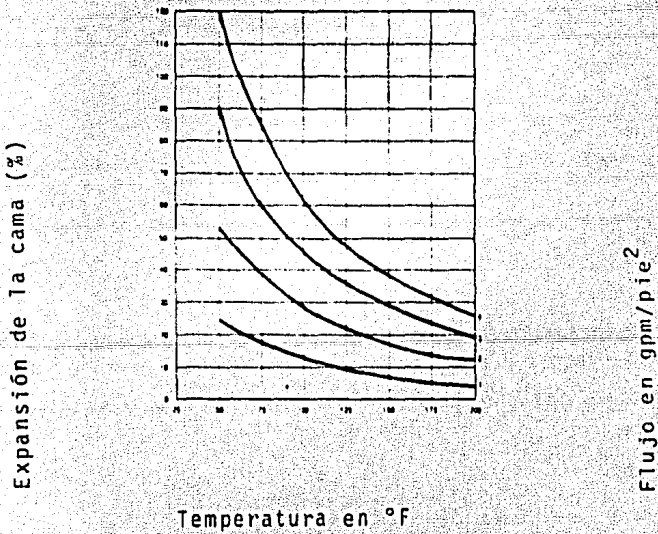


FIGURA 9

Capacidad del sistema de cama estratificada con --
 Proporciones variables de STRATABED-93

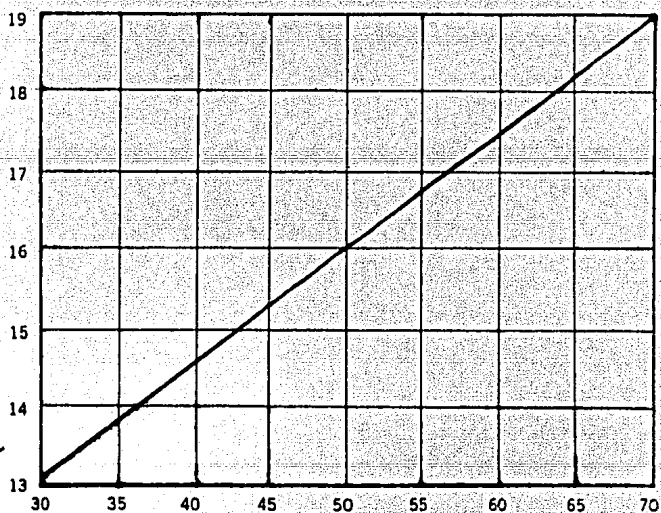
CONDICIONES:

Nivel de regeneración: 4 lb de NaOH al 100%/pie³

Concentración de NaOH: 4 %

Temperatura: 49°C

Capacidad de cama-kgr como CaCO₃/pie³



% de STRATABED 93

FIGURA 10

Cafda de presión para STRATABED 93
(Base libre)

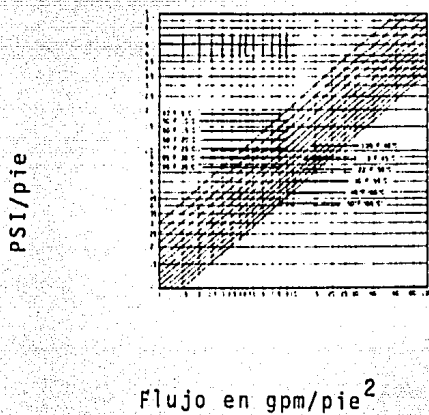


FIGURA 11

Cafda de presión para STRATABED 402
(forma hidróxido)

