

**Universidad Nacional Autónoma**



**de México.**

**Facultad de Química.**

***Diseño y construcción de un equipo para desmineralización de agua mediante el uso de resinas, para el laboratorio de ingeniería química.***

**T E S I S**

**q u e p r e s e n t a n**

**JOSE EFREN GABRIEL GUZMAN MENDEZ.**

**JUAN FRANCISCO SÁNCHEZ UGALDE.**

***Para obtener el título de***

**INGENIERO QUÍMICO.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## INDICE

	PAGINAS
OBJETIVO	1
CAPITULO I.- GENERALIDADES DE TIPOS DE TRATAMIENTOS DE AGUA.	3
GENERALIDADES DE TIPOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS	
1.1 AEREACION	5
1.2 CLARIFICACION	5
1.3 FILTRACION	6
1.4 PROCESO CAL-CARBONATO EN FRIO.	6
1.5 PROCESO CAL-CARBONATO EN CALIENTE.	6
1.6 PROCESO A TRAVES DE ZEOLITAS.	7
1.7 PROCESO A TRAVES DE PERMUTITAS	7
1.8 PROCESO A TRAVES DE RESINAS INTERCAMBIADORAS DE IONES.	7
1.9 PROCESO POR DESTILACION	8
1.10 PROCESO DE SUAVIZACION	8
CAPITULO II.	
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS E INFORMACION TECNICA DEL TRATAMIENTO POR INTERCAMBIO IONICO.	
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS	10
COLOR	10
CONDUCTIVIDAD	11
DETERMINACION DE LA ACIDEZ	14
SOLIDOS	18
DUREZA	19
TURBIEDAD	20
SILICE	22

## INDICE

	PAGINAS
CARBONO ORGANICO TOTAL COT.	23
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)	23
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	24
SELECCION DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO	25
AMBERLITA 200	27
AMBERLITA IRA-402	50
AMBERLITA IR-120	79
AMBERLITA IRA-900	100
<b>CAPITULO III.-DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA PLANTA PILOTO</b>	
DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO.	114
ANALISIS DE AGUA	
CALCULO DE LA COLUMNA CATIONICA,AMBERLITA IR-120	118
CALCULO DE LA COLUMNA ANIONICA, AMBERLITA IRA-402	122
CALCULO DE LA COLUMNA MIXTA	127
CONSTRUCCION DE LA PLANTA PILOTO	131
<b>CAPITULO IV.- EXPERIMENTACION.</b>	
EXPERIMENTACION	137
RESUMEN DE DATOS CALCULADOS EN EL DISEÑO	138
TABLA DE LECTURAS EXPERIMENTALES	139
<b>CAPITULO V.- APORTACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA PRACTICA DE TRATAMIENTO DE AGUA POR INTERCAMBIO IONICO, PARA EL LABORA- TORIO DE INGENIERIA QUIMICA.</b>	

	PAGINA	
5.1	OBJETIVO	152
5.2	TEORIA	153
5.3	DIAGRAMA DEL SISTEMA A OPERAR	154
5.4	OPERACION	155
	PRECAUCIONES	157
CAPITULO VI. CONCLUSIONES		159
APENDICE		
	NOMENCLATURA	168
	BIBLIOGRAFIA.	169

**OBJETIVO.**

El trabajo desarrollado en esta tesis, surgió debido a la necesidad de complementar las materias de tratamiento de aguas y tecnología de servicios, con un equipo adecuado para purificar agua que mostrase objetivamente la operación, ya que la mayoría de los procesos industriales requieren de una u otra manera de agua, que va desde agua pretratada, de enfriamiento, potable y desmineralizada, siendo esta última la adecuada para el equipo que genera vapor, por eliminar el problema de incrustación en las paredes del equipo.

Considerando lo anterior, en el laboratorio de ingeniería química se pensó en un equipo que pudiera ser operado por alumnos, y que complementaran dicha operación aplicando, sus conocimientos de otras materias impartidas. En la Facultad de Química, desde un punto de vista práctico, con la finalidad de que el futuro Ingeniero Químico visualice los requerimientos que en materia técnica se deben armonizar para diseñar, construir y operar un nuevo equipo que satisfaga las necesidades de algún proceso.

Para lograr lo anterior, primero se le muestra al alumno la información técnica con que se cuenta para iniciar el diseño del equipo desmineralizador, que en función a las necesidades de agua pura, irá variando el tamaño y costo del equipo: en esta etapa el alumno inicia la aplicación de sus conocimientos previos de análisis, ingeniería y diseño de equipo.

Una vez que el alumno ha dominado su información técnica, se le facilitará operar el equipo en el cual realizará la práctica de laboratorio, produciendo agua de alta pureza que se utilizará en el mismo laboratorio para su servicio, motivo por el cual se espera que se haga buen uso del mismo equipo.

**- CAPITULO I -**

**GENERALIDADES DE TIPOS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS.**



## GENERALIDADES DE TIPOS DE TRATAMIENTO.

A través del tiempo, a medida que el hombre ha avanzado en sus conocimientos científicos y tecnológicos ha des cubierto que cada vez es mas apremiante la necesidad de contar con agua de mejor calidad en cuanto a pureza, para realizar sus estudios de investigación y desarrollo con mayor exactitud.

En virtud de que, a medida que se a ido avanzando en el progreso industrial, se ha visto la necesidad de contar con mayores volúmenes de agua purificada, sin embargo normalmen te se cuenta con las siguientes fuentes naturales.

Nuestras fuentes de suministro de agua, en última instancia, todas derivan de los océanos: Las nubes se forman por la evaporación solar, las que a su vez son arrastradas a las costas y tierra adentro por los vientos, para luego condensarse y precipitarse como lluvia, nieve o granizo. Luego de la precipitación, el agua fluye por la superficie, o bien se filtra a través del terreno. Los excedentes, re tornan a su fuente primaria los océanos, a través de los ríos. Lo anterior se conoce como ciclo hidrológico.

Por consiguiente, nuestras fuentes de suministro de agua se clasifican de dos grupos principales: aguas superficiales y aguas subterráneas. En las aguas superficiales quedan incluidos los ríos, arroyos, esteros, lagos, lagunas y estanques naturales; las aguas subterráneas comprenden los pozos artesianos y manantiales.

El vapor de agua en las nubes es muy puro, sin embargo, a medida que el agua cae, la lluvia a través de la atmósfera, se contamina con polvos y gases. Cuando alcanza la tierra, también capta impurezas del terreno. Las aguas superficiales

contienen materiales en suspensión producidos al erosionar los cauces de los ríos, lo que dá lugar a lodos y turbiedad. En adición, contienen sustancias minerales disueltas las cuales son captadas de los terrenos por los que pasa, así como materia orgánica y color originados por desechos y vegetación en descomposición.

Las aguas subterráneas, por efecto de la filtración natural que sufren a través del terreno, en términos generales se encuentran libres de materias orgánicas y turbiedad, pero debido a la presencia de gases y su mayor tiempo de contacto con el terreno y las rocas, contienen más sólidos disueltos que las aguas superficiales. La naturaleza de las sustancias disueltas depende de la composición de las rocas encontradas en su trayecto. Por ejemplo, la dureza (calcio y magnesio) provienen de la piedra caliza y el yeso, la sílice del cuarzo y el hierro y manganeso de los constituyentes metálicos del suelo. Por regla general, cuando más profundo es el pozo artesiano, el agua obtenida contiene más sólidos disueltos.

A pesar de su posible mayor contenido de materiales disueltos, el agua de pozo tiene la ventaja de ser más clara y así como de estar libre de contaminación bacteriológica, lo que la hace más atractiva, sobre todo para usos como agua potable. Por otro lado, normalmente su temperatura es más baja, haciéndola también preferible para los servicios de enfriamiento. Su composición química es más estable que las de las aguas superficiales las cuales se ven afectadas por las lluvias y esto facilita mucho el control de su tratamiento.

En muchas localidades las aguas superficiales tienen la ventaja de su disponibilidad en las cantidades requeridas por la industria. Las aguas de los lagos son más claras que la de los ríos, debido a que las materias en suspensión se asientan. Sin embargo, en las épocas de lluvias se pierde esta ventaja, sobre todo en las orillas de los lagos, por lo que se recomienda efectuar las obras de toma alejadas de ellas.

Las impurezas del agua que normalmente impiden su uso industrial como tal se pueden agrupar como sigue:

- 1).- Materiales minerales disueltos
- 2).- Gases disueltos
- 3).- Turbiedad
- 4).- Color
- 5).- Olor, sabor
- 6).- Microorganismos

Las cantidades de estos contaminantes que se pueden tolerar en un agua dada, dependen principalmente del uso al que se va a destinar.

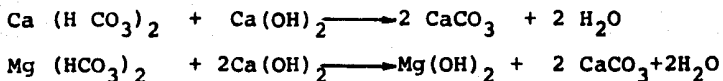
La mayoría de las grandes industrias usan su suministro de agua de una fuente diferente a la municipal en vista de que es más barato bombearla que comprarla del sistema urbano. En algunos casos se puede comprar a los municipios el agua para los servicios de contraincendio y potable solamente. Las cantidades mayores necesarias para los procesos, enfriamiento, generación de vapor, etc. se obtienen de ríos, pozos, lagos, etc.

El decidir que tipo de tratamiento es el más adecuado requiere la intervención de los especialistas en la materia. Dicha selección necesita considerar las demandas presentes y futuras, así como contar con los análisis químicos correspondientes.

- 1.1.- Aereación, a fin de eliminar los gases indeseables y las impurezas volátiles. En esto se incluyen el sulfuro de hidrógeno, bióxido de carbono y materia orgánica volátil. El hierro y magnesio también se pueden oxidar y remover por coagulación, sedimentación y filtración.
- 1.2.- Clarificación, para eliminar gran parte de la turbiedad y sedimentos encontrados en las aguas superficiales. Normalmente este es un primer paso en el tratamiento, ya que la mayoría de las aplicaciones requieren un agua clara. El empleo de coagulantes y ayuda de los mismos acelera el proceso de asentamiento de las partículas.

- 1.3.- Filtración. Esta sigue el proceso de clarificación a fin de eliminar los residuos de turbiedad que quedan. Si los sólidos en suspensión son en cantidades moderadas, la filtración sola será suficiente para eliminar la turbiedad y no se requerirá la clarificación. Algunas veces se utilizan sustancias coagulantes o de ayuda para los filtros dependiendo del diseño de éstos.
- 1.4.- Proceso cal-carbonato en frío. En éste se precipitan las sales incrustantes de calcio y magnesio. Reduce la dureza, la alcalinidad y elimina la turbiedad. Para poder obtener cero turbiedad y dureza hay que combinarlo con filtración y suavización.
- 1.5.- Proceso cal-carbonato en caliente. En éste se reduce la dureza, la alcalinidad y la turbiedad, sin embargo, se requiere que haya disponibilidad de vapor para el calentamiento y que además se necesite el agua caliente. Esto practicamente limita su uso para el tratamiento del agua de repuesto a calderas. Tiene la ventaja este proceso de reducir el contenido de sílice en el agua tratada y de que se le puede alimentar agua cruda con mayor cantidad de sólidos en suspensión, por lo que no se necesita un pretratamiento.

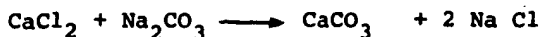
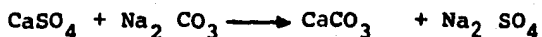
En los procesos 1.4 y 1.5 se tienen las siguientes reacciones:



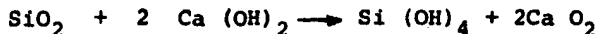
La cal también reacciona con las sales de magnesio que dan dureza permanente, de la siguiente manera:



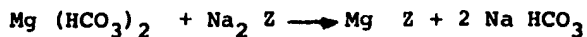
estas sales de calcio, resultantes de la doble descomposición unidas con las ya presentes, eliminadas con carbonato sódico.



y referente al sílice se tiene:



- 1.6.- Proceso a través de Zeolitas, de estructura química compleja que puede considerarse como un silicoaluminante de sodio, que tiene la propiedad de quitar la dureza al agua que se hace pasar a través de una capa de ella, de la siguiente manera.



La acción tiene lugar con toda clase de sales de calcio y de magnesio, eliminando tanto la dureza temporal como la dureza permanente. Estas zeolitas son de origen natural.

- 1.7.- Proceso a través de Permutitas, de composición semejante a la zeolita, obtenida por síntesis. A pesar de proporcionar agua libre de dureza, dejan mucho que desear por que el efluente queda contaminado de cierta alcalinidad y sílice, como consecuencia de la descomposición parcial que sufren por los constituyentes minerales naturales del agua y de las propias impurezas que contienen.

- 1.8.- Proceso a través de resinas intercambiadores de iones, pueden definirse a groso modo como ácidos o bases complejas, que forman sales insolubles y que son susceptibles de cambiar iones ácidos o iones básicos, es decir, aniones y cationes, en reacciones reversibles. La ventaja sobre las zeolitas y las permutitas es de que tienen una capacidad intercambiadora hasta 10 veces mas grande y no introduce impurezas en el efluente.

Son obtenidas por sulfuración de sustancias bituminosas derivadas del carbón mineral; por polimerización de moléculas ácidas o básicas como las resinas fenólicas, resinas del poliestireno y resinas de amino-aldehidos cíclicos, estos cambiadores iónicos, están caracterizados por los siguientes grupos funcionales:

Resinas ácidas:	-SO <sub>3</sub>
	-CH <sub>2</sub> -SO <sub>3</sub> H
	-COOH
	-OH
Resinas básicas	-NA <sub>2</sub>
	=NH
	=N
	+NH <sub>4</sub>

Este método será tratado especialmente en el siguiente capítulo

### 1.9 Procesos por Destilación.

Consiste en transmitir energía suficiente para que el agua a purificar sea evaporada y posteriormente condensada, quedando libre de impurezas, que se quedan al recipiente de fondo.

Este es un método que tiene la desventaja de altos costos de operación y mantenimiento, por lo cual no es adecuado a nivel industrial.

- 1.10.-Proceso de suavización. Se usa ampliamente en donde la demanda de agua nada más requiere que no lleve dureza. El equipo es muy sencillo de operar y produce agua blanda mientras la resina intercambiadora se regenera con regularidad.

Este método se usa principalmente para el tratamiento de agua a calderas de baja presión.

## **CAPITULO II**

### **PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS E INFORMACION TECNICA DEL TRATAMIENTO POR INTERCAMBIO IONICO.**

## PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL AGUA.

Este es un líquido fundamental, ocupa tres cuartas partes de la superficie de la tierra, constituye el 60% del peso total de nuestro cuerpo. Siendo que la vida dió comienzo en un medio acuoso y las células de todos los seres consisten y requieren del agua para su funcionamiento, siendo ésta lo más pura y con las sales minerales necesarias para su desarrollo.

El agua es un compuesto cuya estructura, propiedades físicas y químicas la hacen diferente de la mayoría de los compuestos (líquidos corrientes). Existe un grupo de fuerzas en su molécula una en el interior y dos adyacentes que la hace diferir con otros líquidos comunes.

- peso molecular	= 18.016
- punto de congelación (°C)	= 0.0
- punto de ebullición (°C, 760 mm.Hg)	= 100.0
- densidad (g/l. .a 20°C)	= 0.998
- calor de fusión (Kcal/mol)	= 1.44
- calor de vaporización (cal/g )	= 540
- solubilidad del NaCl (g/Kg. de H <sub>2</sub> O a 25°C).	= 0.36
- capacidad calorífica (cal/mol gdo)	= 17.996
- calor específico (cal/g-grado a 15°C)	1.00

### COLOR.

El color natural del agua, se debe a la presencia de iones metálicos (hierro y manganeso), materiales turbios, plantas y extractos vegetales como los compuestos taninos y humatos provenientes de la descomposición de la lignina.

Las descargas industriales de la fabricación de papel, fibras textiles, productos químicos, colorantes, explosivos y tenerías, aumentan el color de los cuerpos receptores debido a la formación de compuestos complejos de los metales pesados con las sustancias orgánicas. Esto produce aguas fuertemente coloridas que pueden afectar severamente todo ti



po de vida animal y vegetal.

#### Significado sanitario.

Las aguas naturales que contienen coloración debido a sustancias naturales en descomposición, no se consideran tóxicas o perjudiciales. Es recomendable que el agua potable no exceda de 20 unidades de color en la escala de platino-cobalto.

Las aguas coloreadas por los desechos industriales son resistentes al ataque biológico. Cada tipo de descarga debe resolverse conociendo el tipo de fábrica de donde proviene, los colorantes y compuestos utilizados, la composición del mismo deshecho, la región donde se efectúa la descarga y las características del cuerpo receptor.

#### Decoloración con carbón activado:

Cuando se tratan desechos municipales e industriales, se emplean lechos fijos con una relación de 500 kg. de carbón por medio millón de kg. de desecho. El carbón gastado se remueve en forma de lodos y se vuelve a activar en unos hornos rotatorios o de hogares múltiples. Estas son capaces de procesar 50,000 kg. de carbón/día a 870 a 900°C. La reducción de color por este método es hasta de un 99%.

#### CONDUCTIVIDAD.

Es una expresión numérica que representa la habilidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Mientras más concentrada esté la solución, existe mayor cantidad de iones y la corriente se transmite más fácilmente, e. d., con menor resistencia.

La mayoría de los ácidos, bases y sales de origen mineral (como el HCl, NaCO<sub>3</sub>, NaCl, etc.) son mejores conductores que las moléculas de los compuestos orgánicos (como la sacarosa y el benceno).

Esta se determina transmitiendo una corriente eléctrica a través de una solución o se emplea una celda que contiene dos electrodos, uno positivo donde se depositan los iones ne

gativos y uno negativo donde se depositan los iones positivos. La resistencia al paso de la corriente que es medida, depende de la concentración iónica la temperatura de la solución y de las características de los electrodos (área superficial y espaciamiento entre los mismos).

Existen en la actualidad celdas que no necesariamente tienen  $1 \text{ cm}^2$  de superficie y 1 cm. de espaciamiento entre ambos electrodos, entonces necesario es que se determine la constante de la celda y que se relaciona con la celda patrón.

$$\text{Constante de la celda} = K = \frac{\text{distancia entre los electrodos (cm)}}{\text{área de los electrodos (cm}^2\text{)}}.$$

Con el análisis de conductividad se comprueba la pureza del agua destilada o desionizada. Se acepta como agua destilada muy pura, la que contiene una resistencia específica de 500,000 ohms. es decir, 2 micromhos/cm a  $25^\circ\text{C}$ . En la tabla siguiente se muestran valores recomendados de conductividad para reconocer la pureza del agua destilada.

Grado:	conductividad máxima. micromhos/cm. a $25^\circ\text{C}$
pura	10.0
muy pura	1.0
otra pura	0.1
teóricamente pura	0.055.

Se recalca que la conductividad representa las concentraciones de los minerales disueltos en las aguas y aguas de desecho.

En las descargas de composición constante, se pueden calcular los factores de relación de sólidos con la conductividad. Para ello, es necesario un mínimo de 10 determinaciones durante 2 semanas.

En las aguas naturales con sólidos disueltos menores a 2000 mg/l . el factor de relación de conductividad son sólidos disueltos varía de 0.62 a 0.70.

En la industria, la conductividad se emplea para conocer el grado de corrosión del agua en la caldera, así como la eficiencia de la misma.

Equipo necesario.

-Equipo elegido debe ser capaz de medir conductividades con errores menores del 1% o de 1 micromhos/cm.

-Termómetro. Con graduaciones de un décimo de grado centígrado, en un lugar cuya temperatura ambiente de 23 a 27°C. Se puede emplear un termómetro con un pequeño termistor pues su respuesta es muy rápida.

-Celda de conductividad. En la celda de conductividad los electrodos pueden estar cubiertos con platino negro que se introducen directamente. Su selección depende del ámbito esperado de la conductividad y de la resistencia del aparato. Dicho puente se calibra con soluciones conocidas de KCl.

Conductividad eléctrica de KCl.

Solución	Normalidad	Método de Preparación	Temp. °C	Conductividad Micromhos/cm.
A	0.1	7.4365 KCl/L	0	7138
			18	11167
			25	12856
B	0.01	0.7440 KCl/L	0	773
			18	1220
			25	1408
C	0.001	Diluir 100 ml en 1 l. a 20°C	25	147

### Determinación de la acidez.

La acidez en el agua es producida por ácidos minerales, ácidos débiles como carbónico y acético y las sales de ácidos fuertes y bases débiles, como sales de hierro y aluminio. En aguas naturales el  $\text{CO}_2$  disuelto es el ácido más factible de encontrar.

La actividad del agua ácida en tuberías es de tipo corrosivo y altera la ecología del medio ambiente.

La técnica de análisis para determinar la acidez es la siguiente:

Las muestras se toman en frascos de polietileno o pyrex y mantenerlas a baja temperatura y bien tapadas, sin agitar para evitar que el  $\text{CO}_2$  contenido modifique su concentración. De ser posible hacer el mismo día la determinación de la acidez.

El equipo necesario es: a) potenciómetro con escala de pH con capacidad de leer hasta 0.05, b) Agitador magnético, c) matraces volumétricos de 1,000, 200 y 100 ml, d) pipetas volumétricas, e) matraces erlenmeyer de 250 ml. y f) buretas de 25 y 50 ml.

Los resultados analíticos son: a) agua destilada exenta de  $\text{CO}_2$  a pH mayor que 6 a temperatura ambiente, b) indicador de fenoltaleina (5g de fenoltaleina en 500 ml de etanol e isopropanol al 95% y 500 ml de agua destilada) si es necesario agregar NaOH 0.02 N a gotas hasta que obtenga la solución una coloración rosa, c) Indicador de anarajado de metilo. Disolver 0.5 g y aforar a 1l. con agua destilada, d) solución de tiosulfato de sodio 0.1 N disolver 25 g . de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  y aforar a 1 l . con agua recién hervida y destilada, e) solución de biftalato de potasio 5 N. moler de 15 a 20 g . de  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$  y secar por 2 horas a  $120^\circ\text{C}$ . Enfriar en un desecador, pesar 10 g y aforar a un l l. con agua destilada hervida, f) solución de NaOH 0.1 N. Disolver 11 g . en 10 ml. de agua destilada y filtrar, diluir únicamente 5.45 ml del filtrado claro hasta 1 l.

con agua destilada y hervida. Almacenar en una botella de poliolefina protegida con un tubo de cal sodada, valorar la solución con 40 ml de la solución  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ , mediante una bureta de 25 ml la medición de la sosa se hace hasta un pH de 8.7.

$$\text{Normalidad de NaOH} = \frac{A \times B}{204,2 \times c}$$

A = g. de  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$  Aforada a 1 l. (e)

B = ml. de  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$  Titulados.

C = ml. de  $\text{NaOH}$  utilizados en la titulación.

g) Solución valorada de  $\text{NaOH}$  a 0.02 N.

Diluir 200 ml de solución  $\text{NaOH}$  0.1N a un litro de agua destilada. Valorar la solución titulando 15 ml de  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$  y una bureta de 50 ml con  $\text{NaOH}$ . Con la fórmula anterior se calcula la normalidad, pero: 1 ml de solución 0.02 N = 1 mg de  $\text{CaCO}_3$  1 ml de solución 0.1 N = 5 mg de  $\text{CaCO}_3$  que sirve para ajustar si es necesario las soluciones de  $\text{NaOH}$ .

h) Solución de peróxido de hidrógeno a 30%.

Contando con todo lo requerido iniciar el análisis.

Si es necesario, decolorar la muestra con una gota de tiosulfato de sodio 0.1 N.

1 - En un matraz de 250 ml se deposita una parte alícuota de 10 ml de la muestra y se diluye a 100 ml; depositar gotas de indicador anaranjado de metilo, y si la muestra es color amarillo, titular con  $\text{NaOH}$  0.02 N hasta que vire a color canela, o sea pH = 3.7.

2 - Tomar una alícuota de 50 ml y adicionar agua hasta 100 ml agregar unas gotas de fenolftaleína: titular con  $\text{NaOH}$  0.02 N hasta coloración rosa débil, o sea pH = 8.3.

Cálculos:

$$\text{Acidez en mg/l. CaCO}_3 = \frac{A \times B \times 50,000}{\text{ml muestra.}}$$

A = ml de NaOH.

B = Normalidad de NaOH.

Determinación de la alcalinidad.

Se hace el mismo muestreo y almacenamiento como se explicó anteriormente.

Para muestras con pH inicial arriba de 8.3 titulación es en 2 etapas; una con fenolftaleína que pasa de color rosa a incoloro, o sea pH = 8.3. La 2a. etapa de titulación se hace con anaranjado de metilo que cambia de color amarillo a cañela, o sea pH = 3.7 si el pH es menor de 8.3 en la muestra, entonces hacer sólo una titulación.

Soluciones necesarias:

a) Carbonato de sodio 0.05 N. Secar de 3 a 5 g. de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a  $250^\circ\text{C}$  en 4 horas y enfriar en un desecador, pesar  $2.5 \pm 0.2$  g y aforar a 1 l. con agua destilada.

b) Acido sulfúrico o clorhídrico y valorado 0.1 N. Diluir 3.0 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado ó 8.3 ml de HCl concentrado hasta un litro con agua destilada, desionizada. Valorar el ácido así; en un matraz de 250 ml depositar 40 ml de solución  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0.05 N mas 60 ml de agua y titular con el ácido potenciométricamente hasta pH = 5. Después hervir 3 ó 5 minutos tapando el vaso con un vidrio de reloj, enfriar hasta temperatura ambiente y enjuagar el vidrio de reloj dentro del vaso y finalizar la titulación hasta punto de inflexión.

$$\text{Normalidad} = \frac{A \times B}{53 \times C.}$$

- A = g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  en un litro de agua.  
 B = ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  usados para valoración.  
 C = ml de ácido utilizados.

Usar la normalidad calculada o ajustarla exactamente a 0.1000 N, si 1.0 ml de 0.1000 N = 5 mg de  $\text{CaCO}_3$ .

c) Acido sulfúrico o clorhídrico valorado 0.02 N diluir 200 ml de la solución valorada de ácido 0.1000 N a un litro con agua destilada, valorarlo potenciométricamente contra 15.0 ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  de acuerdo a la secuencia anterior.

#### Procedimiento.

Remover el cloro residual libre, añadiendo 0.05 ml (1 gota) de tiosulfato de sodio 0.1 N, o radiación ultravioleta en la muestra a tratar de agua.

Tomar 50 ml de la muestra y aforar a 100 ml con agua destilada desionizada a temperatura ambiente, medir el pH de la muestra y añadir la solución de ácido 0.01 N en incrementos de 0.5 ml, o menores. Después de cada agitación mezclar con agitador magnético. Titular hasta los puntos pH (3.7 a 8.3) hacer gráfica pH con volumen para observar los puntos de inflexión.

Si la alcalinidad es baja, es decir menor de 20 mg/l. titular de 100 a 200 ml, siguiendo las indicaciones anteriormente descritas, usar una bureta micro de 10ml y una solución valorada de ácido a 0.02 N. Detener la titulación a pH entre 4.3 y 4.7, trazar gráfica del volumen con pH.

#### Cálculos.

$$\text{Alcalinidad en mg/l. CaCO}_3 = \frac{(2B-C) \times N \times 50,000}{\text{ml de muestra}}$$

- \* Cuidadosamente adicionar pequeños excesos de titulante hasta bajar 0.3 unidades de pH.

## SOLIDOS.

Las principales determinaciones están encaminadas a obtener información sobre la cantidad de sólidos totales, suspendidos (evaluando las fracciones fijas y volátil en cada caso), disueltos y sedimentables.

## Significado sanitario.

Aguas con alto contenido de sólidos pueden ser laxantes, pierden cualidades organolépticas, y pueden ocasionar molestias en personas no acostumbradas. La U.S. Public Health Service Standards recomienda un contenido de sólidos totales de 500 mg/l. para aguas que se destinen el uso doméstico, y fija un límite de 100 ppm.

Cálculo de los mg/l. de sólidos totales.

$$\text{ppm. de sólidos totales} = \frac{(B-A) \times 1000}{\text{ml. de muestra.}}$$

A = Peso de la cápsula (mg).

B = Peso de la muestra más el peso de la cápsula (mg).

$$\text{ppm de sólidos volátiles} = \frac{(B' - C) \times 1000}{\text{ml. de muestra.}}$$

$$\text{ppm. de sólidos fijos} = \frac{(C-A) \times 1000}{\text{ml. de muestra.}}$$

A = Peso de la cápsula (mg)

B' = Peso de los residuos sólidos + peso de la cápsula antes de la calcinación.

C = Peso de los residuos sólidos + peso de la cápsula después de la calcinación.

$$\text{ppm. de sólidos suspendidos} = \frac{(D-E) \times 1000}{\text{ml. de muestra}}$$



D = Peso del crisol con el filtro + peso de los sólidos retenidos.

E = Peso del crisol con el filtro.

ppm. de sólidos suspendidos volátiles =  $\frac{(D-F) \times 1000}{\text{ml. de muestra.}}$

D = Peso del crisol con el filtro + por el peso de los sólidos antes de calcinarse.

F = Peso del crisol con el filtro + el peso de los sólidos después de calcinarse.

#### DUREZA.

El término se aplica a las aguas en las que es difícil lavar, ya que requieren grandes cantidades de jabón para formar espuma; además, producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calderas, evaporadores, intercambiadores de calor y otras unidades relacionadas con el paso del agua a altas temperaturas.

La dureza, químicamente, es una característica del agua, que representa principalmente la concentración total de los iones, calcio y magnesio expresados como  $\text{CaCO}_3$ .

Clasificación de las aguas, en grados de dureza.

De 0 a 75 mg/l.	$\text{CaCO}_3$	Agua suave.
De 75 a 150 mg/l.	$\text{CaCO}_3$	Agua poco dura
De 150 a 300 mg/l.	$\text{CaCO}_3$	Agua dura
más de 300 mg/l.	$\text{CaCO}_3$	Agua muy dura.

Los principales cationes que causan dureza son: calcio, magnesio, estroncio, fierro y manganeso. Los iones  $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$  a veces se consideran como dureza, pero su solubilidad es tan limitada a los valores de pH naturales, que sus concentraciones son despreciables.

## TURBIEDAD.

Esta provoca que la luz se disperse o absorba en lugar de transmitirse en línea recta en una muestra. Esta se debe a la presencia de partículas de material suspendido como: arcilla, lodo, materia orgánica o inorgánica finamente divi dida, y otros microorganismos.

En el aspecto inorgánico, los tamaños de las partículas que causan turbiedad en el agua varían de diámetro entre 0.2 y 0.5 micras o mayores. Los que exceden de 1.0 micras sedimentan. Las partículas menores se denominan coloidales y permanecen suspendidas mucho tiempo.

Las fuentes principales de contaminación originadas por el hombre son: los cienos de las granjas, los residuos de construcción, la operación de minas, polvos provenientes de caminos sin asfaltar, desechos humanos y los efluentes de las plantas o fábricas en general.

## Equipo de medición:

Turbidímetro- Consiste en un nefelómetro que cuenta con una fuente de luz para iluminar la muestra y uno o más detec tores fotoeléctricos con un tablero de lectura que indican la intensidad de la luz disociada en ángulos rectos con respecto a la luz incidente.

Cálculo de las unidades nefelométricas de turbiedad.

$$UNT = \frac{A \times (B + C)}{C}$$

A = Unidad nefelométricas de turbiedad de la muestra diluida.

B = Volúmen de agua de dilución en ml.

C = ml. de muestra utilizados en la dilución.

B = ml de ácido valorado para alcanzar el pH de 4 a 4.7.

C = B + ml necesarios para bajar 0.3 unidades de pH.

N = normalidad de ácido.

Se considera que la alcalinidad total se debe a los iones bicarbonato, carbonatos e hidróxidos.

Determinación de cloruros.

Se puede determinar la concentración de cloruros por método argentométrico, si es del orden de 0.5 a 10 mg de  $\text{Cl}^-/\text{l}$ ., si es el agua clara; sino entonces potenciométricamente que no importa la turbiedad del agua.

