



2 of 20. 47

# Universidad Nacional Autónoma de México

---

FACULTAD DE QUIMICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESMINERALIZACION PARA  
OBTENER AGUA DESTILADA PARA UNA  
PLANTA DE HILO LATEX.

T E S I S

MARGARITA HERNANDEZ ALVARADO

I N G E N I E R O    Q U I M I C O

1984



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# I N D I C E

## C A P I T U L O I ; INTRODUCCION

Introducción .....	1
--------------------	---

## C A P I T U L O 2 : BASES DE DISEÑO

Generalidades, bases de cálculo .....	5
Análisis fisicoquímico del influente .....	6
Análisis bacteriológico, análisis del efluente y con diciones de operación .....	7
Almacenamientos requeridos .....	8
Diagrama de flujo .....	9
Lista de equipo .....	10
Selección de unidades de desmineralización .....	11
Esquemas principales de los cambiadores de iones..	15
Algunas aplicaciones de los cambiadores de iones..	20

## C A P I T U L O 3 : ANALISIS FISICOQUIMICO DEL AGUA A UTILIZAR

Fundamento, determinación de pH .....	22
Alcalinidad .....	23
Determinación de dureza y sulfatos .....	24
Determinación de fierro y sílice .....	25
Determinación de fluoruros y cloruros .....	26
Determinación de nitrógeno de nitritos .....	27
Técnicas .....	28

## C A P I T U L O    4        :    DISEÑO    DEL EQUIPO

Selección de las resinas catiónica y aniónica .....	31
Diseño de la unidad aniónica .....	38
Diseño de la unidad catiónica .....	43
Diseño del lecho mixto .....	49
Hojas de resultados .....	57
Observaciones importantes en el diseño del sistema ..	60

## C A P I T U L O    5        :    COSTO    DEL SISTEMA

Costo del equipo y agentes químicos del sistema ....	61
Costo de inversión .....	63
Valor del sistema completamente instalado .....	64
Depreciación y amortización .....	68
Costos de operación .....	69

## C A P I T U L O    6        :    CONCLUSIONES

Conclusiones .....	73
Apéndices .....	75
Bibliografía .....	95

# C A P I T U L O I

## INTRODUCCION

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

El desarrollo del presente tema nació de la necesidad de evitar que la empresa Latex-Fil S.A., siguiera realizando un gasto continuo en la compra de agua destilada, materia prima de vital importancia y uso constante en el desarrollo del proceso.

Latex-Fil S.A., es la razón social de una planta productora de hilo látex, las especificaciones finales del producto se fijan de acuerdo a las necesidades particulares de cada cliente .

Dentro de los calibres que se fabrican con mayor frecuencia se encuentran el 34,40,44, clasificación basada en el espesor de cada hilo.

El producto terminado lo absorbe totalmente la industria textil, para la elaboración de resortes, elásticos de pantalones, calcetines, ropa interior y algunas otras prendas de vestir.

Su manufactura está fundamentada en la preparación adecuada del látex natural y una relación porcentual en masa de aceleradores, colorantes, ultraaceleradores, etc., con una base de diseño previamente fijada.

Esta preparación se inicia con dispersiones, sólidos no solubles en agua, pero que a base de agitación en molinos de bolas logran formar una dispersión con especificaciones de pH, viscosidad y sólidos totales dentro de estándares previamente fijados.

Los principales compuestos utilizados para realizar estas dispersiones son:

Azufre: agente vulcanizante  
ZnO: activante para acelerador  
TiO<sub>2</sub>: fondo para colorante  
ZMBT: acelerador

Azul: Colorante  
ZDE: Ultraacelerador  
Win-tey: antioxidante

La segunda etapa del proceso es la fabricación del compuesto. El compuesto es una mezcla de dispersiones, látex y agua, en relaciones porcentuales, tales que permitan obtener los sólidos requeridos para poder continuar con la secuencia del proceso.

El compuesto ya preparado, se deja reposar en tanques calentados con vapor, para una eliminación rápida del aire disuelto y así evitar que el producto salga picado.

Transcurrido este tiempo, se inicia la tercera etapa del proceso, a esta etapa se le conoce como curado del compuesto, el agente activante, se agrega después de haber calentado el compuesto a la temperatura especificada y conservándola para permitir el envejecimiento adecuado y obtener las condiciones para realizar la extrusión.

La cuarta parte del proceso es la extrusión del hilo. El compuesto colocado a la altura requerida para obtener un calibre en particular se pasa por tubos capilares a una tina que contiene ácido acético caliente y 25 % de concentración, esto origina la coagulación del compuesto después se enjuaga con agua tibia y finalmente se pasa por un túnel para secarlo con vapor.

El hilo obtenido del túnel, se vulcaniza en el horno por lotes y finalmente se empaqueta y distribuye a los clientes.

Es importante señalar que toda el agua que se utiliza en el proceso, es agua destilada.

Analizando la participación de este producto en la industria química, es importante mencionar, que aunque sigue siendo demasiado pequeña, es sin embargo un componente importante y dinámico de la economía nacional. Esta conclusión se obtiene al observar la siguiente tabla.

PARTICIPACION RELATIVA DEL CONSUMO DE HULES Y LATEX  
NATURALES Y SINTETICOS

H.N.	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
( Tons	32844.3	33825.5	37809.3	36111	41934	40837.8	47363.2	51730.8
%	29.6	31.3	31.1	31.8	29.4	26.9	28.9	28.8

H.S.	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Tons	78243.8	74241.5	83691.2	77416	1100670	110828	116554	128175
%	70.4	68.7	68.9	68.2	70.6	73.1	71.1	71.2

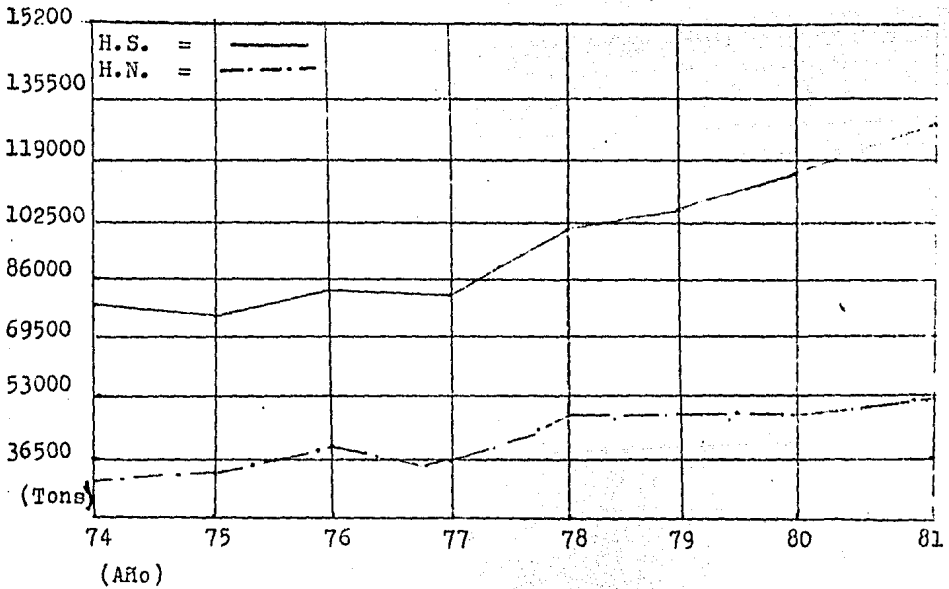
H.N. = Hule natural

Ref: ANIQ

% = Participación

H.S. = Hule sintético

GRAFICA DE LA PARTICIPACION RELATIVA DEL CONSUMO DE HULES  
Y LATEX NATURALES Y SINTETICOS



Fuentes: A.N.I.Q.  
S.P.P. Dirección General de Estadística  
S.H.C.P. Dirección General de Aduanas  
I.M.C.E. Instituto Mexicano de Comercio Exterior

C A P I T U L O 2

BASES DE DISEÑO

## B A S E S   D E   D I S E Ñ O

### 1.- ) GENERALIDADES:

se diseñarán las unidades de desmineralización para obtener agua destilada para cubrir necesidades del proceso.

El suministro del agua para el proceso es:

Departamento	Requerimientos (mensual )	Especificación
Dispersiones	34 508 Kg	Destilada
Compound	17 885 Kg	Destilada
Extruder	6 575 Kg	Destilada

### 2.- ) BASES DE CALCULO

El diseño para este suministro se hará tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

Balance de materia del proceso ( promedio mensual )

Consumo mensual total de agua

Análisis fisicoquímico ( promedio de la cisterna)

Presión de operación

Temperatura de operación

Ciclo de operación

Volumen del ciclo

Calidad del efluente

Análisis de las condiciones de espacio disponible

3.- ) ANALISIS FISICOQUIMICO DEL INFLUENTE

Cationes :

Calcio	110 ppm	CaCO <sub>3</sub>
Magnesio	22 ppm	CaCO <sub>3</sub>
Sodio	164 ppm	CaCO <sub>3</sub>
TOTAL	296 ppm	CaCO <sub>3</sub>

Aniones :

Bicarbonatos	160 ppm	CaCO <sub>3</sub>
Sulfatos	84 ppm	CaCO <sub>3</sub>
Cloruros	52 ppm	CaCO <sub>3</sub>
Nitratos	0.1 ppm	CaCO <sub>3</sub>
TOTAL	296.1 ppm	CaCO <sub>3</sub>

Color	0.0	
Olor	010	
Turbidez	0.0	
pH	7.46	
Solidos Totales	320.00	
Sólidos disueltos	320.00	
Alcalinidad M	160.00 ppm	CaCO <sub>3</sub>
Alcalinidad F	0.0 ppm	CaCO <sub>3</sub>
Hierro	huellas	
Manganeso	0.0	
SiO <sub>2</sub>	8.0 ppm	CaCO <sub>3</sub>

ANALISIS BACTERIOLOGICO

Colonias desarrolladas en 1 mililitro de la muestra en placa de agar glucosa triptona standar a 35 °C durante 24 horas...

.....0

Estimación por litro de organismos del grupo coliforme

.....1.....- 20

Prueba presuntiva..... Negativa

Prueba parcialmente confirmada ..... Negativa

Prueba confirmativa ..... Negativa

Por lo tanto las muestras son propias para la alimentación a la planta.

4.-) ANALISIS DEL EFLUENTE

Resistividad específica	1 x 10 <sup>6</sup>
( 77 °F)	
Conductividad	1.0
(mhos)	
Electrolito	0.20 ppm CaCO <sub>3</sub>

5.-) CONDICIONES DE OPERACION

Temperatura ambiente	70 °F
Presión atmosférica	11.4 lb/in <sup>2</sup>
Volumen del ciclo	15 000 litros
Tiempo de ciclo	6.0 horas

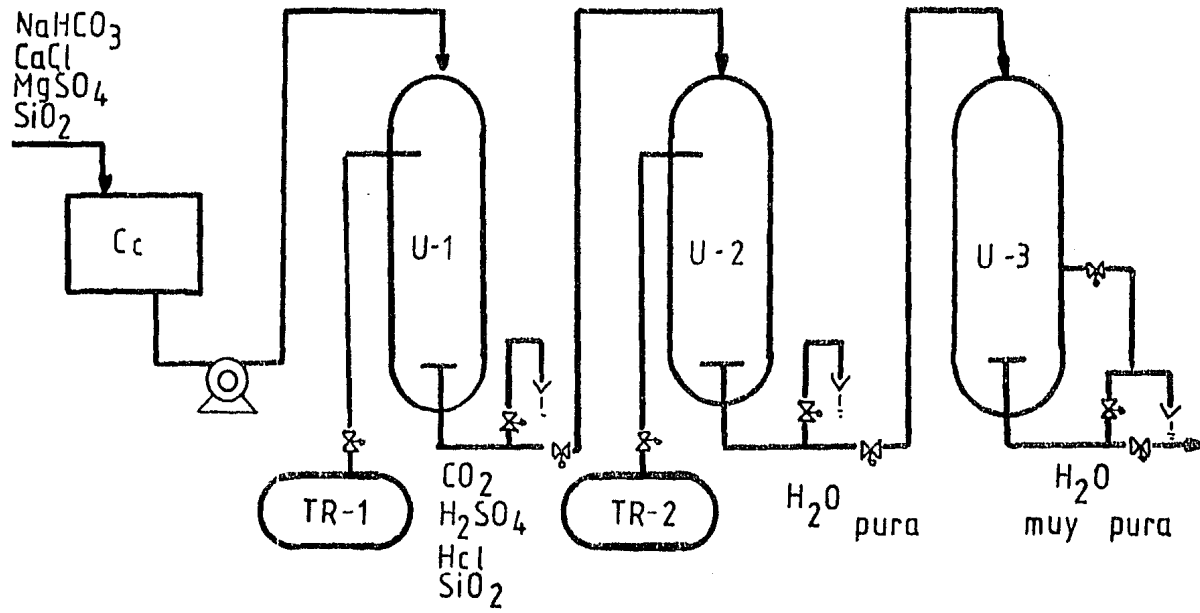
5.- ) Almacenamientos requeridos

Tanques de plástico	3
( Capacidad 5000 l )	
Porrón de plástico para el $H_2SO_4$	2
( Capacidad 70 Kg)	
Tanque de acero inoxidable +	1
(Capacidad 250 litros )	
Tanques de acero inoxidable +	2
( para dilución )	

( + ) Ya se tienen en la empresa

Diámetro 2 ft

Altura 5 ft



SISTEMA DE DESMINERALIZACION DE AGUA  
 CICLO 6 HORAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 FACULTAD DE QUIMICA  
 TESIS  
 DIAGRAMA DE FLUJO

LISTA DE EQUIPO

NOMBRE	CLAVE
Cisterna de la calle	Cc
Unidad catiónica	U-1
Unidad aniónica	U-2
Unidad de Lecho Mixto	U-3
Tanque de Regeneración de U-1	TR-1
Tanque de Regeneración U-2	TR-2

## SELECCION DE UNIDADES DE DESMINERALIZACION

Se describirá el fundamento teórico y los esquemas de base que sirven de partida en el empleo de los cambiadores de iones en el tratamiento de agua a nivel industrial.

Los cambiadores de iones son productos insolubles, que se presentan en forma de granos de 0.30 a 1.50 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 sílico-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.

### PRINCIPALES CAMBIADORES DE IONES

Los cambiadores de iones pueden tener diversos orígenes. Se mencionarán solamente los principales:

1.- Los sílico-aluminatos sintéticos: utilizados unicamente para el endurecimiento en frío de las aguas. Estos productos se utilizan cada vez menos en la actualidad.

2.- Los carbonos sulfonados: preparados a partir de carbonos grasos, residuos de la destilación del petróleo y en general de materias orgánicas leñosas, sulfonadas en caliente.

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

a.) Grupo de resinas fenol-formaldehído sulfonadas: cuyas características en general, son las mismas que las de los carbonos sulfonados, pero con un poder de cambio superior. Estos productos - como consecuencia de su elevado costo, han sido sustituidos 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 débil o medianamente básicos, que son generalmente aminas primarias y que permiten captar los ácidos fuertes, pudiendo regenerarse con carbonato sódico o con sosa.

Cambiadores fuertemente básicos, que son normalmente carbonos cuaternarios, que 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.

Algunas de las firmas que fabrican resinas sintéticas actualmente son:

La Sociedad Diamond Alkali, de E.U.

La Sociedad Diaprosim, de Francia (Doulite y -  
Allasion)

La Sociedad Rohm and Hass, de E. U. y Francia  
( Amberlite)

La Sociedad Montecatini, de Italia ( Kastel )

La Sociedad Bayer, de Alemania ( Lewatite )

La Sociedad Nalco, de E.U. ( Nalcite )

La Sociedad Dow Chemical, de E.U. ( Dowex )

La Sociedad Permutit, de E. U. e Inglaterra

### 2.3 ) Principales Tipos de Intercambio de Iones.

Existen dos grandes grupos de cambiadores de iones, cambiadores de cationes y cambiadores de aniones, y dentro de cada grupo puede utilizarse cualquier catión o anión respectivamente para la regeneración del producto. En la práctica, se limita su empleo generalmente a los cambios siguientes:

a.) Permutación Sódica: Se regenera el cambiador de iones - por una sal sódica de forma que se fijan los iones sodio, los cuales en el tratamiento se sustituyen por los cationes presentes en la solución.

b.) Permutación Ácida: Se regenera el cambiador de iones - por un ácido diluido, fijándose los iones  $H^+$  los cuales se sustituyen en el tratamiento por todos los cationes presentes en la solución.

c.) Permutación  $OH^-$ : Se regenera el cambiador de iones por una solución alcalina, fijándose los iones  $OH^-$  que se sustituyen en el tratamiento por los aniones presentes en la solución.

### 2.3 ) Funcionamiento de los cambiadores de iones.

Si se agita un cambiador de iones, pulverizado y regenerado en una solución salina, se establece un equilibrio, según la ley de acción de masas, entre los iones presentes en la solución a depurar y los iones del cambiador.