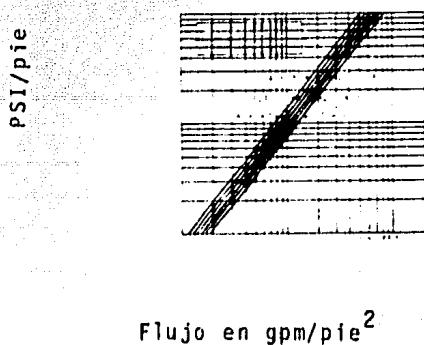


FIGURA 12

Capacidad contra nivel de regeneración

Regeneración a contracorriente de AMBERLITE IR-120

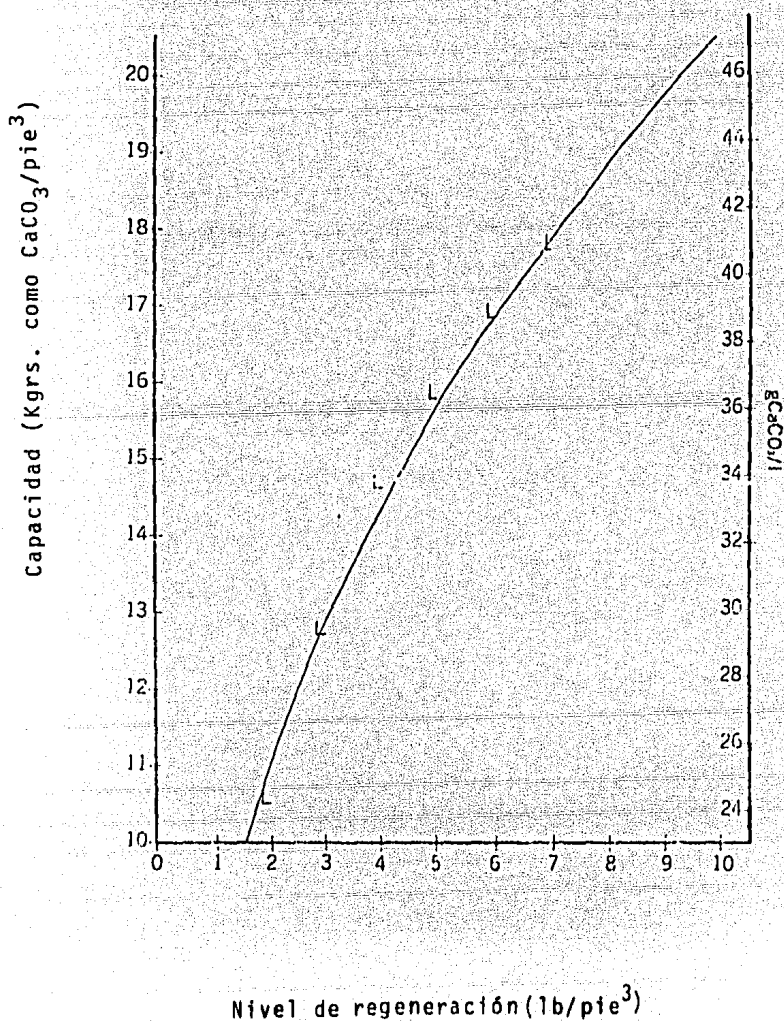
Usando H_2SO_4 

FIGURA 13

Capacidad contra Sodio influente -
Regeneración a contra-corriente de
AMBERLITE IR-120 Usando H_2SO_4

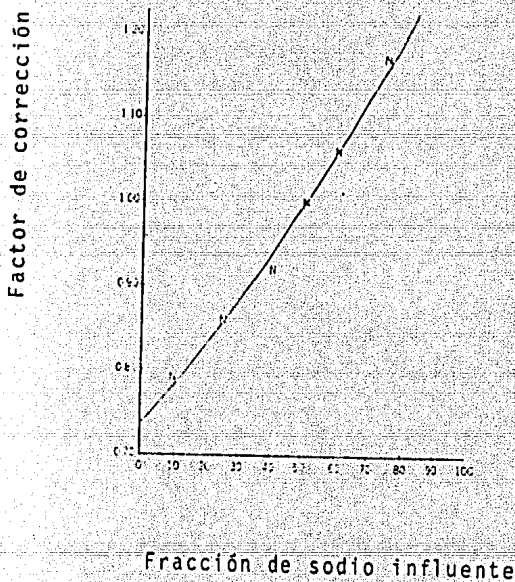


FIGURA 14

Capacidad contra Alcalinidad influente
Regeneración a contracorriente de - -
AMBERLITE IR-120 usando H_2SO_4

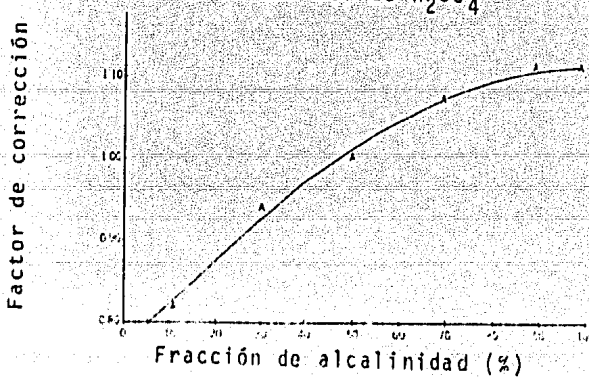


FIGURA 15

Capacidad contra profundidad de cama
Regeneración a contra-corriente de -
AMBERLITE IR-120 CICLO hidrógeno