Reactivos.

- (a) Agua sin cloruros, destilada.
- (b) Indicador de cromato de potasio (50g.  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) en 100 ml agua, mezclar con solución de nitrato de plata hasta que haya precipitado rojo, reposar 12 h. filtrar y disolver a 1 l. de agua.
- (c) Solución 0.014 N de  $\text{AgNO}_3$  (2,395 g. de  $\text{AgNO}_3$  aforar a 100 ml) valorar con  $\text{NaCl}$  0.0141N.  
1 ml de 0.0141N  $\text{AgNO}_3$  = 500 mg de cloruros.
- (d) Reactivos especiales para eliminar la interferencia (125 g. de  $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$  ó  $\text{AlNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$  alumbre de  $\text{AgNO}_3$ , usado y el valor máximo será el equivalente).

ANALISIS DE LA MUESTRA.

Aforar a 100 ml de muestra o una muestra con 10 mg de cloruros como máximo y colocar en un matraz de 250 ml. Si hay interferencia acidular con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  3 ml y hervir 15 minutos hasta elevar el volumen a más de 50 ml, diluir a 100 ml y gotear solución  $\text{NaOH}$  hasta pH alcalino; hervir por 5 minutos. Adicionar goteando  $\text{HNO}_3$  concentrado hasta pH ácido, enfriar y diluir 100 ml, sumergir agitador y electrodos en la muestra hasta pH = 7.0.

$$\text{mg/l. Cl} = \frac{(A-B) \times N \times 35.45 \times 1000}{D}$$

A = ml.  $\text{AgNO}_3$

B = ml. testigo

N = Normalidad del titulante.

D = ml. Muestra.

### SILICE.

En el análisis de aguas, el sílice se expresa en forma de  $\text{SiO}_2$ . Se encuentra en dos formas, la cristaloides y la coloidal. Siendo la cristaloides la más difícil de eliminar. En aguas naturales de 1 a 30 ppm. hasta 100 ppm.

### SIGNIFICADO SANITARIO.

Forma escamas en la superficie de los equipos de intercambio de calor con recirculación interna, produciendo gran resistencia a la transferencia de calor, por lo cuál es necesario abrindarla.

Químicamente es inerte al fluido, sólo afecta cuando se trata de productos celulósicos, debido a que se aumentará la ceniza en el producto final.

### METODO GRAVIMETRICO.

En este caso los silicatos y sílice disueltos son precipitados mediante HCl o ácido perclórico (1 a 1 y al 72% respectivamente) eliminando por evaporación y deshidratación hasta calcinar el residuo, se pesa y la sílice se determina por la pérdida, por la volatilización, por lo cuál se debe restar el peso de crisol y su contenido al peso del crisol solo. La diferencia A en mg. es la pérdida por volatilización y representa a la sílice.

$$\text{SiO}_2 \frac{\text{mg.}}{\text{ml.}} = \frac{A \times 1000}{\text{ml. muestra}}$$

### Carbono orgánico total (COT).

Este método está basado en la oxidación de la materia carbonosa a  $\text{CO}_2$  a una concentración de 1 a 15 ppm mediante el método de analizador infrarrojo (I.R.).

Este método es utilizado para medir el carbón en la siguiente forma:

- a) Carbono orgánico no soluble, por ejemplo azúcar natural.
- b) Carbono orgánico volátil soluble, por ejemplo mercaptanos.
- c) Carbono volátil parcialmente soluble, por ejemplo aceites.
- d) Materia con partículas carbonosas insolubles, por ejemplo fibras de celulosa.
- e) Materias carbonosas solubles absorbidas en materiales inorgánicos.

Reacción de oxidación verificada:

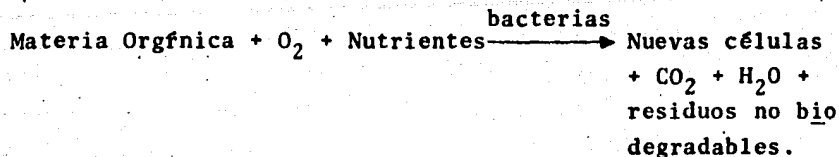


### Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

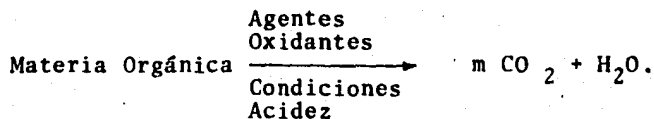
La prueba analítica de la DBO estima la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica de una muestra de aguas residuales, por medio de una población microbiana heterogénea. La información obtenida en la DBO es de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. En dicha prueba a excepción de ciertos compuestos aromáticos, como benceno que no se oxidan en la reacción, de ben de incluirse en la prueba de demanda química de oxígeno.

Es importante aclarar que en esa prueba, es medido el oxígeno consumido por organismos vivos al usar como alimento la sustancia orgánica presente en el desecho.

## Reacción Bioquímica:

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Este es útil para determinar la cantidad de oxígeno para oxidar la materia orgánica de un desecho, mediante un oxidante a condiciones de acidez controlada, temperatura y tiempo, transformando la materia orgánica en  $\text{CO}_2$  y agua, como se observa en la siguiente reacción:



## SELECCION DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO DE IONES APROPIADAS AL PROCESO.

Se cuenta con dos grupos diferentes de resinas que son:

I.- Resina macrometicular. Tienen un promedio de diámetro el poro de 1300 angstroms y son de longitud tal que permite captar moléculas de gran tamaño y peso molecular, siendo fácil su posterior desorción; tienen estructura abierta, esto permite que sean de mayor eficiencia y durabilidad por no permitir que se tapen y queden inactivas.

II.- Resina tipo gel.- Se deriva del divinilbenceno, se caracteriza por que su porosidad es de tal tamaño que hace selectiva la adsorción química por los diferentes tamaños de los iones siendo el tamaño de diámetro de poro de 40 angstroms máximo en la partícula.

Al seleccionar la resina mas apropiada para un estudio particular el investigador debe decidir primero cual es la función requerida y el tamaño de partícula mas conveniente así como la naturaleza de la resina. En general las resinas catiónicas sulfónicas tipo  $R-SO_3^-$  o aniónicas cuaternarias del tipo  $R-CH_3-N^+(CH_3)_3$  pueden utilizarse para la adsorción y separación de prácticamente todas las especies iónicas.

Tomando en consideración la recomendación hecha por el fabricante de las resinas Rohm & Haas (Química Trepic, S.A.), se eligió como resinas macrorreticulares las siguientes:

(a) Amberlita 200 que es tipo catiónico. Debido a su excelente estabilidad física y resistencia a la oxidación, resistencia a la temperatura (Hasta 300°F), su diámetro de partícula que es entre 0.4 y 0.5 mm, su comportamiento hidráulico y por su vida efectiva antes de agotarse es la máxima en comparación con las demás resinas con ácido sulfónico funcional.

- b) Amberlita IRA-900. Es tipo aniónico, base fuerte, que tiene el mejor flujo de desionización además puede eliminar material orgánico de las corrientes de proceso como son azúcares, color, cenizas o sólidos en suspensión.

Resinas tipo gel:

- (a) Amberlita IR-120. Es intercambiador catiónico de ácido débil, su grupo funcional es el ácido sulfónico, se elige debido a que puede eliminar elementos conocidos como tierras raras, aminoácidos, no se descompone por acción de la luz ya que el DVB está a un 8% lo cual la hace resistir mecánicamente, por ello puede soportar alta altura de cama; tiene alta resistencia a la oxidación.
- (b) Amberlita IRA-402. Es de intercambio aniónico de tipo base fuerte, su grupo funcional es el amonio cuaternario; su acción es con iones de pequeño diámetro molecular, puede captar ácidos orgánicos y antibióticos.

Por todo lo anterior fueron seleccionadas las resinas anteriores ya que son las que proporcionan mayores ventajas respecto a las demás.

DVB.- Divinil Benceno.



## Amberlita-200

Dicha resina es de tipo macromolecular de intercambio catiónico. Retiene iones tipo  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ , etc., que van en el agua dando dureza. Su operación tiende a disminuir hasta un punto en el que se encuentra envenenada y no filtra más iones, motivo por el cuál hay la necesidad de regenerarla con solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , para lo cual se necesita considerar un número de factores. Conociendo las PPM de sodio, calcio, magnesio y la alcalinidad, se determina la capacidad de intercambio y regeneración.

La Amberlita 200 tiene afinidad con iones monovalentes y divalentes y debe de hacerse un recipiente tipo columna para ser empacado y colocado en posición vertical, donde, por su parte superior se inyecta el agua de entrada y por caída libre llega al fondo pasando por todo el empaque hasta salir por la parte inferior como se ve en la figura 2.1.

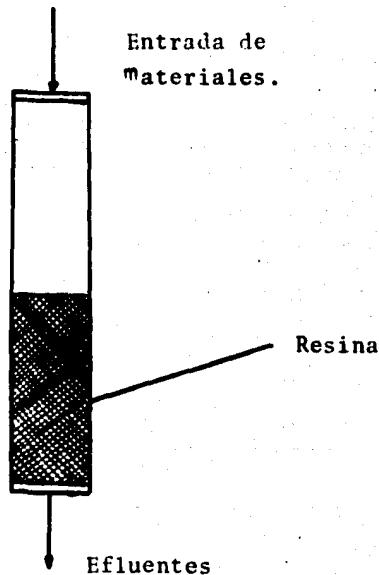


Fig.2.1

COLUMNA EMPACADA.

Se ha visto experimentalmente que en la práctica, en la parte superior del empaque y en la final, hay más retención de calcio y en la parte central se deposita sodio y magnesio. Ello significa que al regresarla, la velocidad de regeneración es diferente en algunas zonas de la columna, motivo por el cual hay la necesidad de tomar en cuenta una sección de expansión en la columna para que al regenerar la resina se revuelva libremente y así con la turbulencia provocada, la regeneración sea más eficiente. Ello se calcula mediante la Fig. 1.2 para la Amberlita 200.

Aquí primero entrar a la fig. 2.2 sup. que tiene lo siguiente: caída de presión en  $\text{lb/pulg}^3$  por pie de altura de empaque contra la velocidad de flujo GPM por  $\text{pie}^2$  de sección transversal a la temperatura de regeneración estipulada o de trabajo. Ya con lo anterior se pasa a la carta inferior que tiene el porcentaje de expansión de regenerar contra temperatura de acuerdo al gasto de agua por sección transversal  $\text{GPM/pie}^2$ . Al regenerar con una solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a la Amberlita 200, se tiene el problema de precipitación de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$  y  $\text{MgSO}_4$  formándose entre el empaque. Este precipitado es removido por la misma expansión hidráulica de la Amberlita y por correr con varias concentraciones de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en la regeneración. Las tablas siguientes como la I, se ve los niveles de regeneración y su concentración. Y en la tabla II, la velocidad a que debe ser circulado el flujo regenerante.

Tabla I.

## CONCENTRACION DEL REGENERANTE

<u>Nivel de Regeneración</u>	<u>Libras al 2%</u>	<u>Libras al 4%</u>	<u>Libras al 6%</u>	<u>Libras al 8%</u>
3	3			
4	2	2		
5	2	2	3	
6	2	2	2	
7	2	2	3	
8	2	3	3	
9	2	2	2	3
10	2	2	3	3

Tabla II

## VELOCIDAD DE FLUJO REGENERANTE.

<u>Calcio entrante</u>	<u>Velocidad de flujo GPM/pe<sup>2</sup></u>
100	2.0
75	1.5
50	1.0
25	0.5
0	0.5

Debe notarse que la temperatura de regeneración de la solución también influye en la precipitación de sales, con aumento de temperatura, lo cual debe ser reconocido para un buen diseño práctico; no obstante, es generado calor de disolución cuando se mezcla el ácido y el agua, así que este detalle no hacerlo menos.

De la Fig. 2.3 a la 2.11 contienen la información requerida para calcular la capacidad y nivel de filtración para un cierto análisis de agua dado y un nivel de regeneración (3 a 10 lb de  $H_2SO_4$  a 66°Bé por pie<sup>3</sup>). Se debe conocer del análisis de agua las cantidades de sodio, calcio y magnesio en % del total de cationes. Debemos fijar el gasto de agua de salida para el diseño de la unidad.

Mediante las Figs. 2.12 a la 2.19, se selecciona el nivel apropiado de regeneración, posteriormente la filtración y regeneración se establecerán en acuerdo al nivel pedido, determinándose la capacidad de operación.

Una capacidad preliminar (iso-capacidad) será hecha mediante la carta triángular del correcto nivel de regulación; esto es debido al hecho de que el regenerante, o sea solución de ácido sulfúrico, está hecho con agua del tipo que se va a purificar, conociéndose su proporción en ppm de  $Na^+$   $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$ ; siendo que tiene en realidad un % de alcalinidad, lo cual reaccionará con una porción del  $H_2SO_4$  de la solución misma, mo

tivo por el cual es necesario que se haga una corrección, para lo cual se usará la Fig. 2.11 y multiplicar la iso-capacidad por el número leído, obteniéndose la capacidad verdadera.

Ejemplos:

(1) Análisis del agua (todos los constituyentes en ppm como  $\text{CaCO}_3$ )

	ppm	%
Sodio	72	40
Calcio	81	45
Magnesio	27	15
Total cationes	180	100
Alcalinidad	90	50
Sulfatos	47	26
Cloruros	41	22
Nitratos	2	2
	180	100

(2) Fijar la cantidad tolerable de cationes del agua efluente, 1.05 ppm como  $\text{CaCO}_3$  ó 0.6% del total de cationes.

(3) PROCEDIMIENTO.

Aquí se selecciona el nivel de regeneración que da el promedio de cationes filtrados mediante las figs. 2.12 a 2.17. En este caso cual cumple con filtrar el sodio y dar 0.6% de salida. La figura 2.15 es la que chequea, dando un nivel de regeneración de 6 lb de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 66°Bé/pie<sup>3</sup> de Amberlita 200.

Estimar ahora la iso-capacidad con las gráficas triangulares para lo cual se ve la que opera con una capacidad de regeneración de 6 LB de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 66°Bé/pie<sup>3</sup> de Amberlita 200 que es la fig. 2.6. Para un 60% de sodio, 45% de calcio y un 15% de magnesio a 0% de alcalinidad, se sitúa el punto a 12.4 kilogramos de  $\text{CaCO}_3$ /pie<sup>3</sup> con lo cual se pasa a la fig. 2.11 para hacer la corrección de capacidad con los datos de 50% de alcalinidad y 40% de sodio, obteniendo un factor de 1.11.

La capacidad será  $= (1.11)(12.4) = 13.764$  kilogramos como  $\text{CaCO}_3$ /pie<sup>3</sup>

Ahora se asume la influencia del agua de lavado, fijando 50 cal/pie<sup>3</sup> para hallar la capacidad de operación:  $C_o = \frac{Ct-R}{K}$

$C_o$  = Capacidad de Operación. gal/pie<sup>3</sup>

$Ct = 13764$  granos /pie<sup>3</sup> es nota técnica de capacidad calculada.

$$R = \frac{50 \text{ gal.}}{\text{pie}^3} \times \frac{180 \text{ granos}}{17.118 \text{ gal}} = \frac{525.762 \text{ granos}}{\text{pie}^3}$$

1 Grano/Gal = 17.118 ppm

$R$  = Pérdida de capacidad a través del lavado en granos/pie<sup>3</sup>

$$K = \frac{180 - 1.05}{17.118} = 105.454 \text{ granos/gal.}$$

$R$  = Concentración efectiva del agua de entrada.

Así que  $C_o = 1266.333$  gal/pie<sup>3</sup>

#### (4) RESULTADOS:

En la unidad de filtración de cationes con Amberlita 200 se regenerará con 5lb de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 66°Bé en 60 galones de agua de lavado, en corridad de 2, 4 y 6' con velocidad de 1 gal/min.

A esas condiciones, permitirá cada pie cúbico de Amberlita 200 tratar 1266.33 galones de agua de entrada y el filtrado promedio que se hará será del orden del 98.95% de cationes.

Por último, en relación a Amberlita 200 catiónica notar que las cartas triangulares indican únicamente iso-capacidades en Kgr./pie<sup>3</sup>, donde el eje c-C es para el sodio; en b-B para magnesio y el a-A para calcio y dicha iso-capacidad es referente a un cero por ciento de alcalinidad, para que posteriormente con el factor de corrección se ajuste a la capacidad correctamente.

Fig. 2.2

CAIDA DE PRESION Y DATOS DE EXPANSION HIDRAULICA

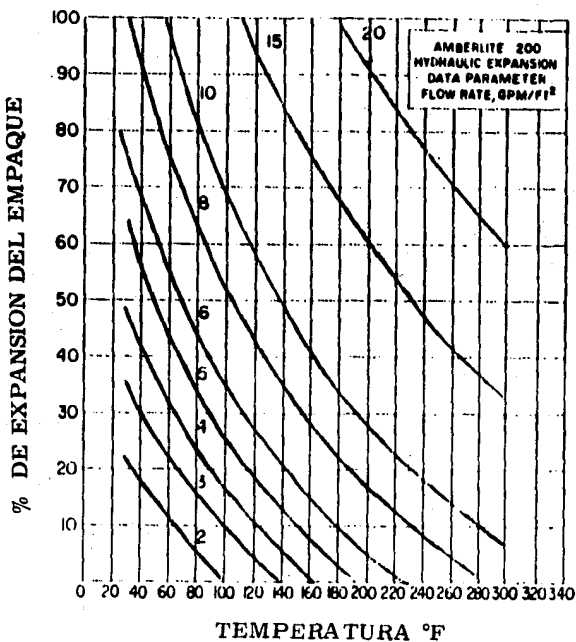
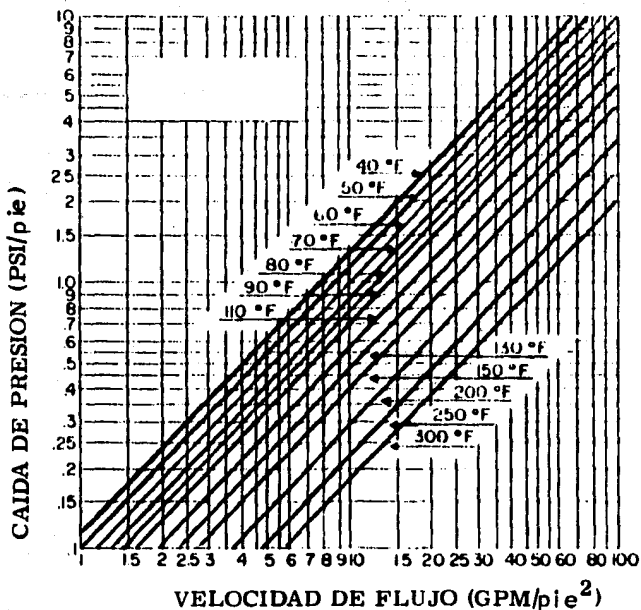


FIG. 2.3 AMBERLITA 200 DATOS DE LA CAPACIDAD DE REGENERACION 3:1  $H_2SO_4$  (66° B $\acute{e}$ ) /  $pe^3$

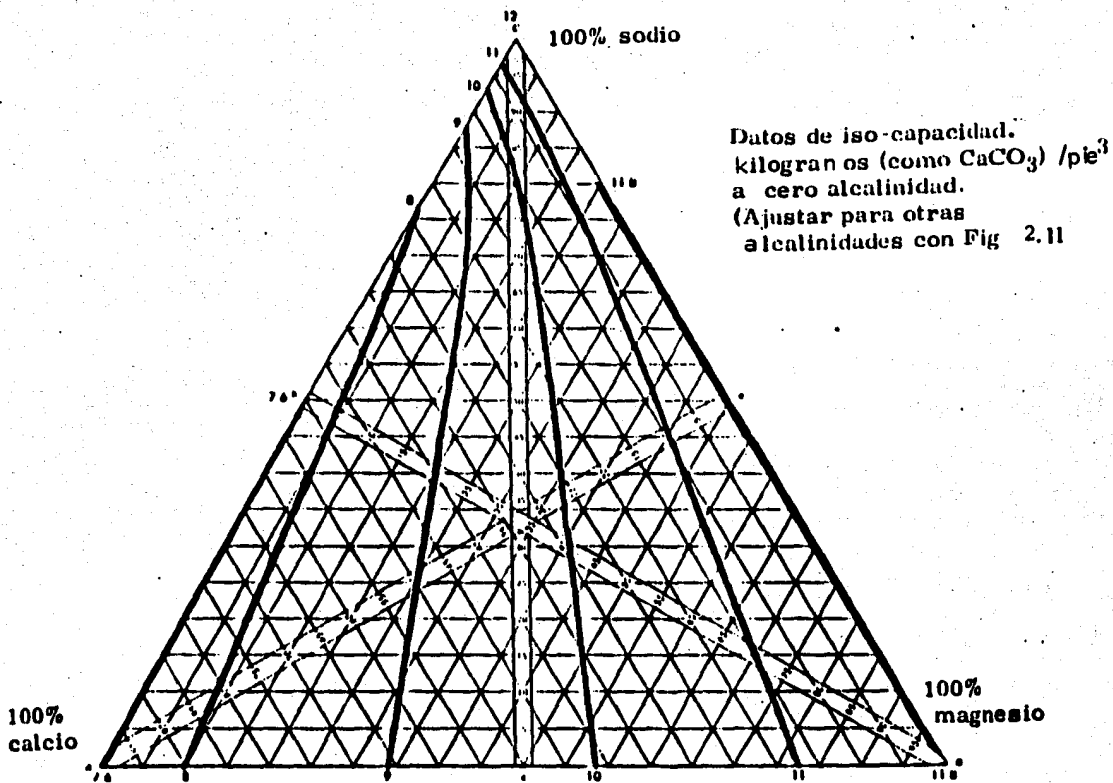


Fig. 2.4

AMBERLITA 200 DATOS DE CAPACIDAD DE REGENERACION  
4 lb. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66° Bé)/pie<sup>3</sup>

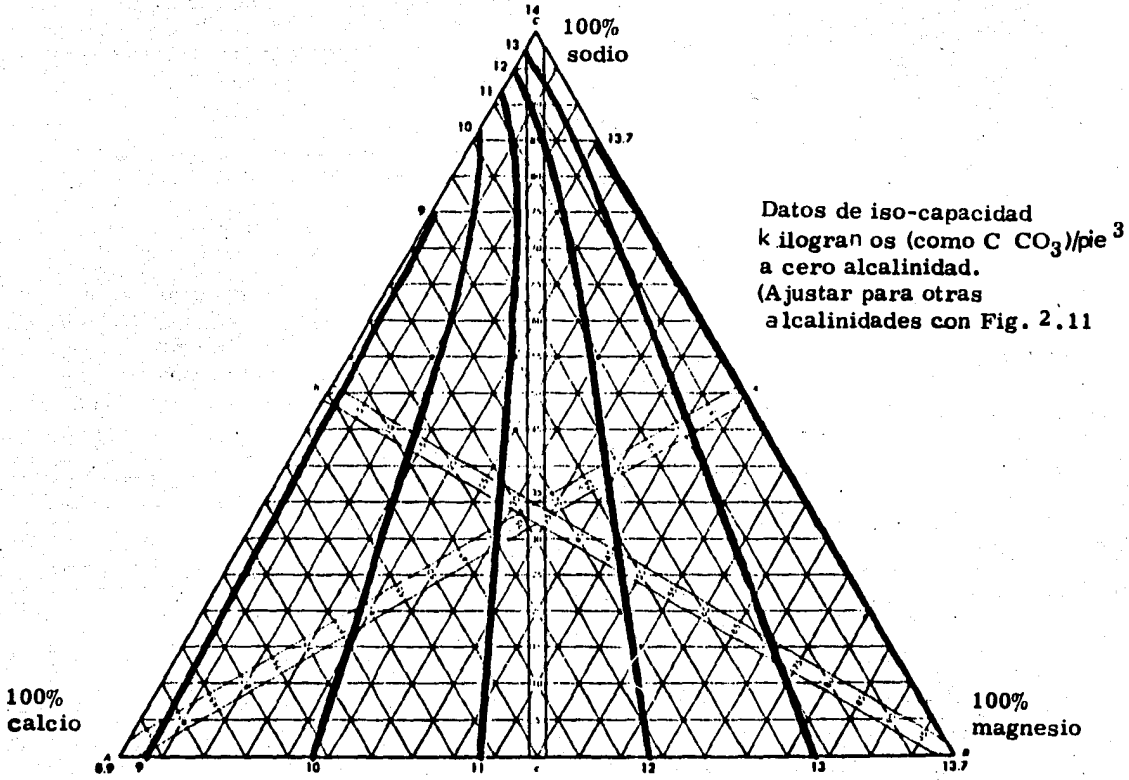




Fig. 2.5

AMBERLITA 200 DATOS DE LA CAPACIDAD DE REGENERACION  
5 lb . H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66° Bé)/pie<sup>3</sup>

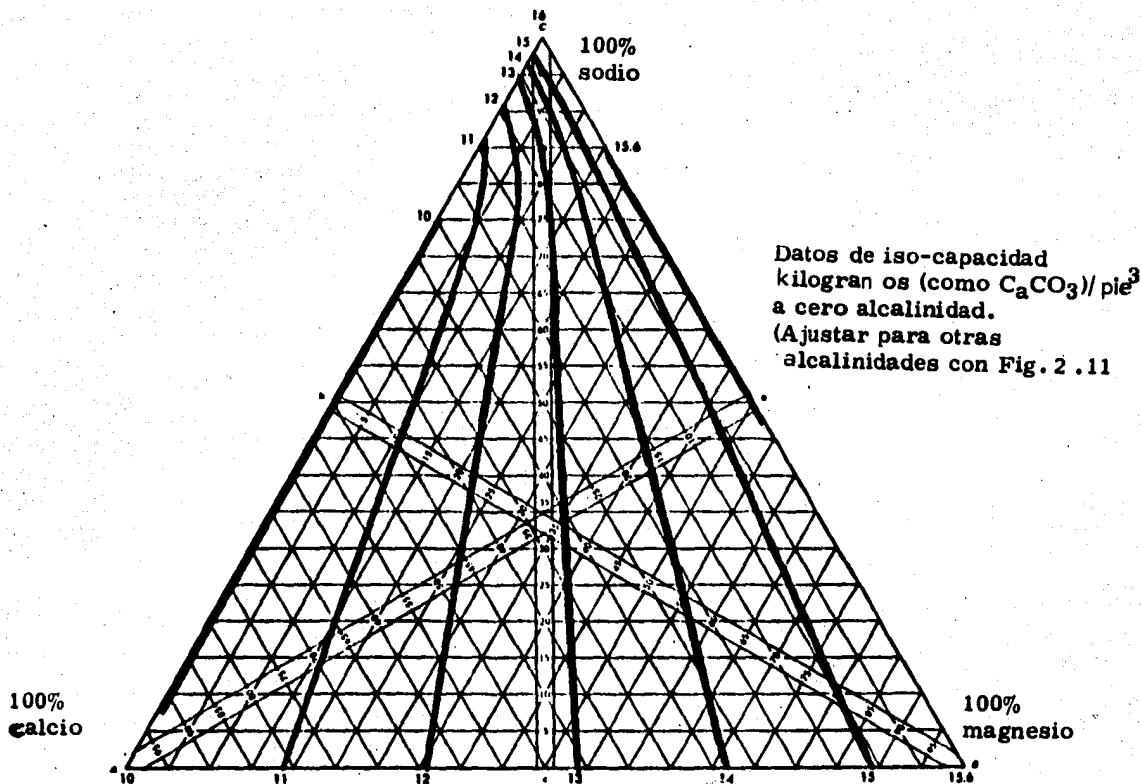


Fig. 2.6

AMBERLITA 200 DATOS DE LA CAPACIDAD DE REGENERACION  
6 lb . H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66° Bé)/pie<sup>3</sup>

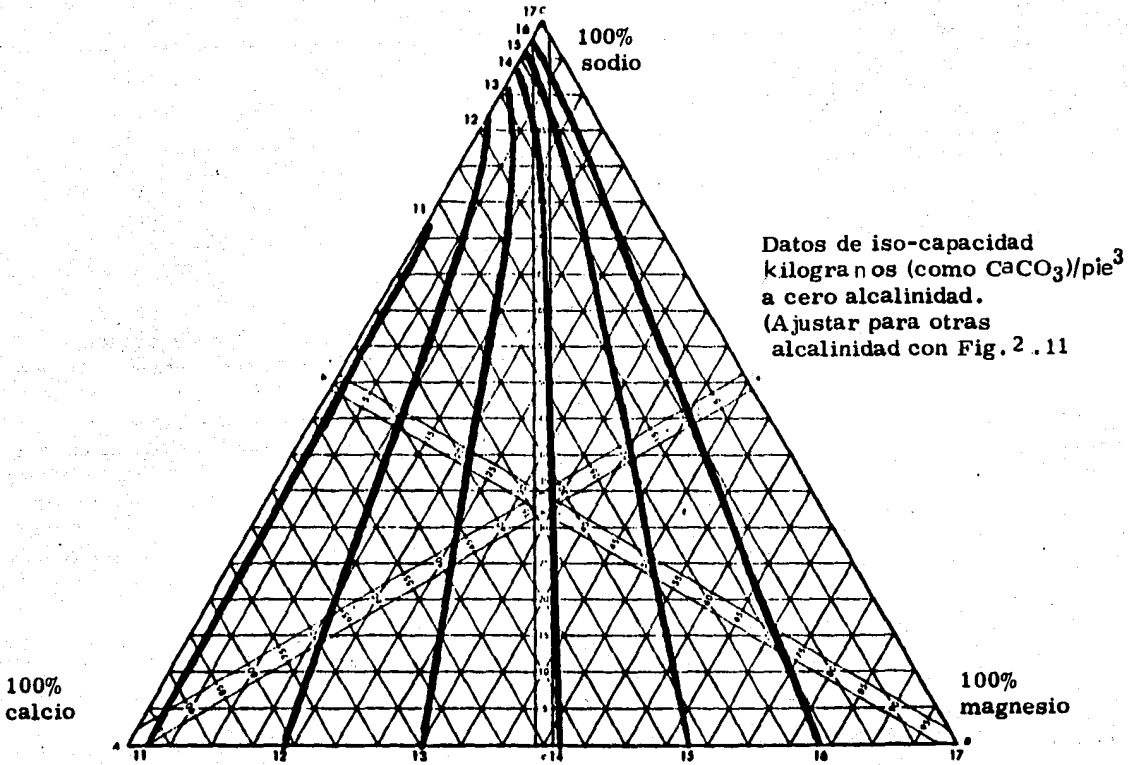


Fig. 2.7

AMBERLITA 200 DATOS DE CAPACIDAD DE REGENERACION

7 lb.  $H_2SO_4$  (66° Bé)/pie<sup>3</sup>

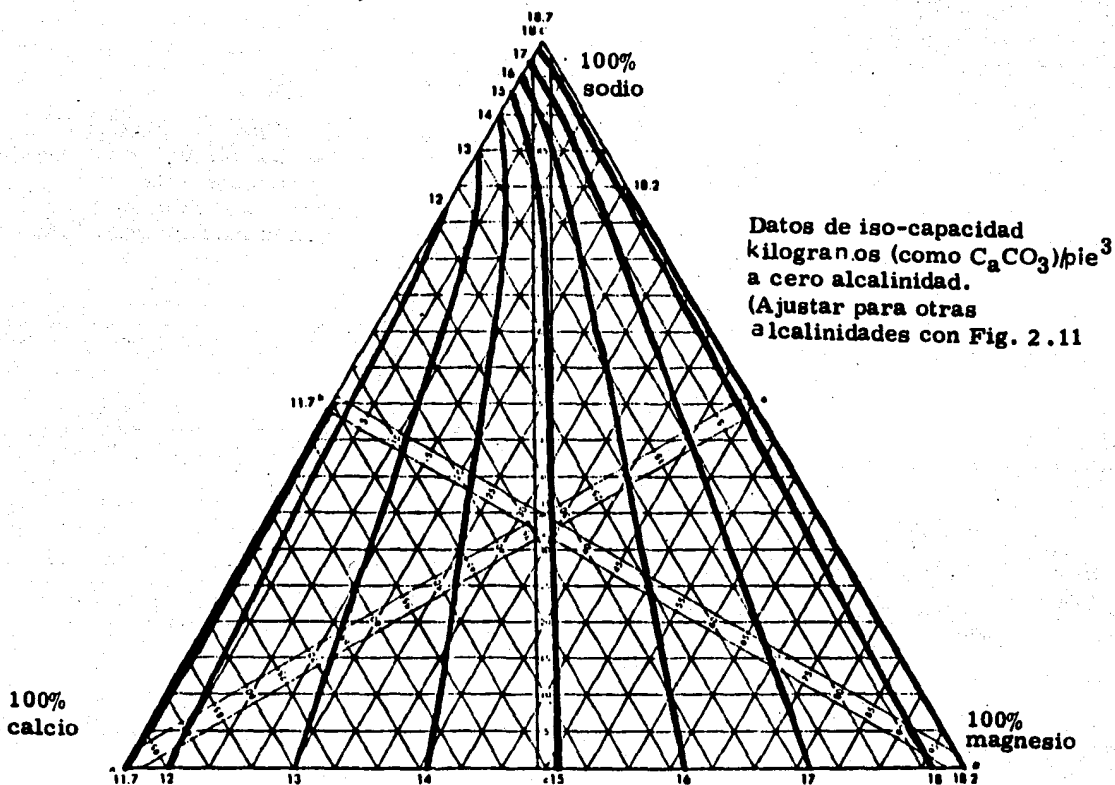


Fig. 2.8

AMBERLITA 200 DATOS DE CAPACIDAD DE REGENERACION

8 lb . H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66° Bé)/pie<sup>3</sup>