En este caso la permutación, sólo tiene lugar entre cierto porcentaje de los iones en presencia, y si se desea obtener una permutación total de los iones del líquido a depurar, es necesario repetir la operación gran número de veces utilizando siempre un cambiador de iones totalmente regenerado. Este método de trabajo no puede utilizarse en la práctica. Industrialmente los cambiadores de iones trabajan por filtración, es decir, que el líquido a purificar pasa a través de un lecho del producto cambiador.

A medida que el líquido penetra en este lecho, avanza su estado de permutación, por consiguiente el estado del cambiador, en el equilibrio con el mismo es cada vez más al del cambiador totalmente regenerado y la fijación del ión a retener progresa hasta ser prácticamente total.

Durante la operación, se agotan sucesivamente las diferentes capas del cambiador y cuando se inicia el intercambio en la capa inferior, aparece en la solución a depurar, una cierta cantidad de los iones que se desean eliminar. En este momento debe efectuarse la regeneración del producto.

## 2.5) 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 cambiador de iones, juega por lo tanto, el papel de intermediario, efectuando el transporte o más exactamente el cam-

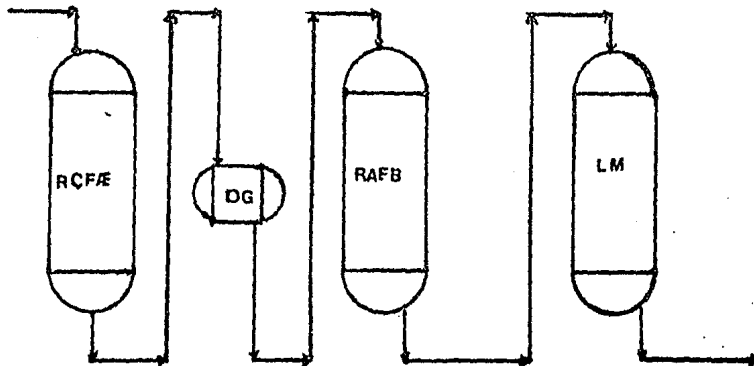
bio de iones entre la solución de regeneración y el líquido a tratar.

El rendimiento total de la operación, no alcanza el 100 % es decir, deberá utilizarse una dosis de regenerante superior a la correspondiente a la cantidad de iones a intercambiar.

La regeneración debe ir precedida de un esponjamiento a contracorriente a un caudal tal que se someta la capa del cambiador a una expansión suficiente. La concentración de la solución regenerante depende de la naturaleza del cambiador y del producto regenerante.

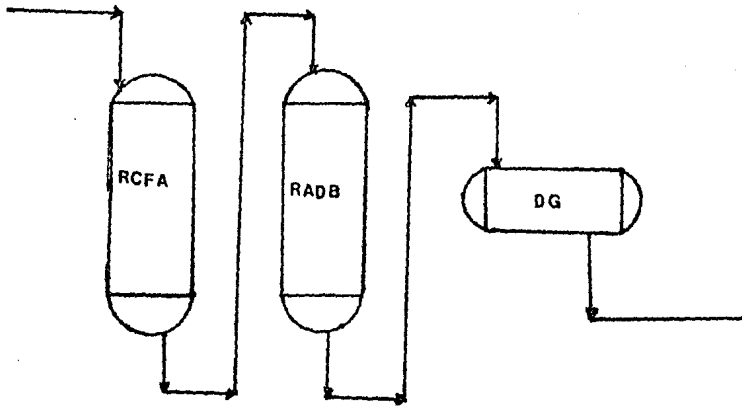
## 2.6 ) Esquemas principales de los cambiadores de iones.

La siguiente exposición da alguna visión general de algunos arreglos comunes empleados en uso comercial:



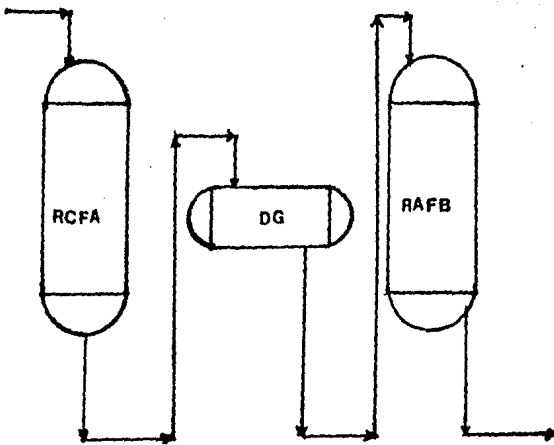
ESQUEMA I

Reduce el electrolito hasta una concentración de 0.04 - 0.4 ppm, reduce la sílice hasta un rango de 0.05 - 0.01. Se protege totalmente al lecho mixto del ensuciamiento orgánico. Debido a la alta eficiencia del arreglo se regenera poco al lecho mixto.



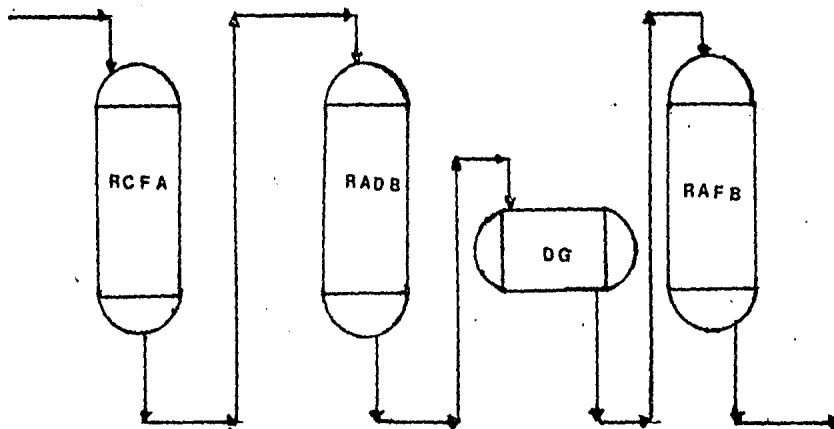
ESQUEMA II

Se recomienda para plantas que requieren la reducción del electrolito hasta 2 - 10 ppm. Sin reducción de sílice. No se aplica para tratar aguas de alimentación a caldera.



ESQUEMA III

Reduce el electrolito hasta el orden de 2 - 3 ppm y la sílice hasta un nivel de 0.02 - 0.1 ppm .

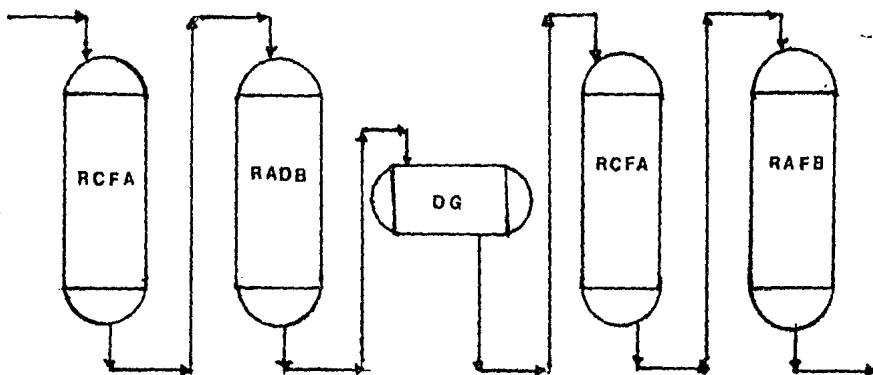


#### ESQUEMA IV

El sistema ahorra regenerante cuando se tratan aguas con alta acidez mineral ( $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$ ). En ocasiones el sistema no requiere del desgasificador.

Cuando se regenera el sistema, el efluente de la resina a niónica fuertemente básica se hace pasar por la aniónica debilmente básica.

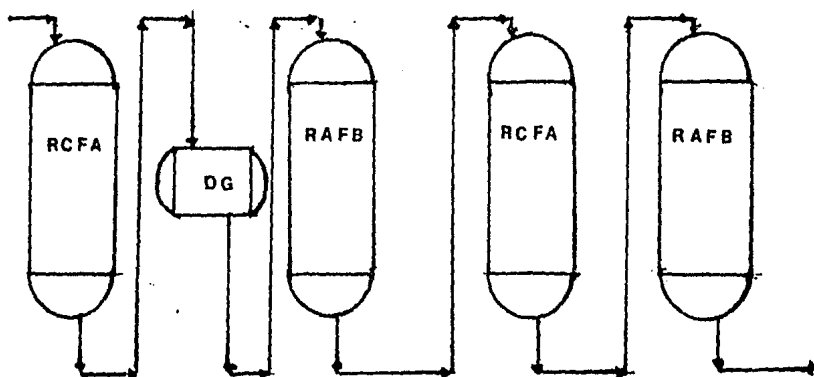
El sistema también disminuye la sílice.



ESQUEMA V:

Este sistema reduce el electrolito hasta concentraciones de 1 ppm y la sílice hasta 0.02 ppm. En este sistema, el desgasificador siempre se localizará antes de la unidad pulidora.

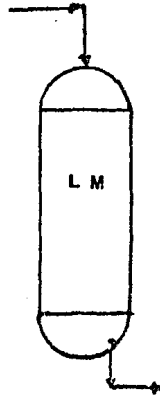
El tener resina primaria y secundaria catiónica, se traduce en un ahorro de regenerante ácido. Este sistema se recomienda para aguas con elevados porcentajes de sodio y bajos porcentajes de alcalinidad.



ESQUEMA VI

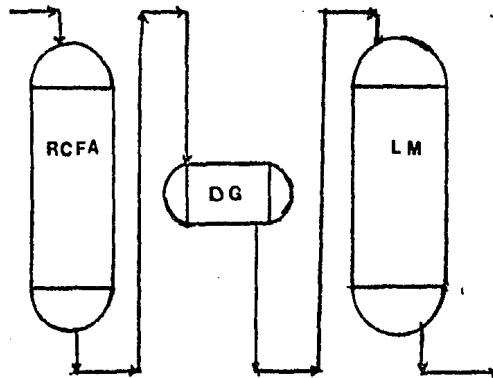
El sistema ahorra tanto ácido como el sistema V, pero en el caso de las resinas aniónicas fuertemente básicas, la sílice se reduce hasta 0.05 ppm.

El sistema evita el ensuciamiento orgánico en las unidades pulidoras.



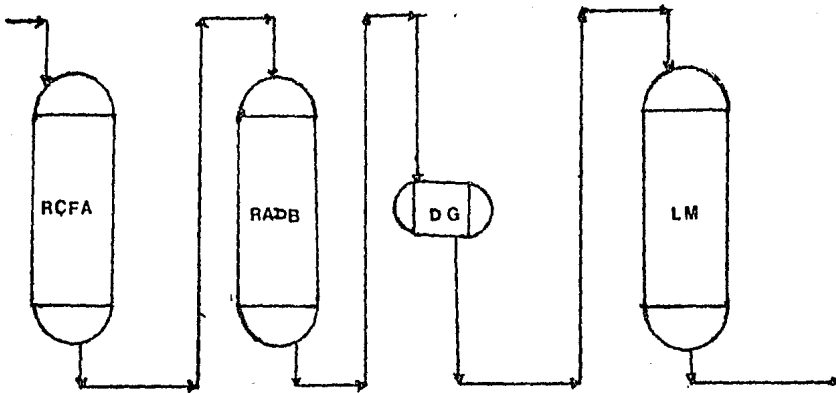
ESQUEMA VII

Se emplea en plantas pequeñas con objeto de ahorrar costos de inversión, sin embargo tiene elevados costos de operación. En este arreglo, la capacidad de las resinas se considera que opera alrededor de un 80 % respecto a las mismas resinas si estuvieran en sistemas individuales.



ESQUEMA VIII

Este sistema reduce la cantidad de ácido y sosa comparado con el sistema siete, en este caso la resina catiónica fuertemente ácida, se dice que actúa como pretratamiento.



ESQUEMA IX

Este sistema reduce el electrolito hasta un rango de 0.04 a 0.1 ppm. Ahorra tanto ácido como ocho. Pero emplea una cantidad mayor de sosa cuando se tratan aguas de alta acidez mineral.

## 2.7 ) Algunas aplicaciones de los cambiadores de iones.

Pueden distinguirse dos grandes aplicaciones:

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 me-

nos completa.

Tratamientos de agua de alimentación a calderas de alta -  
presión.

Obtención de agua de gran pureza para la industria quími-  
ca.

Aplicaciones generales del agua destilada ( cristalería y  
perfumería)

Conservación de la pureza de las aguas de circuitos nucleares  
res.

C A P I T U L O 3

ANALISIS FISICOQUIMICO DEL AGUA A UTILIZAR

## ANALISIS FISICOQUIMICO DEL AGUA

### 3.1) Fundamento

La importancia de este capítulo, radica en el desarrollo de las técnicas y marchas necesarias para poder realizar el análisis cualitativo y cuantitativo del agua y así tener un fundamento - prioritario para el diseño del sistema.

La secuencia seguida en este capítulo, se desarrolló en el laboratorio de la fábrica, los resultados así obtenidos fueron verificados por " Control Químico " S.A. de C.V., laboratorio dedicado exclusivamente al análisis fisicoquímico y bacteriológico de aguas.

Es importante señalar que algunas propiedades aquí reportadas, no fueron realizadas en el laboratorio de Latex-Fil, debido a la carencia del equipo para realizar las pruebas específicas.

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 alcalinotérreos por eso es que la mayoría de las determinaciones son de carácter volumétrico.

### 3.2) Determinación del 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.

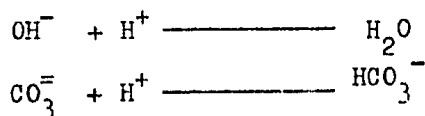
El pH se puede medir electrometricamente mediante el potenciómetro o en forma colorimétrica.

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

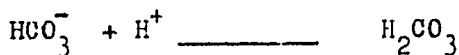
### 3.3) Alcalinidad

La alcalinidad de un agua representa su contenido de hidróxidos, carbonatos, bicarbonatos y ocasionalmente de silicatos, fosfatos y boratos, su determinación se hace mediante la titulación de la muestra con soluciones valoradas de ácido clorhídrico o sulfúrico empleando fenolftaleína (F) y anaranjado de metilo (M) como indicadores cuyas coloraciones viran 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 verificada 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 tabla siguiente:

a)	F = 0	existen $\text{HCO}_3^-$
b)	F = M	existen $\text{CO}_3^{=}$
c)	M = 0	existen $\text{OH}^-$
d)	F = M	existen $\text{OH}^-$ y $\text{CO}_3^{=}$
e)	M = F	existen $\text{CO}_3^{=}$ y $\text{HCO}_3^-$

### 3.4) Determinación de Dureza

El ácido etilendiaminotetracético y sus sales de sodio - (EDTA) forman un quelato complejo soluble con los iones de calcio y magnesio del agua. Si se agrega una pequeña cantidad de un colorante como el eriocromo negro T, a una solución que contenga dichos iones y a un pH de  $10 \pm 0.1$ , la solución vira de color vino a color azul.

Algunos iones metálicos interfieren con este procedimiento dando por resultado la pérdida del vire o cierta imprecisión en la apreciación.

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  $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ : inhibe al Al, Cd, Zn, Co, Cu, Pb, Fe, Mn, Ni y polifosfatos.

Inhibidor de Clorhidrato de Hidroxilamina: inhibe al Al, Cu, Fe, Ni.

### 3.5 ) Determinación de sulfatos

La determinación volumétrica de sulfatos mediante EDTA se basa en la formación de sulfato de bario por adición de cloruro de bario en cantidad conocida y el exceso de esta solución se titu

la con EDTA'

Para el cálculo de la cantidad de sulfatos, se requiere de los datos adicionales de dureza total.

### 3.6) Determinación de Hierro

Para aguas naturales, el método de la O.fenantrolina ha logrado gran aceptación para la determinación de hierro, ya que se puede determinar directamente concentraciones de hierro de 0.02 a 2 mg/l. Las concentraciones más elevadas se pueden determinar usando diluciones.

El hierro de la muestra se disuelve y se reduce al estado ferroso por ebullición con ácido e hidroxilamina, haciéndose reaccionar con 1,10-ortofenantrolina posteriormente, a valores de pH de 3.2 - 3.3. Tres moléculas de fenantrolina forman un quelato con cada átomo de ión ferroso para dar lugar a un compuesto de coordinación rojo-anaranjado estable por lo menos por seis meses.

Entre los iones que interfieren a éste método se encuentran los fosfatos (polifosfatos), el cromo, el zinc, en concentraciones mayores de 10 veces la del hierro, el cobre y el cobalto en exceso de 5 ppm, el níquel en exceso de 2 ppm, el bismuto, la plata, el cadmio, el mercurio y el molibdeno se precipitan con o-fenantrolina.