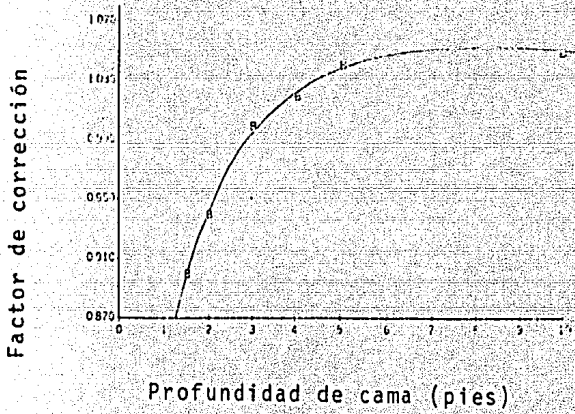


FIGURA 16

Capacidad contra total de Sólidos Disueltos
Regeneración a contracorriente de AMBERLITE
IR-120 ciclo hidrógeno

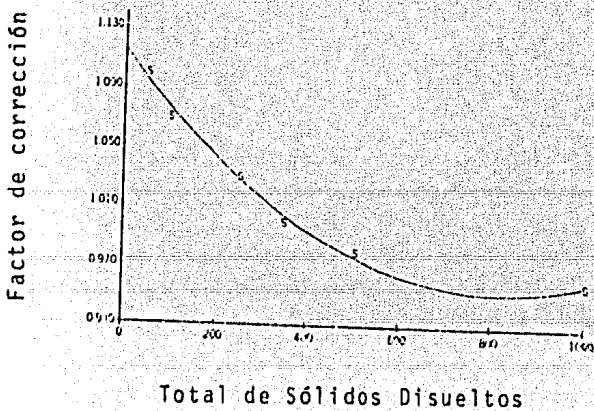


FIGURA 17

Fuga de sodio contra nivel de regeneración
Regeneración a contracorriente de AMBERLITE
IR-120 usando H_2SO_4

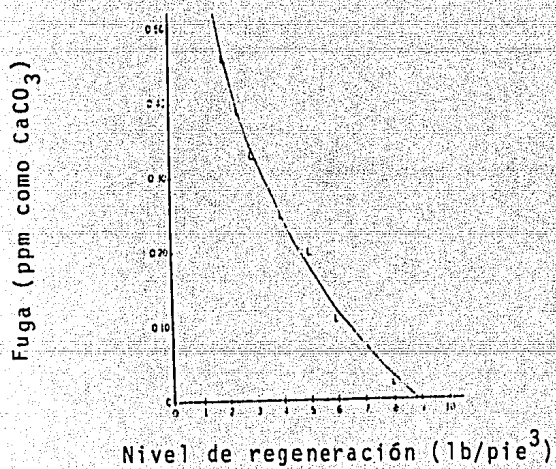


FIGURA 18

Datos de expansión hidráulica para AMBERLITE IR-120.

Flujo en gpm/pie²

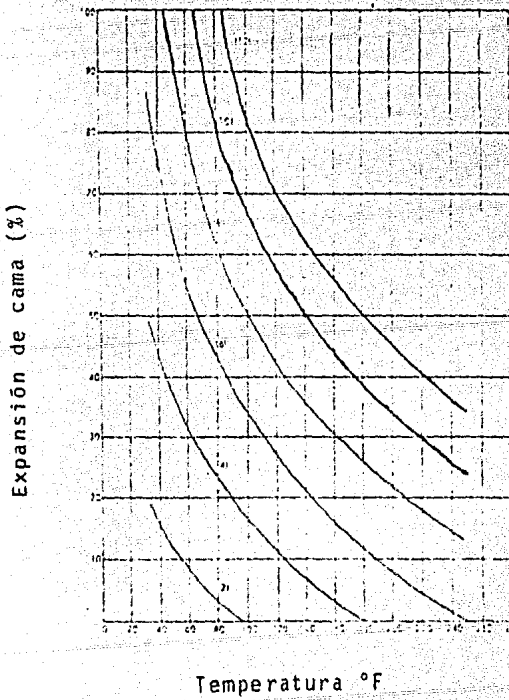


FIGURA 19

Capacidad de AMBERLITE IRC-84 contra Temperatura
(Cuando $H/A > 1.0$)