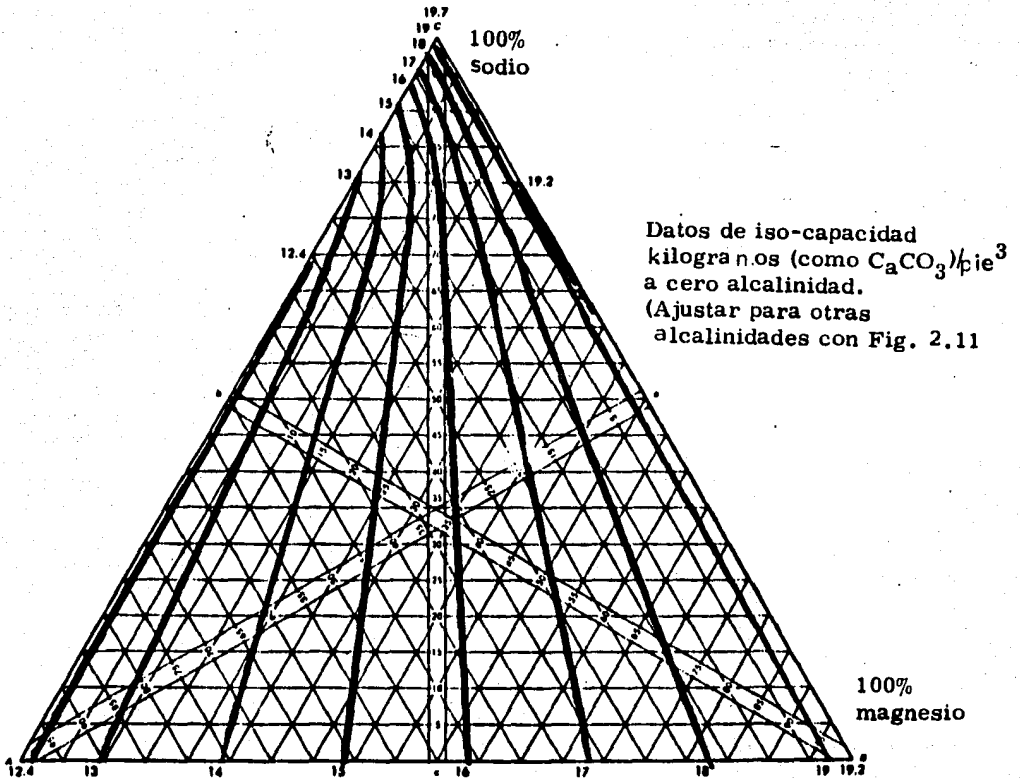


Fig. 2.9

AMBERLITA 200 DATOS DE LA CAPACIDAD DE REGENERACION  
9 lb . H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66 °Bé)/pie<sup>3</sup>

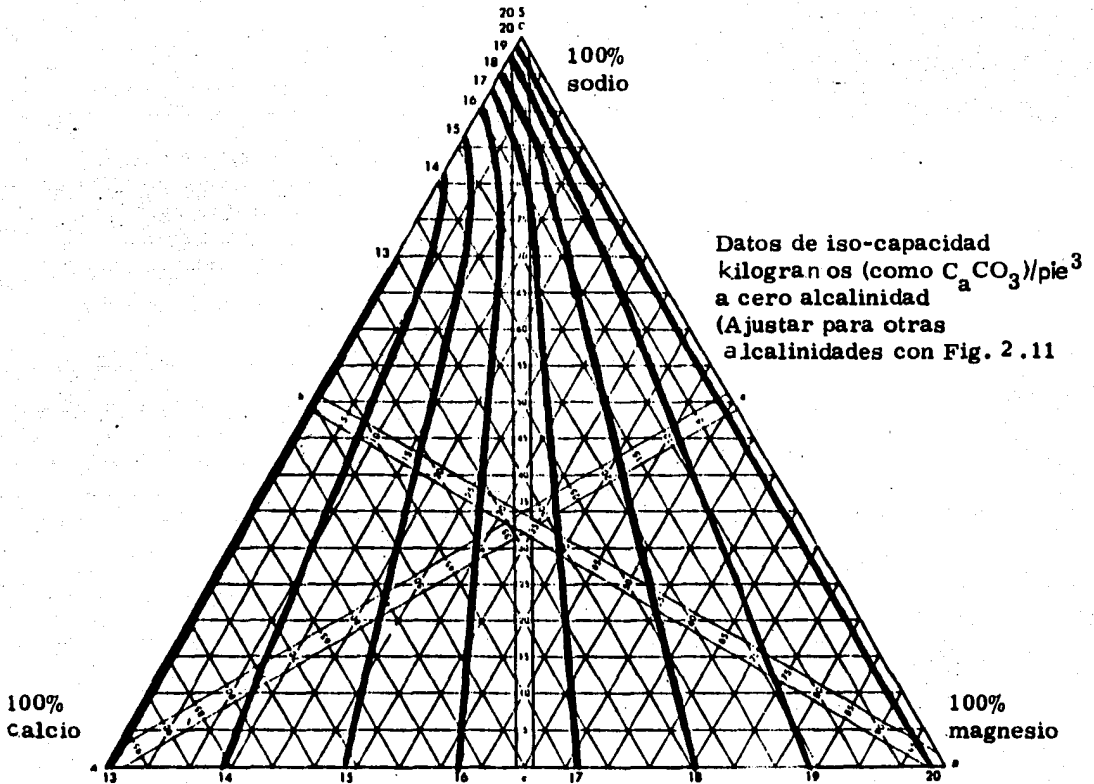


Fig. 2.10

AMBERLITA 200 DATOS DE LA CAPACIDAD DE REGENERACION  
10 lb . H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66° Bé)/pi<sup>3</sup>

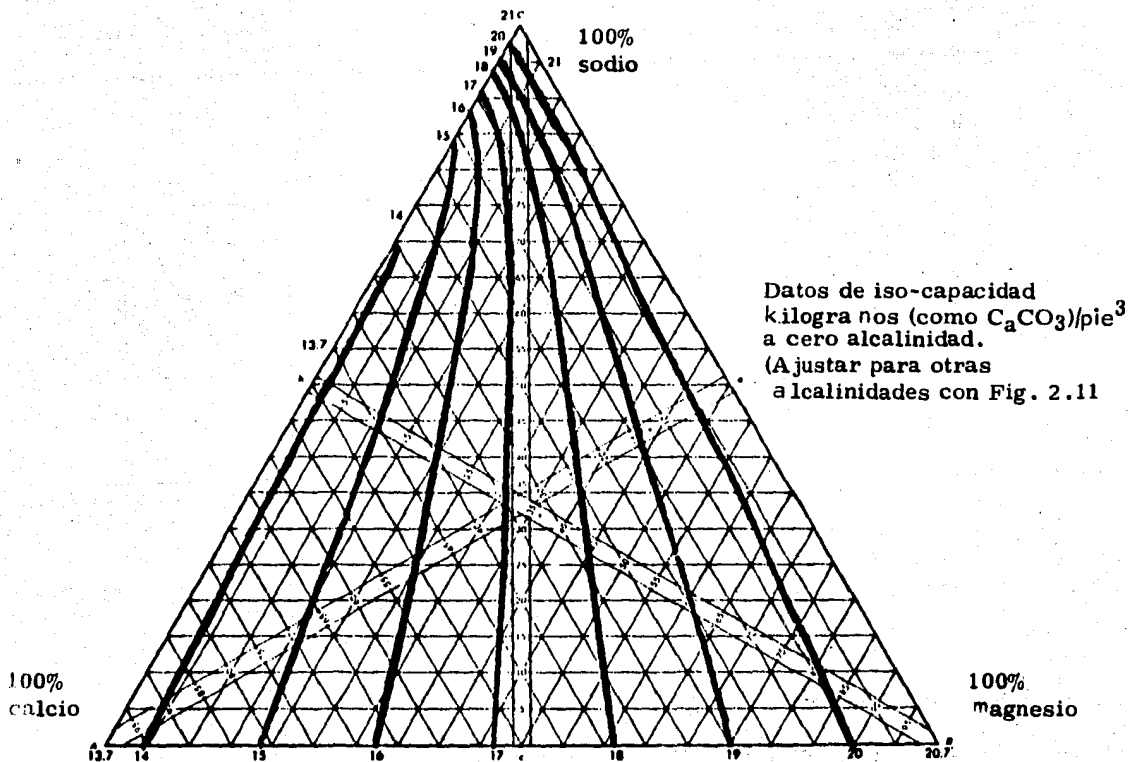


Fig. 2.11

AMBERLITA 200

CAPACIDAD DE CORRECCION PARA ALCALINIDAD.

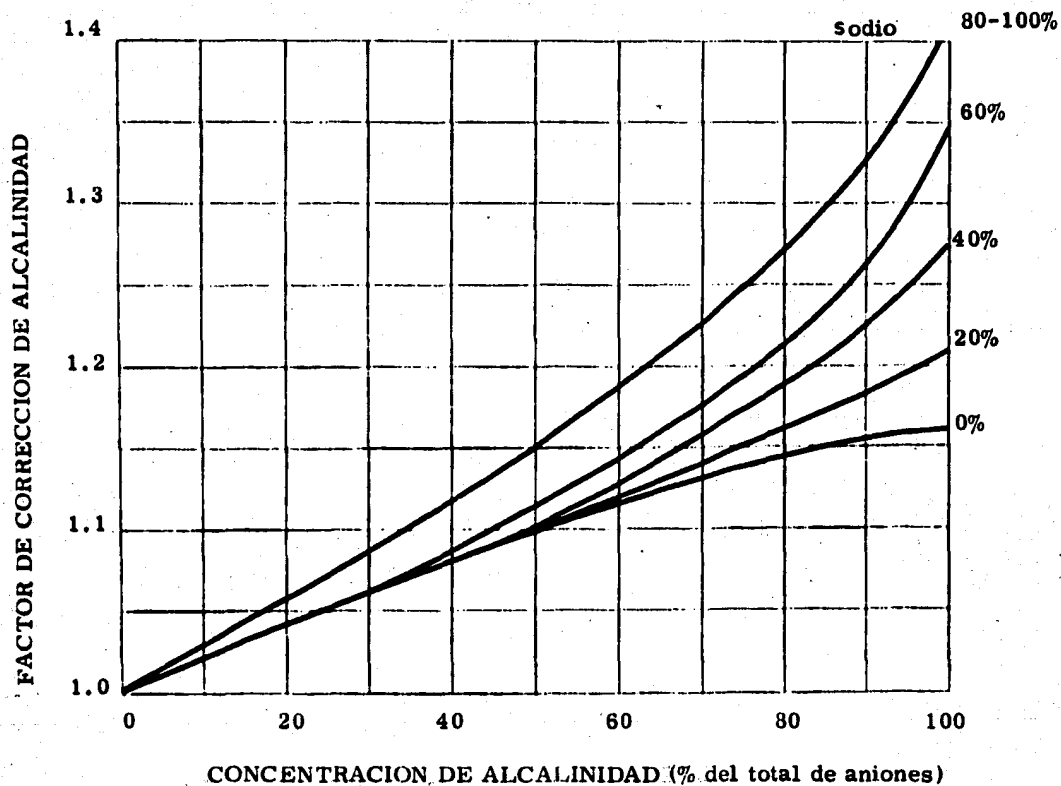


Fig. 2.12

AMBERLITA 200  
DATOS DE CAPACIDAD DE FUGA.  
3 lbs. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66° Bé)/pie<sup>3</sup>

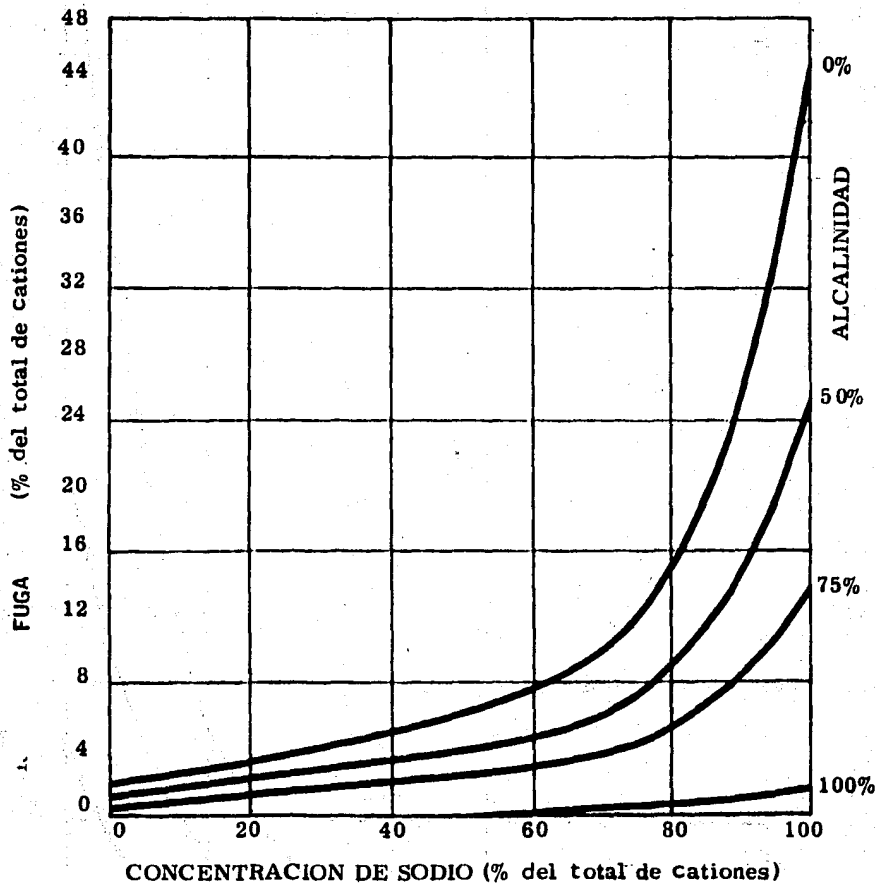




FIG. 2.13 AMBERLITA 200. DATOS DE CAPACIDAD DE FUGA.

5 lb.  $H_2SO_4$  (66°Bé)/pie<sup>3</sup>.

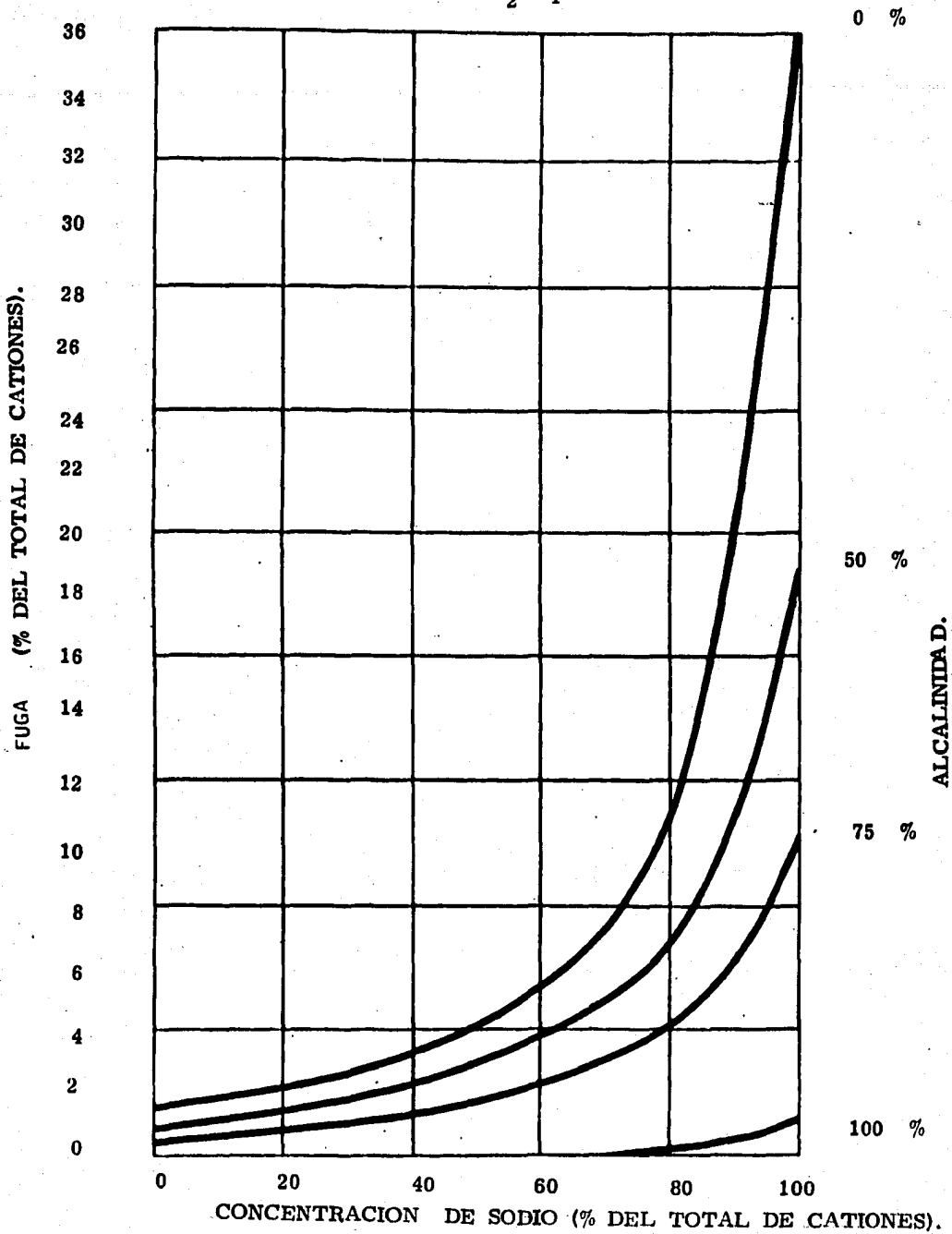


FIG. 2.14 AMBERLITA 200. DATOS DE CAPACIDAD DE FUGA:

5 lb .  $H_2SO_4$  (66° Bé)/pie<sup>3</sup>.

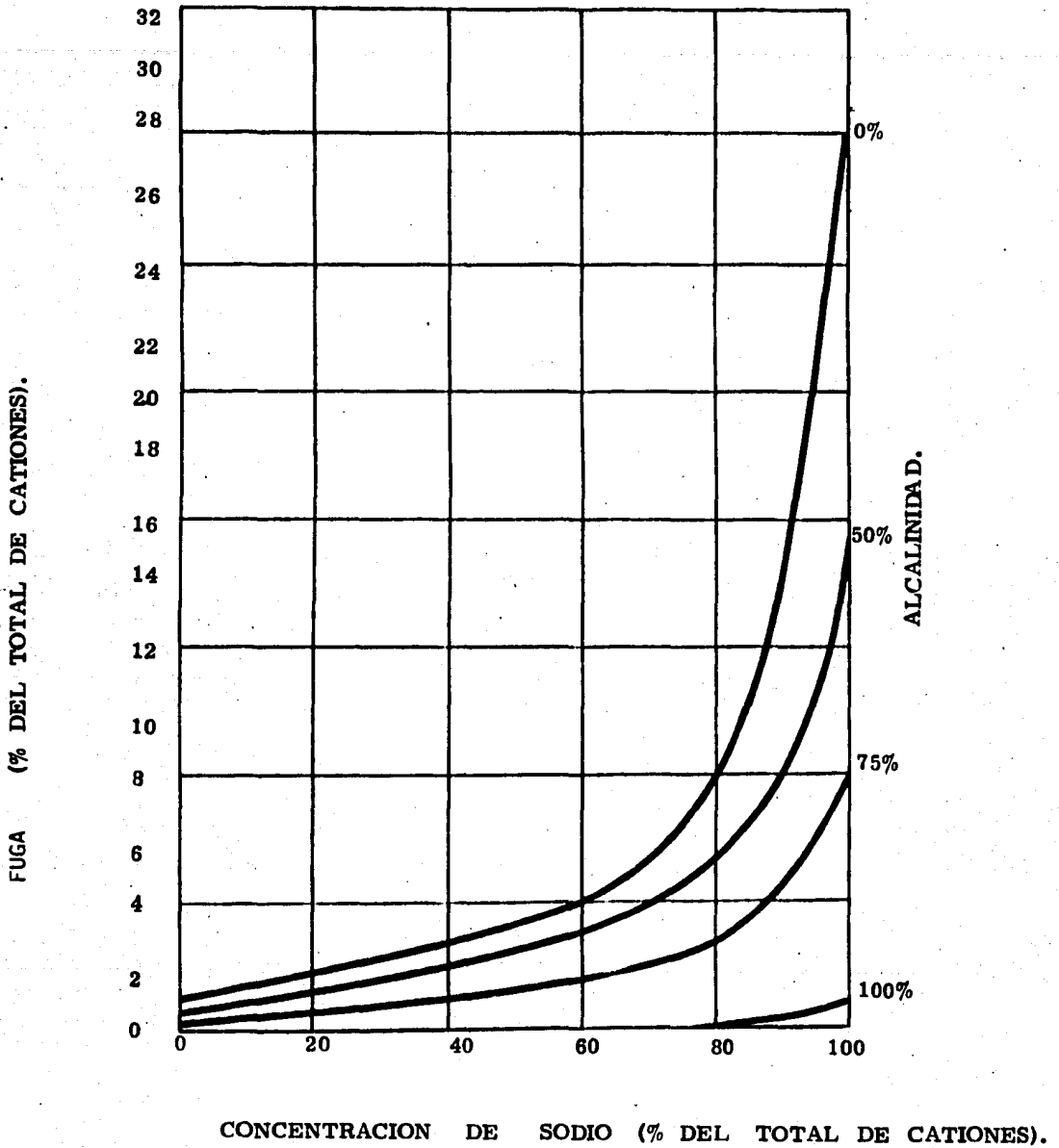


FIG. 2.15 AMBERLITA 200. DATOS DE CAPACIDAD DE FUGA.

6 lb .  $H_2SO_4$  (66°Bé)/pe<sup>3</sup>.

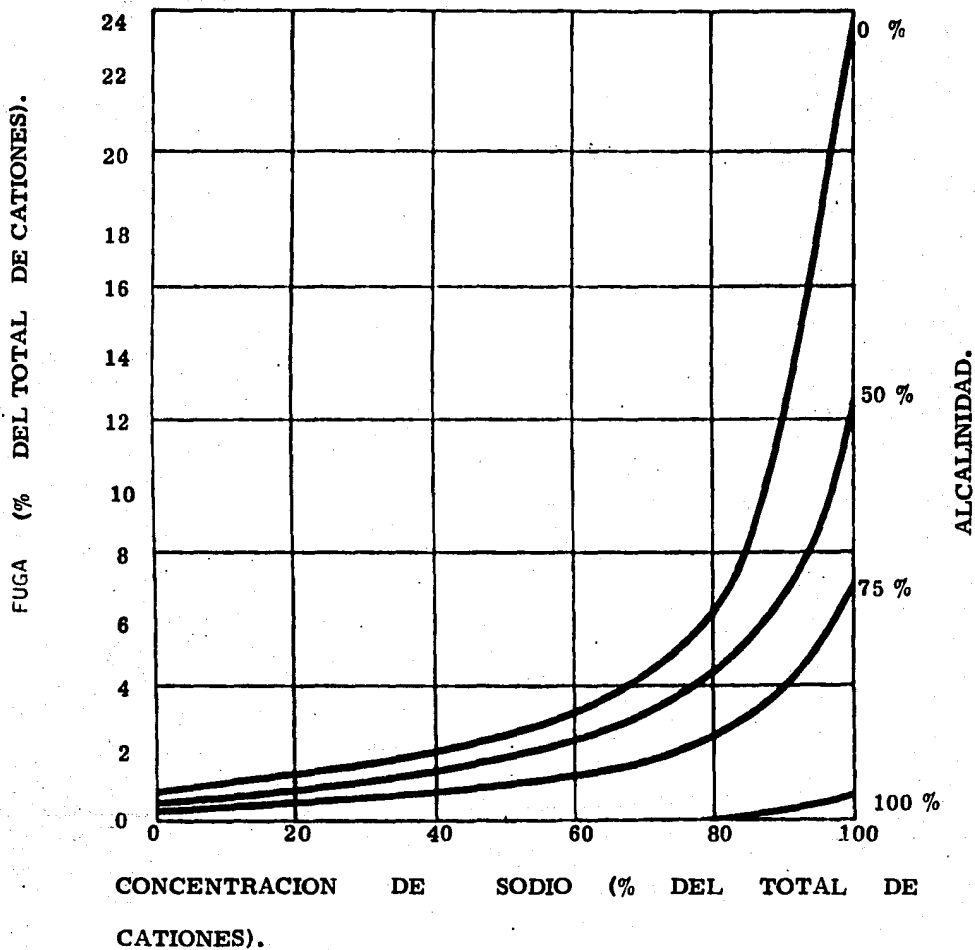
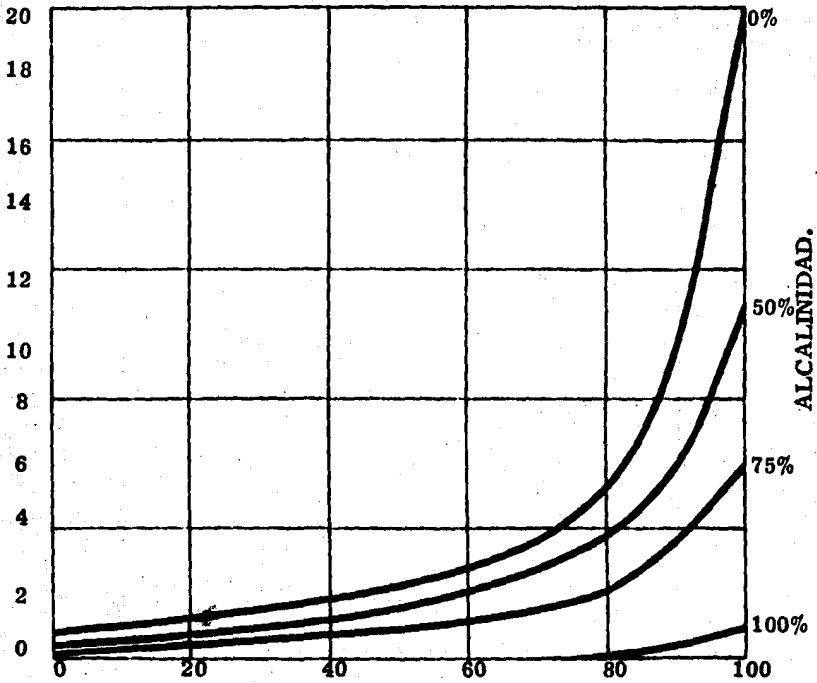


FIG. 2.16 AMBERLITA 200 DATOS DE CAPACIDAD DE FUGA.

7 lb.  $H_2SO_4$  (66°Bé)/pie<sup>3</sup>.

FUGA (% DEL TOTAL DE CATIONES).



CONCENTRACION DE SODIO (% DEL TOTAL DE CATIONES).

FIG. 2.17 AMBERLITA 200. DATOS DE CAPACIDAD DE FUGA.

8 lb . H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66°Bé)/pie<sup>3</sup>.

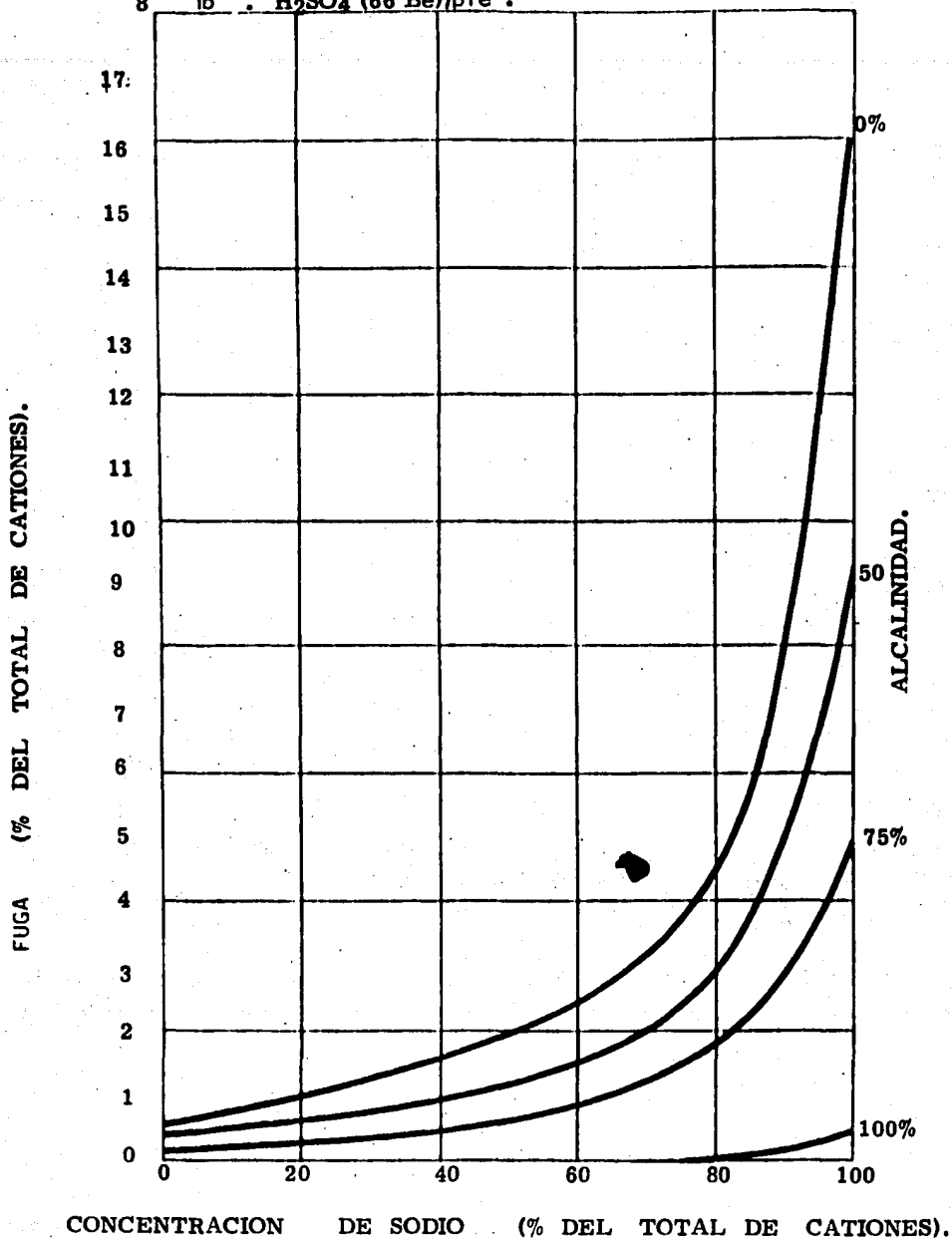


FIG. 2.18 AMBERLITA 200. DATOS DE CAPACIDAD DE FUGA.  
 9 lb. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66°Bé)/pie<sup>3</sup>.