La ebullición inicial con ácido revierte los polifosfatos a ortofosfatos y elimina nitritos y cianuros. La adición de la hidroxilamina elimina los errores que se pudieran derivar de concentraciones excesivas de sustancias muy oxidantes.

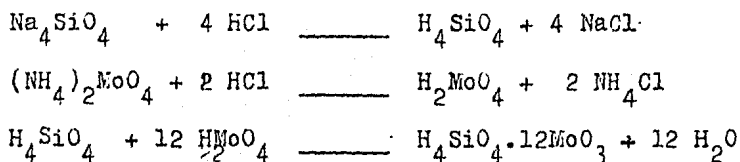
### 3.7) Determinación de Sílice

A pH aproximado de 1.2, el molibdato de amonio reacciona

con la sílice y también con cualquier fosfatos 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 ácido silico-molibdico.

Se produce una coloración amarilla cuya intensidad es proporcional a la cantidad de sílice que reacciona con el molibdato y se compara fotocolorimetricamente con una serie tipo que cubran el ámbito óptimo. Se puede hacer una comparación visual con una serie tipo preparada en tubos Nessler.

Reacciones:



### 3.8) Determinación de Fluoruros

El fundamento del método colorimétrico se basa en la reacción entre el ión fluoruro y la laca zirconio-alizarina, el fluoruro reacciona con la laca del colorante, disociando una porción de ella en un anión complejo incoloro ( $\text{ZrF}_6^{=}$ ) y en el colorante al aumentar la concentración de fluoruro, el color resultante es progresivamente más claro o de diferente tono dependiendo del reactivo que se use.

Si la muestra contiene cloro residual, éste se elimina adicionando una gota de arsenito de sodio por 0.1 mg de cloro. Si existe la presencia de aluminio y polifosfatos, la muestra debe destilarse antes del análisis.

### 3.9) Determinación 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.

Existen varios métodos para la determinación de cloruros como por ejemplo: Mohr, Fajans, Volhard, gravimétrico, turbidimétrico, potenciométrico, etc.

Los dos primeros métodos son muy similares en muchos aspectos y la selección de alguno de ellos en realidad es de preferencia personal.

El método Mohr tiene como fundamento la precipitación cuantitativa del cloruro de plata, formado por el ión cloruro de la muestra y el ión plata del reactivo, en una solución neutra o ligeramente alcalina. Esta precipitación se lleva a cabo antes de la precipitación del cromato de plata ( de color rojo ) que se forma con el cromato del indicador.

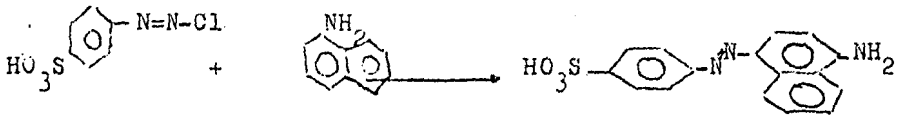
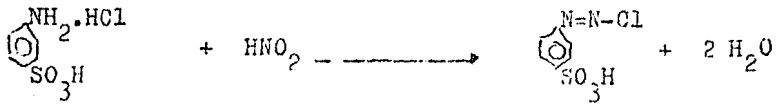
Los iones sulfuro, tiosulfato y sulfito se puede eliminar por tratamiento con peróxido de hidrógeno en una solución neutra mientras que los sulfuros y el tiosulfato se pueden eliminar por el tratamiento con  $H_2O_2$  en una solución alcalina.

### 3.10) Determinación de Nitrógeno de nitritos

La cuantificación de nitritos en aguas, debe efectuarse inmediatamente después de haber obtenido la muestra, para así obtener datos confiables, ya que estos nitritos mediante la acción química o microbiológica se oxidan hasta nitratos. Su determinación colorimétrica se basa en la formación de un compuesto de diazonio ( en medio fuertemente ácido ) de color rojizo.

Reacciones:





### 3.12) Técnicas

#### Determinación de sílice ( $\text{SiO}_2$ )

50 ml de muestra

2.5 ml de heptamolibdato de amonio ( sol. 10% pH=7.0 ajustado con hidróxido de amonio. )

2 ml de ácido clorhídrico relación 1:1

Agitar vigorosamente

Llevar a comparación con tablilla correspondiente

#### Determinación de alcalinidades (F)

100 ml de muestra

2 gotas de fenolftaleína

Titular con ácido

Vire rosa-incoloro

$$\text{ppm CO}_3 = \frac{(1000)(2F)(N)(30)}{\text{alicuota}}$$

Alcalinidad al anaranjado de metilo o total

Después de obtener la F a la misma muestra se le agrega 2 gotas de anaranjado de metilo

Titular con ácido

Vire amarillo-a- naranja

$$\text{ppm HCO}_3^- = (1000)(E-F)(N)(61)$$

#### Determinación de Hierro (Fe)

50 ml de muestra

2 ml de permanganato de potasio 0.05 N

0.5 ml ácido clorhídrico relación 1:1

Calentar a ebullición

Enfriar a temperatura ambiente

Agregar tiocianato de potasio hasta cambio de color de la muestra

Llevar a comparación con tablilla colorimétrica

#### Determinación de Dureza

##### Dureza Total

50 ml de muestra

2 ml de solución buffer

Agregar ENT

Titular con EDTA

Vire guinda a azul

$$\text{ppm CaCO}_3 = \frac{\text{Volumen} \times 1000 \times \text{Conc. de EDTA}}{\text{ml de muestra}}$$

##### Dureza por Calcio

50 ml de muestra

2 gotas de hidroxido de sodio al 40%

agregar murexida

Titular con EDTA

Vire de rosa a violeta

Cálculo con fórmula anterior

##### Dureza por Magnesio

$$\text{Dureza por Mg} = \text{Dureza Total} - \text{Dureza por Ca}$$

Solución buffer para dureza en aguas

67.5 g de cloruro de amonio

750.0 ml de hidróxido de amonio

Aforar a 1 litro

Heptamolibdato de amonio

100 g de reactivo

900 ml de agua destilada ( hervida previamente durante  
10 min ) Diluir completamente

Ajustar a pH de 7.0 con hidróxido de amonio

Acido Etilen diamino tetraacético ( EDTA )

Se pesan exactamente 4 g de EDTA

Se pasan a un matraz volumétrico de 1 litro

Se aforan a 1 litro y se agitan hasta dilución completa

La valoración de este reactivo es como sigue:

Se pone a la estufa de 3 a 5 g de  $\text{CaCO}_3$  durante 12 horas

Posteriormente se pesa exactamente 1 gramo de  $\text{CaCO}_3$

Se diluye con 50 ó 100 gramos de HCl 1:1

Aforándose a 1 litro

Se toman 50 ml de solución de  $\text{CaCO}_3$

2 ml de solución buffer (para dureza en aguas)

2 gotas de ENT

Titular con EDTA

Titulo  $\text{g/ml} = \frac{V(\text{EDTA})}{V(\text{CaCO}_3)}$

$V(\text{CaCO}_3)$

C A P I T U L O 4

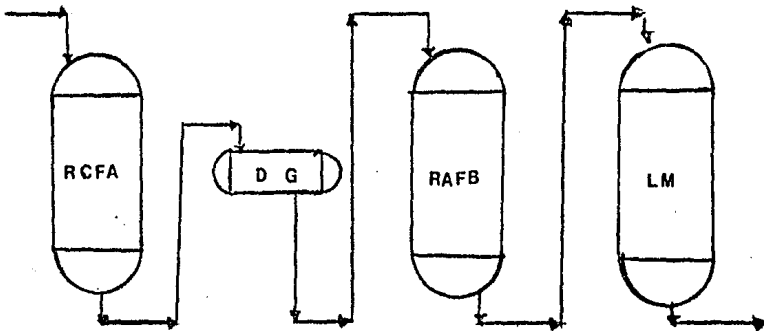
DISEÑO DEL EQUIPO

# D I S E Ñ O   D E L L   E Q U I P O

## a.!) SELECCION DE LAS RESINAS CATIONICA Y ANIONICA

Para poder iniciar el diseño del equipo de desmineralización, es necesario definir que tipo de resinas se utilizarán, así como el arreglo de éstas mismas para obtener las especificaciones fijadas en el efluente final.

Los diferentes arreglos de los intercambiadores de iones se discutieron en el capítulo dos, por lo que de acuerdo a las necesidades del proceso, se eligió el esquema número uno, cuyo arreglo es :



Teniendo ya fijado, el esquema que se utilizará, se procedió a elegir el tipo de resinas necesarias para el sistema, esto se realizó considerando la información técnica más fácilmente disponible.

Dentro de los principales fabricantes de resinas, se tiene a la IONAC y a la Amberlite. Después de comparar ambas alternativas, se concluyó que la mejor información la tenían los fabricantes de la resina Amberlite, razón prioritaria por la que eligió este tipo de resinas.

A continuación se hace un breve bosquejo de los principales tipos de resinas, mencionando sólo las características fundamentales:

RESINAS CATIONICAS

RESINA	DATOS TÉCNICOS	TIPO DE AGUA	CARACTERÍSTICAS
IR-120	Si reporta	Cualquier dureza	Se emplea en des mineralización
IR-122	No reporta	Altamente agresiva	Resiste apreciables cantidades de oxidantes
IR-130	No reporta	Cualquier dureza	Maneja flujos a alta velocidad
IRC-84	No reporta	Cualquier dureza	Resina debilmente ácida. Se usa como pretratamiento
IRC-200	Si reporta	Extremadamente agresiva	Sistemas calientes y/o fuertemente oxidantes

RESINAS ANIONICAS

RESINA	DATOS TECNICOS	TIPO DE AGUA	CARACTERISTICA
IRA-400	No reporta	Cualquiera previamente tratada	Produce aguas de alta pureza y li- bres de sílice
IRA-402	Si reporta	Cualquiera retiene re- siduos orgá- nicos	Produce aguas extremadamente puras
IRA-410	Si reporta	Cualquiera	Baja eficiencia
IRA-458	Si reporta	Alto cont <sup>enid</sup> nido de de- rivados org	Resiste más que las convenciona- les
IRA-900	Si reporta	Cualquie- ra	Se usa principal- mente en lecho mixto
IRA-910	Si reporta	Cualquiera	No se degrada

RESINAS

ANIONICAS

DEBILMENTE

BASICAS

Resinas	Datos técnicos	Característica
IRA - 45	Si reporta	uso farmacéu tico
IRA-47	No reporta	Agua no oxi- dante
IRA-68	No reporta	Uso alimenti cio
IRA-93	Si reporta	Agua con mo- léculas orgán cas largas
IRA-94	No reporta	Cualquiera

Después de la descripción de las diferentes resinas, se realizó la elección adecuada.

Debido a la información técnica, se eliminaron las resinas: IR-122, IR-130, IR-84, IR-400.

Debido a que las resinas aniónicas débilmente básicas no adsorben los iones débiles, se eliminaron las resinas: IRA-45, IRA-47, IRA-68, IRA-93, IRA-94.

Considerando el flujo operado, se eliminaron las resinas: IR-130

El análisis del influente de agua, demuestra que ésta no tiene extrema agresividad, por lo que tampoco se utilizará la resina IR-200.

Cuando se trabaja a nivel industrial, la eficiencia es un factor importante, esta es la razón fundamental para no utilizar la IRA-410.

No hay excesiva presencia de compuestos orgánicos en el análisis del influente, razón por la cual no se utilizará la resina IRA-458, la IR-900 y la IR-910.

Comercialmente las resinas que más se utilizan son la IR-120 y la IRA-402.

Por lo tanto, como se tiene información técnica de estas resinas, cumplen con condiciones de operación requeridas y son de fácil adquisición en el mercado, se eligieron estas resinas.

Las principales condiciones de operación y regeneración se resumen en las siguientes tablas:

CONDICIONES DE OPERACION

CONDICION	IR - 120	IRA - 402
pH	1 - 14	1 - 14
Temperatura máxima	250 °F	140 °F (forma OH )
Profundidad mínima de lecho	24 in	24 in

CONDICIONES DE REGENERACION

CONDICION	IR-120	IRA- 402
Concentración de regenerante	1-5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4% NaOH
Flujo de regenerante	0.5-1.0 (gpm/ft <sup>3</sup> )	0.25-1.0 gpm/ft <sup>3</sup>
Flujo de enjuague	1.5 gpm/ft <sup>3</sup>	1.25 gpm/ft <sup>3</sup>
Flujo de retro lavado	1.5 gpm/ft <sup>2</sup>	2-3 gpm/ft <sup>2</sup>
Flujo de agua de enjuague	25-75 gal/ft <sup>3</sup>	40-90 gal/ft <sup>3</sup>

U N I D A D      A N I O N I C A

De analisis:

bicarbonatos	160 ppm $\text{CaCO}_3$	52.6 %
sulfatos	84 ppm $\text{CaCO}_3$	27.6 %
cloruros	52 ppm $\text{CaCO}_3$	17.1 %
$\text{SiO}_2$	8 ppm $\text{CaCO}_3$	2.7 %

De bases de diseño:

Volumen a tratar	60000 litros = (3960 gal) / ciclo
Flujo:	11 gpm
Ciclo :	6 horas

% Silice fugado = 0.03 %

De Figura 1 :

Nivel de regeneración : 6 lbs NaOH al 100% /  $\text{ft}^3$

De figura 2 ...

Capacidad: 13.9 Kgranos/  $\text{ft}^3$

De figura 3 :

Factor de corrección por  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$  = 0.98

Capacidad Real: ( 13.9 ) ( 0.98 ) = 13.622 Kgranos/ $\text{ft}^3$

(304 ppm) = 17.25 granos/gal

VOLUMEN DE RESINA:

(3960 gal)(17.25 gr/gal)(1/1000 Kgr/gr) = 69.30 Kgr

$$\frac{69.30 \text{ Kgr}}{13.622 \text{ Kgr}/\text{ft}^3} = 5.087 \text{ ft}^3 \text{ resina}$$

De tabla (1) :

Flujo considerado: 6 gpm/ft<sup>2</sup>

Flujo manejado: 11 gpm

$$\frac{11 \text{ gpm}}{6 \text{ gpm/ft}^2} = 1.83 \text{ ft}^2$$

Area = 1.83 ft<sup>2</sup>

$$\text{Diámetro} = \sqrt{\frac{1.83}{0.785}} = 1.528 \text{ ft}$$

Considerar diámetro = 1.5 ft

$$\text{Area} = 1.7666 \text{ ft}^2$$

ALTURA DE LA COLUMNA:

$$H_c = \frac{5.087 \text{ ft}^3}{1.766 \text{ ft}^2} = 2.88 \text{ ft}$$

ALTURA DEL TANQUE:

$$H_t = \begin{array}{l} 2.88 \\ 2.88 \text{ ( 100 \% esp. e internos )} \\ \hline 5.76 \text{ ft} \end{array}$$

CAIDA DE PRESION :

De bases de diseño: T- 70 °F

$$\text{Flujo} = 6 \text{ gpm/ft}^2$$

De figura 4 :

$$\Delta P = 0.60 \text{ psi/ft}$$

$$P = (0.6)(2.88) = 1.73 \text{ PSI}$$

U N I D A D            A N I O N I C A

REGENERACION Y NECESIDADES DE ENJUAGUE

1.- RETROLAVADO:

$$\begin{aligned} \text{Flujo recomendado: } & 2- 3 \text{ gal/ ft}^2 \\ \text{Flujo considerado: } & 3 \text{ gal/ ft}^2 \\ ( 3 \text{ gpm/ft}^2)( 1.766 \text{ ft}^2) & = 5.28 \text{ gpm} \end{aligned}$$

Retrolavado = 2 B.V.

$$( 2 )( 5.087 \text{ ft}^3)( 7,48 \text{ gal/ft}^3) = 76.1015 \text{ gal}$$

TIEMPO DE RETROLAVADO:

$$\begin{aligned} \frac{(76.1015 \text{ gal})}{( 5.28 \text{ gpm } )} & = 14.41 \text{ min} \end{aligned}$$

2.- INYECCION DE SOSA

$$( 6 \text{ lbs/ft}^3 )( 5.087 \text{ ft}^3 ) = 30.52 \text{ lbs}$$

$$\begin{aligned} \text{NaOH al 4\%} & = \frac{30.52 \text{ lbs}}{0.348 \text{ lbs/gal}} = 87.70 \text{ gal} \end{aligned}$$

De tabla ( IV):

$$\text{densidad} = 0.340 \text{ lbs/gal al 4\%}$$

$$\begin{aligned} \text{NaOH al 48\%} & = \frac{30.52 \text{ lbs}}{6.035 \text{ lbs/gal}} = 5.06 \text{ gal} \end{aligned}$$

AGUA PARA DILUCION = 82.64 gal

Flujo considerado de regenerante: 0.5 gpm / ft<sup>3</sup>

$$( 0.5)( 5.087 \text{ ft}^3 ) = 2.543 \text{ gpm}$$

TIEMPO DE INYECCION:

$$\begin{aligned} \frac{( 87.70 \text{ gal } )}{( 2.543 \text{ gpm } )} & = 34.48 \text{ min} \end{aligned}$$