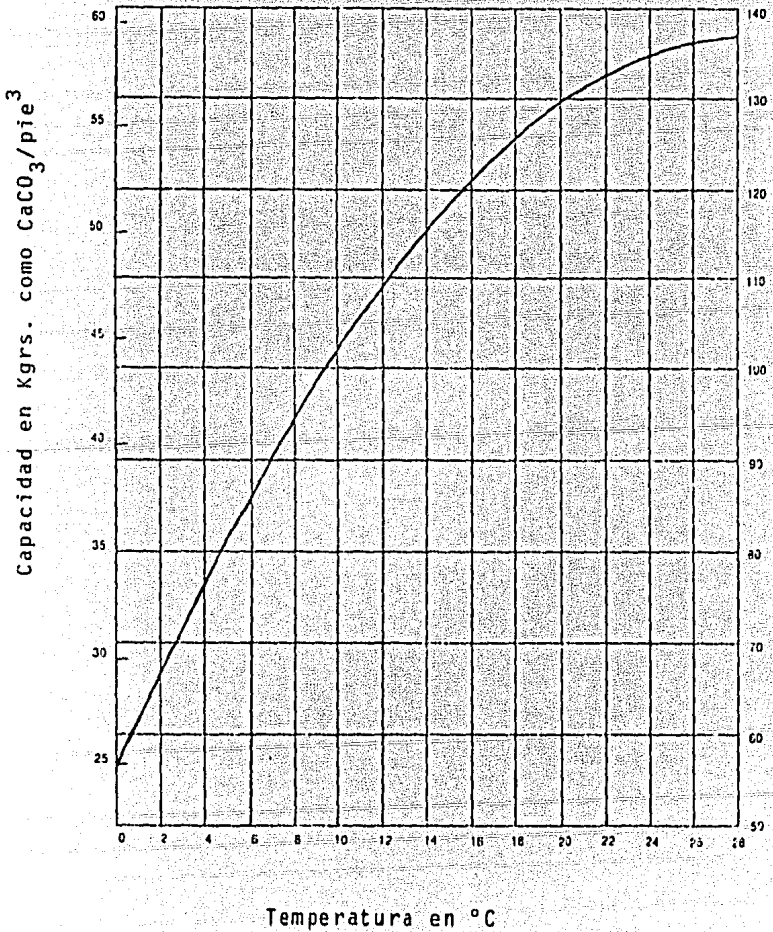


FIGURA 20

Caída de presión para AMBERLITE IRC-84

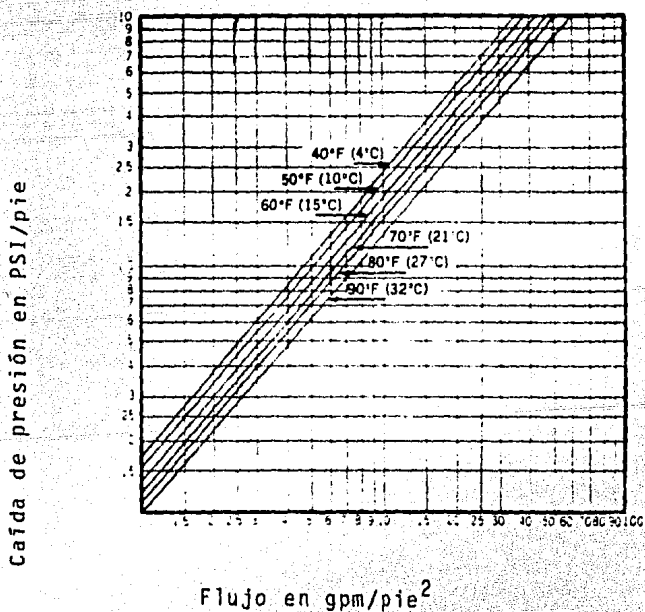
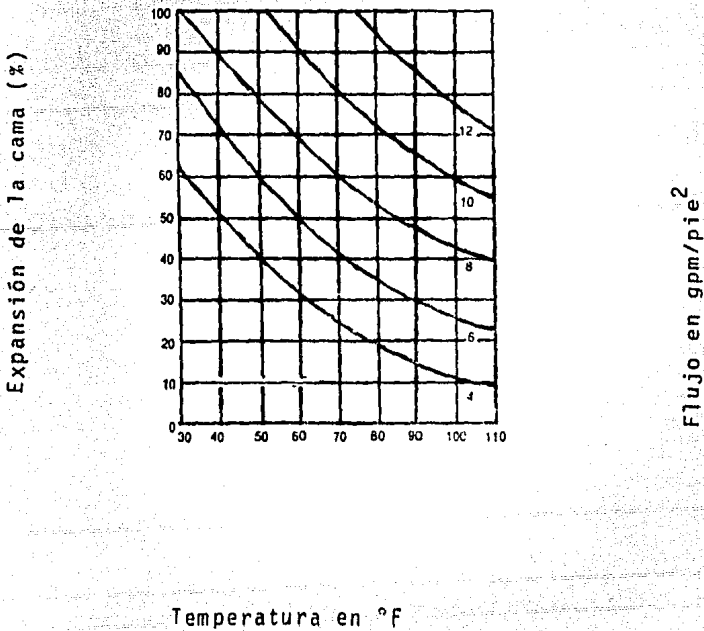