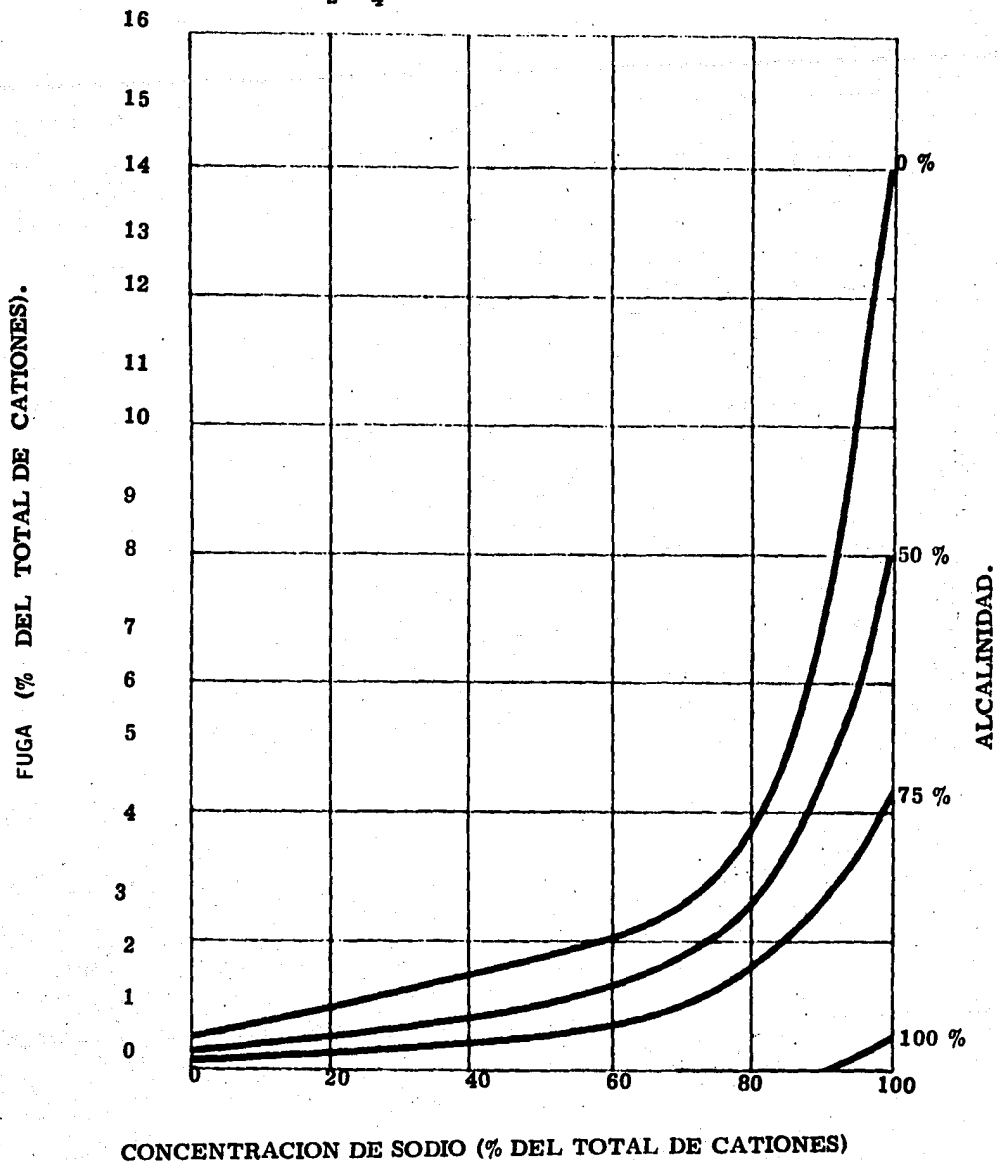
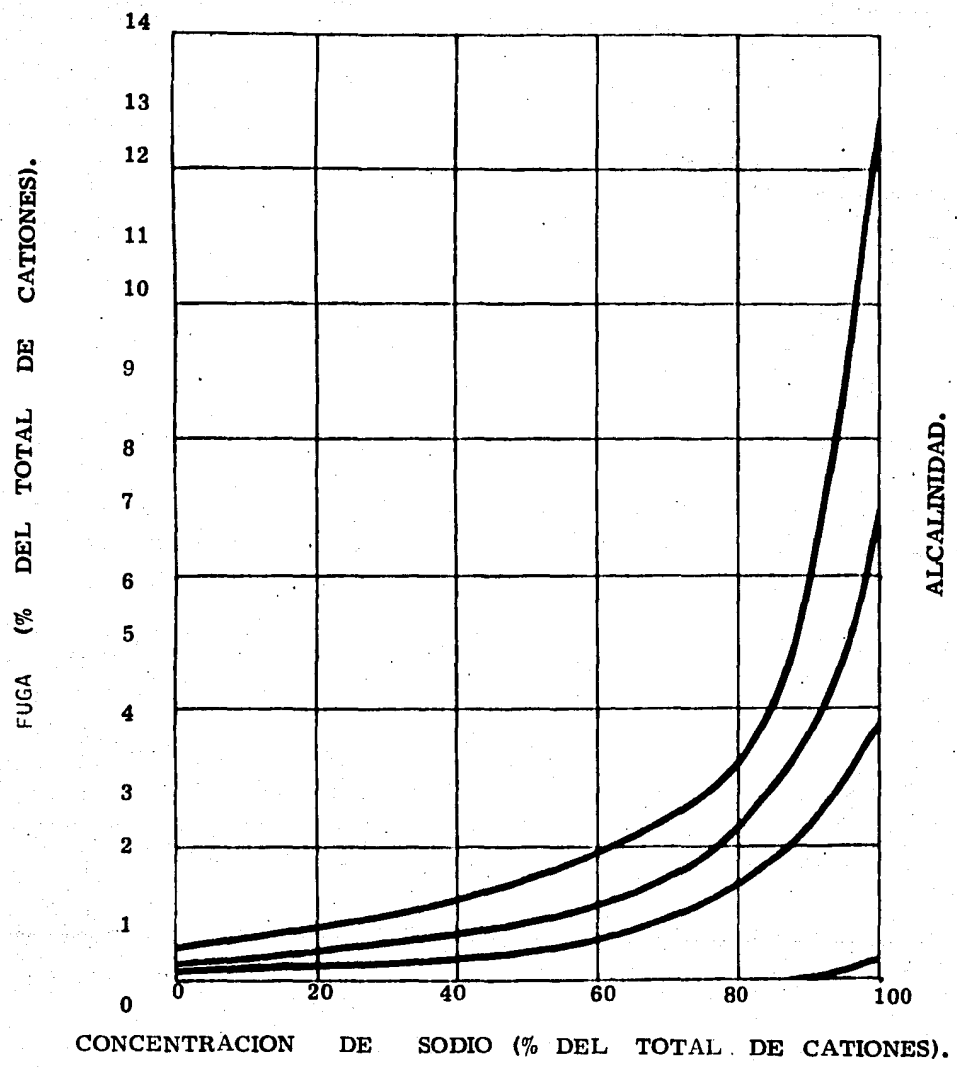


FIG. 2.19 AMBERLITA 200. DATOS DE CAPACIDAD DE FUGA.  
 10 lb. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66°Bé)/pie<sup>3</sup>.



## AMBERLITA IRA -402.

Esta resina es de intercambio aniónico, fuertemente básica, derivándose dicha basicidad por tener un amonio cuaternario funcional, que en este caso es útil para producir el intercambio de iones. Posee una figura esférica y porosa la Amberlita, basada en un copolímero sobre estireno-divinilbenceno; donde el polímero es útil para sintetizar este producto.

Sus usos son en procesos de intercambio iónico, como para eliminar sílice del agua de entrada a calderas, y su ventaja respecto a otras resinas es que por su porosidad, permite remover los contaminantes del agua y mediante la desorción de los contaminantes de la resina por el proceso de regeneración, nuevamente queda lista la resina para su uso. La Amberlita IRA-402 proveerá alta capacidad de intercambio de inorgánicos con un funcionamiento confiable para remover orgánicos. A este respecto, es un hecho que funciona bien en cama múltiple y monocama, instalando la resina para industrializar el agua de salida, cosa que otras resinas involucran agua con otros orgánicos.

La caída de presión en la cama de Amberlita IRA-402 es parcialmente dependiente de la rapidez del flujo y la temperatura del agua. Estas relaciones se muestran gráficamente en la fig. 2-20 para agua a varias temperaturas. La caída de presión total se puede calcular multiplicando la presión leída en la fig. 2-20 en función del gasto manejado a temperatura constante, por la altura de la cama en pies, dicha presión se incrementará si el agua contiene material insoluble que se depositará en la parte superior del empaque durante la ejecución de un ciclo o por aumento en la viscosidad de la solución.

Las tablas siguientes dan información sobre las condiciones de operación bajo las cuales se obtienen resultados óptimos.



## Propiedades físicas y químicas.

(Todos los datos son para aplicarse a cloruros, excepto donde es indicado).

Forma iónica	Cloruro.
Figura	Partículas Esféricas
Humedad	50 a 57%
Densidad	40 a 43 lb/pe <sup>3</sup>
Peso de embarque	43 lb/pe <sup>3</sup>
Tamaño	0.45 mm. a 0.55 mm.
Grado de tamizado	16 a 50 mallas.
Coefficiente de uniformidad	1.75 máximo
Contenido de fineza	Menos que 2% a través de 50 mallas.
Esponjado	Máximo 25% sobre conversión completa de forma cloruro a forma hidróxido.
Capacidad total de intercambio.	
(a) Volumétrica	1.25 meq./ml mínimo 27.3 Kg./pe <sup>3</sup> como CaCO <sub>3</sub>
(b) Peso	4.2 meq./2 de resina seca en forma de cloruro mínimo
Limitaciones de temperaturas	
Forma OH <sup>-</sup>	140°F o 60°C Máximo
Otras formas	170°F o 77°C Máximo.
Características de operación sugeridas	
Límite de pH	Ninguno
Altura mínima de cama	24 pulgadas
Concentración de regeneración	4% NaOH
Velocidad de flujo de regeneración	D-25 a 0.5 gal/pe <sup>3</sup> /min.
Nivel de regeneración	Ver el Texto.
Velocidad de flujo de enjuague	D-25 a 0.5 gal/pe <sup>3</sup> /min.

- 1 La relación de concentración de sílice, a la concentración de aniones total a la entrada.
- 2 Nivel de regeneración.
- 3 Temperatura de regeneración.
- 4 Velocidad de flujo de regeneración.
- 5 Velocidad de flujo de servicio
- 6 Sodio de entrada.

Las relaciones de los primeros tres factores, se ilustran en las figuras 2.22, 2.23, 2.24 y 2.25, esto es para los niveles de regeneración de 4, 6, 8 y 10 libras de NaOH/pe<sup>3</sup> de Amberlita IRA-402 a las temperaturas de regeneración de 75°F, 95°F y 120°F. Estos datos se obtuvieron en el laboratorio, utilizando unas columnas de 1 pulg. de diámetro con flujo de regeneración de 0.25 gpm/pe<sup>3</sup> y 2.5 gpm/pe<sup>3</sup> de flujo de servicio, y las temperaturas son las que tiene la solución de NaOH en el lecho de empaque. Es importante que no se exceda de la temperatura de 120°F y se dan varias temperaturas para regeneración, aunque la óptima sea de 120°F debido a que también es imposible en ocasiones mantener esa temperatura constante.

Para regenerar la Amberlita IRA-402 no hay que pasar de 140°F y menos de 70°F, siendo la óptima de 120°F en la solución de NaOH.

La Amberlita IRA-402 posee sal como cloruro, que se va consumiendo por la misma operación de exhaustión, por eso hay que regenerar a un nivel de 4 lb. de sal por pe<sup>3</sup> o con solución a 5 6 10% de la sal apropiada, a un flujo de 1 a 0.5 GPM/pe<sup>3</sup>.

Así que se recomienda lo siguiente para una buena regeneración de la resina:

- 1 Nivel de regeneración de 4 a 5 lb/pe<sup>3</sup> de NaOH a 100%.
- 2 Concentración de regenerante de 4% de NaOH.
- 3 Temperatura entre 75°F y 120°F a medida que la temperatura se acerque a 120°F la eliminación de sílice aumenta.

Para desplazar regenerantes	1.5 GPM
Velocidad de flujo de servicio	40. a 90 gal./pie <sup>3</sup> min.
Agua requerida de enjuague	2 a 5 gal./pie <sup>3</sup> / min.
Capacidad de intercambio	Ver el texto.

Como es normal de las partículas sólidas el grado al cuál la Amberlita IRA-402 se expande cuando otra solución fluye en la resina hacia arriba es directamente dependiente de la velocidad del flujo, su temperatura, viscosidad y densidad.

Todas las camas de resinas, deben ser retrolavadas, después del ciclo de agotamiento para quitar material extraño y reclasificar las partículas de las resinas; las unidades deben diseñarse para permitir un 50 a 70% la expansión en esta operación.

En la fig. 2.21 se observa como varía la expansión de la resina respecto a la rapidez de flujo y la temperatura del lecho empacado.

Esta Amberlita IRA-402 es usada como filtrante de CO<sub>2</sub> y SiO<sub>2</sub> cuando opera en tratamiento de aguas, asimismo filtra cloruros, sulfatos y nitratos que no estén a alta concentración en la misma agua, pero que contribuyen a aumentar la conductividad del agua, causando serios problemas de corrosión e incrustamiento en equipos contruidos a base de metales.

Después de un ciclo de operación, de filtración de sílice, si no es regenerada, la resina correctamente, se tendrán problemas de operación en las subsecuentes corridas para eliminar sílice ya que lo más seguro es que se encuentre presente como HSiO<sub>3</sub><sup>-</sup> o en forma de polímero soluble. Es importante notar que el sílice en estado coloidal no será adsorbido; pero el sílice en estado ácido tiende a polimerizar y en estado básico es despolimerizado; es decir XSO<sub>2</sub>  $\xrightleftharpoons[\text{Alcalino}]{\text{Acido}}$  (SiO<sub>2</sub>) y en la resina, por supuesto favorecemos la despolimerización, aunque ello induce en tratamiento de agua que el sílice aún valla presente en los eficientes, dando lugar a una mala operación de la resina, lo cuál puede controlarse por:

- 4 Gasto de solución de sosa 0.25 GPM/pe<sup>3</sup>.
- 5 Lavado con agua de 0.25 a 1.5 GPM/pe<sup>3</sup>.

Para determinar la capacidad de la resina, es necesario usar las gráficas 2.28 a 2.39 de acuerdo con las caracterfsticas de operación mencionadas al principio.

EjemplosCALCULO DE LA CAPACIDAD.

Cierto tipo de agua se va a desionizar con Amberlita IRA-120 y Amberlita IRA-402 la filtración de sílice en el efluente ya tratado debe ser menor que 0.1 PPM (como  $\text{CaCO}_3$ ).

El análisis de Iones efluentes es:

Cloruros	2 ppm como $\text{Cl}^-$
Nitratos	0
Sulfatos	8 ppm como $\text{SO}_4^{2-}$
Bicarbonatos	20 ppm como $\text{HCO}_3^-$
Sílice	12 ppm como $\text{SiO}_2$

La concentración de aniones es convertida primero a ppm como  $\text{CaCO}_3$  y entonces ellos se pueden expresar como fracciones del total de la concentración de aniones.

Las figs. 2.22 a 2.27 se consultan para seleccionar el nivel de regeneración y su temperatura, el cual produce el nivel de sílice requerido en filtración.

La fig. 2.23 tiene una línea a 95°F (6lb. de 100%  $\text{NaOH}/\text{pie}^3$ ) da un promedio de filtración de sílica de aproximadamente 0.067 ppm como  $\text{CaCO}_3$  de una concentración de sílice entrante de 27% de la carga total de aniones. Para calcular la capacidad de la Amberlita IRA-402 trabajando esta agua se consulta la fig. 2.32 (6 lb. de 100%  $\text{NaOH}/\text{pie}^3$  a 95°F).

Los números fuera de cada triángulo en fig. 2.28 a 2.39 indican las capacidades en kilogramos por  $\text{pie}^3$  de Amberlita IRA-402, las cartas de coordenadas de orientación para % de concentración de cada anión. Y T.M.A. (Cloruros, sulfatos, nitratos) sobre el eje c-C Sílice en el eje a-A y bicarbonato en el eje b-B.

Inicialmente localizar el porcentaje T.M.A. sobre el eje c-C.

Extendiendo este punto de derecha a izquierda para interceptar la coordenada de sílice sobre el eje a-A si este paso es

correcto, esto localiza la coordenada del bicarbonato. Si esta localización está entre las 2 líneas de capacidad, será necesario interpolar entre ellas. Si la concentración T.M.A. de agua entrante está en exceso de 15% de la concentración total de aniones, la localización estará arriba de la línea punteada y el factor de corrección por  $\text{Cl}^- \text{SO}_4^{2-}$  de fig.2.27 es aplicado.

En la operación concerniente a la columna, la capacidad y eficiencia de regeneración, de la IRA-402 son normalmente dominadas, por la presencia de los minerales de fuerte acidez como opuestos a ácidos débiles (excluyendo sílice) en cuyo caso la capacidad y eficiencia de regeneración del ácido débil,  $\text{H}_2\text{CO}_3$  nuevamente con la temperatura de regeneración, depende del contenido de sílice.

Cuando T.M.A. contenido controla el funcionamiento de la cama, el contenido relativo de los dos minerales ácidos fuertes prevalentes HCL y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  se deben ahora considerar. Los valores de capacidad triangular referidos al T.M.A contienen 33%  $\text{Cl}^-$  y 67%  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Como las proporciones T.M.A. cambian a mayores relaciones de  $\text{SO}_4^{2-}$  ó  $\text{Cl}^-$ , la capacidad y eficiencia de regeneración se incrementará o decrecerá, respectivamente, pero muy levemente de los valores indicados en las coordenadas triangulares.

Antes del 15% del nivel de T.M.A. el control de la capacidad y eficiencia de la regeneración por ácido débil  $\text{H}_2\text{CO}_3$  hay un efecto negativo de la relación  $\text{Cl}^- \text{SO}_4^{2-}$ .

La sección B del ejemplo 1 contiene el cálculo de capacidad.

EJEMPLO 1

## A. Análisis de agua, aniones de entrada.

	ppm como anión		ppm como $\text{CaCO}_3$
$\text{Cl}^-$	2 x 1.41	=	2.8
$\text{NO}_3^-$	0	=	0
$\text{SO}_4^{2-}$	8 x 1.04	=	8
	T.M.A.	=	10.8
$\text{HCO}_3^-$	20 x 0.82	=	16
$\text{SiO}_2$	12 x 0.83	=	10
Total	Aniones	=	37

## Fracción del Total de Aniones

T.M.A.	=	10.8/37	=	29.8%
$\text{HCO}_3^-$	=	16/37	=	43.2%
$\text{SiO}_2$	=	10/37	=	27.0%

Temperatura regenerante = 95°F

Nivel de regeneración = 6 lb. 100% NaOH/pie<sup>3</sup>

## B. CALCULO DE LA CAPACIDAD.

- 1 Localizar 30% T.M.A. sobre eje c-C.
- 2 Correr ese punto a la izquierda para interceptar la concentración de sílice & ver en el eje a-A.
- 3 La localización (30% T.M.A. - 27%  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) cae sobre 43.2% coordenada  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .
- 4 Aunque el punto de capacidad cae entre 14kgf. y 10.5 kilogramos (línea), el valor de la capacidad se interpola. La in-

terpolación da un valor de capacidad de 14.2 kilogramos por pie<sup>3</sup>.

- 5 Finalmente la corrección por  $Cl-SO_4$  se debe hacer aunque la capacidad localizada caiga sobre la línea punteada (Ver figuras para factor de corrección).

$$\frac{Cl}{Cl+SO_4} = \frac{2.8}{2.8 + 8} = 0.26$$

Valor final de la capacidad = 14.2kgr /pie<sup>3</sup> x 1.05 = 14.9kgr.  
(como Ca CO<sub>3</sub>) pie<sup>3</sup>.



Fig. 2 .20

AMBERLITA IRA 402 CAIDA DE PRESION

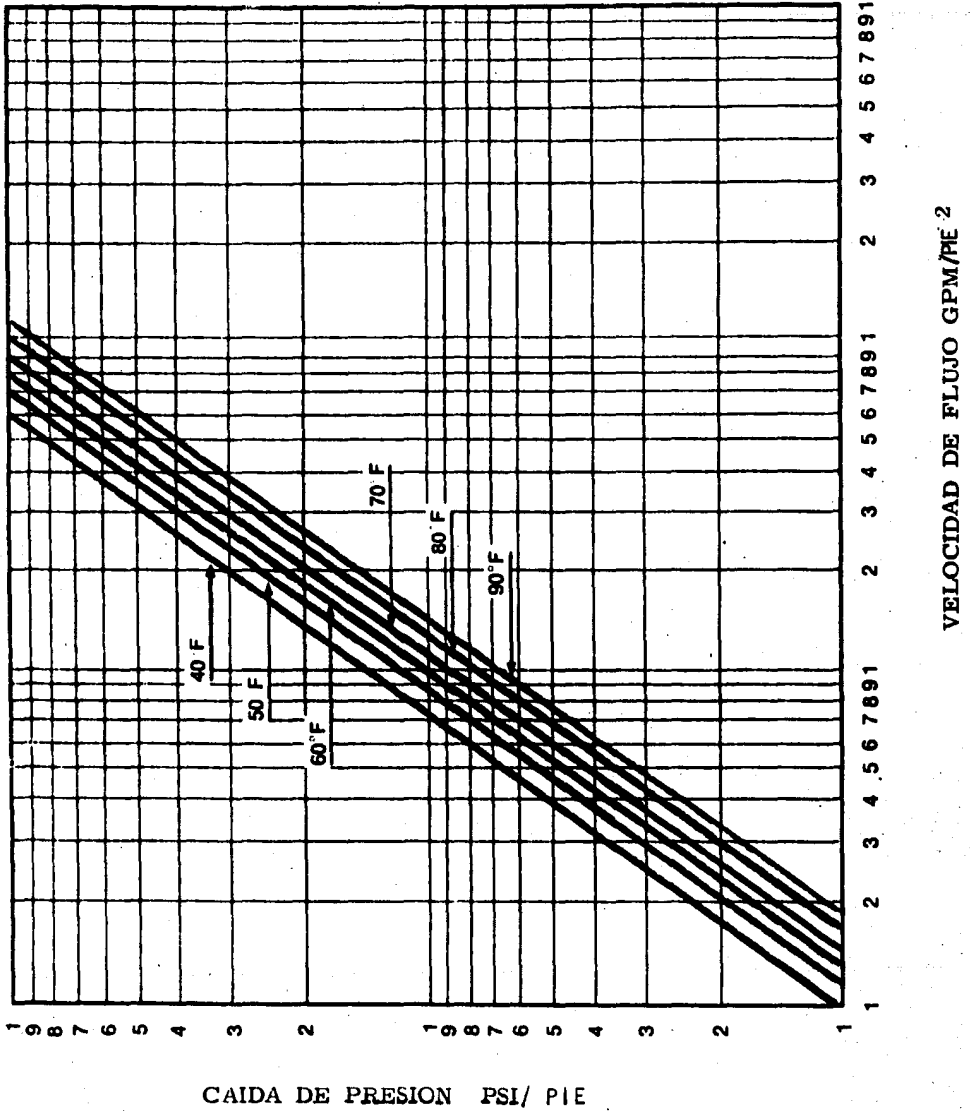


FIG . 2.21 .

AMBERLITA IRA 402

EXPANCIÓN HIDRAULICA

PARAMETRO = VELOCIDAD DE FLUJO GPM/PE<sup>2</sup> .

TEMPERATURA (° F).

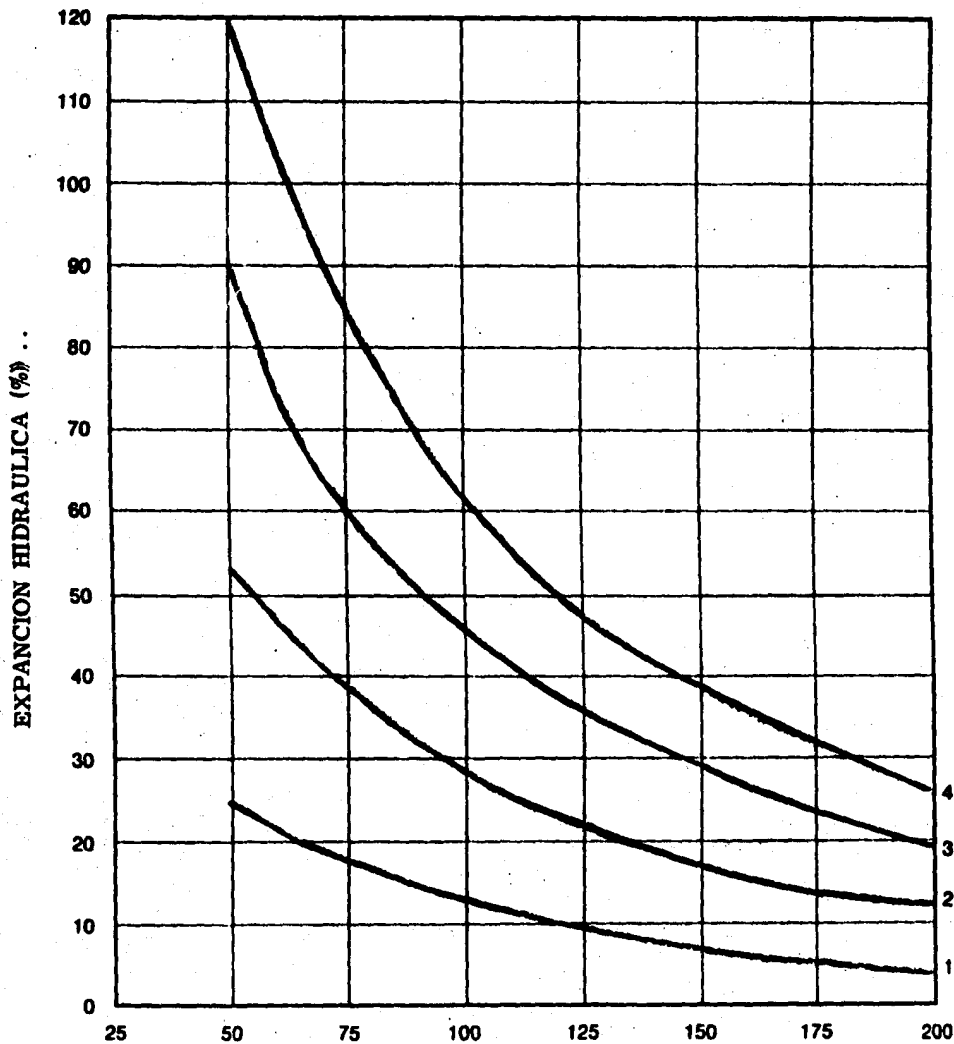


FIG . . 2.22 . FILTRACION DE SILICE

4 lb. de NaOH a 100 % / pie<sup>3</sup>.

PROMEDIO DE SILICE FILTRADO (ppm como CaCO<sub>3</sub>)

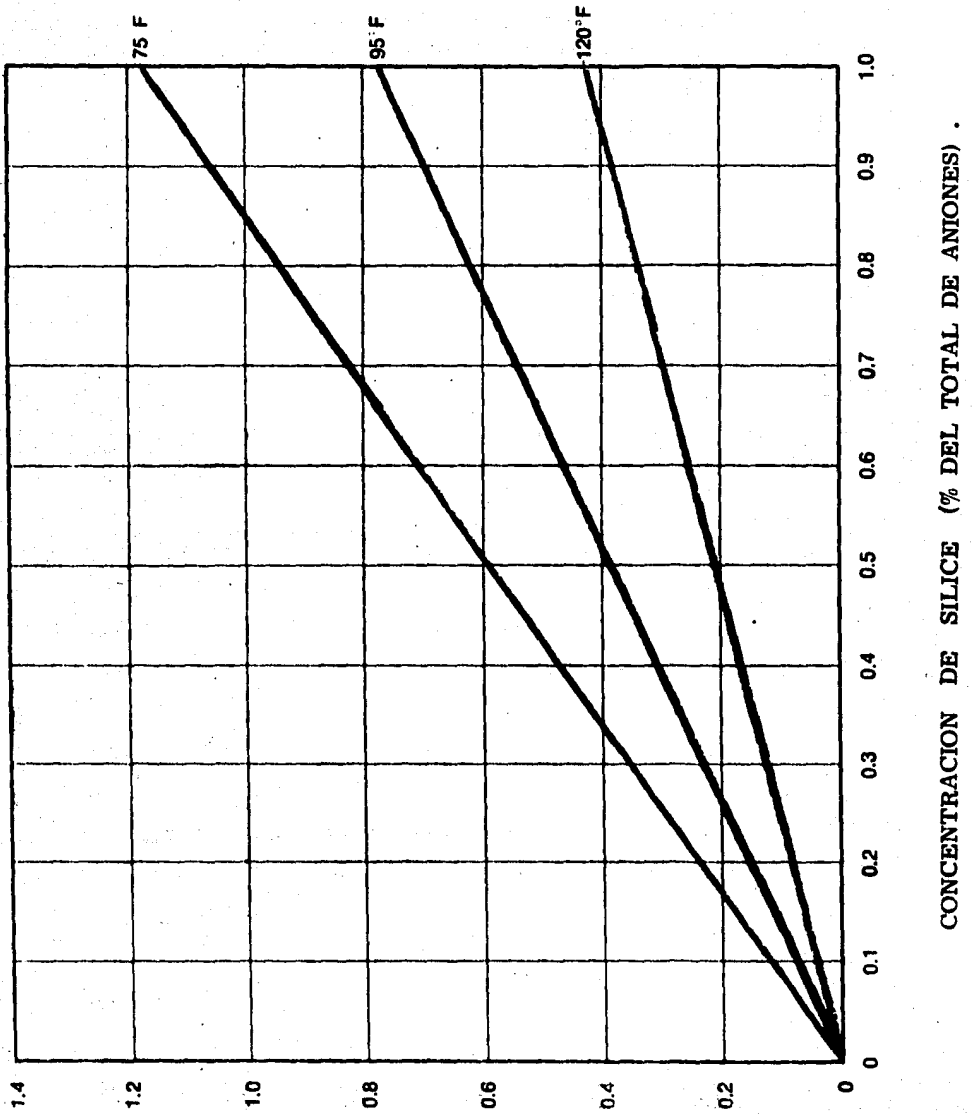


FIG 2.23. FILTRACION DE SILICE .

6 lb . de NaOH a 100 % /pie<sup>3</sup>.

PROMEDIO DE SILICE FILTRADO (ppm como CaCO<sub>3</sub>) .