3.- DESPLAZAMIENTO

desplazamiento = 1 B.V.

$$( 5.087 \text{ ft}^3 )( 7.48 \text{ gal /ft}^3 ) = 38.05 \text{ gal}$$

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO:

$$\frac{( 38.05 \text{ gal} )}{( 2.54 \text{ gpm} )} = 14.98 \text{ min}$$

4.- ENJUAGUE

De condiciones de operación : Flujo = 65 gal/ft<sup>3</sup>

$$( 65 \text{ gal/ft}^3 )( 5.087 \text{ ft}^3 ) = 330.66 \text{ gal}$$

De condiciones de operación : Flujo = 1.5 gpm/ft<sup>3</sup>

$$( 5.087 \text{ ft}^3 )( 1.5 \text{ gpm/ft}^3 ) = 7.63 \text{ gpm}$$

Tiempo de enjuague:

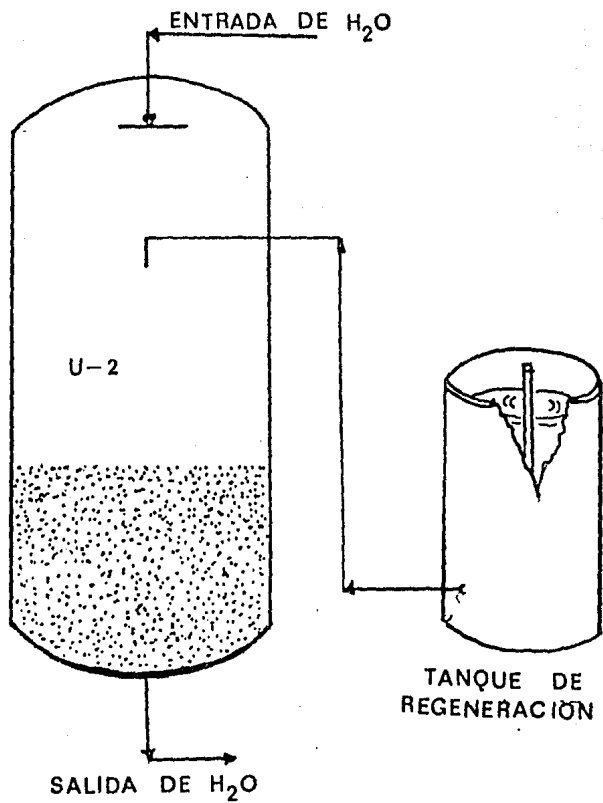
$$\frac{( 330.6 \text{ gal} )}{( 7.63 \text{ gpm} )} = 43.337 \text{ min}$$

5.- RESUMEN

VOLUMEN DE AGUA REQUERIDO: 527.45 gal

TIEMPO REQUERIDO: 107.20 min

UNIDAD ANIONICA



U N I D A D            C A T I O N I C A

De análisis:

Calcio	110 ppm CaCO <sub>3</sub>	37.16 %
Magnesio	22 ppm CaCO <sub>3</sub>	7.43 %
Sodio	164 ppm CaCO <sub>3</sub>	55.41 %
Alcalinidad	160 ppm CaCO <sub>3</sub>	54.05 %

De bases de diseño:

Volumen de agua:	15 000 litros/ciclo
Volumen mensual:	60 000 litros
Flujo:	11 gpm
Ciclo:	6 horas

Fuga: 3.5 ppm CaCO<sub>3</sub>

% Fugado: 1.2

De figura ( 5 ) :

Nivel de regeneración: 7 lbs H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66 °Bé/ft<sup>3</sup>)

De figura ( 6 ) :

Isocapacidad: 15.5 Kgrs/ft<sup>3</sup>

De figura ( 7 ):

Factor de corrección por alcalinidad: 1.1125

Capacidad real de la resina:

$$(15.5 \text{ Kgrs/ft}^3)(1.1125) = 17.24 \text{ Kgrs/ft}^3$$

VOLUMEN DE RESINA:

$$(296 \text{ ppm CaCO}_3) = 17.2556 \text{ granos/gal}$$

$$(3960 \text{ gal} + 528 \text{ gal})(17.25 \text{ gr/gal}) = 77 389.95 \text{ gr/}$$

$$\frac{(77 390 \text{ gr})}{(17243.8 \text{ gr/ft}^3)} = 4.5 \text{ ft}^3$$

$$(17243.8 \text{ gr/ft}^3)$$

De tabla (1) :

Flujo manejado: 11 gpm

Flujo 6 gpm/ft<sup>2</sup>

$$\frac{11 \text{ gpm}}{6 \text{ gpm/ft}^2} = 1.83 \text{ ft}^2$$

$$\text{DIAMETRO: } ( 1.83 \text{ ft}^2 / 0.785 )^{1/2} = 1.528 \text{ ft}$$

Considerando Diámetro = 1.5 ft

$$\text{Area} = 1.766 \text{ ft}^2$$

ALTURA DE LA COLUMNA:

$$H_c = \frac{4.5 \text{ ft}^3 \text{ resina}}{1.766 \text{ ft}^2} = 2.55 \text{ ft}$$

ALTURA DEL TANQUE:

$$H_t = 2.55 \text{ ft}$$

$$0.38 \text{ ft ( 15 \% internos)}$$

$$\frac{1.28}{\text{ft}} \text{ ( 50 \% de expansión de resina)}$$

$$4.21 \text{ ft}$$

CAIDA DE PRESION:

De figura ( 8):

$$\text{Flujo} = 6 \text{ gpm/ft}^2$$

$$\text{Temperatura} = 70 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta P = 0.41 \text{ psi/ft}$$

$$= ( 0.41)(2.55 ) = 1.041 \text{ PSI}$$

U N I D A D      C A T I O N I C A

REGENERACION Y NECESIDADES DE ENJUAGUE

1.- RETROLAVADO:

Flujo recomendado: 2-3 gpm/ft<sup>2</sup>

Flujo considerado: 3 gpm/ft<sup>2</sup>

( 3 gpm/ft<sup>2</sup> )( 1.7671 ) = 5.30 gpm

Retrolavado = 2 B.V.

(2)( 4.5 ft<sup>3</sup> resina)(7.48 gal/ft<sup>3</sup>) = 67.32 gal

TIEMPO DE RETROLAVADO:

(67.32 gal) = 12.70 min

(5.30 gpm)

2.- CONSUMO DE ACIDO:

Como nivel de regeneración = 7 lbs/ft<sup>3</sup>

(4.5 ft<sup>3</sup> resina)(7 lbs H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) = 31.5 lbs H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

De tabla ( V ) ;

Densidad de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 98 % = 15.02 lb/gal

Densidad de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 2 % = 0.1689 lb/gal

Densidad de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4 % = 0.3422 lb/gal

Densidad de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 6 % = 0.5200 lb/gal

Las concentraciones para la regeneración serán:

De 7 lbs de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> :

2 lbs al 2%

2 lbs al 4 %

3 lbs al 6 %

AGUA DE DILUCION:

$$\frac{(9 \text{ lbs } H_2SO_4)}{(0.1689 \text{ lbs/gal})} = 53.29 \text{ gal}$$

$$\frac{(9 \text{ lbs } H_2SO_4)}{(0.3422 \text{ lbs/gal})} = 26.30 \text{ gal}$$

$$\frac{(13.5 \text{ lbs } H_2SO_4)}{(0.520 \text{ lbs/gal})} = 26.00 \text{ gal}$$

$$\frac{(31.5 \text{ lbs } H_2SO_4)}{(15.02 \text{ lbs/gal})} = 2.1 \text{ gal}$$

Agua para dilución: 105.49 gal

$$\begin{aligned} \text{Flujo recomendado de regenerante: } & 0.5 \text{ gpm/ft}^3 \\ (0.5 \text{ gpm/ft}^3)(4.5 \text{ ft}^3 \text{ resina}) & = 2.25 \text{ gpm} \end{aligned}$$

TIEMPO DE INYECCION:

$$\frac{(105.49 \text{ gal})}{(2.25 \text{ gpm})} = 47 \text{ min}$$

3.- DESPLAZAMIENTO:

$$\begin{aligned} \text{Desplazamiento} & = 1 \text{ B.V.} \\ (4.5 \text{ ft}^3 \text{ resina})(7.48 \text{ gal/ft}^3) & = 33.66 \text{ gal} \end{aligned}$$

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO

$$\frac{(33.66 \text{ gal})}{(2.25 \text{ gpm})} = 15 \text{ min}$$

4.- ENJUAGUE:

$$\begin{aligned} \text{Flujo recomendado: } & 1.5 \text{ gpm/ft}^3 \\ \text{Requerimiento recomendado: } & 50 \text{ gal/ft}^3 \\ (1.5 \text{ gpm/ft}^3)(4.5 \text{ ft}^3) & = 6.75 \text{ gpm} \\ (50 \text{ gal/ft}^3)(4.5 \text{ ft}^3) & = 225 \text{ gal} \end{aligned}$$

TIEMPO DE ENJUAGUE:

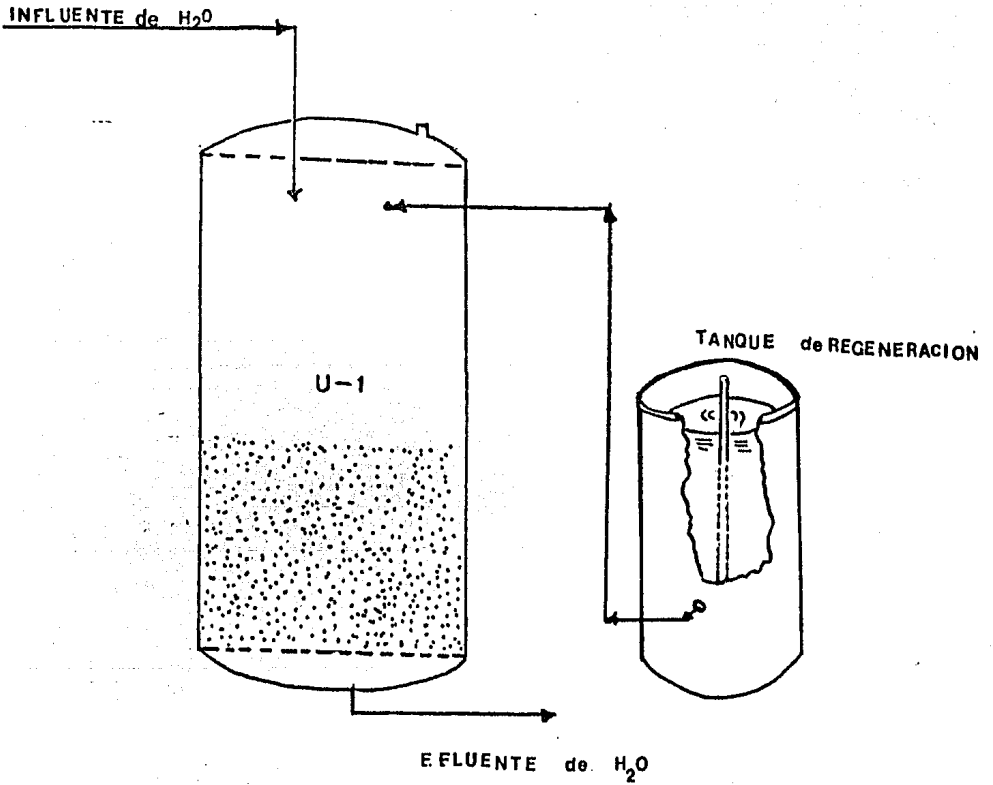
$$\frac{(225 \text{ gal})}{(6.75 \text{ gpm})} = 33.33 \text{ min}$$

5.- RESUMEN

VOLUMEN REQUERIDO: 431.5 gal

TIEMPO: 114.8 min

# UNIDAD CATIONICA



L E C H O M I X T O .

Analisis del influente:

Cationes 3.5 ppm  $\text{CaCO}_3$

Bases de diseño:

Ciclo: 400 horas

Flujo: 11 gpm

SECCION ANIONICA:

(3.5 ppm) = 0.2041 gr/gal

(11gpm)(60 min)(400 horas)(0.2041 gr/gal) = 53 882-gr

VOLUMEN DE RESINA:

$$V_r = \frac{53.88 \text{ Kgr}}{(0.80)(13.62 \text{ Kgr/ft}^3)} = 4,94 \text{ ft}^3 \text{ de resina}$$

De tabla (1):

Flujo considerado : 6 gpm/ft<sup>2</sup>

Flujo manejado: 11 gpm

$$\text{Area} = \frac{11 \text{ gpm}}{6 \text{ gpm/ft}^2} = 1.83 \text{ ft}^2$$

$$\text{Diámetro} = (1.83/0.785) = 1.52 \text{ ft}$$

Considerando el diámetro = 1.5 ft

$$\text{Area} = 1.766 \text{ ft}^2$$

ALTURA DE LA COLUMNA:

$$H_c = \frac{4.94 \text{ ft}^3}{1.766 \text{ ft}^2} = 2.78 \text{ ft}$$

## SECCION

## CATIONICA

$$(11 \text{ gum})(60 \text{ min})(400 \text{ h})(0.2041 \text{ gr/gal}) = 53882 \text{ gr}$$

$$(3.5 \text{ ppm}) = 0.2041 \text{ gr/gal}$$

De cálculo anterior de la unidad catiónica:

$$\text{Capacidad} = 17.24 \text{ Kgr / ft}^3$$

VOLUMEN DE RESINA:

$$V_r = \frac{53.88 \text{ Kgr}}{(0.8)(17.24 \text{ Kgr/ft}^3)} = 3.56 \text{ ft}^3$$

ALTURA DE LA COLUMNA:

Del cálculo anterior:

$$\text{Area} = 1.766 \text{ ft}^2$$

$$H_c = \frac{3.56 \text{ ft}^3}{1.766 \text{ ft}^2} = 2.01 \text{ ft}$$

ALTURA TOTAL

$$H_t = \begin{array}{l} 2.01 \\ 2.78 \end{array}$$

L E C H O M I X T O

REGENERACION Y NECESIDADES DE ENJUAGUE

SECCION ANIONICA:

1.- RETROLAVADO:

$$\begin{aligned} \text{Flujo considerado: } & 3 \text{ gal/ft}^2 \\ (7.48 \text{ gal/ft}^3)(4.94 \text{ ft}^3 \text{ resina})(2) & = 73.90 \text{ gal} \\ (3 \text{ gal/ft}^2)(1.766 \text{ ft}^2) & = 5.28 \text{ gpm} \end{aligned}$$

TIEMPO DE RETROLAVADO:

$$\frac{(73.90 \text{ gal})}{(5.28 \text{ gpm})} = 14 \text{ min}$$

2.- INYECCION DE SOSA

De cálculo de la unidad aniónica:

Nivel de regeneración: 6 lbs de NaOH al 100%

De tabla (IV) :

densidad al 4 % de NaOH = 0.348 lbs/gal

densidad al 48% de NaOH = 6.035 lbs/gal

$$(6 \text{ lbs de NaOH/ft}^3)(4.94 \text{ ft}^3 \text{ resina}) = 29.64 \text{ lbs}$$

$$\text{NaOH al 4\%} = \frac{29.64 \text{ lbs NaOH}}{0.348 \text{ lbs/gal}} = 85.17 \text{ gal}$$

$$\text{NaOH al 48\%} = \frac{29.64 \text{ Lbs NaOH}}{6.035 \text{ lbs/gal}} = 4.985 \text{ gal}$$

AGUA PARA DILUCION: 6.035 lbs/gal

$$80.32 \text{ gal}$$

Flujo considerado de regenerante:  $0.5 \text{ gpm/ft}^3$

$$(0.5 \text{ gpm/ft}^3)(4.94 \text{ ft}^3) = 2.47 \text{ gpm}$$

TIEMPO DE INYECCION:

$$\left( \frac{85.17 \text{ gal}}{2.47 \text{ gpm}} \right) = 34.48 \text{ min}$$

3.- DESPLAZAMIENTO:

Desplazamiento= 1 B.V.

$$(4.94 \text{ ft}^3)(7.48 \text{ gal/ft}^3) = 36.95 \text{ gal}$$

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO:

$$\left( \frac{36.95 \text{ gal}}{2.47 \text{ gpm}} \right) = 15 \text{ min}$$

4.- ENJUAGUE

De condiciones de operación: Flujo =  $1.5 \text{ gpm/ft}^3$

Requerimiento =  $65 \text{ gal/ft}^3$

$$(1.5 \text{ gpm/ft}^3)(4.94 \text{ ft}^3) = 7.41 \text{ gpm}$$

$$(65 \text{ gal/ft}^3)(4.94 \text{ ft}^3) = 321.1 \text{ gal}$$

TIEMPO DE ENJUAGUE:

$$\left( \frac{321.1 \text{ gal}}{7.41 \text{ gpm}} \right) = 43.4 \text{ min}$$

5.- RESUMEN de SECCION ANIONICA

VOLUMEN DE AGUA REQUERIDO : 515.27 gal

TIEMPO REQUERIDO: 107 min

REGENERACION Y NECESIDADES DE ENJUAGUE

SECCION CATIONICA

1.- RETROLAVADO

Flujo considerado: 3 gpm/ft<sup>2</sup>

Flujo recomendado: 2-3 gpm/ft<sup>2</sup>

$$(3 \text{ gpm/ft}^2)(1.766 \text{ ft}^2) = 5.28 \text{ gpm}$$

Retrolavado = 2 B.V.