FIGURA 21

Dato de expansión hidráulica para AMBERLITE IRC-84
(forma Calcio)



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

LIBROS:

- 1.- APPLEBAUM, SAMUEL B.
"Demíneralization by Ion Exchange"
Academic Press, N.Y., 1968.
- 2.- AYRES, GILBERT H.
"Análisis Químico Cuantitativo"
Ed. Harla, México, D.F., 1970
- 3.- CRUZ, HECTOR C.
"Métodos de Análisis de Agua"
C.F.E., Scia. Gral. de Operación, 1973.
- 4.- DICK, J.G.
"Química Analítica"
Ed. Manual Moderno, México, D.F., 1979
- 5.- MICHEL, CASSIR KHURY
"Métodos Cromatográficos Teoría y Aplicaciones"
F.E.S. Cuautitlán, U.N.A.M.
- 6.- PETERS, M.S. and TIMMERHAUS, K.D.
"Plant Design and Economics for Chemical Engineers"
3rd., ed., McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1980
- 7.- POWELL, SHEPPARD T.
"Acondicionamiento de Aguas para la Industria"
Ed. LIMUSA, México, 1979.
- 8.- RASE, H.F. y BARROW, M.H.
"Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso"
Ed. CECSA, México, 1982.

MANUALES:

- 9.- CRANE Co.
"Flow of Fluids"
Technical Paper No. 410, New York, 1980.
- 10.- DEGREMONT
"Manual Técnico del Agua"
Artes Gráficas Grigelmo, S.A., España 1979.
- 11.- PERRY, R.H. and CHILTON, C.H.
"Chemical Engineers' Handbook"
5th., ed., Mc.Graw-Hill Book Co., INC., New York, 1973.
- 12.- ROHM and HAAS Co.
"Engineering Manual for the Amberlite
Ion Exchange Resins"

T E S I S :

13.- ARTURO ORTEGA DIAZ

"Proyecto de una Planta Desmineralizadora de Agua
Empleando Resinas de Intercambio Ionico"

F.E.S. Cuautitlán, U.N.A.M.

14.- DAVID DICKTER BESSUDO

"Deionización de Agua"

Facultad de Química, U.N.A.M., 1956

15.- LYDIA OLIVARES DE LACHICA

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

Facultad de Química, U.N.A.M., 1982.

REVISTAS Y BOLETINES DE INFORMACION TECNICA:

- 16.- ASKEW, T.
"Selecting Economic Boiler-Water Pretreatment Equipment"
Chem. Eng., Vol. 80, (No. 9): pag. 114 (April 16, 1973).
- 17.- "V Curso de Formación de Ing. Operadores de Centrales --
Térmicas"
C.F.E., Química Aplicada, Depto. Químico, 1979.
- 18.- DAVIES, V.R.
"Criterios de Análisis a Problemas de Operación con Sis-
temas de Intercambio Iónico"
Presentado en 3er. Congreso Nacional de:
AMFESAAC, México, D.F., Marzo de 1982.
- 19.- DONALD, J. Mc.
"Protecting Demineralizers from Organic Fouling"
Chemical Engineering, 85 (12): 80 (may. 22, 1978)
- 20.- ESPECIFICACION C.F.E.-01300-10
"Sistema Desmineralizador de Agua de Repuesto para Unida
des de 160 y 350 MW"
México, Nov, de 1981.
- 21.- IAMMARTINO, N.R.
"New Ion-Exchange Options"
Chemical Engineering, 80 (1): 60 (January, 1973)
- 22.- MINDLER, A.B.
"Ion Exchange," Principles Technology Applications
Chem. Eng., 54 (7): 123 (July, 1947).

23.- MONET, G.P.

"Cost of Ion Exchange"

Chem. Eng., 57 (3): 106 (mar., 1950)

24.- QUIMICA TREPIC S.A. DE C.V.

Afiliada a Rohm and Haas Company

"Seminario de Resinas de Intercambio Iónico Amberlite"

25.- ROHM AND HAAS Co.

"Amberlite Ion Exchange Resins Laboratory Guide"

Philadelphia, Pa. U.S.A.