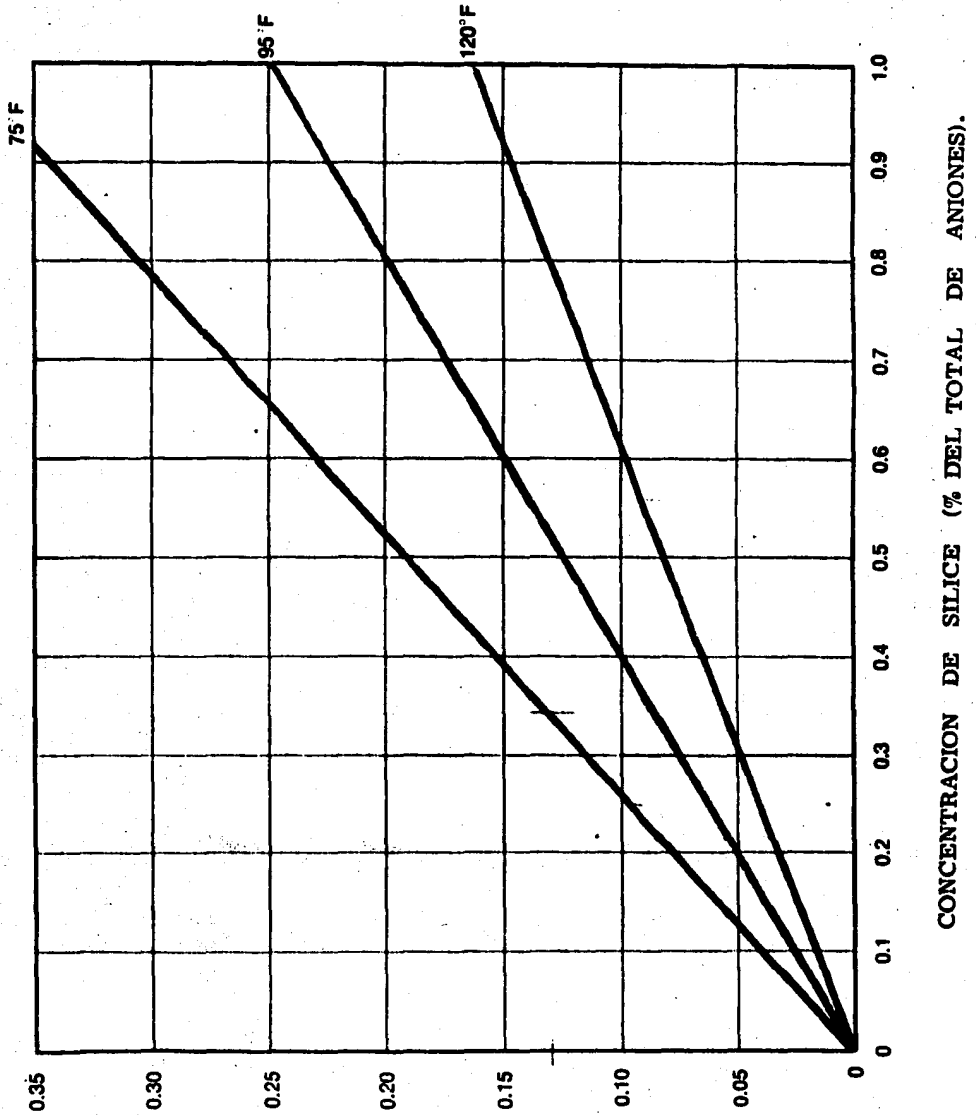


FIG. 2.24 FILTRACION DE SILICE.  
8 lb. de NaOH a 100 %/pie<sup>3</sup>.

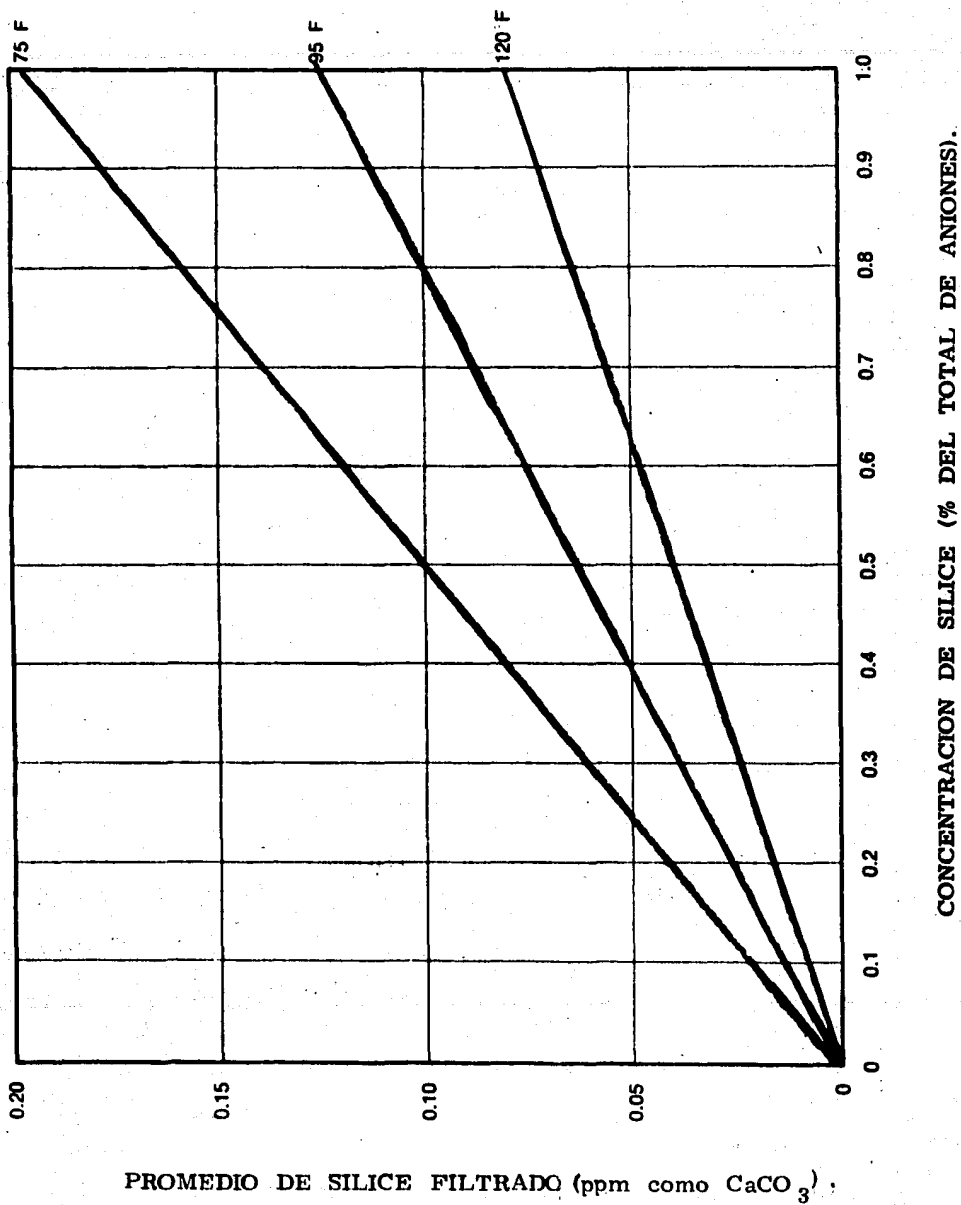


FIG. 2.25. FILTRACION DE SILICE.

10 lb . de NaOH a 100 % /pie<sup>3</sup>.

PROMEDIO DE SILICE FILTRADO (ppm como CaCO<sub>3</sub>).

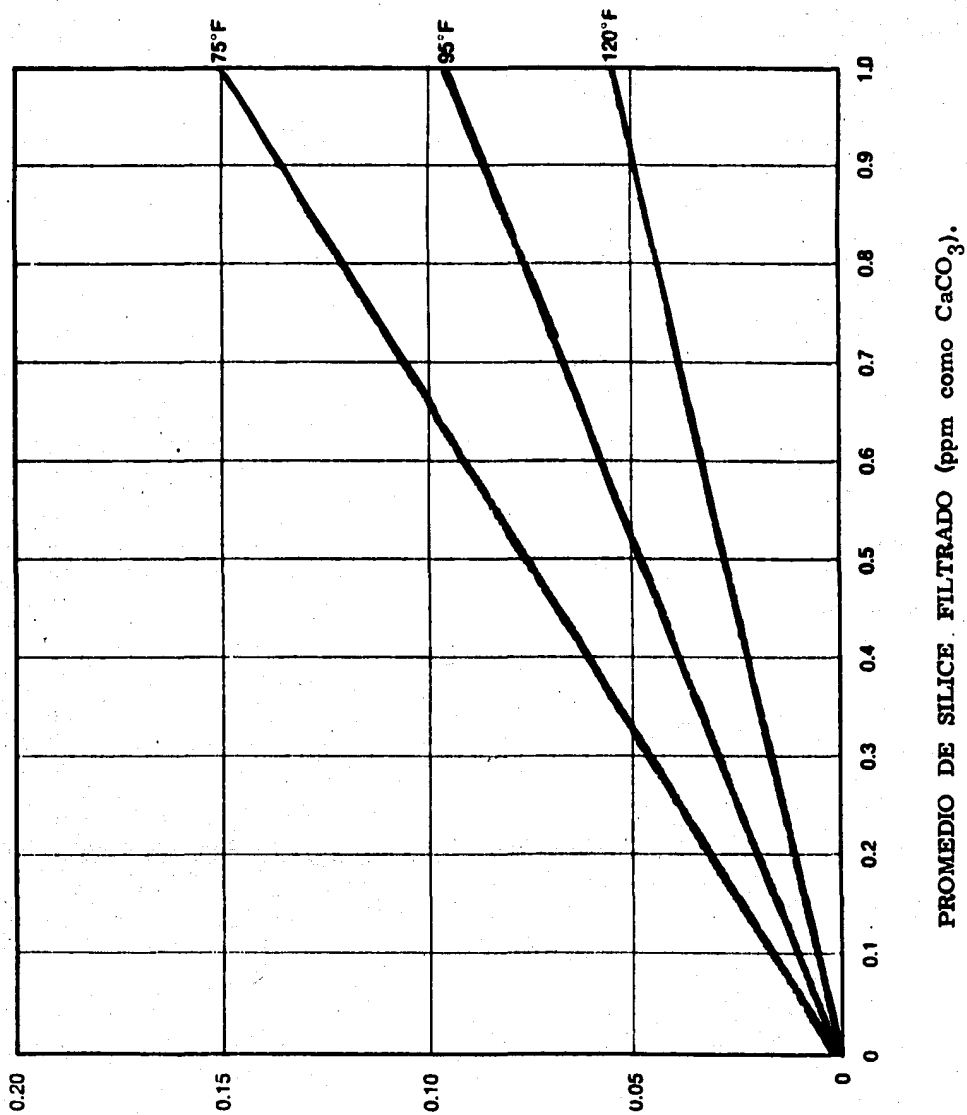


FIG. 2.26 FILTRACION DE SILICE Y NIVEL DE REGENERACION A 120° F. ( REGENERACION OPTIMA ).

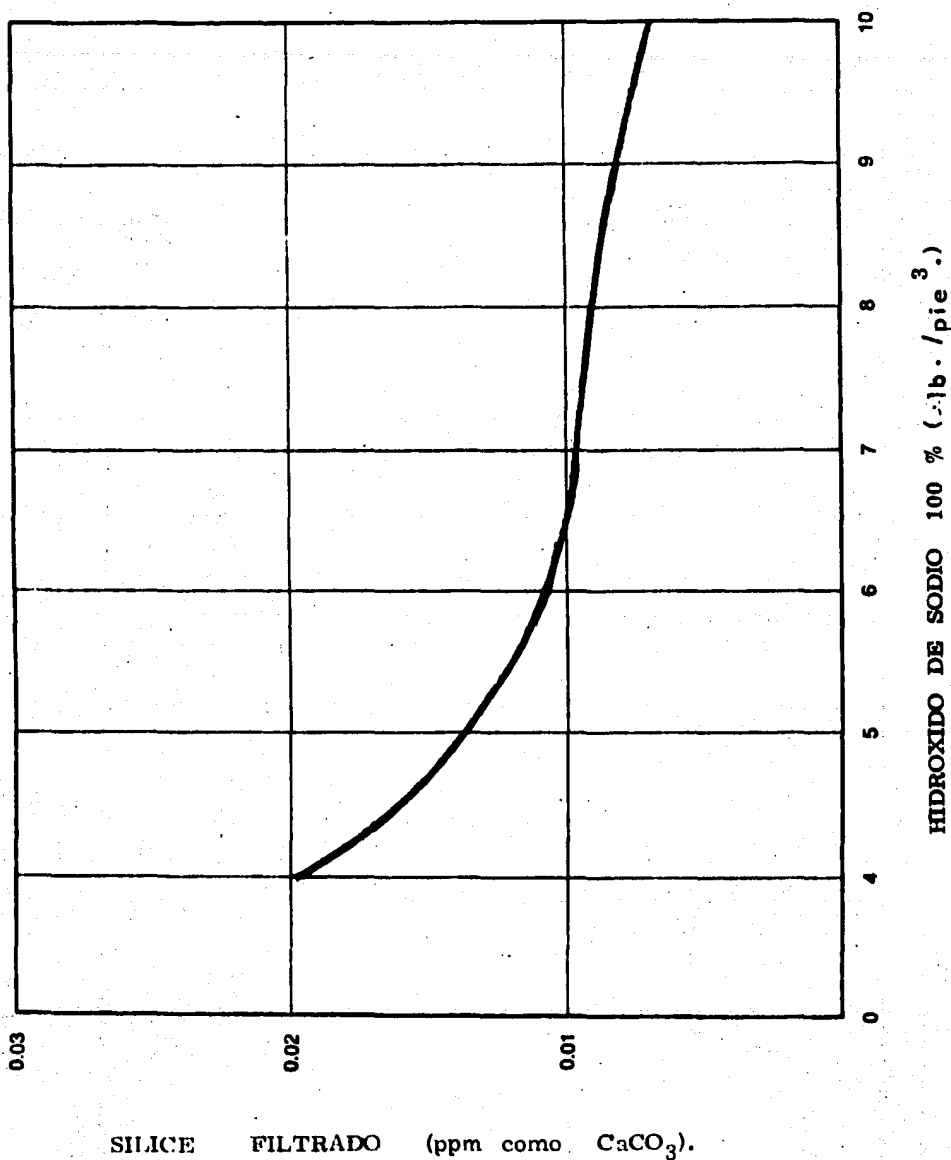


FIG. 2.27 CURVA DE FACTOR DE CORRECCION DE CLORUROS Y SULFATOS. PARA USARLA UNICAMENTE EN COMPAÑIA DE LAS FIGURAS DE LA 2.28 A LA 2.39.

FACTOR DE CONVERSION

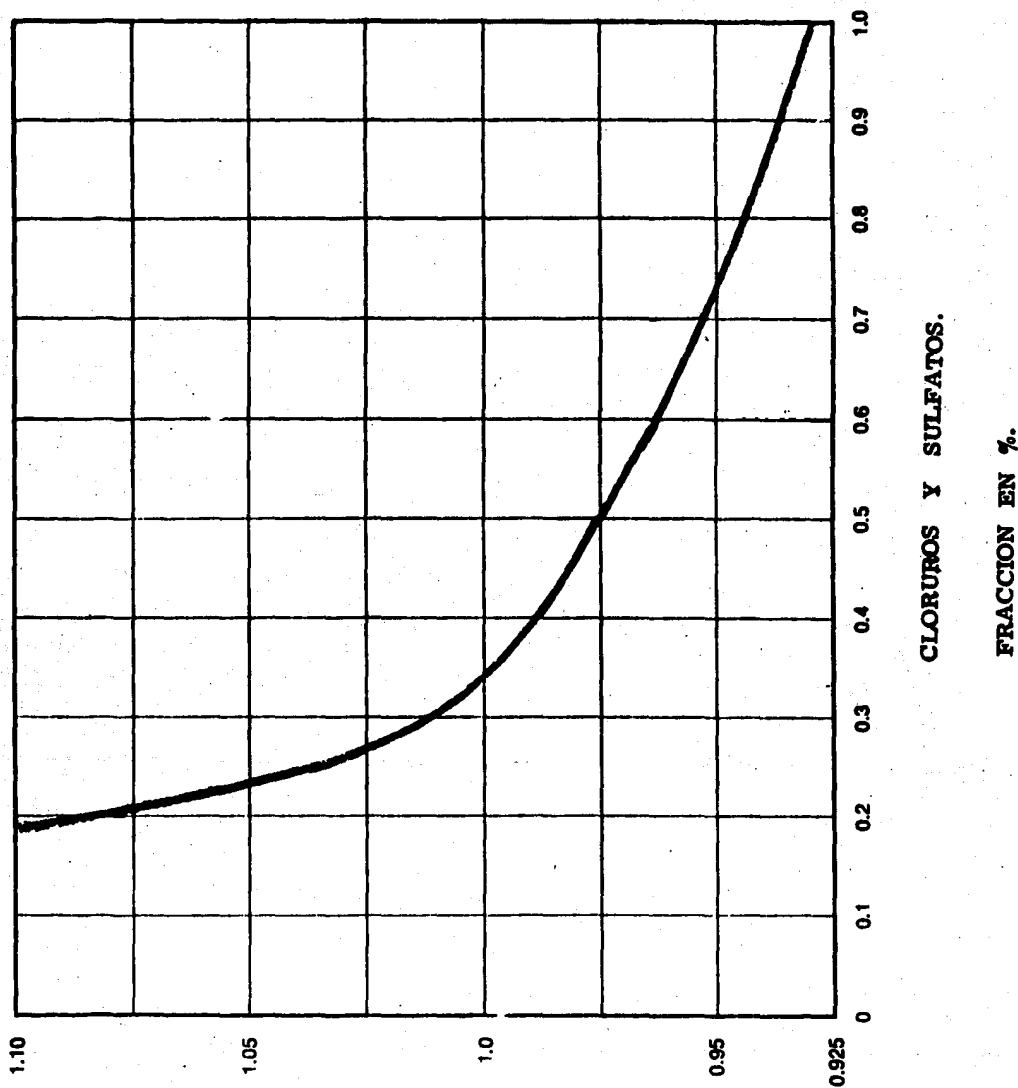
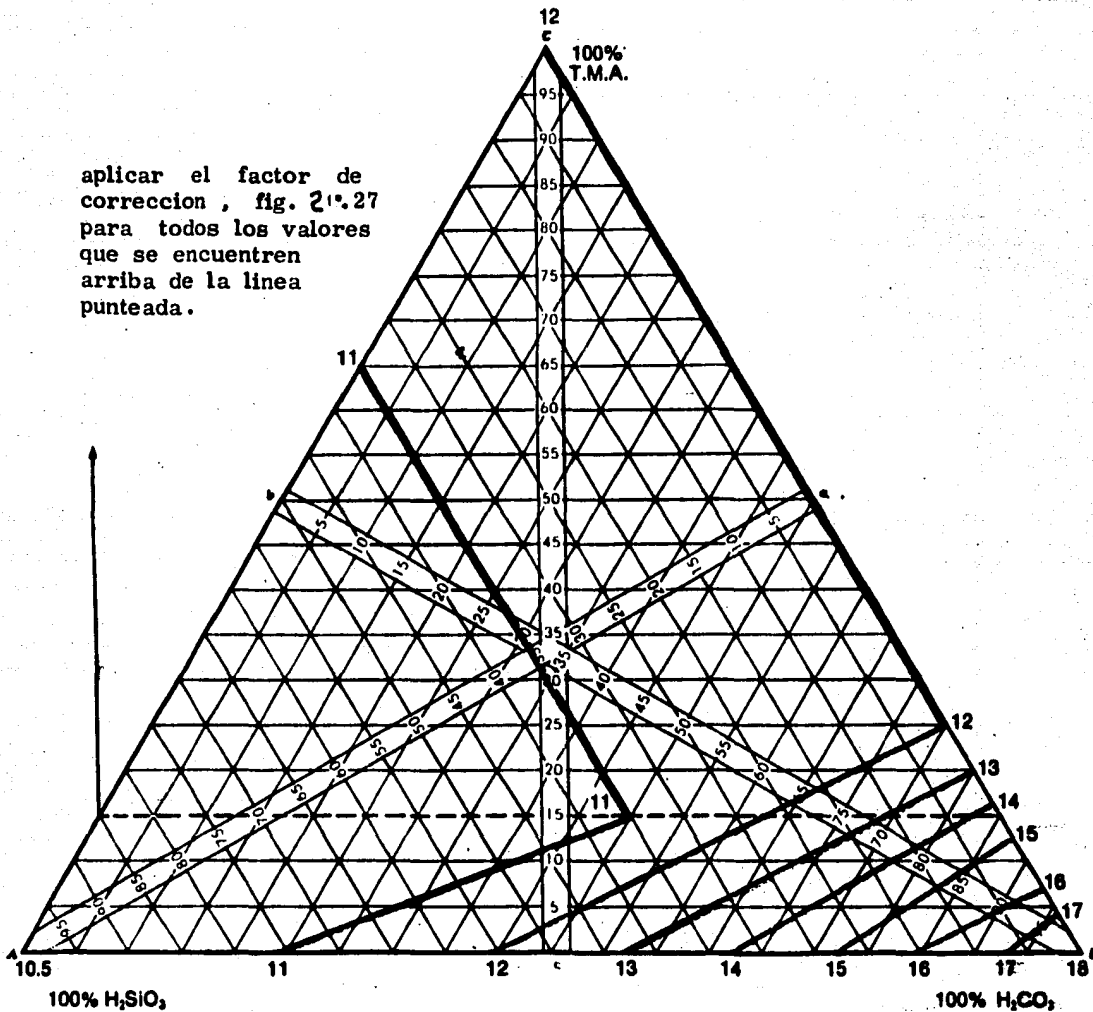




FIG. 2.28 AMBERLITA IRA - 402 CURVAS DE CAPACIDAD.  
 NIVEL DE REGENERACION 4 lb. de NaOH a 100 %/pie<sup>3</sup>.  
 TEMPERATURA 75° F.  
 VELOCIDAD DEL FLUJO REGENERANTE 0.25 GPM/pie<sup>3</sup>.



aplicar el factor de correccion , fig. 2.27 para todos los valores que se encuentren arriba de la linea punteada.

VELOCIDAD DEL FLUJO DE SERVICIO 2 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 PUNTO FINAL DE FILTRACION 0.3 ppm de SiO<sub>2</sub>.

**FIG. 2.29 AMBERLITA IRA - 402 CURVAS DE CAPACIDAD.**  
**NIVEL DE REGENERACION 4 lb. de NaOH a 100 %/pie<sup>3</sup>.**  
**TEMPERATURA 95 ° F.**  
**VELOCIDAD DE FLUJO REGENERANTE 0.25 GPM/pie<sup>3</sup>.**  
**VELOCIDAD DE FLUJO DE SERVICIO 2 GPM/pie<sup>3</sup>.**  
**PUNTO FINAL DE FILTRACION 0.3 ppm de SiO<sub>2</sub>.**

aplicar el factor de  
 corrección, fig. 2.27  
 para todos los valo-  
 res que se encuen-  
 tran arriba de la  
 línea punteada.

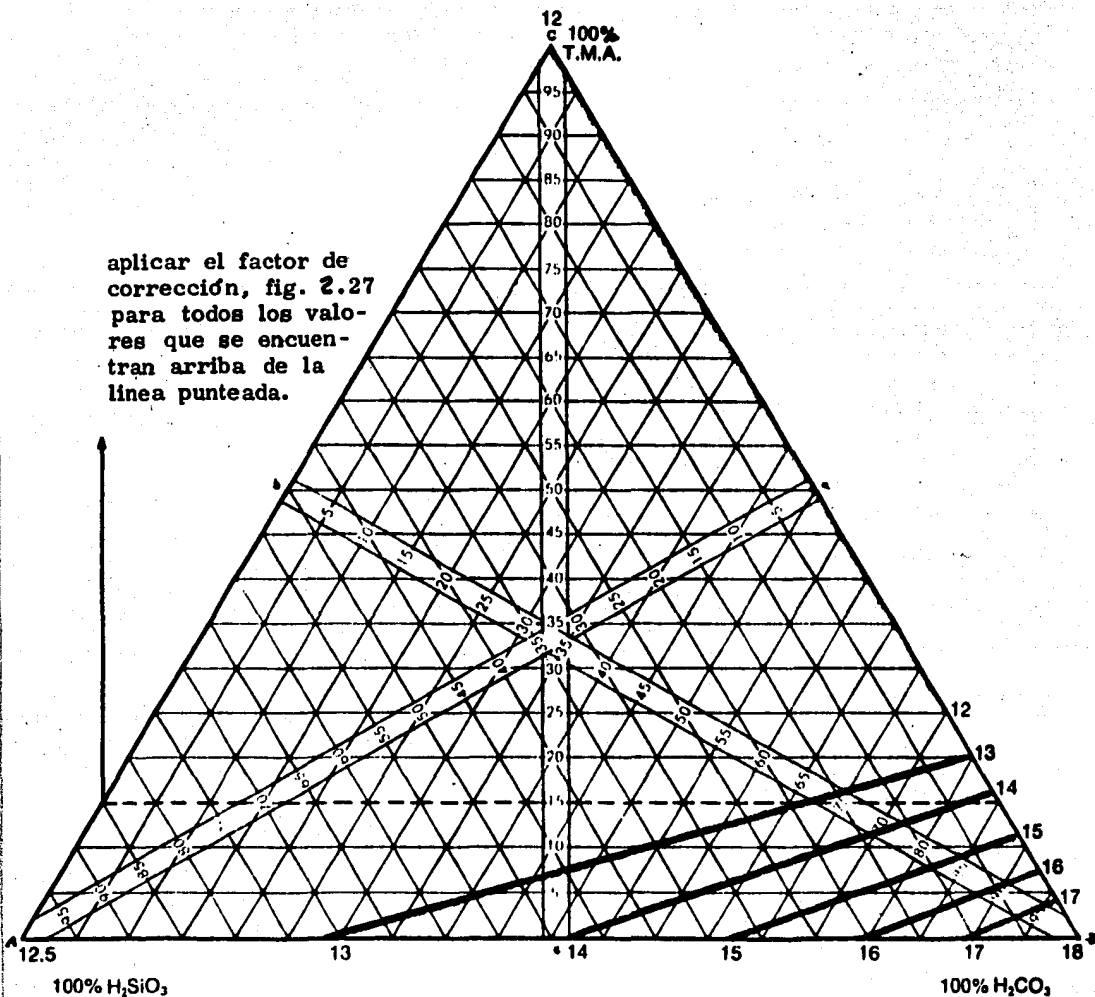
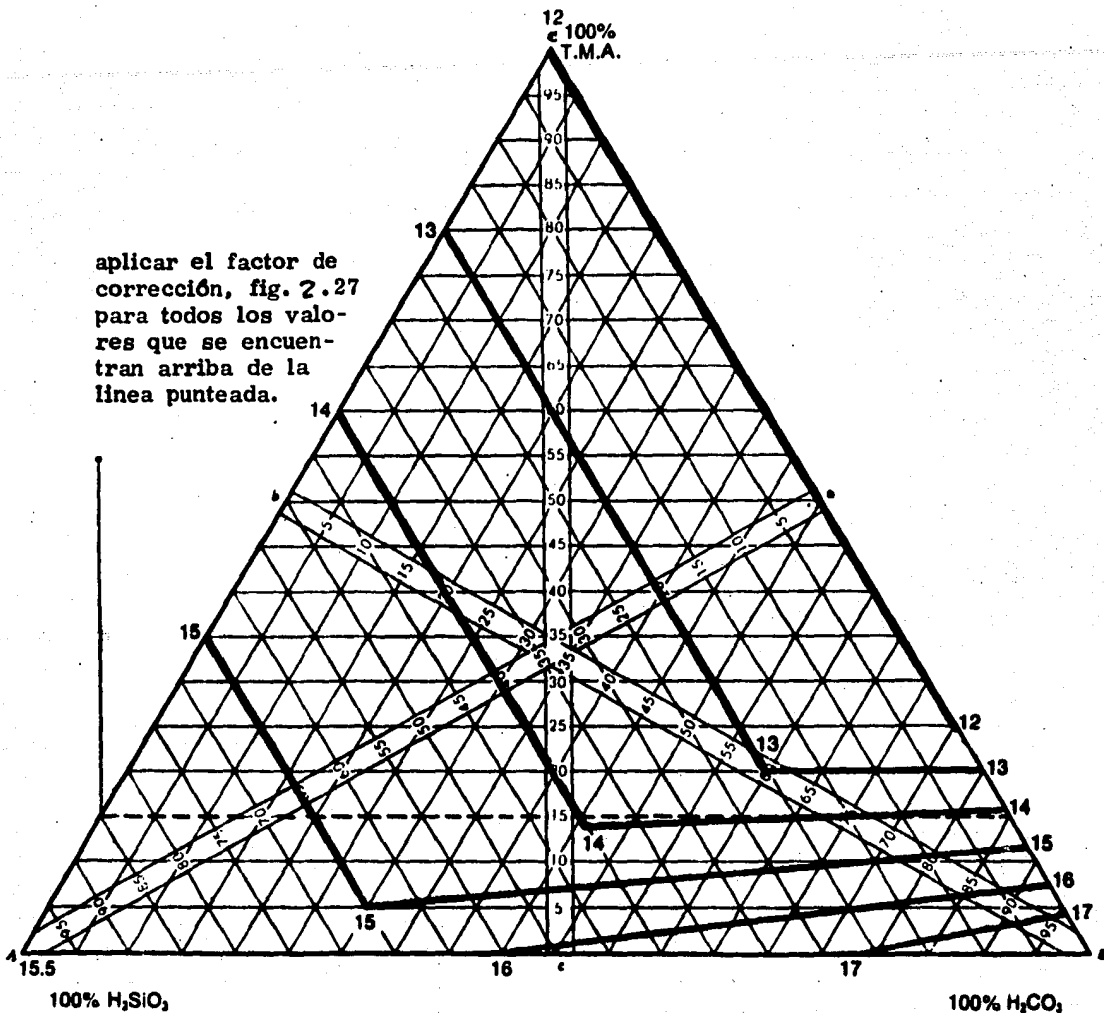


FIG. 2.30 AMBERLITA IRA - 402 CURVAS DE CAPACIDAD.



aplicar el factor de corrección, fig. 2.27 para todos los valores que se encuentran arriba de la línea punteada.

NIVEL DE REGENERACION 4 lb. de NaOH a 100 %/pie<sup>3</sup>.  
 TEMPERATURA 120°F.  
 VELOCIDAD DE FLUJO REGENERANTE 0.25 GPM<sub>3</sub> /pie<sup>3</sup>.  
 VELOCIDAD DE FLUJO DE SERVICIO 2 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 PUNTO FINAL DE FILTRACION 0.3 ppm de SiO<sub>2</sub>.

FIG. 2.31 AMBERLITA IRA - 402 CURVAS DE CAPACIDAD.

NIVEL DE REGENERACION 6 lb. de NaOH a 100 %/pie<sup>3</sup>.  
 TEMPERATURA 75°F.  
 VELOCIDAD DE FLUJO REGENERANTE 0.25 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 VELOCIDAD DE FLUJO DE SERVICIO 2 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 PUNTO FINAL DE FILTRACION 0.3 ppm de SiO<sub>2</sub>.