$$(2)(3.56 \text{ ft}^3 \text{ resina})(7.48 \text{ gal/ft}^3) = 53.26 \text{ gal}$$

TIEMPO DE RETROLAVADO:

$$\frac{(53.260) \text{ gal}}{(5.28) \text{ gpm}} = 10.1 \text{ min}$$

2.- CONSUMO DE ACIDO:

Del cálculo de la unidad catiónica:

Nivel de regeneración: 7 lbs/ft<sup>3</sup>

$$(3.56 \text{ ft}^3 \text{ resina})(7 \text{ lbs de H}_2\text{SO}_4) = 25 \text{ lbs de H}_2\text{SO}_4$$

De tabla ( V ) :

Concentración H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%)	Densidad (lbs/gal)
2	0.1689
4	0.3422
6	0.5200
98	15.0200

La relación de la concentración del regenerante es:

7.12 lbs	al	2 %
7.12 lbs	al	4 %
10.76 lbs	al	6 %

AGUA DE DILUCION:

$$\frac{7.12 \text{ lbs}}{0.1689 \text{ lbs/gal}} = 42.14 \text{ gal}$$

$$\frac{7.12 \text{ lbs de H}_2\text{SO}_4}{0.3422 \text{ lbs/gal}} = 20.81 \text{ gal}$$

$$\frac{10.76 \text{ lbs de H}_2\text{SO}_4}{(0.522 \text{ lbs/gal})} = 20.7 \text{ gal}$$

Agua para dilución : 81.8 gal

Flujo considerado de regenerante: 0.5 gpm/ft<sup>3</sup>

$$(0.5 \text{ gpm/ft}^3)(3.56 \text{ ft}^3 \text{ resina}) = 1.78 \text{ gpm}$$

TIEMPO DE INYECCION:

$$\frac{(83.67 \text{ gal})}{(1.78 \text{ gpm})} = 47 \text{ min}$$

### 3.- DESPLAZAMIENTO

Desplazamiento = 1 B.V.

$$(3.56 \text{ ft}^3 \text{ resina})(7.46 \text{ gal/ft}^3) = 26.63 \text{ gal}$$

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO

$$\frac{(26.63 \text{ gal})}{(1.78 \text{ gpm})} = 15 \text{ min}$$

### 4.- ENJUAGUE

De condiciones de operación:

Flujo : 1.5 gpm/ft<sup>3</sup>

Requerimiento: 50.0 gal/ft<sup>3</sup>

$$(1.5 \text{ gpm/ft}^3)(3.56 \text{ ft}^3) = 5.34 \text{ gpm}$$

$$(50 \text{ gal/ft}^3)(3.56 \text{ ft}^3) = 178.0 \text{ gal}$$

TIEMPO DE ENJUAGUE:

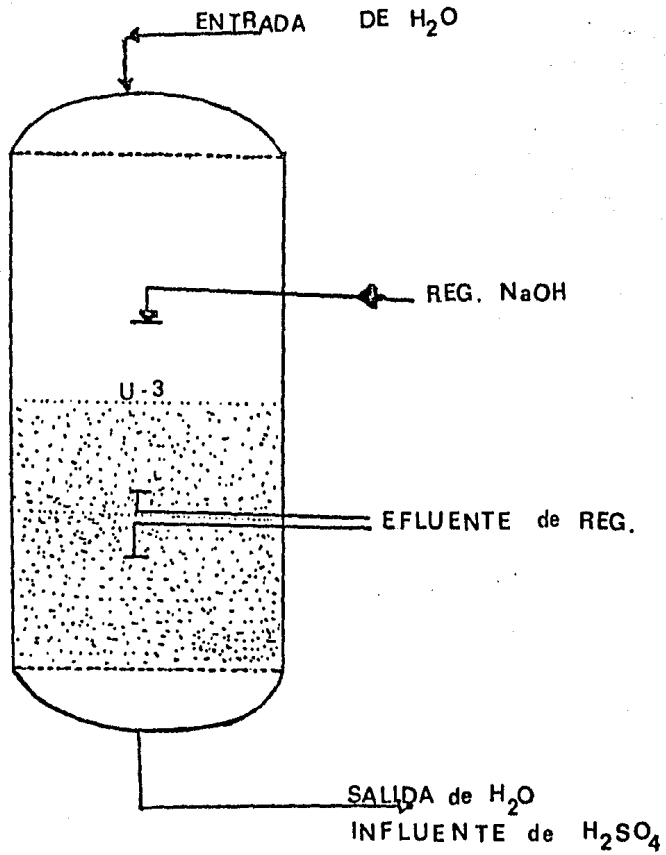
$$\frac{(178 \text{ gal})}{(5.34 \text{ gpm})} = 33.33 \text{ min}$$

5.- RESUMEN DE SECCION CATIONICA

VOLUMEN DE AGUA REQUERIDO = 338.5 gal

TIEMPO REQUERIDO = 106.43 min

LECHO MIXTO



# H O J A   D E   R E S U L T A D O S

## TANQUES   DESMINERALIZADORES

**Características:**

Material fibra de vidrio, tendrá tapas bridadas, bridas en -  
ambas tapas para conexión con tuberías.

Para internos se consideró el 15 % de altura de cama de re-  
sina.

TANQUE	DIAMETRO (ft)	ALTURA (ft)
Catiónica	1.5	3.6
Aniónica	1.5	5.8
Lecho Mixto	1.5	7.0

H O J A            D E            R E S U L T A D O S .

Temperatura de operación:    70 °F  
 Presión de operación:        11.4 lb/in<sup>2</sup>  
 Volumen de agua a tratar:    15 000 l/ciclo  
 Ciclo de operación:         6 horas  
 NaOH:                         48 %  
 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:                        98 %

UNIDAD	CATIONICA	ANIONICA	LECHO MIXTO	
			CATIONICA	ANIONICA
Resina	IR-120	IRA-402	IR-120	IRA-402
Volumen (ft <sup>3</sup> )	4.50	5.08	3.56	4.94
Nivel de Regene- ración	7	6	7	6
Regeneración (gal)				
NaOH	-	5.06	-	4.98
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.1	-	1.67	-
Tiempo (min)				
Retrolavado y en- juague	114.8	107.2	106.4	107
Requerimiento de agua (gal)	431.5	527.5	338.5	515.3

## TANQUES DE ALMACENAMIENTO

### Características:

Tanques de polietileno de alta densidad, con una entrada hombre y tapadera.

Tendrá una conexión bridadada para salida y otra para entrada de agua.

La capacidad de cada tanque es de 5000 litros.

El agua se bombeará desde el depósito principal a los otros depósitos ubicados en lugares estratégicos para el proceso.

TANQUE	DIAMETRO (ft)	ALTURA (ft)
Almacenamiento	6.6	5

h.) OBSERVACIONES IMPORTANTES EN EL DISEÑO DEL SISTEMA

Debido al flujo manejado, 6 gpm/ft<sup>2</sup>, no es necesario el diseño y la instalación de un descarbonatador.

Según referencias en la literatura y referencias de -  
proveedores de Química - Trepic, el cálculo del descarbonatador se  
hace a partir de flujos de 20 - 30 gpm/ft<sup>2</sup> (1) y 100 ppm de alcali-  
nidad

C A P I T U L O 5

C O S T O D E L S I S T E M A

C O S T O     D E L     E Q U I P O     Y  
A G E N T E S     Q U I M I C O S     D E L     S I S T E M A

Es de gran importancia realizar un análisis económico antes de decidir la instalación de cualquier equipo, porque así se percibirá el grado de financiamiento requerido.

Para el caso del sistema de desmineralización en particular, sólo se evaluará directamente el costo de las resinas, los tanques desmineralizadores y los agentes químicos, el resto será cálculo aproximado. El resultado de este análisis económico, permitirá realizar una comparación entre el costo del agua entregado por el proveedor y el costo del agua con el sistema de desmineralización instalado en la fábrica.

Con esta comparación se podrá definir fácilmente cual de las dos alternativas es la económicamente más aceptable, permitiendo así un beneficio económico a la fábrica.

COSTO DE EQUIPO Y AGENTES QUIMICOS

Resina catiónica	15 575 .00 \$/ft <sup>3</sup>
Resina aniónica	73 980 .00 \$/ft <sup>3</sup>

Tanques de fibra de vidrio:

Unidad catiónica	55 489 .00 \$
Unidad aniónica	51 034 .00 \$
Lecho mixto	71 897 .00 \$

Tanques de polietileno de alta densidad:

Capacidad 5 000 litros	74 750 . 00 \$
------------------------	----------------

AGENTES QUIMICOS

NaOH al 48%	37 .00 \$/Kg
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 98%	18 .00 \$/Kg
H <sub>2</sub> O fresca	24 .00 \$/ m <sup>3</sup>

Sueldo mínimo	816 .00 \$
---------------	------------



## VALOR DEL SISTEMA COMPLETAMENTE INSTALADO:

Es necesario hacer la evaluación completa del sistema hasta su instalación, porque así se tendrá un valor más real de la inversión, además este cálculo permitirá obtener el valor que servirá para calcular la depreciación y la amortización de todo el equipo.

Para obtener el costo de la inversión total se siguió la recomendación del libro " Plant design and Economics for Chemical Eng., de Max Peters y Klaus Timmerhaus, pag 164, que clasifica la inversión total en porcentajes de la siguiente manera;

### COSTOS DIRECTOS:

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

### COSTOS INDIRECTOS:

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

Los porcentajes se escogieron de manera que quedaran dentro de los límites especificados por el autor. Sin embargo algunos de los porcentajes se les dió el valor máximo debido al carácter tan importante que presentan.

La clasificación elegida es:

**COSTOS DIRECTOS DEL SISTEMA:**

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

**COSTOS INDIRECTOS DEL SISTEMA:**

Supervisión	15 %
Imprevistos	6 %
Gastos de construcción	4 %

LA INVERSION TOTAL ES :

COSTOS	DIRECTOS	
Adquisición del equipo		1 358 585 . 25
Instalación del equipo		339 646 . 32
Instrumentación y control		169 823 . 16
Instalación de Tubería		407 575 . 58
Instalación eléctrica		271 717 . 06

COSTOS	INDIRECTOS	
Supervisión		509 467 . 48
Gastos de construcción		135 858 . 52
Imprevistos		203 787 . 79

COSTO TOTAL \$ 3 396 463 . 20

COSTOS DE INSTALACION

CONCEPTO	COSTO (S)
Adquisición de equipo	1 358 585.25
Instalación de equipo	339 646.32
Instrumentación	169 823.16
Instalación de tubería	407 575.58
Instalación eléctrica	271 717.06
Construcción	135 858.52
Supervisión	509 467.48
Imprevistos	203 787.79

DEPRECIACION Y AMORTIZACION

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

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

d = depreciación anual (c/año)  
 V = valor original completamente instalado  
 V<sub>s</sub> = valor final  
 n = años de servicio

Si: n = 10 años  
 V<sub>s</sub> = 0.0

$$d = \frac{(3\ 396\ 463.20)}{10} = 339\ 646.32 \text{ \$/año}$$

AMORTIZACION =  $S = \frac{d(1+i)^n - 1}{i}$  i = interés

Si n = 10  
 i = 42.01 % anual  
 d = 339 646.32 \\$/año

$$S = \frac{(339\ 646.32)(1 + 0.42)^{10} - 1}{0.42}$$

S = \$ 26 147 666 . 00

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

POR CADA CICLO SE INVERTIRA:

NaOH al 48 %	14.0 Kg	\$ 518.00
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 98 %	14.3 Kg	\$ 257.42
Agua Fresca	62.0 m <sup>3</sup>	\$ 148.80
Mano de obra	10.0 hrs.	\$ 1077.00

PARA EL LECHO MIXTO:

La regeneración de esta unidad se hará anualmente:

NaOH al 48 %	13.5 Kg	\$ 499.50
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 98 %	11.35 Kg	\$ 204.30
Mano de obra	4.0 hrs.	\$ 370.00

TOTAL:	Unidad catiónica y an. 2001.22	
	Lecho mixto	\$ 89.37

Analizando comparativamente el gasto en la compra de agua y el gasto de inversión y operación del equipo se tiene:

PROVEEDOR:

Costo de agua destilada:  
( Proveedor) 12.50 \$/ litro

Costo mensual de agua destilada:  
( 60 000 litros) \$ 750,000

SISTEMA DE DESMINERALIZACION INSTALADO:

Costo de inversión Total \$ 3 396 463.20

Costos de operación:  
( Mensual ) \$ 2 090.59

Depreciación del sistema  
(mensual ) \$ 28 304.00

Total \$ 30 394.59

Costo de e agua destilada 0.51 \$/litro

Como puede apreciarse, es realmente notorio el gran beneficio que traerá el instalar el sistema de desmineralización, porque la comparación entre precios por ambas alternativas es bastante significativa. Esto es:

Origen	Precio \$/litro
Proveedor	12.50
Sistema instalado	0.51

Cabe señalar que los costos de operación y mantenimiento serán demasiado pequeños comparados con el gasto que se estaba realizando.

**FUENTE DE INFORMACION:**

**Proveedor: Laboratorio Theissier S.A.**

**Agosto - 1984**

COSTOS DE OPERACION

AGENTE QUIMICO	CANTIDAD MENSUAL	COSTOS ( \$ )
NaOH 48%	15.12 Kg	560.00
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 98%	15.25 Kg	275.00
H <sub>2</sub> O	62.00 m <sup>3</sup>	149.00
Mano de obra	14.00 hrs.	1447.00
TOTAL	-	2431.00

FUENTES DE INFORMACION:

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaOH : Transformadora Química Mexicana S.A.  
Julio - 1984

H<sub>2</sub>O: Dpto. de Aguas y Saneamiento  
Julio - 1984

Sueldo mínimo: Secretaría de Programación y Presupuesto  
Julio - 1984

C A P I T U L O      6

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

## 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 y compararlo con el costo total que se está pagando actualmente por el consumo de agua destilada, se puede fácilmente observar, el beneficio económico que brindará este sistema a la empresa.

Se puede asegurar que el sistema operará en condiciones adecuadas durante 10 años, ya que sólo trabajará una vez por semana, además que su ciclo de operación será de 6 horas.

El diseño del sistema cumplirá con las especificaciones de control de calidad fijadas inicialmente, además dará un margen de seguridad para controlar la calidad del efluente final debido a que el lecho mixto optimizará el intervalo de operación, sin ningún riesgo de posible contaminación por electrolito.

Es importante señalar que las dimensiones del sistema quedaron dentro de las especificaciones de tamaño a nivel industrial, esto puede verificarse en la tabla III del apéndice de este trabajo. Esto es importante, porque se evita utilizar equipo más sofisticado o detallado en caso de utilizarse un sistema con dimensiones a nivel laboratorio.

Cabe mencionar algunas ventajas de menor importancia, que se obtendrán con la instalación del sistema, por ejemplo, se verá eliminado el peligro de manejar garrafrones de vidrio, con el riesgo de lastimar a alguien cuando por alguna equivocación éstos se lle-

guen a romper.

También se ahorrará tiempo, porque ya no será necesario des-  
tatar garrafones y transportarlos hasta la báscula para pesar la -  
cantidad de agua requerida para cualquier necesidad.

Tampoco se invertirá tiempo en la supervisión de carga y  
descarga de garrafones a la fábrica, esto se hacía con el objeto de  
evitar que los garrafones llegaran despostillados o cuarteados, ó -  
al entregarlos al proveedor se equivocaran en el conteo de los mis-  
mos.

Estos ahorros de tiempo indudablemente eliminarán la mano de  
obra y la supervisión, trayendo como consecuencia poder utilizar a  
éstos obreros en otras actividades de mayor importancia.

Otra ventaja de la instalación del sistema de desmineraliza-  
ción, es el espacio disponible que se tendrá al eliminar los sopor-  
tes de los garrafones, teniendo así una mayor área para circular ó  
cuando menos para estética de la empresa.

A P E N D I C E

FIUJO TOTAL A TRAVES DE FILTROS Y SUAVIZADORES  
CILINDRICOS VERTICALES

TABLA I

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

(76)

Ref: Tesis 1982  
(ver bibliografía)  
Olivares de Iachica Lidia

TABLA II

CARTA DE SELECCION DE UNIDADES DE DESMINERALIZACION

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

NOTAS:

C = catiónica

A = aniónica

DG = desgasificador

LM = lecho mixto

BD = base débil

BF = base fuerte

AML = acidez mineral libre (SO<sub>4</sub> + Cl + NO<sub>3</sub>)

(1) planta de multi-lechos

(2) lecho mixto para efluente micromho.