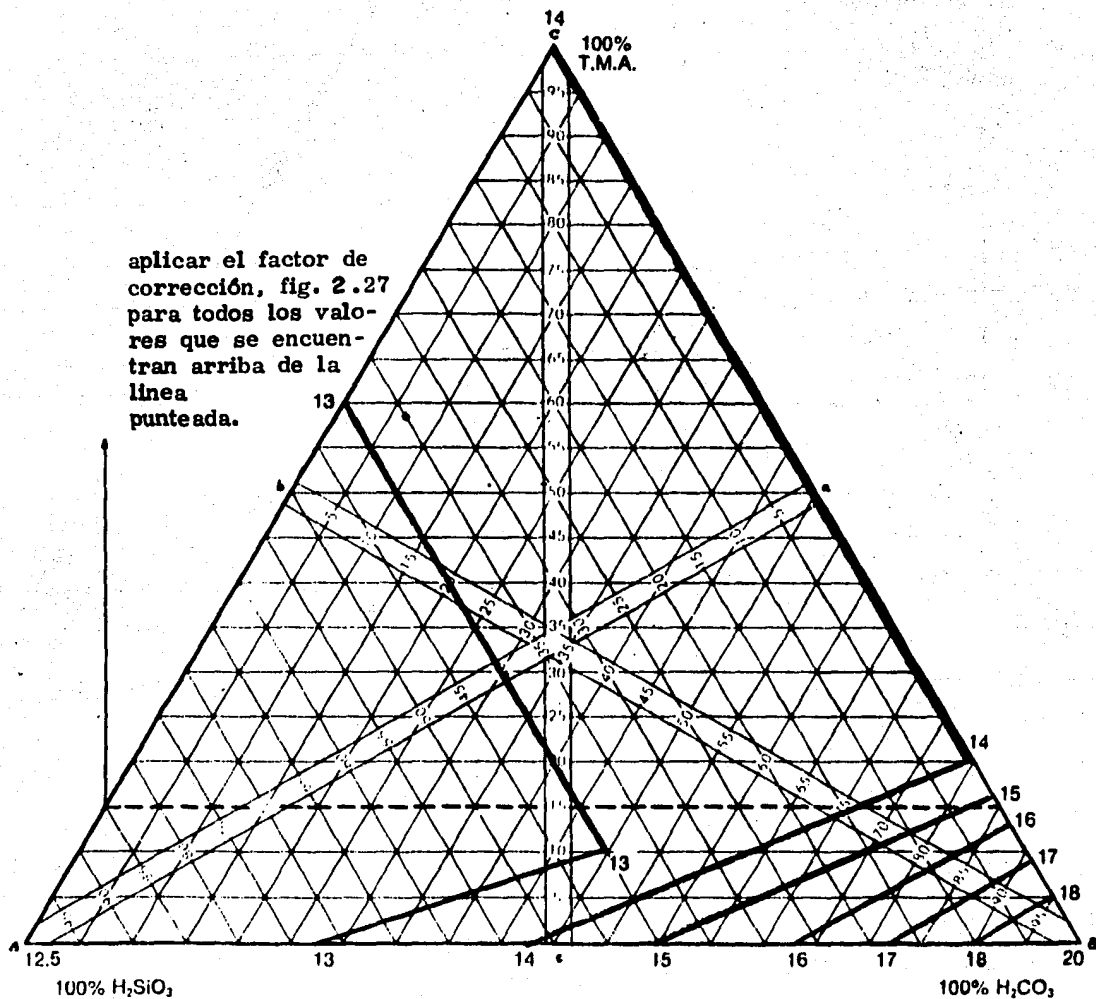
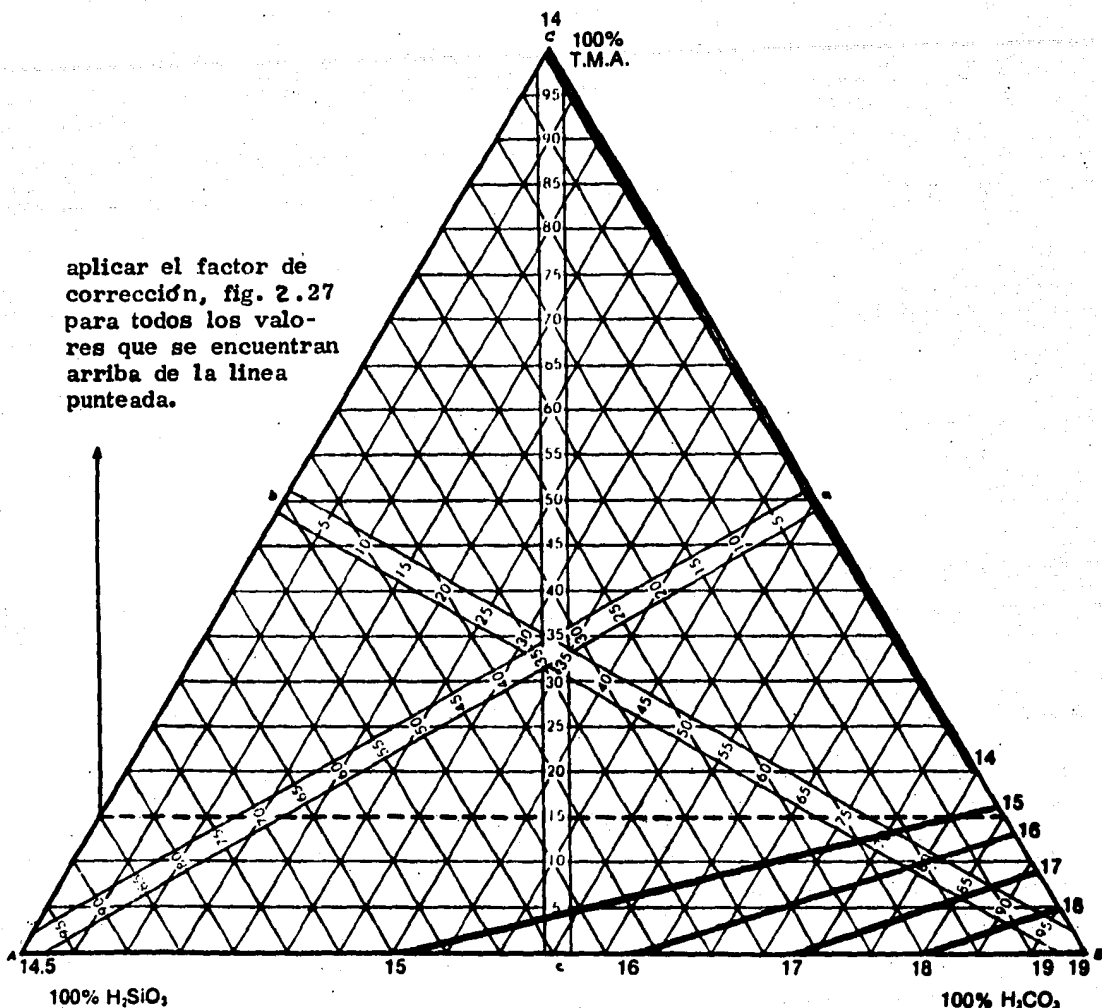


FIG. 2.32 AMBERLITA IRA - 402 CURVAS DE CAPACIDAD.



aplicar el factor de corrección, fig. 2.27 para todos los valores que se encuentran arriba de la línea punteada.

NIVEL DE REGENERACION 6 lb. de NaOH a 100 %/pie<sup>3</sup>.  
 TEMPERATURA 95°F.  
 VELOCIDAD DE FLUJO REGENERANTE 0.25 GPM/pie<sup>3</sup>  
 VELOCIDAD DE FLUJO DE SERVICIO 2 GPM/pie.  
 PUNTO FINAL DE FILTRACION 0.3 ppm de SiO<sub>2</sub>.

**FIG. 2.33 AMBERLITA IRA - 402 CURVAS DE CAPACIDAD.**  
**NIVEL DE REGENERACION 6 lb. de NaOH a 100 % /pie<sup>3</sup>.**  
**TEMPERATURA 120°F.**  
**VELOCIDAD DE FLUJO REGENERANTE 0.25 GPM/pie<sup>3</sup>.**  
**VELOCIDAD DE FLUJO DE SERVICIO 2 GPM/pie<sup>3</sup>.**  
**PUNTO FINAL DE FILTRACION 0.3 ppm de SiO<sub>2</sub>.**

aplicar el factor de  
 corrección , fig. 2.27  
 para todos los valo-  
 res que se encuen-  
 tran arriba de la  
 línea punteada.

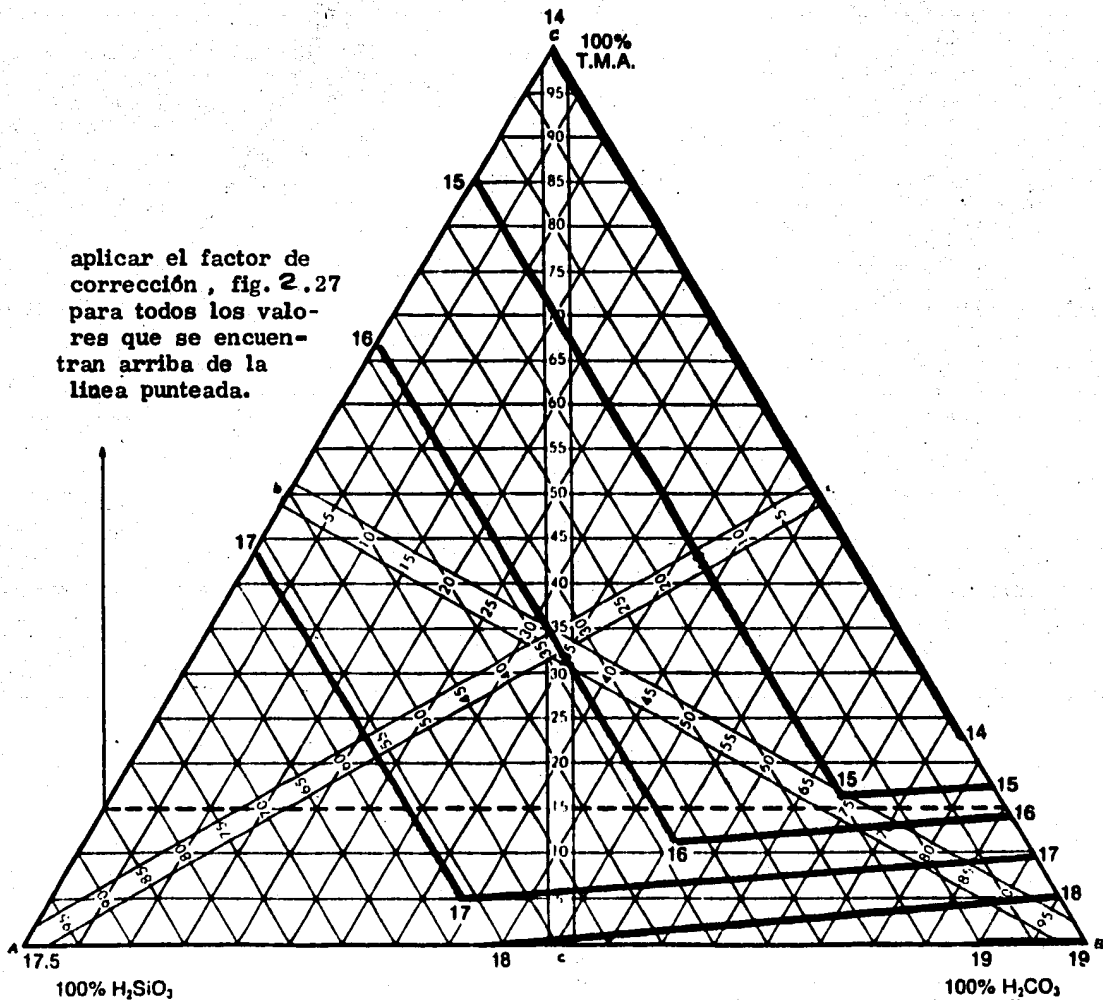
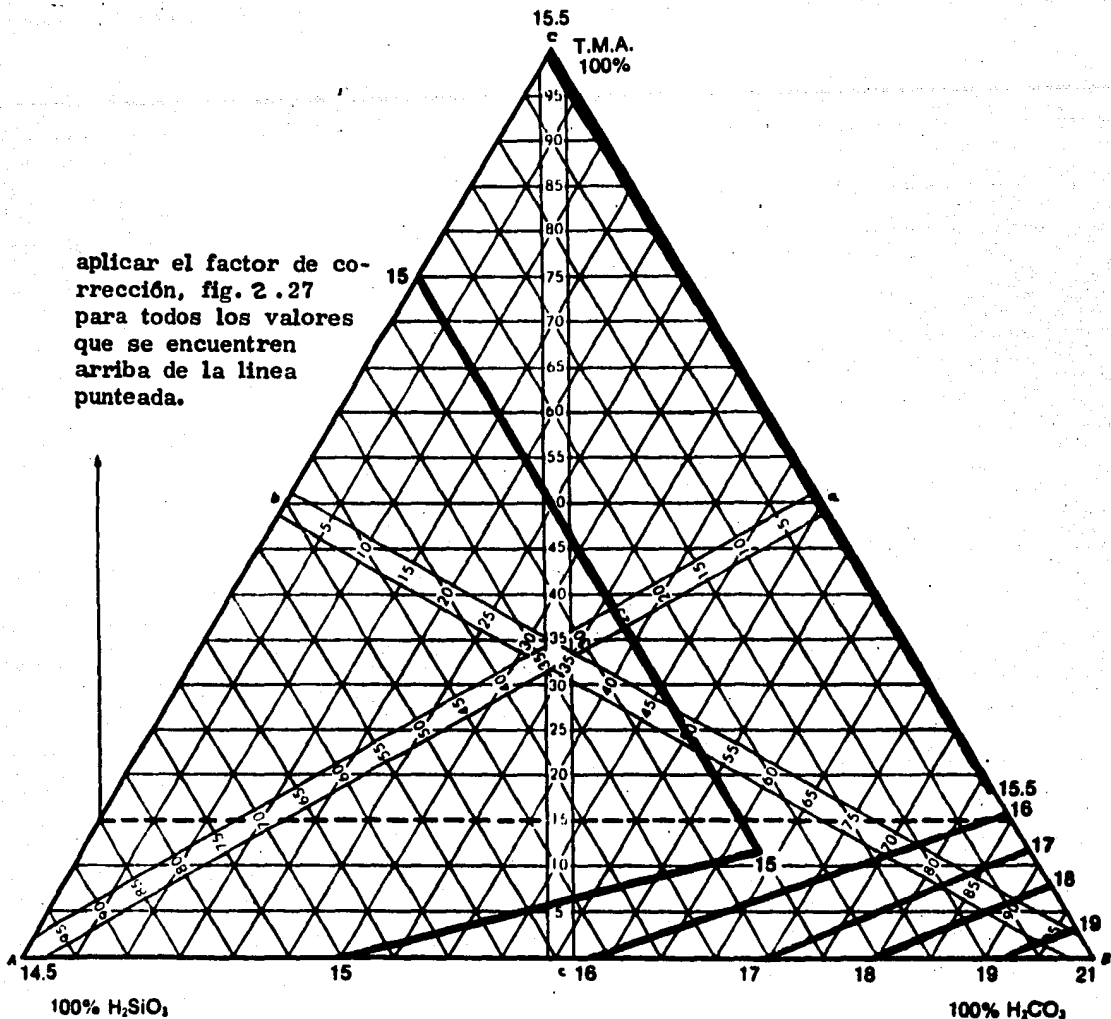


FIG. 2.34 AMBERLITA IRA - 402. CURVAS DE CAPACIDAD.



aplicar el factor de corrección, fig. 2.27 para todos los valores que se encuentren arriba de la línea punteada.

NIVEL DE REGENERACION 8 lb de NaOH a 100 %/pie<sup>3</sup>.  
 TEMPERATURA 75° F.  
 VELOCIDAD DE FLUJO REGENERANTE 0.25 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 VELOCIDAD DE FLUJO DE SERVICIO 2 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 PUNTO FINAL DE FILTRACION 0.3 ppm de SiO<sub>2</sub>.

FIG. 2.35 AMBERLITA IRA - 402.. CURVAS DE CAPACIDAD.

NIVEL DE REGENERACION 8 lb. de NaOH a 100 %/pie<sup>3</sup>.  
 TEMPERATURA 95°F.  
 VELOCIDAD DE FLUJO REGENERANTE 0.25 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 VELOCIDAD DE FLUJO DE SEVICIO 2 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 PUNTO FINAL DE FILTRACION 0.3 ppm de SiO<sub>2</sub>.

aplicar el factor de correc-  
 ción, fig. 2.27 para todos  
 los valores que se encuen-  
 tran arriba de la línea a  
 punteada.

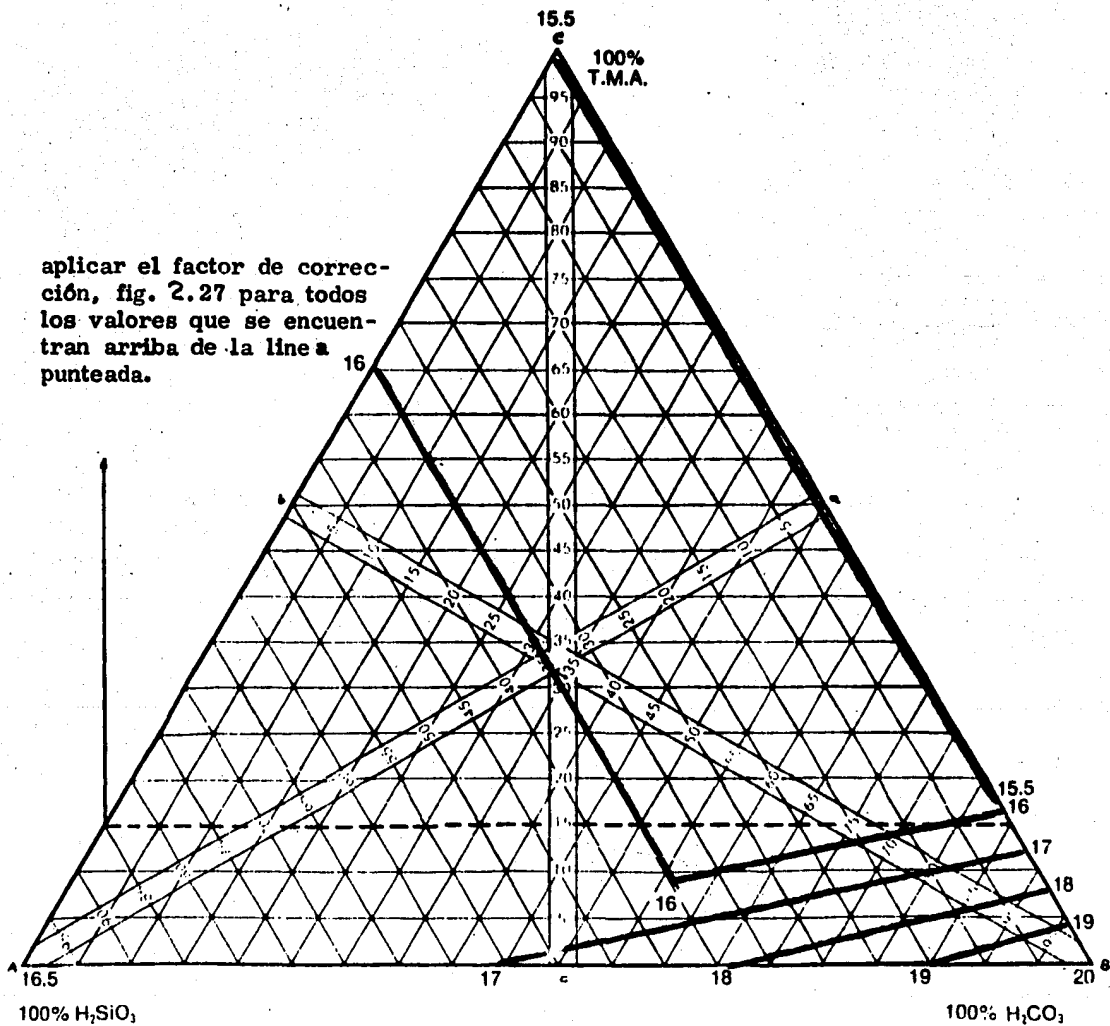
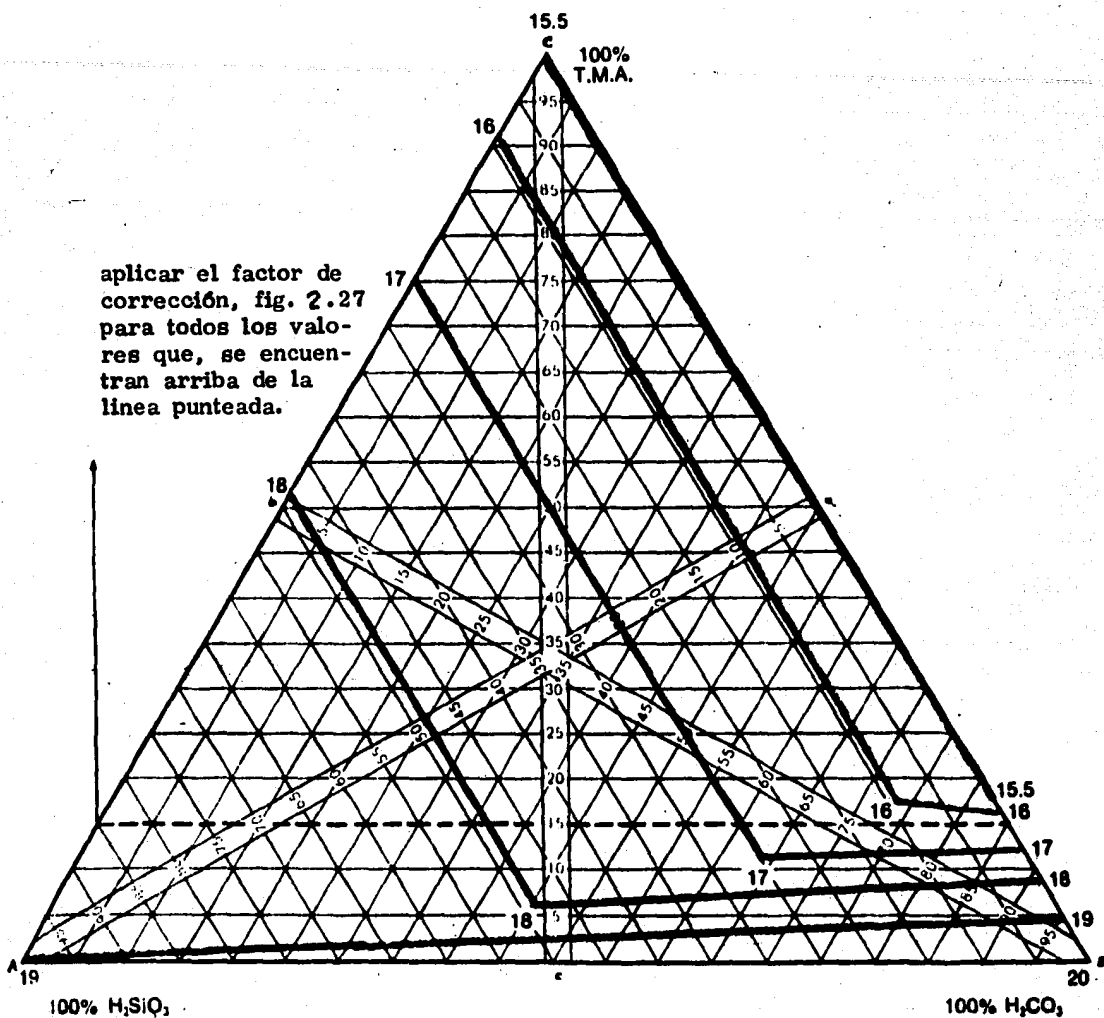




FIG. 2.36 AMBERLITA IRA - 402. CURVAS DE CAPACIDAD.



aplicar el factor de corrección, fig. 2.27 para todos los valores que, se encuentran arriba de la línea punteada.

NIVEL DE REGENERACION 8 lb. de NaOH a 100 %/pie<sup>3</sup>,  
 TEMPERATURA 120°F.  
 VELOCIDAD DE FLUJO REGENERANTE 0.25 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 VELOCIDAD DE FLUJO DE SERVICIO 2 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 PUNTO FINAL DE FILTRACION 0.3 ppm de SiO<sub>2</sub>.

FIG. 2.37 AMBERLITA IRA - 402. CURVAS DE CAPACIDAD.

NIVEL DE REGENERACION 10 lb. de NaOH a 100 %/pie<sup>3</sup>.  
 TEMPERATURA 75° F.  
 VELOCIDAD DE FLUJO REGENERANTE 0.25 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 VELOCIDAD DE FLUJO DE SERVICIO 2 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 PUNTO FINAL DE FILTRACION 0.3 ppm de SiO<sub>2</sub>.

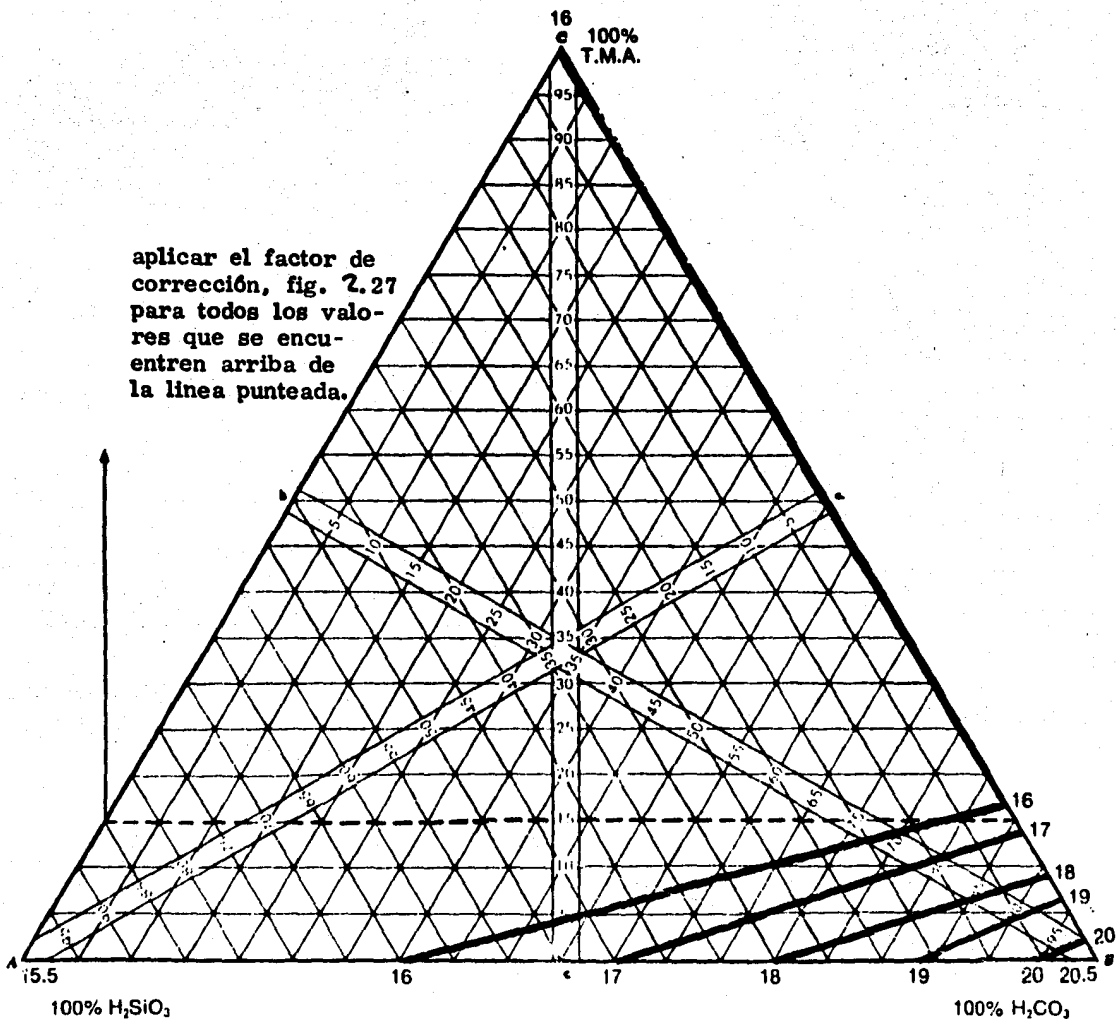
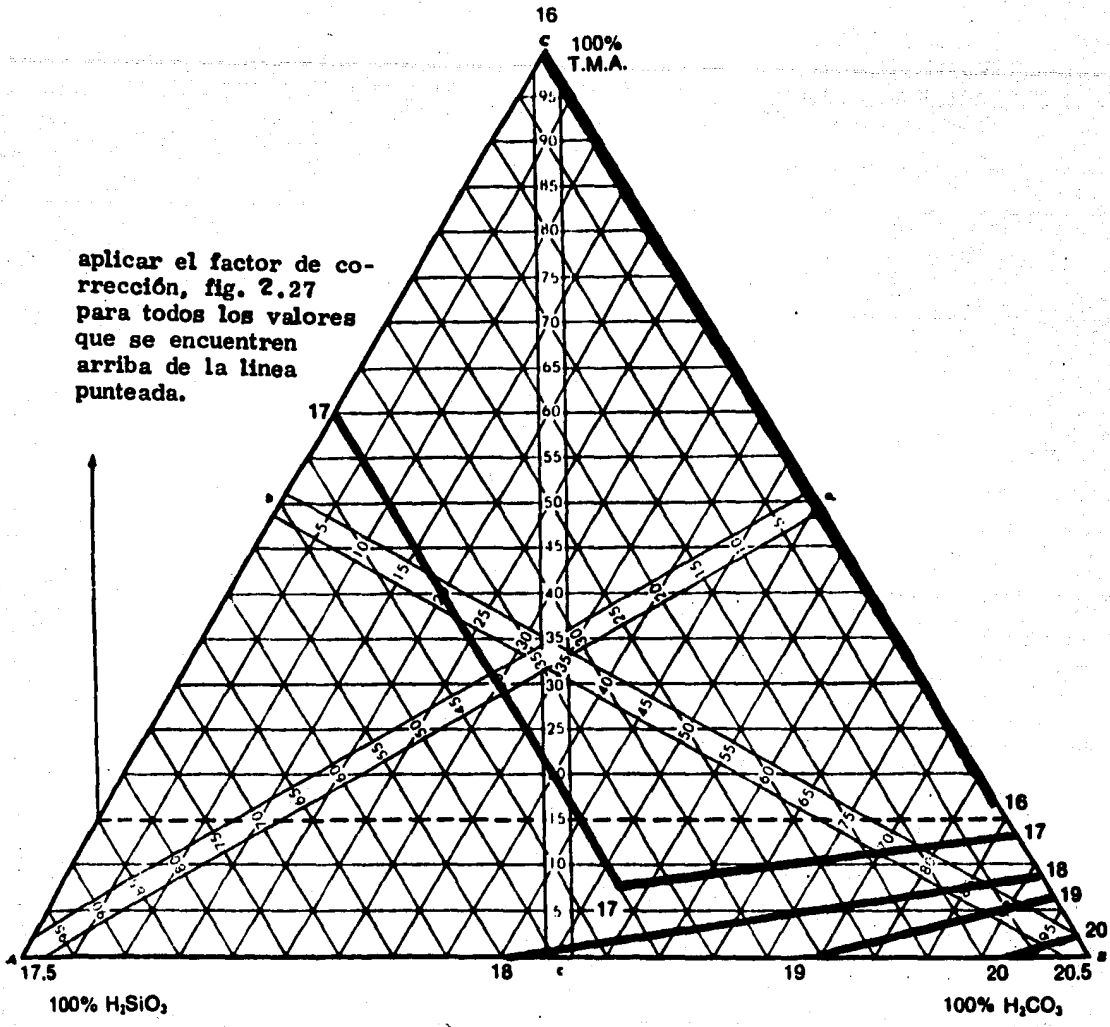


FIG. 2.38 AMBERLITA IRA- 402. CURVAS DE CAPACIDAD.

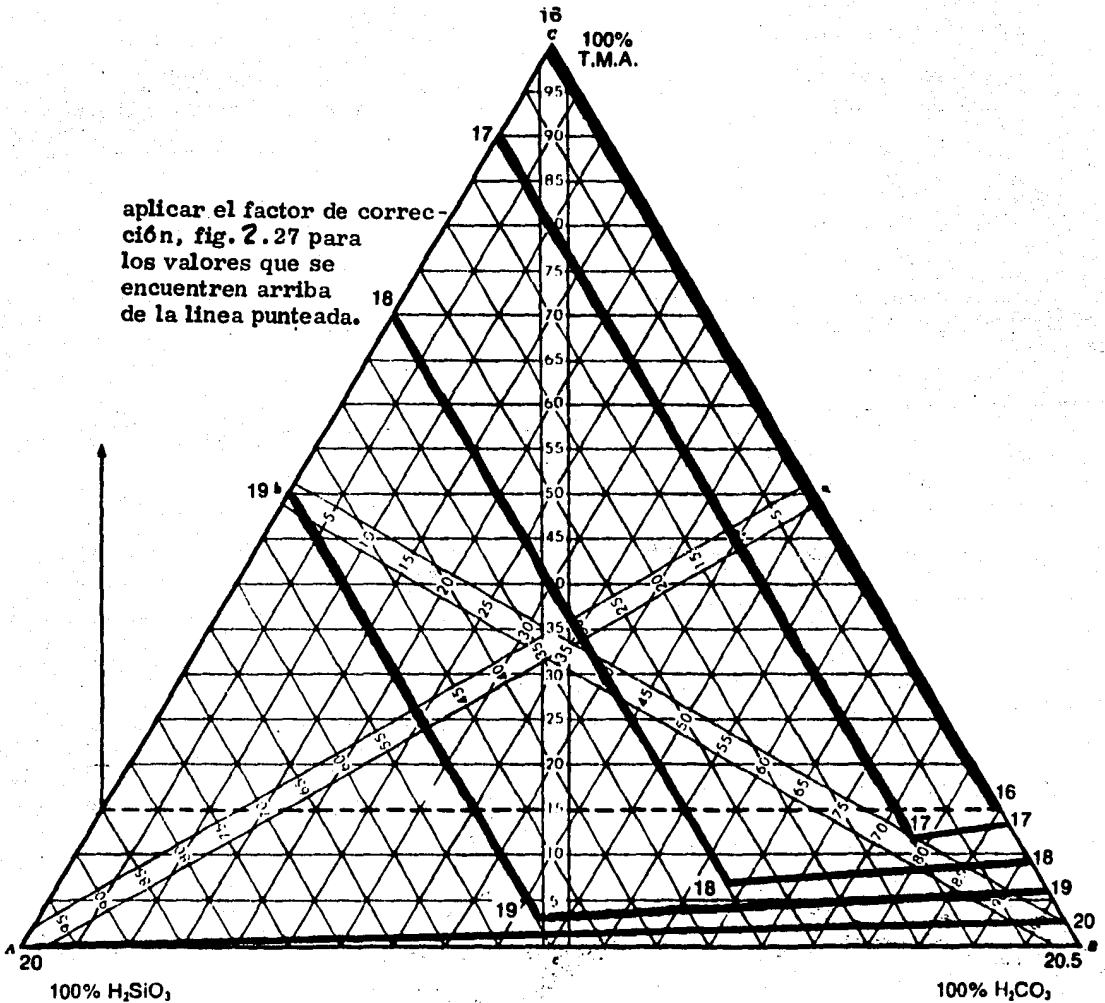


aplicar el factor de corrección, fig. 2.27 para todos los valores que se encuentren arriba de la línea punteada.

NIVEL DE REGENERACION 10 lb. de NaOH a 100%/pie<sup>3</sup>.  
 TEMPERATURA 95°F.  
 VELOCIDAD DE FLUJO REGENERANTE 0.25 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 VELOCIDAD DE FLUJO DE SERVICIO 2 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 PUNTO FINAL DE FILTRACION 0.3 ppm de SiO<sub>2</sub>.

FIG. 2.39 AMBERLITA IRA - 402. CURVAS DE CAPACIDAD.

NIVEL DE REGENERACION 10 lb. DE NaOH a 100 %/pie<sup>3</sup>.  
 TEMPERATURA 120°F.  
 VELOCIDAD DE FLUJO REGENERANTE 0.25 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 VELOCIDAD DE FLUJO DE SERVICIO 2 GPM/pie<sup>3</sup>.  
 PUNTO FINAL DE FILTRACION 0.3 ppm de SiO<sub>2</sub>.



## AMBERLITA IR-120

Varios factores hay que considerar para estimar el funcionamiento de la resina al regenerarse con  $H_2SO_4$ , esto es importante por los efectos de formación de  $CaSO_4$  cuando se opera con agua que contiene calcio, por eso es importante hacer un análisis de la concentración de calcio, sodio magnesio y la alcalinidad total o carbonatos. Esas concentraciones unidas con el nivel de regeneración y la forma en que se logra la regeneración, incluyen en la capacidad de la resina para filtración de iones.

La Amberlita IR-120 filtra cationes ya que es catiónica, por lo cual es prácticamente similar a la Amberlita 200 vista anteriormente; el manejo de la resina para filtrar aniones es similar al de la 200, así que la información aquí será más breve.

La temperatura de la solución de regeneración únicamente influye en la precipitación de sulfato de calcio, Así que en regeneración práctica la temperatura será de  $75^\circ$  a  $120^\circ F$  y la concentración será de 2 a 10% de ácido sulfúrico, todas las 3 formas del sulfato de calcio (anhidro, hemihidrato e hidrato) son insolubles si el tiempo de retención de la solución regenerante en la columna es lo bastante grande para permitir que el  $CaSO_4$  precipite. El efecto de aumentar la temperatura a esas condiciones de baja concentración, el punto de saturación de la solución  $CaSO_4$  tenderá a hacer precipitación, a temperatura más alta que la de regeneración normal, el tiempo de retención del ácido en la columna empacada, debe de disminuir para compensar el punto de sobre saturación. Esto se debe de tomar en cuenta para un mejor diseño práctico, aunque hay un poco de calor de dilución cuando se mezcla el ácido con el agua de lavado antes de ingresar al tanque de resina.

Ejemplo

(1) Análisis del agua (todos los constituyentes en ppm como  $\text{CaCO}_3$ )

Sodio	ppm 72	40
Calcio	81	45
Magnesio	<u>27</u>	<u>15</u>
Total de Cationes	180	100
Alcalinidad	20	50
Sulfato	47	--
Cloruro	21	--
Nitratos	2	--
	<u>180</u>	<u>100</u>

(2) Promedio tolerado de filtración de cationes.

3 ppm como  $\text{CaCO}_3$  ó 1.7% del total de cationes.

(3) Procedimiento.

Seleccionar un nivel de regeneración, el cual proveerá el promedio de cationes filtrados indicado, usando las curvas de la fig. 2.40 a la 2.55, en este caso con 40% de sodio y 50% de alcalinidad, 5 lb. de 66°Bé de ácido sulfúrico por pie<sup>3</sup> serán apropiadas (4 lb. no serán suficientes).

Estimar la iso-capacidad de lavado, del triángulo en fig. 2.45 para 40% sodio, 45% calcio y 15% magnesio a 0% de alcalinidad. El punto correcto está entre 13 y 14 kilogramos como carbonato de calcio por pie<sup>3</sup>, la interpolación muestra 13.4 kilogramos.

Para la iso-capacidad correcta de alcalinidad usar la fig. 2.11 y obtener el factor correcto que aplica a 40% de sodio y 50% de alcalinidad. Esto es un factor de 1.1.

Multiplicando la iso-capacidad por este factor produce una capacidad corregida de 14.7 kilogramos como  $\text{CaCO}_3$  por  $\text{pie}^3$ .

Se observa que el agua entrante será usada para lavado y 50 gal/ $\text{pie}^3$  serán requeridos para hallar la capacidad de operación, usar ecuación.

$$C_o = \frac{C_T - R}{K}$$

$C_o$  = Capacidad de operación, gal/ $\text{pie}^3$ .

$C_T$  = 14700 granos/ $\text{pie}^3$  (de nota técnica)

$R$  = 525 granos/ $\text{pie}^3$  (requerimiento de lavado).

$$\frac{50 \text{ gal}}{\text{pie}^3} \times \frac{180 \text{ granos}}{17.1 \text{ gal.}}$$

$K$  = 10.4 granos/gal (concentración efectiva de cationes de agua entrante).

$$\frac{180}{17.1} - 3$$

$$\text{Así que, } C_o = \frac{14700 - 525}{10.4} = 1360 \text{ gal./pie}^3$$

#### (4) RESULTADOS

Para diseñar una unidad descationizadora de líquido efluente cada pie cúbico de Amberlita IR-120 será regenerada con 5 lb. de ácido sulfúrico de 66°Bé y lavado con 50 galones de agua. La cédula de regeneración será de 5 lb. de ácido a concentración de 2%, y las 3 lb. de ácido a 4% de concentración con una velocidad de 1 gal/min/ $\text{pie}^3$ . Usando esas condiciones permitirá cada  $\text{pie}^3$  de Amberlita IR-120 tratar 1360 galones de agua entrante y la filtración promedio de sodio será no mayor de 3 ppm.

FIG. 2.40 AMBERLITA IR-120 DATOS DE FUGA.

REGENERACION - 3 lb  $H_2SO_4$  (66° B $\acute{e}$ )/pie<sup>3</sup>.

CONCENTRACION DE SODIO (% DEL TOTAL DE CATIONES).

PROMEDIO DE FUGA (% DEL TOTAL DE CATIONES).

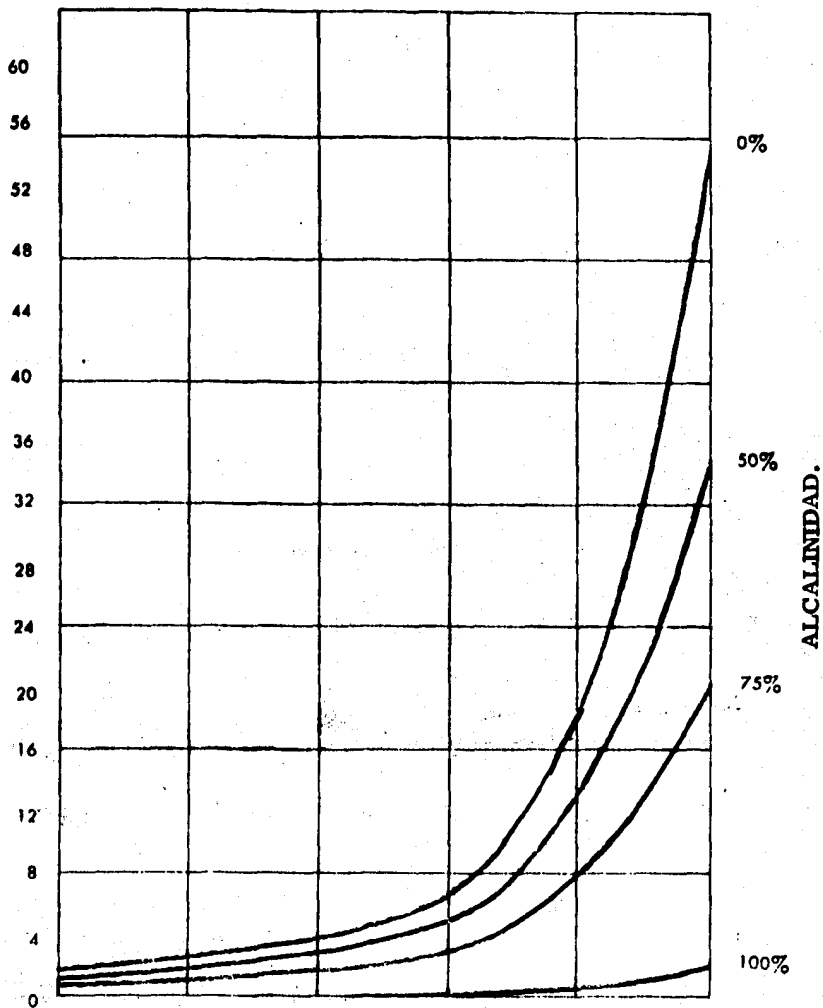
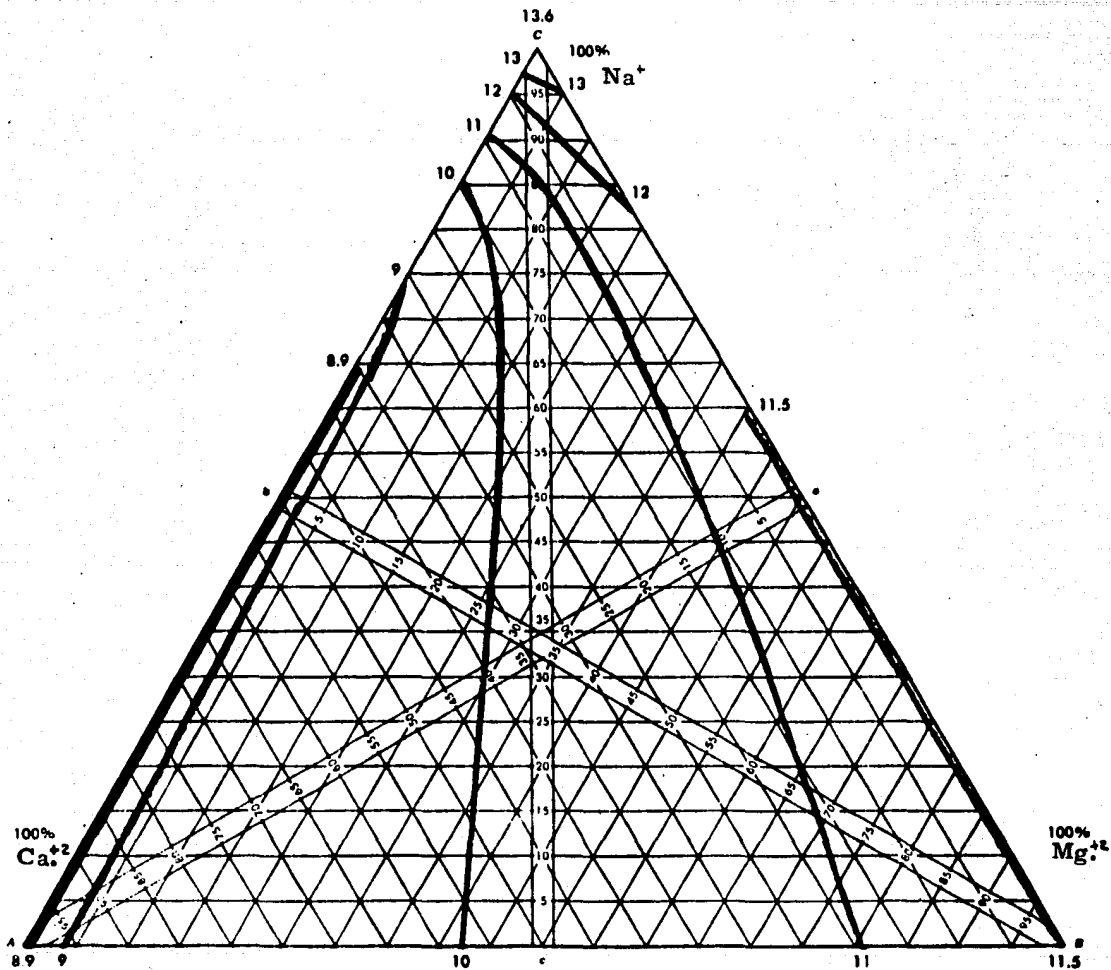




FIG. 2.41 AMBERLITA IR - 120 DATOS DE ISOCAPACIDAD.

REGENERACION - 3 lb . H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66° B $\acute{e}$ ) / pie<sup>3</sup>.



KILOGRANOS (como CaCO<sub>3</sub>) / pie<sup>3</sup> a cero alcalinidad.  
 AJUSTAR PARA OTRAS ALCALINIDADES CON FIG. 2.11'

FIG. 2.42 AMBERLITA IR - 120. DATOS DE FUGA.

REGENERACION - 4 lb.  $H_2SO_4$  (66° Bé)/pie<sup>3</sup>.

PROMEDIO DE FUGA (% DEL TOTAL DE CATIONES).

CONCENTRACION DE SODIO (% DEL TOTAL DE CATIONES).

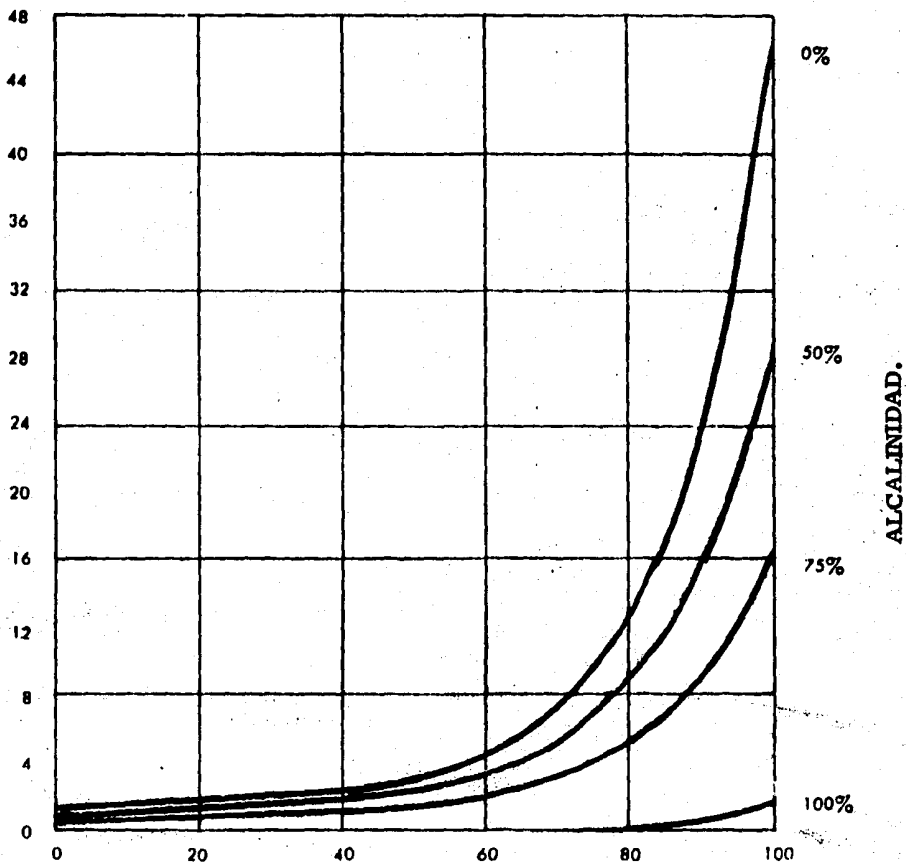
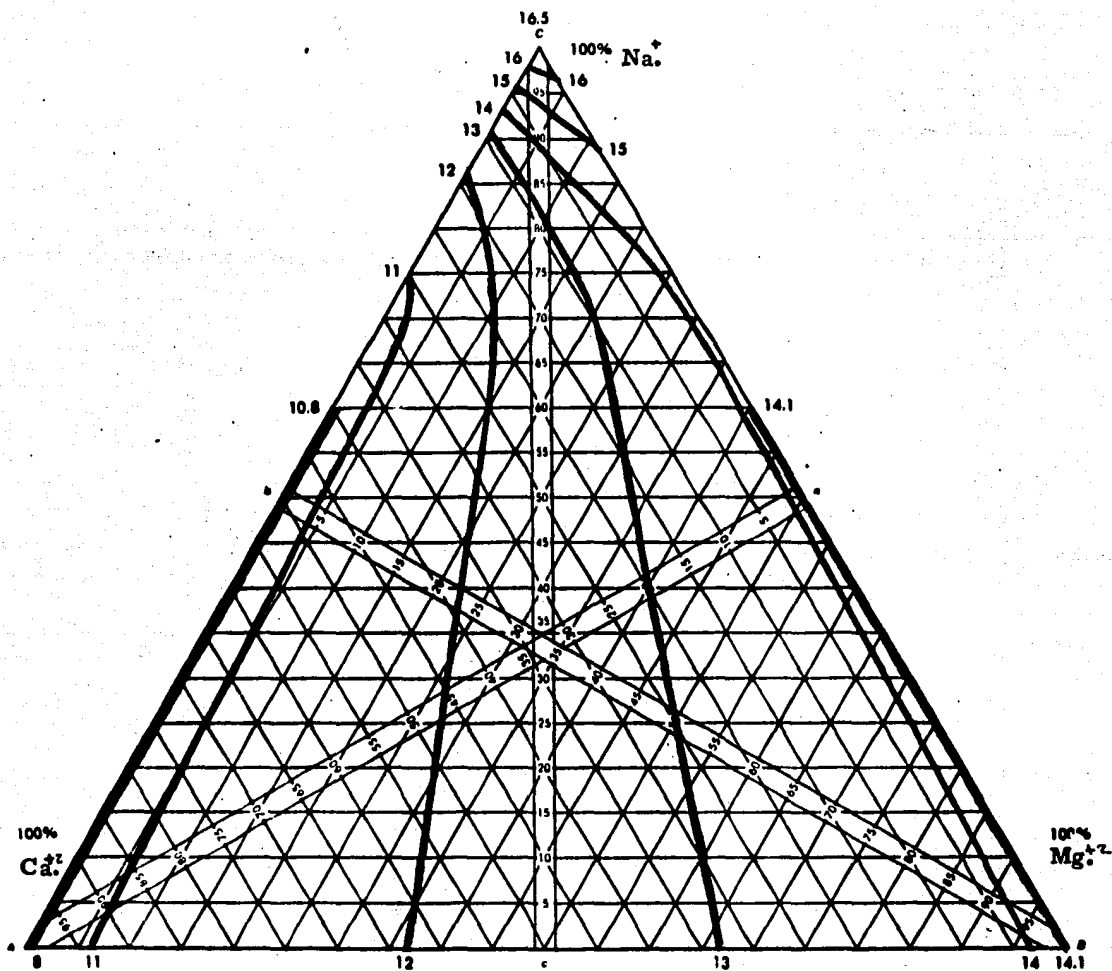


FIG. 2.43 AMBERLITA IR-120. DATOS DE ISOCAPACIDAD.

REGENERACION 4 lb . H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66Bé)/pie<sup>3</sup>.



KILOGRANOS ( como CaCO<sub>3</sub> ) / pie<sup>3</sup> a cero alcalinidad.  
 AJUSTAR PARA OTRAS ALCALINIDADES CON FIG. 2.11.

FIG. 2.44 AMBERLITA IR - 120. DATOS DE FUGA.

REGENERACION - 5 lb.  $H_2SO_4$  (66°Bé)/pie<sup>3</sup>.

CONCENTRACION DE SODIO (% DEL TOTAL DE CATIONES).

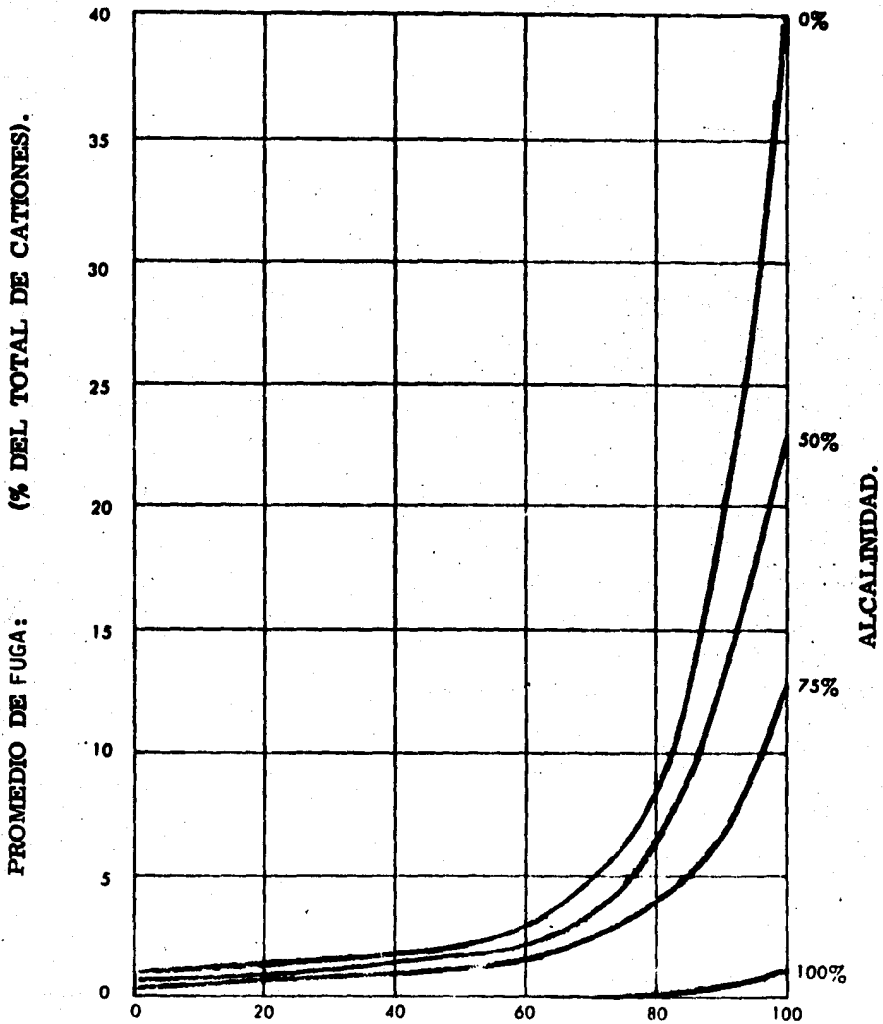
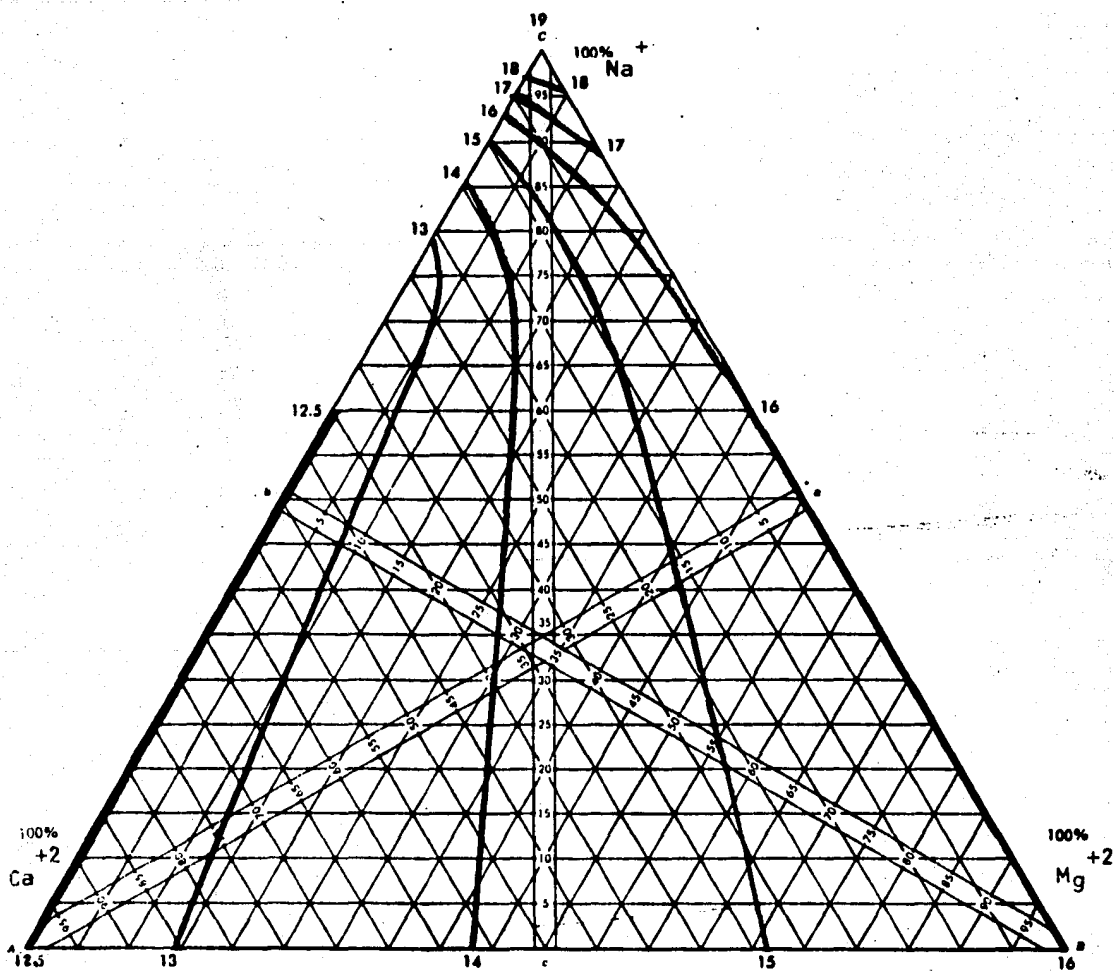


FIG. 2.45 AMBERLITA IR - 120. DATOS DE ISOCAPACIDAD.

REGENERACION - 5 lb.  $H_2SO_4$  (66°Bé)/pie<sup>3</sup>.



KILOGRANOS (como  $CaCO_3$ )/pie<sup>3</sup> a cero alcalinidad.

AJUSTAR PARA OTRAS ALCALINIDADES CON FIG. 2.11'

FIG. 2.46 AMBERLITA IR - 120. DATOS DE FUGA.

REGENERACION - 6 lb.  $H_2SO_4$  (66°Bé)/pie<sup>3</sup>.

CONCENTRACION DE SODIO (% DEL TOTAL DE CATIONES).

PROMEDIO DE FUGA: (% DEL TOTAL DE CATIONES).