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

Ref: Tesis ( 1982 ) ( ver Bibliografía )  
Olivares Iachica Lidis

(LL)

DATOS DE DISEÑO PARA INTERCAMBIADORES IONICOS EN LECHO FIJO

TIPO DE RESINA	FLUJO MAXIMO $\frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2}$		ALTURA DE LECHO min ( in)	TEMPERATURA MAX OP (°F)	CAPACIDAD Kg/ft CaCO <sub>3</sub>	REGENERANTE
	MAX	MIN				
Catiónica debilmente ácida	8	1-2	24-30	250	11-60	HCl o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (110%)
Catiónica fuertemente ácida.	7-12	1-2	24-30	250	18-32 11-20 15-30	5-5 lb NaCl 2-12 lb H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 66 °Bé 5-30 lbHCl 20 °Bé
Aniónica débil o intermedia	4-7	1-2	30-36	100	18-24	2-4 lb NaOH
Aniónica fuertemente básica	5-7	1-2	30-36	100-120	8-16	4-8 lb NaOH
Catiónica mixta y aniónica fuerte- mente básica.	8-12		36-48	100	5-8	Los mismos que ca- tiónicos y anió- nicos individuales.

TABLA: III

Ref: Tesis 1982 (ver Bibliografía)  
Olivares de L. Lidia

(78)

TABLA IV

## HIDROXIDO DE SODIO (SOL)

Peso espeífico	Baumé	Por Ciento NaOH	Normalidad	Gramos por Litro	Lbs. por FT. CU	Lbs. por Galón
1.0095	1.4	1	0.2521	10.10	0.6302	0.0842
1.0207	2.9	2	0.5101	20.41	1.274	0.1704
1.0318	4.5	3	0.7814	30.95	1.932	0.2583
1.0428	6.0	4	1.042	41.71	2.604	0.3481
1.0538	7.4	5	1.317	52.69	3.289	0.4397
1.0648	8.8	6	1.597	63.89	3.988	0.5332
1.0758	10.2	7	1.902	75.31	4.701	0.6284
1.0869	11.6	8	2.175	86.95	5.428	0.7256
1.0979	12.9	9	2.470	98.81	6.168	0.8246
1.1089	14.2	10	3.772	110.9	6.923	0.9254
1.1309	16.8	12	3.392	135.7	8.472	1.133
1.1530	19.2	14	4.034	161.4	10.08	1.347
1.1751	21.6	16	4.699	188.0	11.74	1.569
1.1972	23.9	18	5.387	215.5	13.45	1.798
1.2191	26.1	20	6.094	243.8	15.22	2.035
1.2411	28.2	22	6.824	273.0	17.05	2.279
1.2629	30.2	24	7.577	303.1	18.92	2.529
1.2848	32.1	26	8.349	334.0	20.85	2.788
1.3064	34.0	28	9.145	365.8	22.84	3.053
1.3279	35.8	30	9.96	398.4	24.87	3.324
1.3490	37.5	32	10.79	431.7	26.95	3.602
1.3696	39.1	34	11.64	465.7	29.07	3.886
1.3900	40.7	36	12.51	500.4	31.24	4.176
1.4101	42.2	38	13.39	535.8	33.45	4.472
1.4300	43.6	40	14.30	572.0	35.71	4.773
1.4494	45.0	42	15.22	608.7	38.00	5.080
1.4685	46.3	44	16.15	646.1	40.34	5.392
1.4873	47.5	46	17.10	684.2	42.71	5.709
1.5065	48.8	48	18.08	723.1	45.14	6.035
1.5253	49.9	50	19.07	762.7	47.61	6.364

Ref: Eng. manual for the Amberlite ion  
exchange resins  
Rohm and Haas Co.

TABLA V

ACIDO SULFURICO (SOLUCION)

peso especifico	Baume	Por Ciento H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Normalidad	Gramo por Litro	Los. por Ft <sup>3</sup>	Lbs. por Galon
1.0051	0.7	1	0.2051	10.05	0.6275	0.0839
1.0118	1.7	2	0.4127	20.24	1.263	0.1689
1.0184	2.6	3	.6234	30.55	1.907	0.2550
1.0250	3.5	4	.8360	41.00	2.560	0.3422
1.0317	4.5	5	1.053	51.59	3.220	0.4305
1.0385	5.4	6	1.271	62.31	3.890	0.5200
1.0453	6.3	7	1.493	73.17	4.568	0.6106
1.0522	7.2	8	1.717	84.18	5.255	0.7025
1.0591	8.1	9	1.945	95.32	5.950	0.7955
1.0661	9.0	10	2.174	106.6	6.655	0.8897
1.0731	9.9	11	2.408	118.0	7.369	0.9851
1.0802	10.8	12	2.643	129.6	8.092	1.082
1.0874	11.7	13	2.885	141.4	8.825	1.180
1.0947	12.5	14	3.126	153.3	9.567	1.279
1.1020	13.4	15	3.373	165.3	10.32	1.379
1.1094	14.3	16	3.619	177.5	11.08	1.481
1.1168	15.2	17	3.884	189.9	11.85	1.584
1.1243	16.0	18	4.127	202.4	12.63	1.689
1.1318	16.9	19	4.387	215.0	13.42	1.795
1.1394	17.7	20	4.647	227.9	14.23	1.902
1.1471	18.6	21	4.916	240.9	15.04	2.010
1.1548	19.4	22	5.181	254.1	15.86	2.120
1.1626	20.3	23	5.457	267.4	16.69	2.231
1.1704	21.1	24	5.728	280.9	17.54	2.344
1.1783	21.9	25	6.012	294.6	18.39	2.458
1.1862	22.8	26	6.289	308.4	19.25	2.574
1.1942	23.6	27	6.579	322.4	20.13	2.691
1.2023	24.4	28	6.864	336.6	21.02	2.809
1.2104	25.2	29	7.163	351.0	21.91	2.929
1.2185	26.0	30	7.455	365.6	22.82	3.051
1.2267	26.8	31	7.761	380.3	23.74	3.173
1.2349	27.6	32	8.059	395.2	24.67	3.298
1.2432	28.4	33	8.313	410.3	25.61	3.424
1.2515	29.1	34	8.676	425.5	26.56	3.551
1.2599	29.9	35	9.00	441.0	27.53	3.680
1.2684	30.7	36	9.311	456.6	28.51	3.811
1.2769	31.4	37	9.643	472.5	29.49	3.943
1.2855	32.2	38	9.961	488.5	30.49	4.077
1.2941	33.0	39	10.30	504.7	31.51	4.212
1.3028	33.7	40	10.63	521.1	32.53	4.349
1.3116	34.5	41	10.98	537.8	33.57	4.488
1.3205	35.2	42	11.31	554.6	34.62	4.628
1.3294	35.9	43	11.66	571.6	35.69	4.770
1.3384	36.7	44	12.01	588.9	36.76	4.914
1.3476	37.4	45	12.38	606.4	37.86	5.061
1.3569	38.1	46	12.73	624.2	38.97	5.209
1.3663	38.9	47	13.11	642.2	40.09	5.359
1.3758	39.6	48	13.47	660.4	41.23	5.511
1.3854	40.3	49	13.85	678.6	42.38	5.665
1.3951	41.1	50	14.22	697.6	43.55	5.821

Ref: Eng. manual for the Amberlite ion exchange resins  
Rohm and Haas Co.

TABLA V

ACIDO SULFURICO SOLUCION (CONT.)

Peso especifico	Baumé	Por Ciento H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Normalidad	Gramo por Litro	Lbs. por Ft cu	Lbs. por Gal on
1.4049	41.8	51	14.62	716.5	44.73	5.979
1.4148	42.5	52	15.00	735.7	45.93	6.140
1.4248	43.2	53	15.41	755.1	47.14	6.302
1.4350	44.0	54	15.80	774.9	48.37	6.467
1.4453	44.7	55	16.22	794.9	49.62	6.634
1.4557	45.4	56	16.62	815.2	50.89	6.803
1.4662	46.1	57	17.05	835.7	52.17	6.974
1.4768	46.8	58	17.46	856.5	53.47	7.148
1.4875	47.5	59	17.91	877.6	54.79	7.324
1.4983	48.2	60	18.33	899.0	56.12	7.502
1.5091	48.9	61	18.79	920.6	57.47	7.682
1.5200	49.6	62	19.22	942.4	58.83	7.865
1.5310	50.3	63	19.68	964.5	60.21	8.049
1.5421	51.0	64	20.12	986.9	61.61	8.236
1.5533	51.7	65	20.61	1010	63.03	8.426
1.5646	52.3	66	21.06	1033	64.46	8.618
1.5760	53.0	67	21.55	1056	65.92	8.812
1.5874	53.7	68	22.00	1079	67.39	9.008
1.5989	54.3	69	22.51	1103	68.87	9.207
1.6105	55.0	70	22.98	1127	70.38	9.408
1.6221	55.6	71	23.51	1152	71.90	9.611
1.6338	56.3	72	23.98	1176	73.44	9.817
1.6456	56.9	73	24.51	1201	74.99	10.02
1.6574	57.5	74	25.00	1226	76.57	10.24
1.6692	58.1	75	25.55	1252	78.15	10.45
1.6810	58.7	76	26.06	1278	79.75	10.66
1.6927	59.3	77	26.59	1303	81.37	10.88
1.7043	59.9	78	27.10	1329	82.99	11.09
1.7158	60.5	79	27.65	1355	84.62	11.31
1.7272	61.1	80	28.18	1382	86.26	11.53
1.7383	61.6	81	28.73	1408	87.90	11.75
1.7491	62.1	82	29.24	1434	89.54	11.97
1.7594	62.6	83	29.79	1460	91.16	12.19
1.7693	63.0	84	30.30	1486	92.78	12.40
1.7786	63.5	85	30.85	1512	94.38	12.62
1.7872	63.9	86	31.34	1537	95.95	12.83
1.7951	64.2	87	31.87	1562	97.49	13.03
1.8022	64.5	88	32.34	1586	99.01	13.23
1.8087	64.8	89	32.85	1610	100.5	13.43
1.8144	65.1	90	33.30	1633	101.9	13.63
1.8195	65.3	91	33.79	1656	103.4	13.82
1.8240	65.5	92	34.22	1678	104.8	14.00
1.8279	65.7	93	34.64	1700	106.1	14.19
1.8312	65.8	94	35.09	1721	107.5	14.36
1.8337	65.9	95	35.55	1742	108.7	14.54
1.8355	66.0	96	35.93	1762	110.0	14.70
1.8364	66.0	97	36.34	1781	111.2	14.87
1.8361	66.0	98	36.68	1799	112.3	15.02
1.8342	65.9	99	37.36	1816	113.4	15.15
1.8305	65.8	100	37.34	1831	114.3	15.28

TABLA VI

VOLUMEN DE TANQUES

diam.	VOL gal/ft	AREA ft <sup>2</sup>	diam.	VOL gal/ft	AREA ft <sup>2</sup>	diam.	VOL gal/ft	AREA ft <sup>2</sup>
1'	5.87	0.785	6'	211.5	28.27	28'	4606.	615.8
1' 1"	6.89	0.922	6' 3"	229.5	30.68	28' 6"	4772.	637.9
1' 2"	8.00	1.069	6' 6"	248.2	33.18	29'	4941.	660.5
1' 3"	9.18	1.227	6' 9"	267.7	35.78	29' 6"	5113.	683.5
1' 4"	10.44	1.396	7'	287.9	38.48	30'	5288.	706.9
1' 5"	11.79	1.576	7' 3"	306.8	41.28	31'	5466.	754.8
1' 6"	13.22	1.767	7' 6"	330.5	44.18	32'	6016.	804.3
1' 7"	14.73	1.969	7' 9"	352.9	47.17	33'	6398.	855.3
1' 8"	16.32	2.182	8'	376.0	50.27	34'	6792.	907.9
1' 9"	17.99	2.405	8' 3"	399.9	53.46	35'	7197.	962.1
1' 10"	19.75	2.640	8' 6"	424.5	56.75	36'	7616.	1018.
1' 11"	21.58	2.885	8' 9"	449.8	60.13	37'	8043.	1075.
2'	23.50	3.142	9'	475.9	63.62	38'	8483.	1134.
2' 1"	25.50	3.409	9' 3"	502.7	67.20	39'	8940.	1195.
2' 2"	27.58	3.687	9' 6"	530.2	70.88	40'	9404.	1257.
2' 3"	29.74	3.976	9' 9"	558.5	74.66	41'	9876.	1320.
2' 4"	31.99	4.272	10'	587.5	78.54	42'	10360.	1385.
2' 5"	34.31	4.587	10' 6"	647.7	86.59	43'	10860.	1452.
2' 6"	36.72	4.909	11'	710.9	95.03	44'	11370.	1521.
2' 7"	39.21	5.241	11' 6"	777.0	103.9	45'	11900.	1590.
2' 8"	41.78	5.585	12'	846.0	113.1	46'	12430.	1662.
2' 9"	44.43	5.940	12' 6"	918.0	122.7	47'	12980.	1735.
2' 10"	47.16	6.305	13'	992.9	132.7	48'	13540.	1810.
2' 11"	49.98	6.681	13' 6"	1071.	143.1	49'	14110.	1886.
3'	52.88	7.069	14'	1152.	153.9	50'	14690.	1964.
3' 1"	55.86	7.467	14' 6"	1235.	165.1	52'	15890.	2124.
3' 2"	58.92	7.876	15'	1322.	176.7	54'	17130.	2290.
3' 3"	62.06	8.296	15' 6"	1412.	188.7	56'	18420.	2463.
3' 4"	65.28	8.727	16'	1504.	201.1	58'	19760.	2642.
3' 5"	68.58	9.168	16' 6"	1600.	213.8	60'	21150.	2827.
3' 6"	71.97	9.621	17'	1698.	227.0	62'	22580.	3019.
3' 7"	75.44	10.08	17' 6"	1799.	240.5	64'	24060.	3217.
3' 8"	78.99	10.56	18'	1904.	254.5	66'	25500.	3421.
3' 9"	82.62	11.04	18' 6"	2011.	268.8	68'	27170.	3632.
3' 10"	86.33	11.54	19'	2121.	283.5	70'	28790.	3848.
3' 11"	90.13	12.05	19' 6"	2234.	298.6	72'	30450.	4072.
4'	94.00	12.57	20'	2350.	314.2	74'	32170.	4301.
4' 1"	97.96	13.10	20' 6"	2469.	330.1	76'	33930.	4536.
4' 2"	102.0	13.64	21'	2591.	346.4	78'	35740.	4778.
4' 3"	106.1	14.19	21' 6"	2716.	363.1	80'	37600.	5027.
4' 4"	110.3	14.75	22'	2844.	380.1	82'	39500.	5281.
4' 5"	114.6	15.32	22' 6"	2974.	397.6	84'	41450.	5542.
4' 6"	119.0	15.90	23'	3108.	415.5	86'	43450.	5809.
4' 7"	123.4	16.50	23' 6"	3245.	433.7	88'	45490.	6082.
4' 8"	128.0	17.10	24'	3384.	452.4	90'	47590.	6362.
4' 9"	132.6	17.72	24' 6"	3527.	471.4	92'	49720.	6648.
4' 10"	137.3	18.35	25'	3672.	490.9	94'	51920.	6940.
4' 11"	142.0	18.99	25' 6"	3820.	510.7	96'	54104.	7238.
5'	146.9	19.63	26'	3972.	530.9	98'	56420.	7543.
5' 3"	161.9	21.65	26' 6"	4126.	551.5	100'	58750.	7854.
5' 6"	177.7	23.76	27'	4283.	572.6			
5' 9"	194.3	25.97	27' 6"	4443.	594.0			

Ref; Eng. manual for the Amberlite  
ion exchange resins  
Rohm and Haas Co.

# Amberlite IRA-402

**DATOS    TECNICOS**

Referencia de las siguientes tablas:

Rohm and Haas Co. "Eng. manual for the  
Amberlite Ion Exchange"

(83)

## GRAFICAS PARA OBTENER LA CAPACIDAD DE LA RESINA

RESINA ANIONICA: IRA -402

Figura 1 : contiene datos de capacidad en función de el nivel de regeneración y la temperatura.

Figura 2 : curva del factor de corrección por sulfatos y cloruros.

Cuando el porcentaje de nitratos es menor del 10 % , se reportará como porcentaje de cloruros.

### SECUENCIA :

- 1.- ) Analisis del influente ( aniones y sílice )
- 2.- ) Calcular el porcentaje de cada uno de los aniones.
- 3.- ) Fijar temperatura de regeneración
- 4.- ) Fijar porcentaje fugado de sílice
- 5.- ) Utilizando las figuras de 1 , obtener el nivel de regeneración.
- 6.- ) Localizar la gráfica correspondiente a la temperatura, nivel de regeneración en las figuras 2
- 7.- ) Localizar el porcentaje de TMA (cloruros, sulfatos y nitratos), extender este punto hacia la derecha o la izquierda hasta interceptar la coordenada del porcentaje de sílice. Inmediatamente quedará localizada la coordenada de carbonatos. Si el punto encontrado cayó dentro de dos líneas de capacidad, este dato se interpolará. Si la concentración TMA es mayor del 15 % de la concentración total de aniones se utilizará el factor de corrección de la figura 3.
- 8.- ) Una vez encontrado el factor de corrección por TMA se multiplicará por la capacidad obtenida y así se obtendrá el verdadero valor de la capacidad.

FIGURA 1

FUGA DE SILICE

@ 6 lbs. 100% NaOH/ . FT.<sup>3</sup>

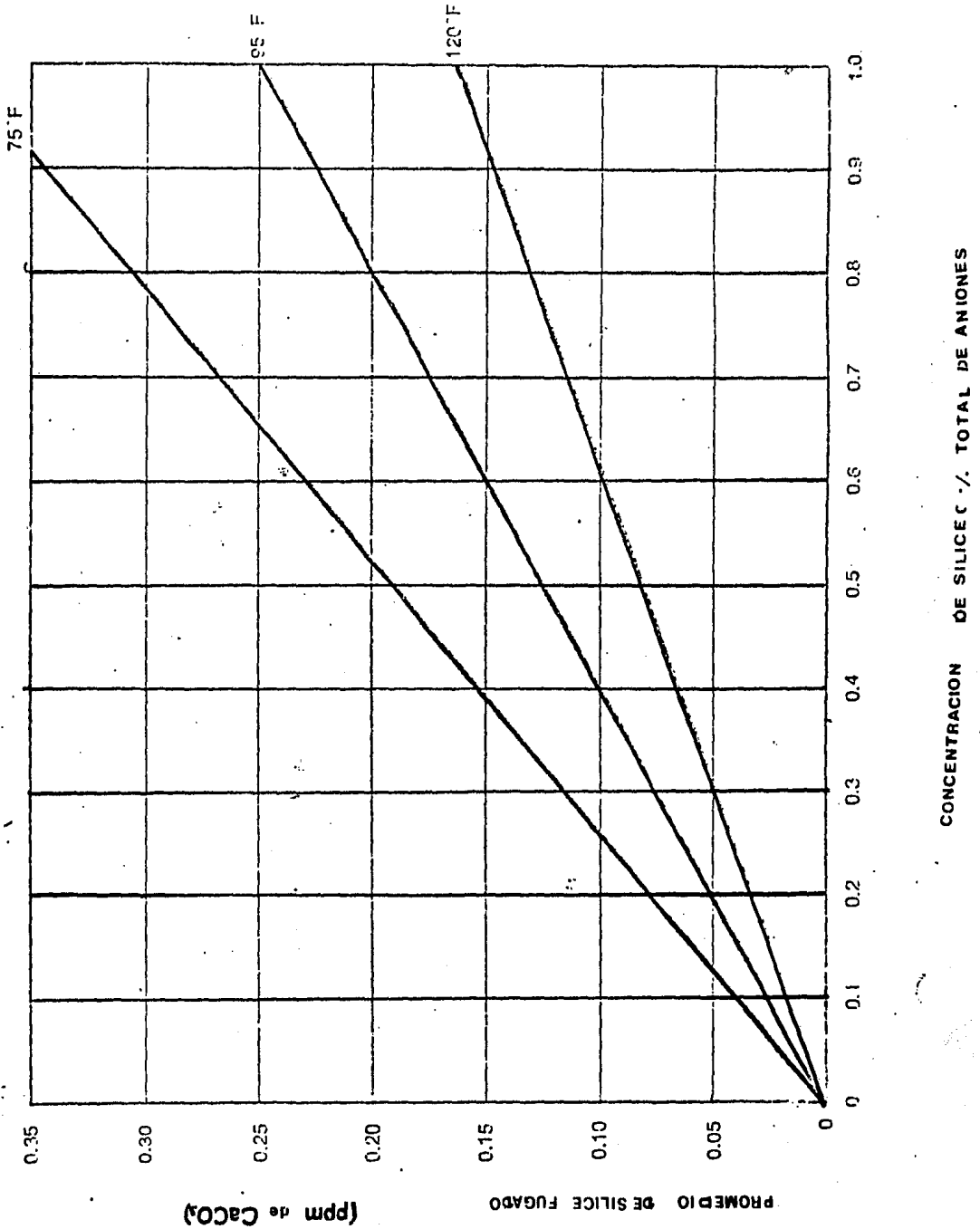


FIGURA 2

AMBERLITE IRA- 402

CONDICIONES:

Nivel de Regeneración: 6 lbs. 100% / ft<sup>3</sup> NaOH

Temperatura: 75 °F

Flujo de regenerante: 0.25 GPM/ft<sup>3</sup>

Flujo de servicio: 2.0 GPM/ft<sup>3</sup>

Fuga: 0.3 ppm SiO<sub>2</sub>

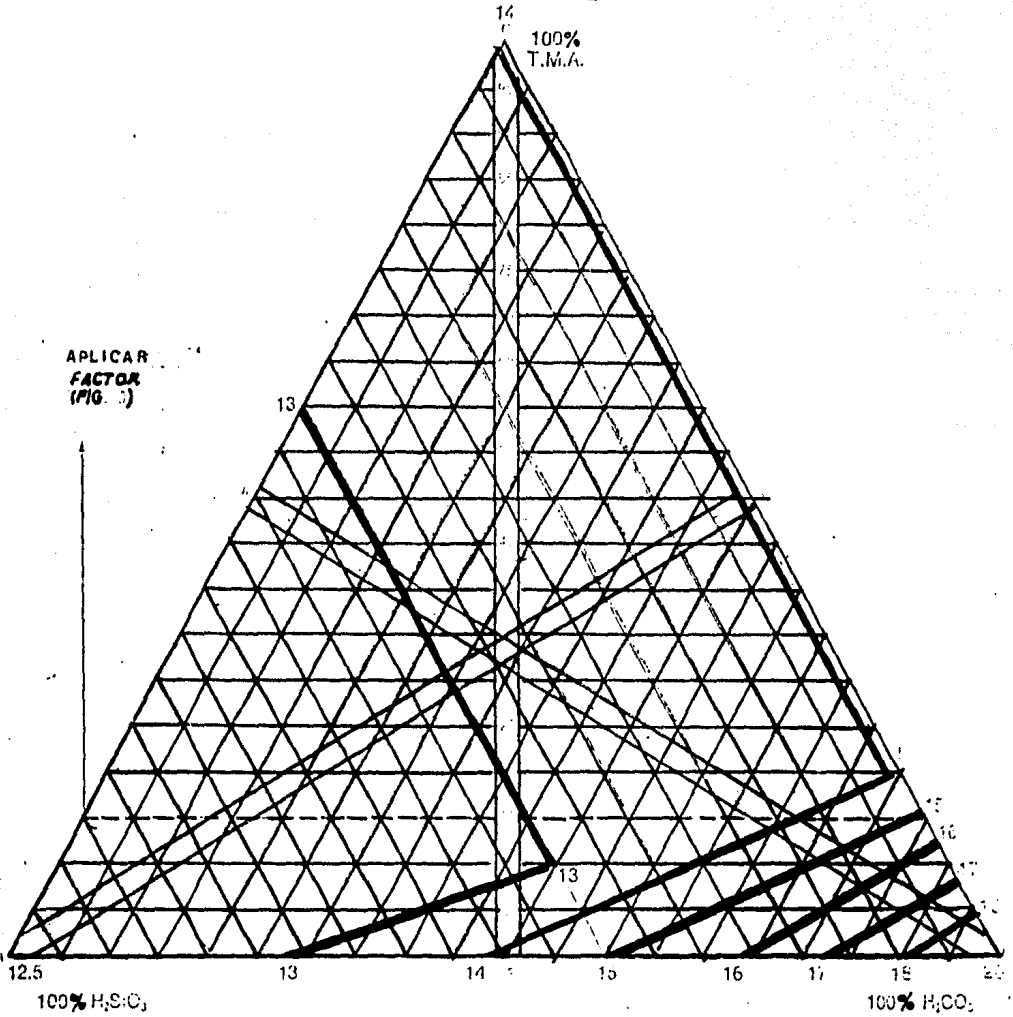
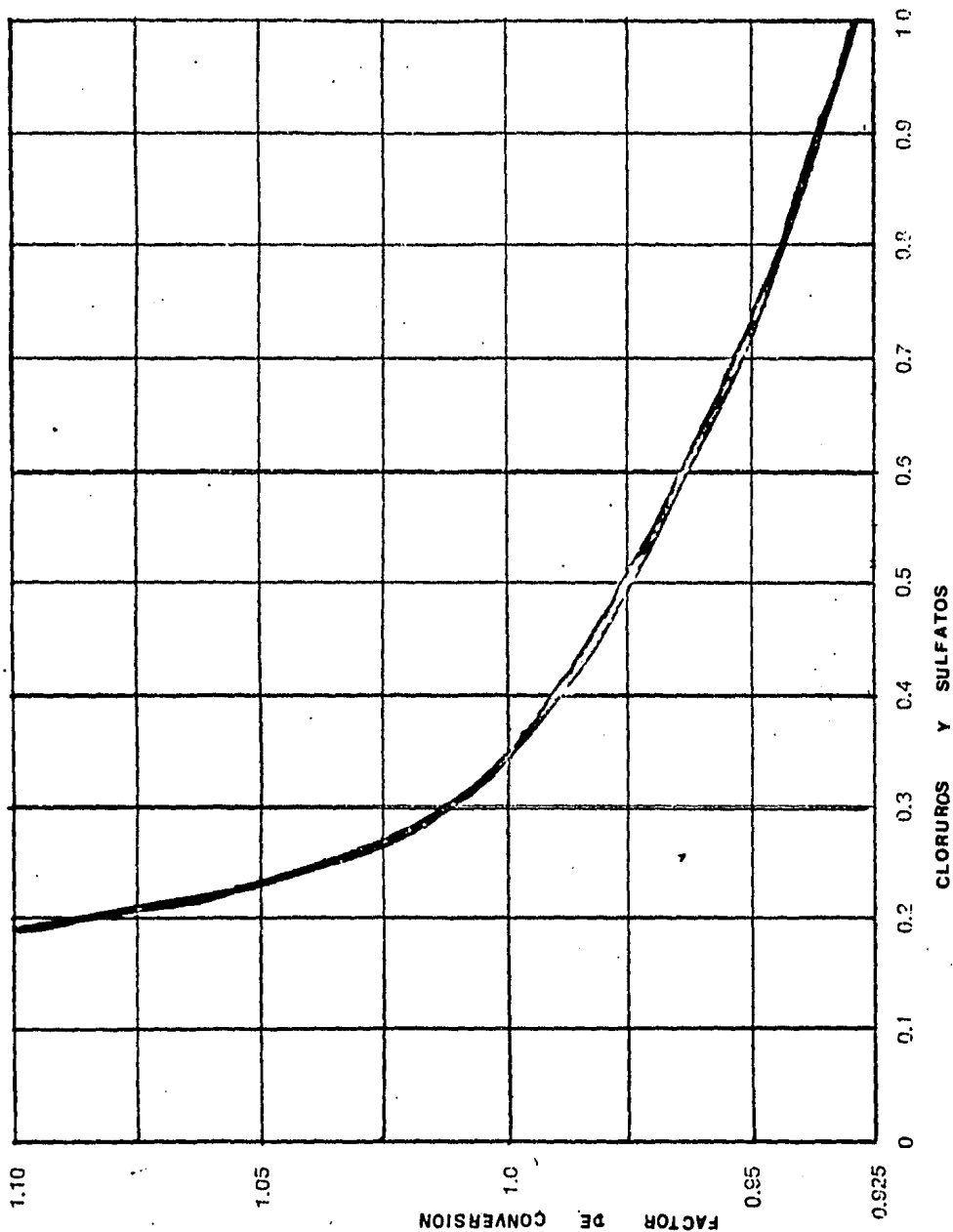


FIGURA 3

FACTOR DE CORRECCION POR CLORUROS Y SULFATOS

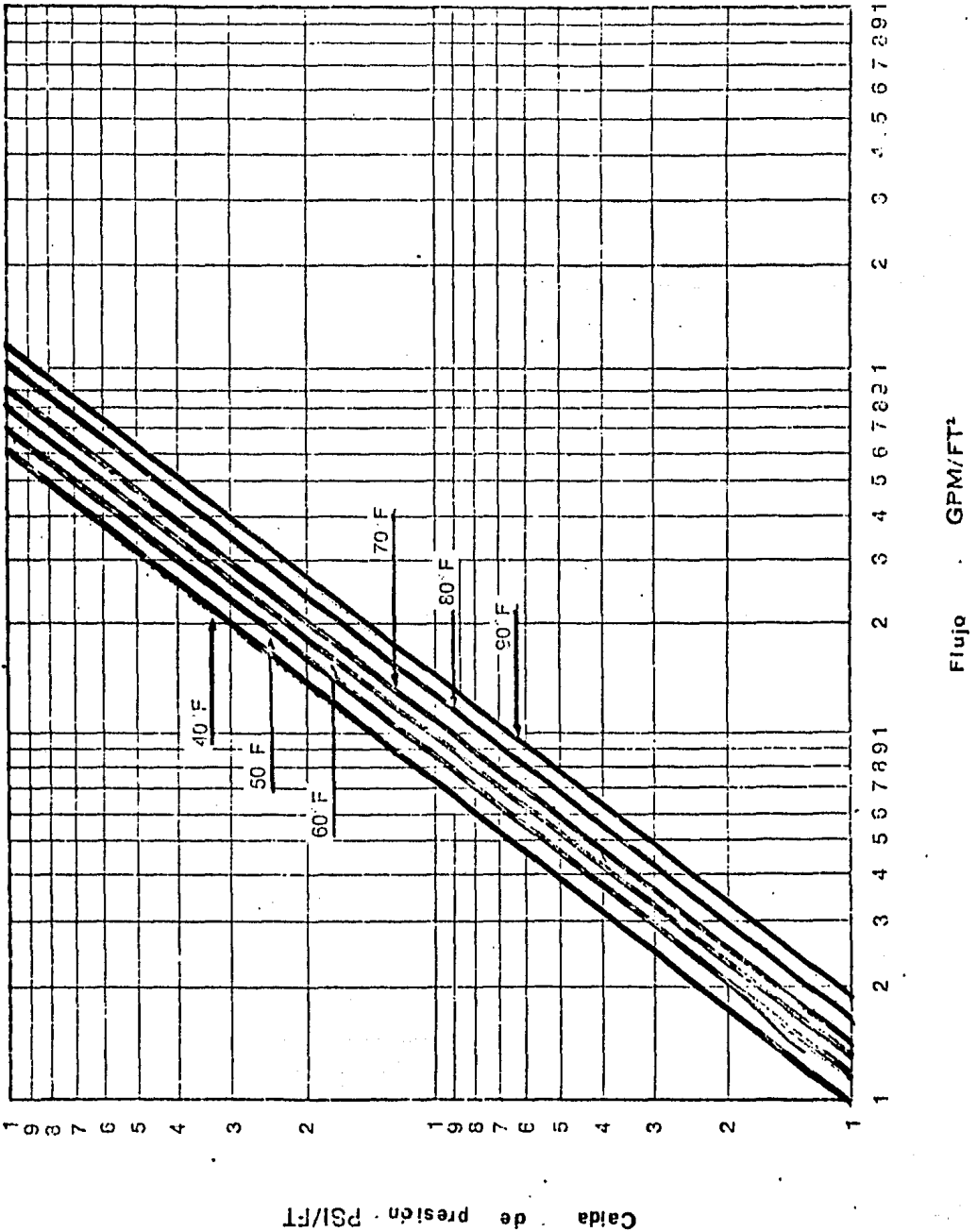
USAR PARA AREA SUPERIOR A LA LINEA PUNTEADA EN LA FIG:



AMBERLITE IRA-402

FIGURA 4

Caída de presión



# Amberlite IR-120 Plus

**DATOS TECNICOS:**

**REGENERACION: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

Ref. de las siguientes Tablas:  
Rohm and Haas Co. "Eng. Manual"  
for the Amberlite Ion Exchange"  
548

RESINA CATIONICA: IR - 120

- 1.- Realizar el analisis de agua completo ( reportar en ppm - de  $\text{CaCO}_3$ ).
- 2.- Calcular el porcentaje de cada catión y el porcentaje de alcalinidad.
- 3.- Fijar fuga de cationes.
- 4.- Seleccionar un nivel de regeneración que satisfaga el porcentaje fugado de cationes. ( figura 5 )
- 5.- Estimar la iso-capacidad del triángulo que corresponda al nivel de regeneración. En caso de ser necesario se interpolará.
- 6.- Para corregir la iso-capacidad por alcalinidad se usa la figura 7. Multiplicando la iso-capacidad por el factor así - obtenido se obtiene la capacidad correcta en Kgranos/ft<sup>3</sup>

FIGURA 5

Amberlite IR-120

regeneración—7 lbs.  $H_2SO_4$  (66° B $\acute{e}$ ) / ft<sup>3</sup>

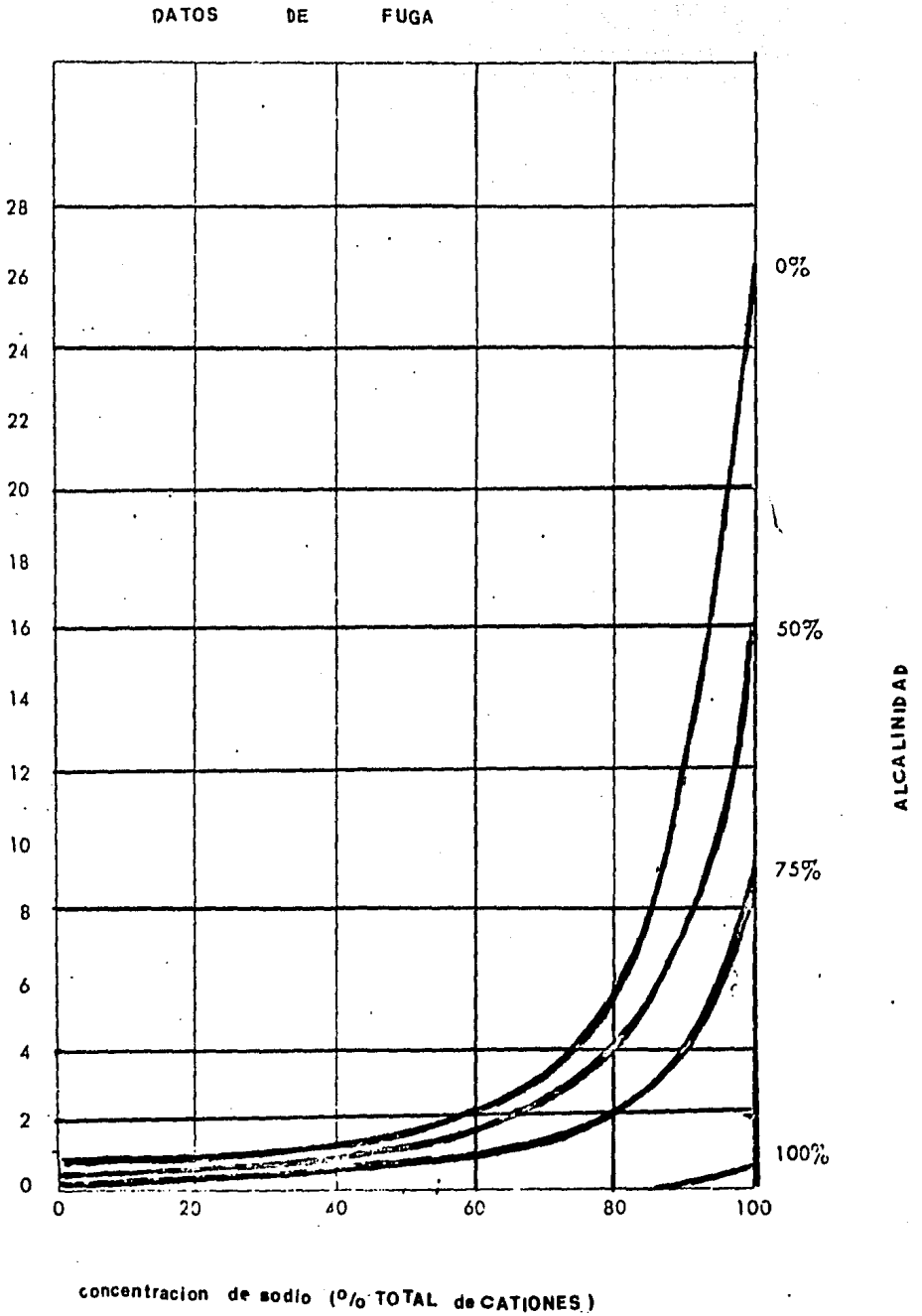
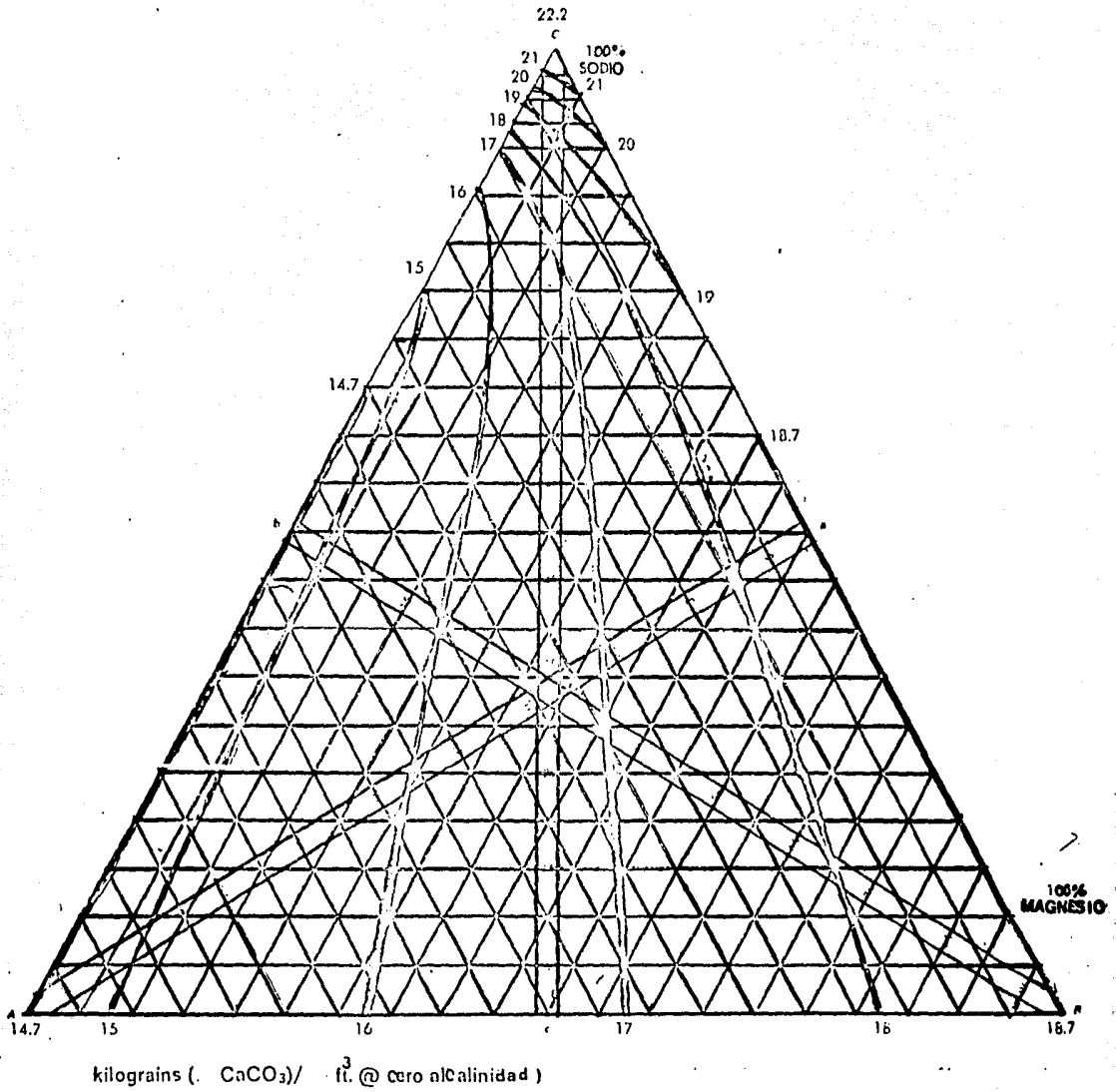


FIGURA 6

Amberlite IR-120 iso-capacidad  
regeneración—7 lbs. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66° B<sub>e</sub>)/ .ft<sup>3</sup>



SODIO

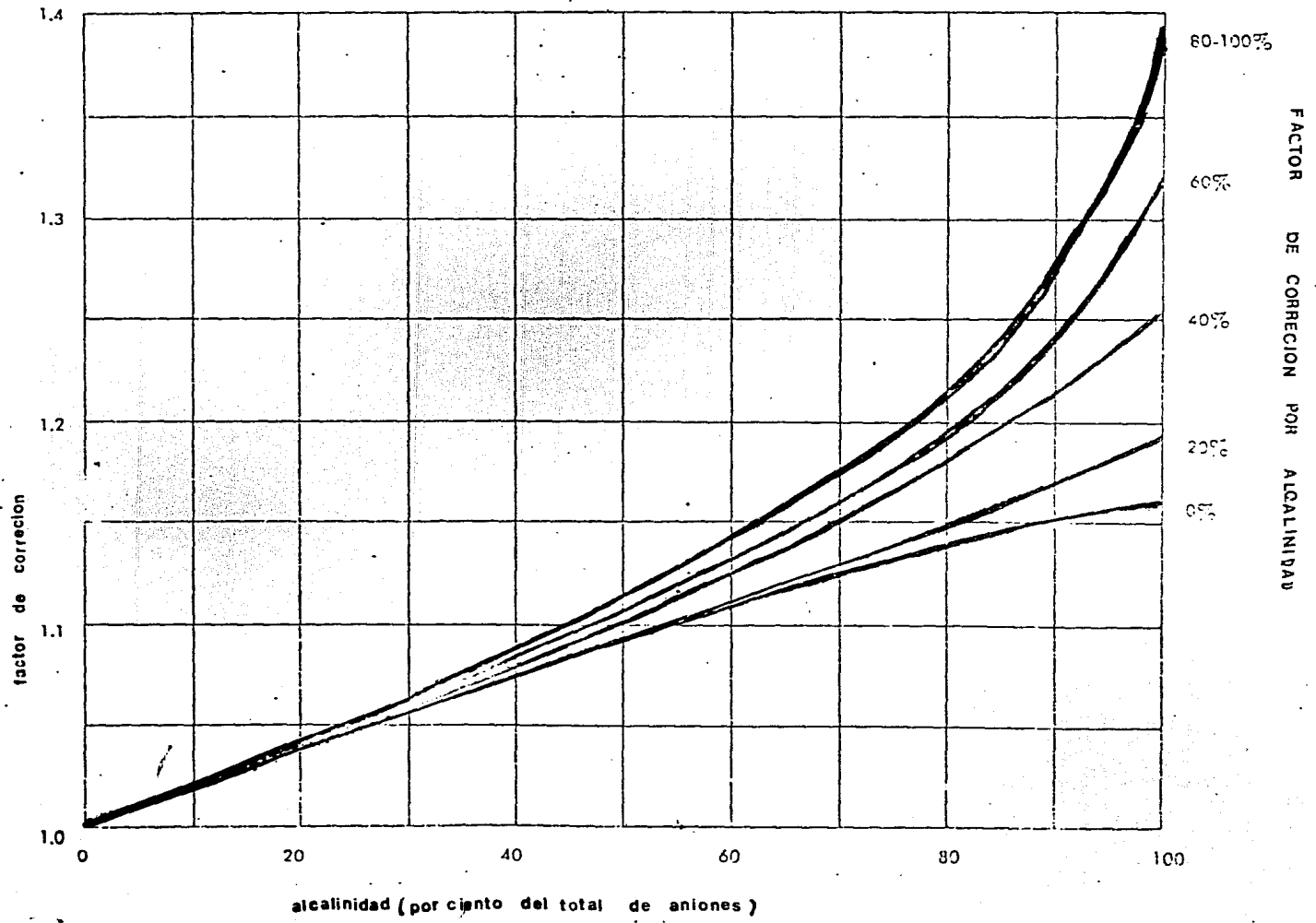


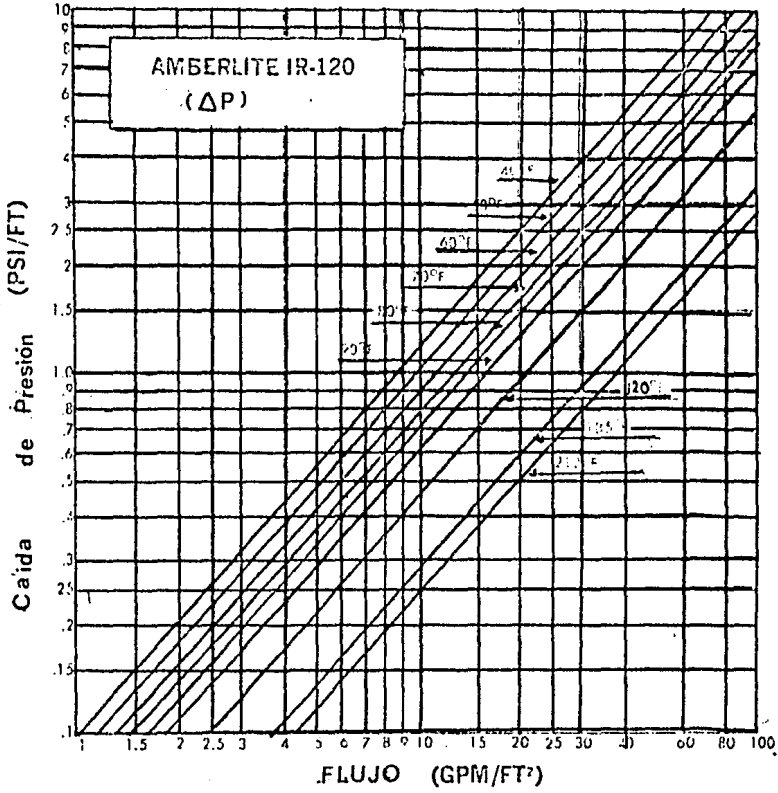
FIGURA 7

FACTOR DE CORRECCION POR ALCALINIDAD

(93)

FIGURA 8

CAIDA DE PRESION



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

### I.) LIBROS :

Applebaum S. B., " Demineralization by Ion Exchange "  
Cap. 5 - 9, pag 191 - 260; Ed. Academic Press, New -  
York, 1960

Ayres H. G., " Análisis Químico Cuantitativo ".  
Cap. 20 - 25, pag 267 -370; Ed. Harla, México, 1970.

Grant E.L., " Principios de Ingeniería Económica "  
Parte II, pag 105 - 171; Ed. C.E.C.S.A. , México -  
1976.

Ludwing E.E., " Aplied Process Design for Chemical and  
Petrochemical Plants". Vol. I, Cap. I, pag 29 - 45 -  
Gulf Publishing Co. , Houston Texas - 1977

Peters M.S, " Plant Design and Economics for Chemical -  
Eng. " ; Cap. 8 , pag 279 - 298; Mc Graw Hill Company -  
3 ° Ed., Estados Unidos de América - 1980

Rase and Barrow., " Ingeniería de proyectos para plantas  
de proceso " Cap. 25 , pag 543 ; Ed. C.E.C.S.A., México  
1976

### II.) MANUALES

ANIQ ( Anuario Nacional de la Ingeniería Química)  
1982, pag 27 - 31

Crane, " Flow of Fluids, Through Valves, Fittings -  
and Pipe. Apéndice E- 14, Crane Co.

Desrémont, " Manual para Tratamiento de Aguas "  
Cap. 7 - 9, pag 297 - 356 ; Degremont Co.  
Francia , 1974

Perry Ch. " Chemical Engineering Handbook"  
Cap. 1b, pag 730 - 740, Mc Graw Hill Co.,  
U.S.A. - 1968

Química Tropic " Criterios Generales para el Dise-  
ño de desgasificadores ", pag 203

Rohm and Haas Co " Engineering Manual for the Amber  
lite Ion Exchange Resins " , pag 1 - 55 .

Rohm and Haas Company " Manual for the Ion Exchan-  
ge".

### III. ) TESIS :

Olivares de Lachica Lidia " Criterios Generales pa  
ra el diseño de equipo de tratamiento de aguas "  
Cap. 2-5, pag 30 - 49, 190 - 195; Tesis - 1982  
UNAM

Rodall Oseguera Victor " Estrategia de Ingeniería  
de procesos para Países en Vías de Desarrollo "  
Vol 2, pag 225 - 228; Tesis - 1980  
UIA

IV. ) REVISTAS

ASKEW T. " Selecting Economic Boiler Water Pretra-  
tments Equipment " . Chemical Engineering, 80,9, 114  
( 1973)

DONALD Mc. W. " Protecting Desmineralizers from Or-  
ganic Foulings " Chemical Engineering,85,10, 80  
( 1978 )

MONET G. P. " Cost of Ion Exchange " Chem. Eng.  
74, 3, 106 ( 1950 )