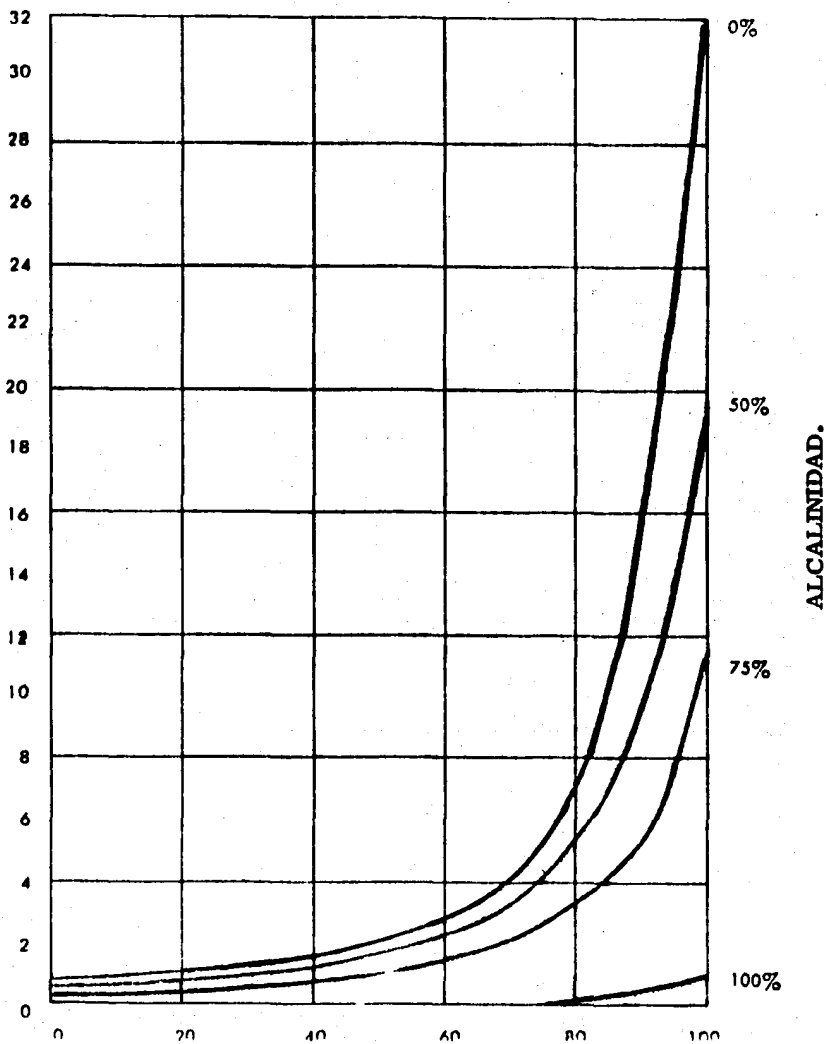
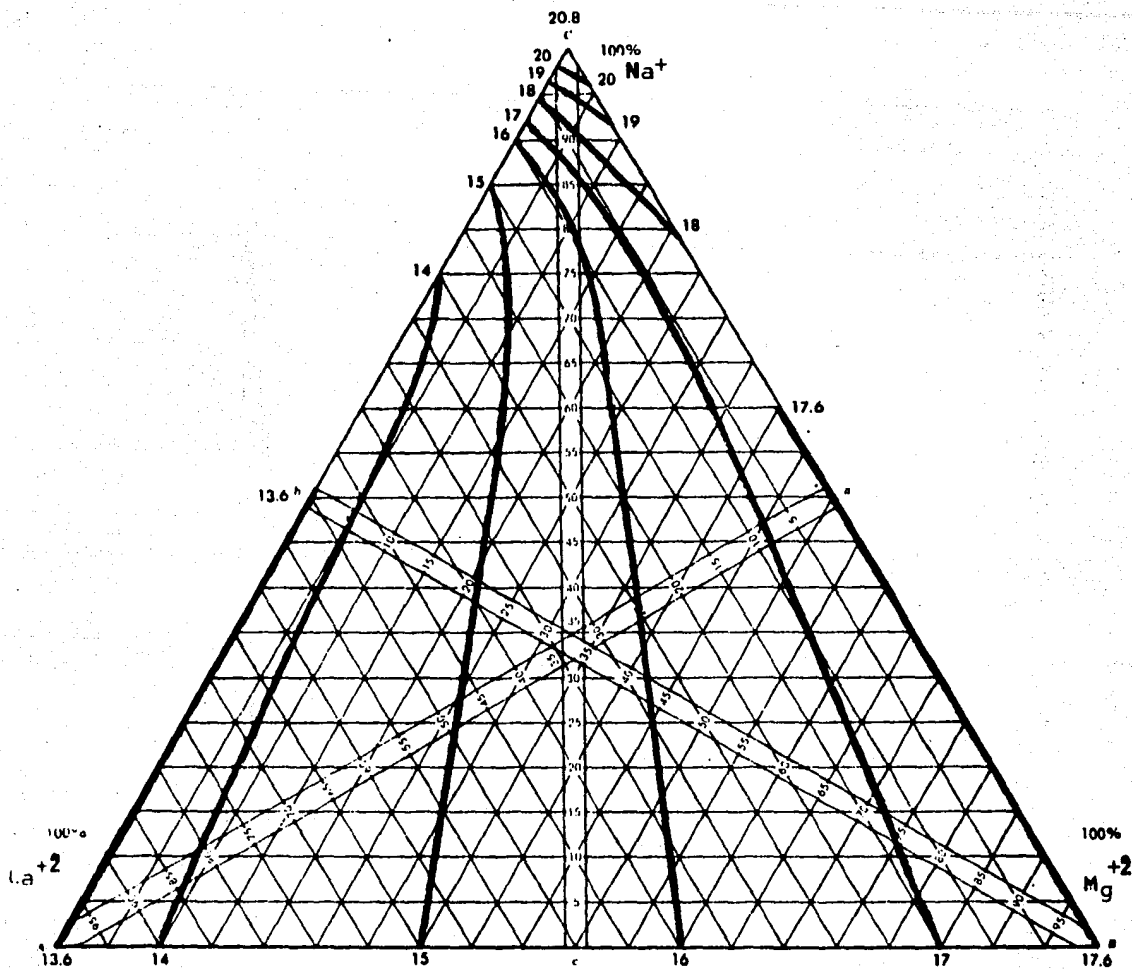


FIG. 2.47 AMBERLITA IR - 120. DATOS DE ISOCAPACIDAD.

REGENERACION - 6 lb . H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66° Bé)/pie<sup>3</sup>.



KILOGRANOS (como CaCO<sub>3</sub>)/pie<sup>3</sup> a cero alcalinidad.

AJUSTAR PARA OTRAS ALCALINIDADES CON FIG. 2.11.

FIG. 2.48 AMBERLITA IR - 120. DATOS DE FUGA.

REGENERACION - 7 lb . H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66°Bé)/pie<sup>3</sup>.

CONCENTRACION DE SODIO (% DEL TOTAL DE CATIONES).

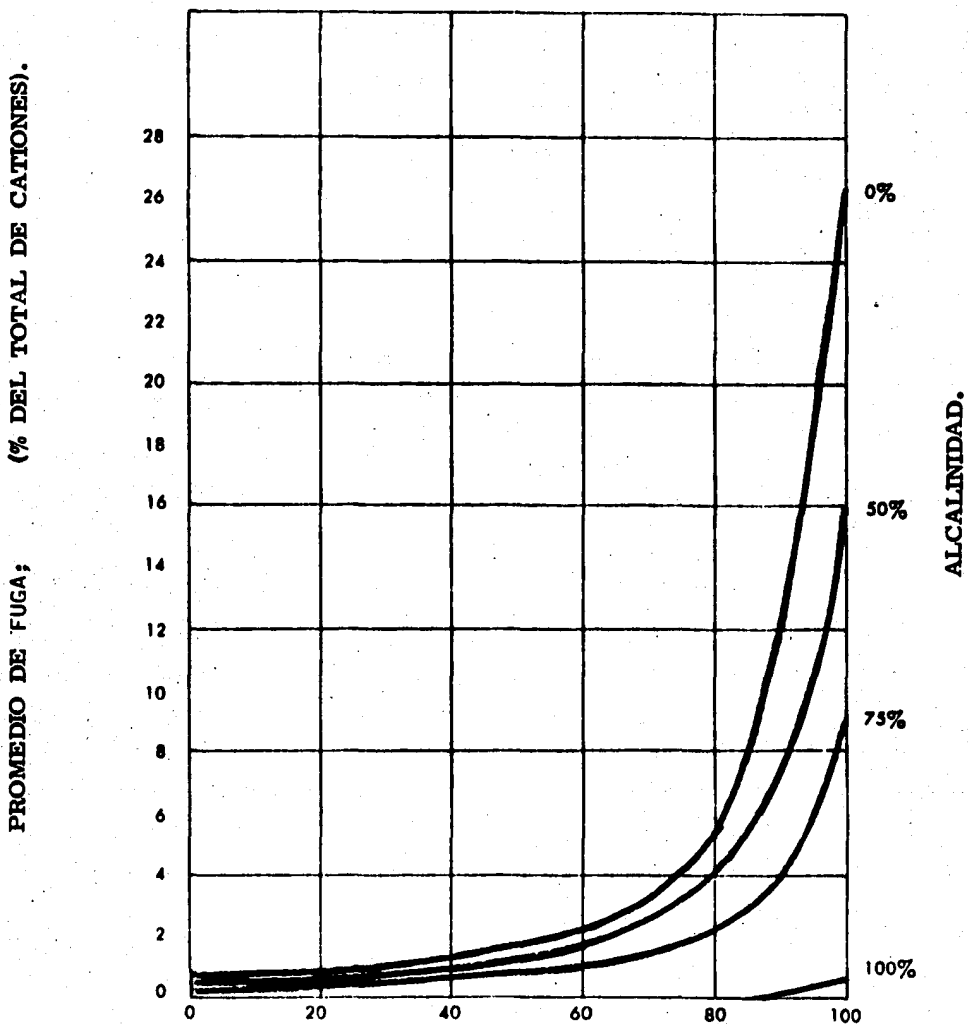
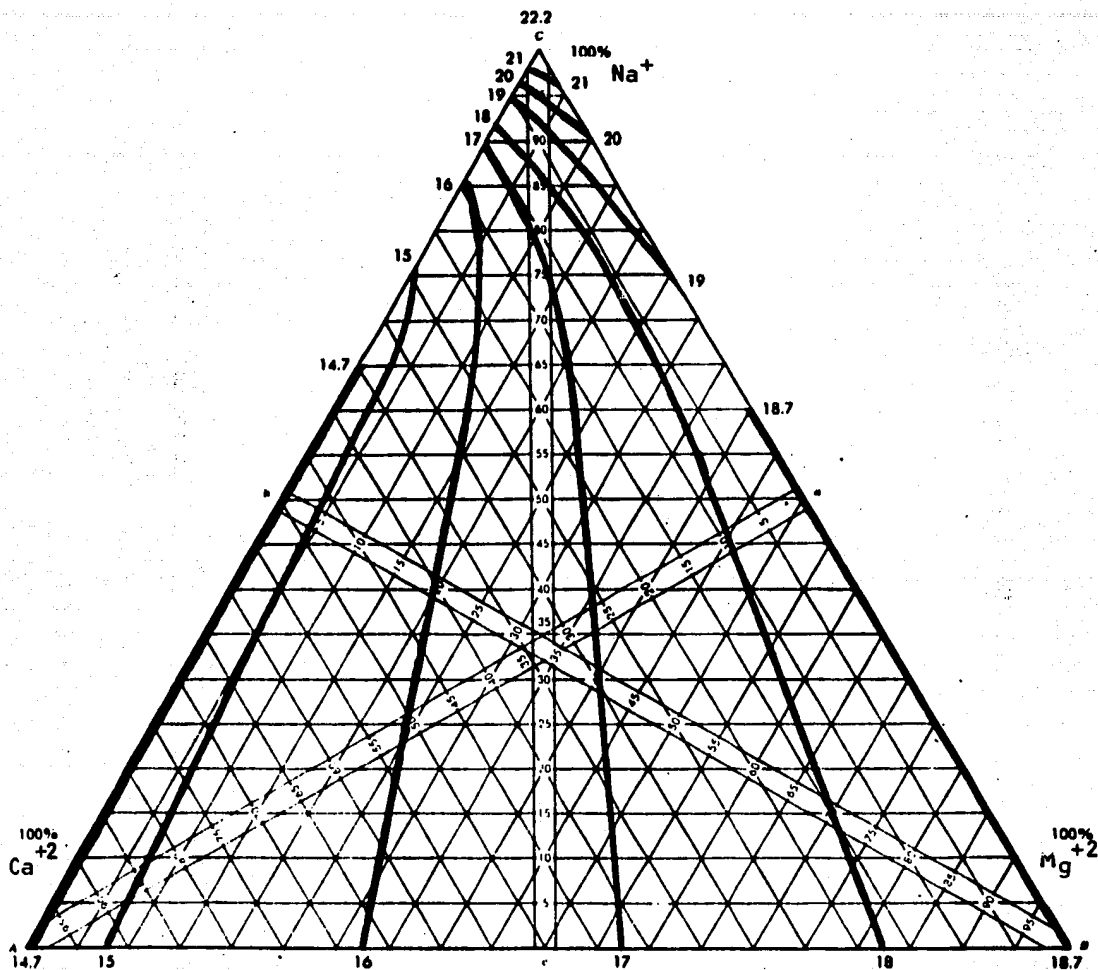




FIG. 2.49 AMBERLITA IR - 120. DATOS DE ISOCAPACIDAD.

REGENERACION - 7 lb .  $H_2SO_4$  (66°Bé)/pie<sup>3</sup>.



KILOGRANOS (como  $CaCO_3$ )/pie<sup>3</sup> a cero alcalinidad.

AJUSTAR PARA OTRAS ALCALINIDADES CON FIG. 2.11!

FIG. 2.50 AMBERLITA IR - 120 DATOS DE FUGA.

REGENERACION - 8 lb . H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66°Bé)/ 3.

CONCENTRACION DE SODIO (% DEL TOTAL DE CATIONES).

PROMEDIO DE FUGA; (% DEL TOTAL DE CATIONES).

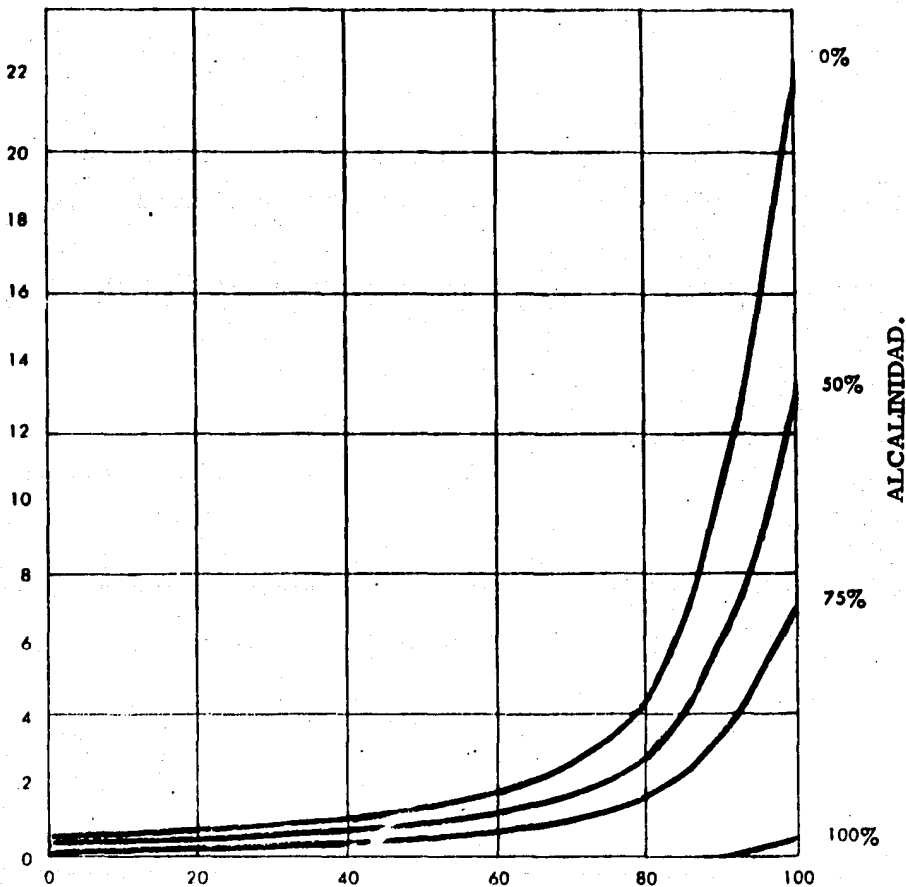
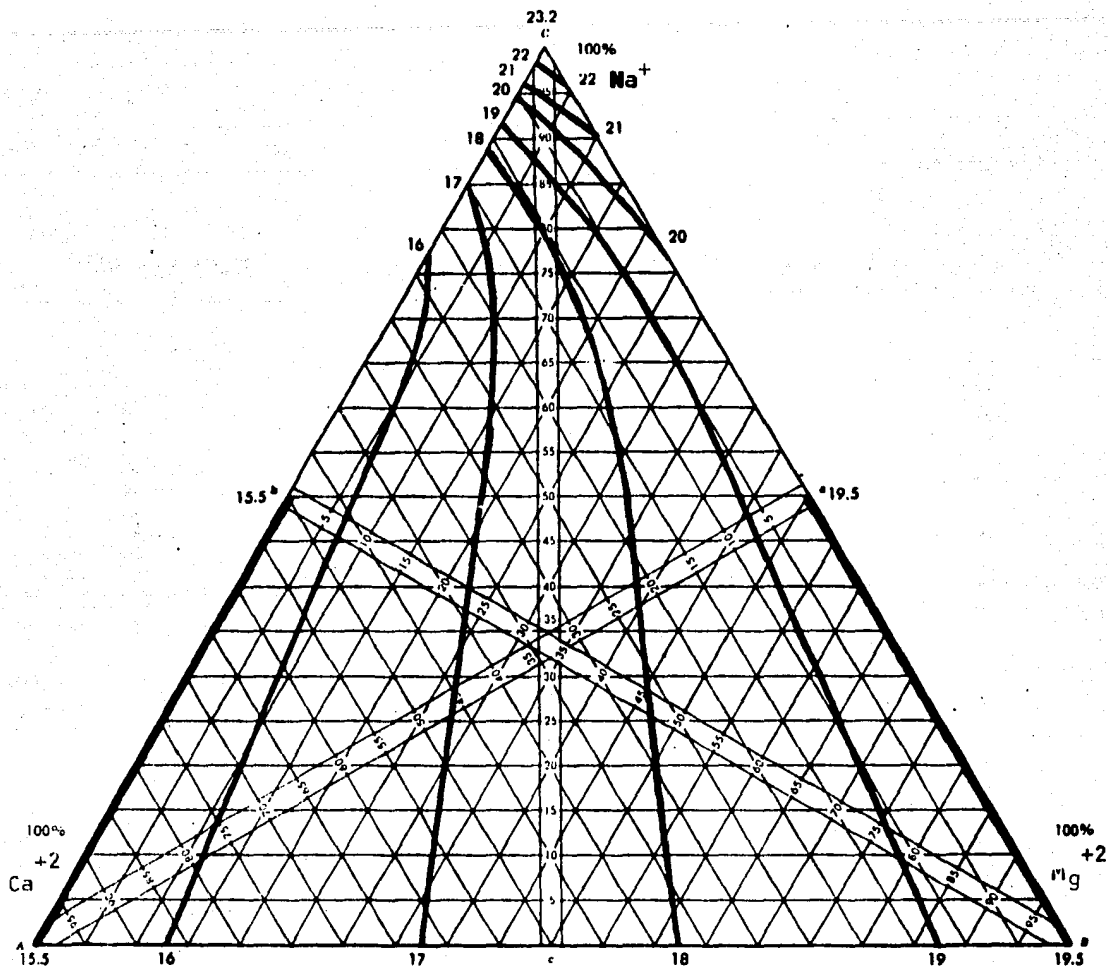


FIG. 2.51 AMBERLITA IR - 120. DATOS DE ISOCAPACIDAD.

REGENERACION - 8 lb. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66° B $\acute{e}$ )/pie<sup>3</sup>.



KILOGRANOS (como CaCO<sub>3</sub>)/pie<sup>3</sup> a cero alcalinidad.

AJUSTAR PARA OTRAS ALCALINIDADES CON FIG. 2.11'.

FIG. 2.52 AMBERLITA IR - 120. DATOS DE FUGA.

REGENERACION - 9 lb.  $H_2SO_4$  (66°Bé)/pie<sup>3</sup>.

CONCENTRACION DE SODIO (% DEL TOTAL DE CATIONES).

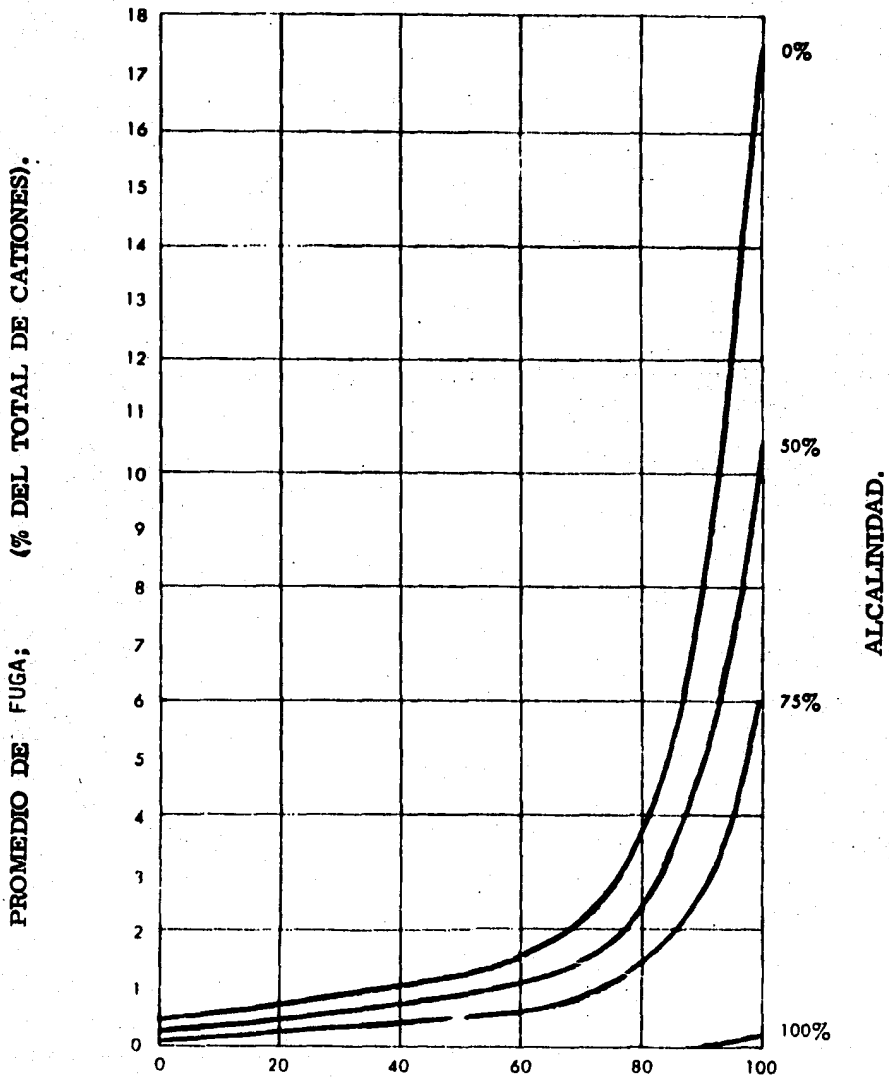
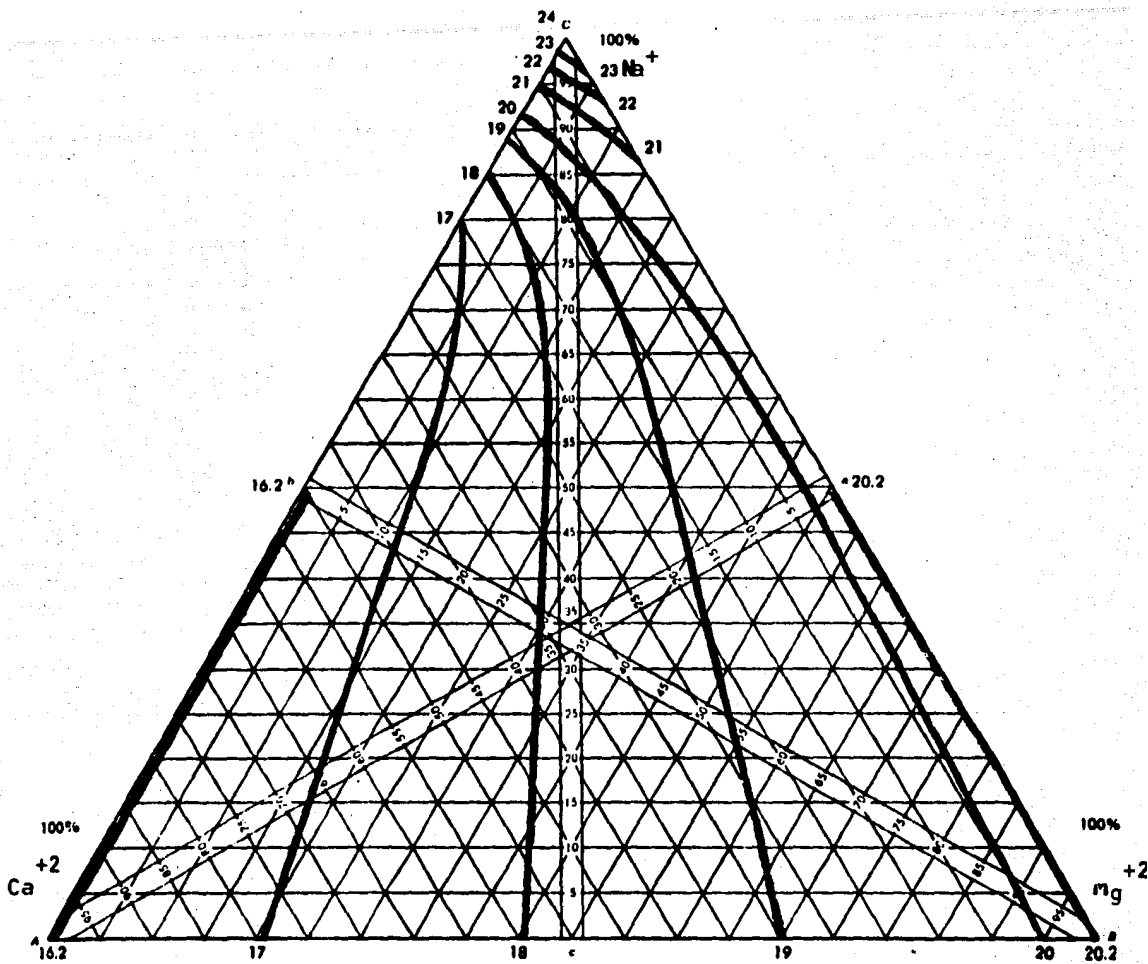


FIG. 2.53 AMBERLITA IR - 120. DATOS DE ISOCAPACIDAD.

REGENERACION - 9 lb.  $H_2SO_4$  (66°Bé)/pie<sup>3</sup>.



KILOGRANOS (como  $CaCO_3$ )/pie<sup>3</sup> a cero alcalinidad.

AJUSTAR PARA OTRAS ALCALINIDADES CON FIG. 2.11.

FIG. 2.54 AMBERLITA IR - 120. DATOS DE FUGA.

REGENERACION - 10 lb .  $H_2SO_4$  (66°Bé)/pie<sup>3</sup>.

CONCENTRACION DE SODIO (% DEL TOTAL DE CATIONES).

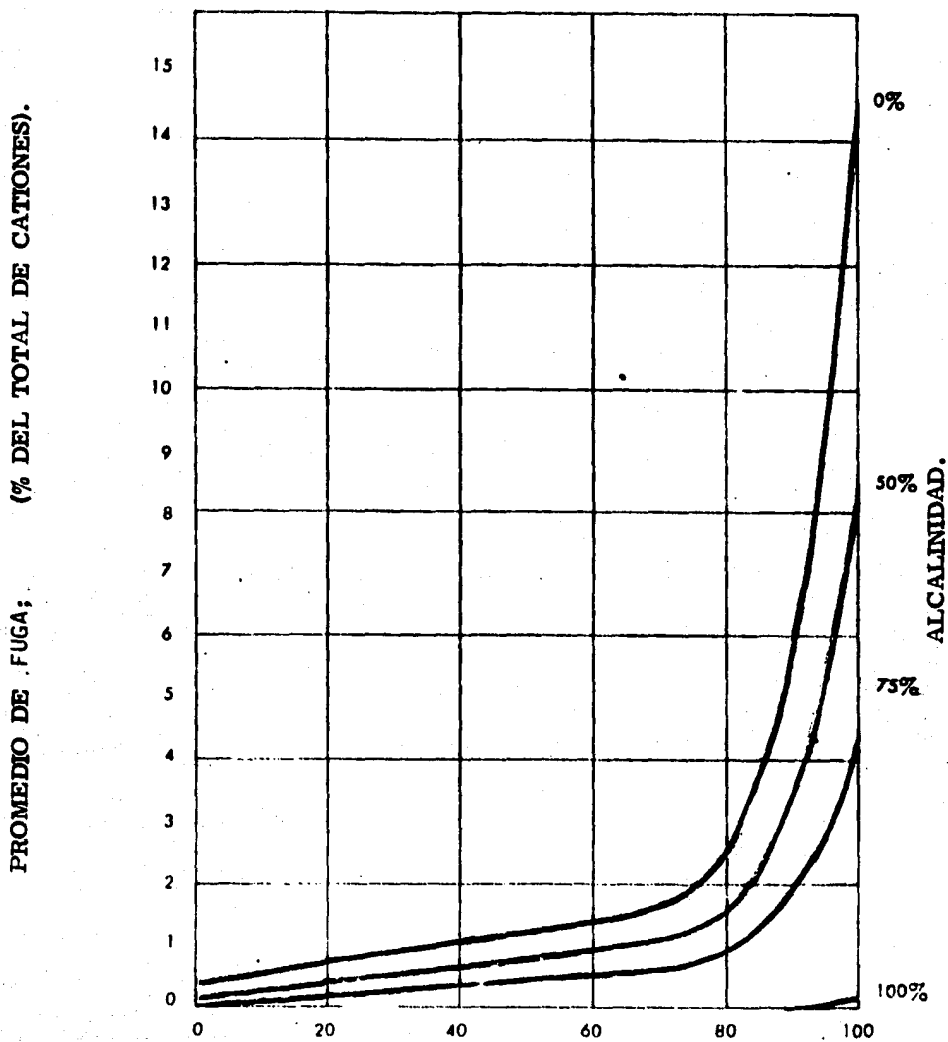
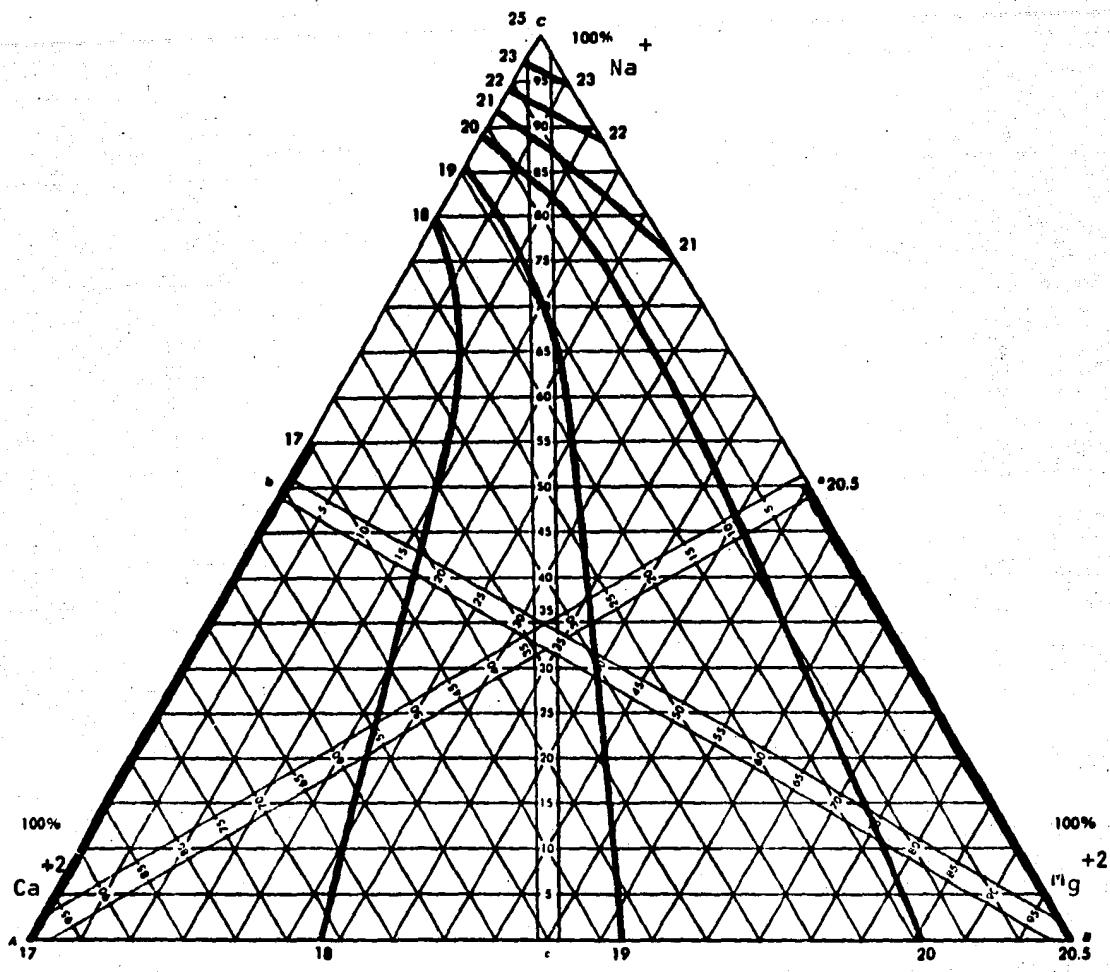


FIG. 2.55 AMBERLITA IR - 120. DATOS DE ISOCAPACIDAD.

REGENERACION - 10 lb . H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (66° Bé)/pie<sup>3</sup>.



KILOGRANOS (como CaCO<sub>3</sub>) a cero alcalinidad.

AJUSTAR PARA OTRAS ALCALINIDADES CON FIG. 2.11.

FIG. 2.11'. AMBERLITA IR - 120.  
CORRECCION PARA LA CAPACIDAD DE LA ALCALINIDAD.

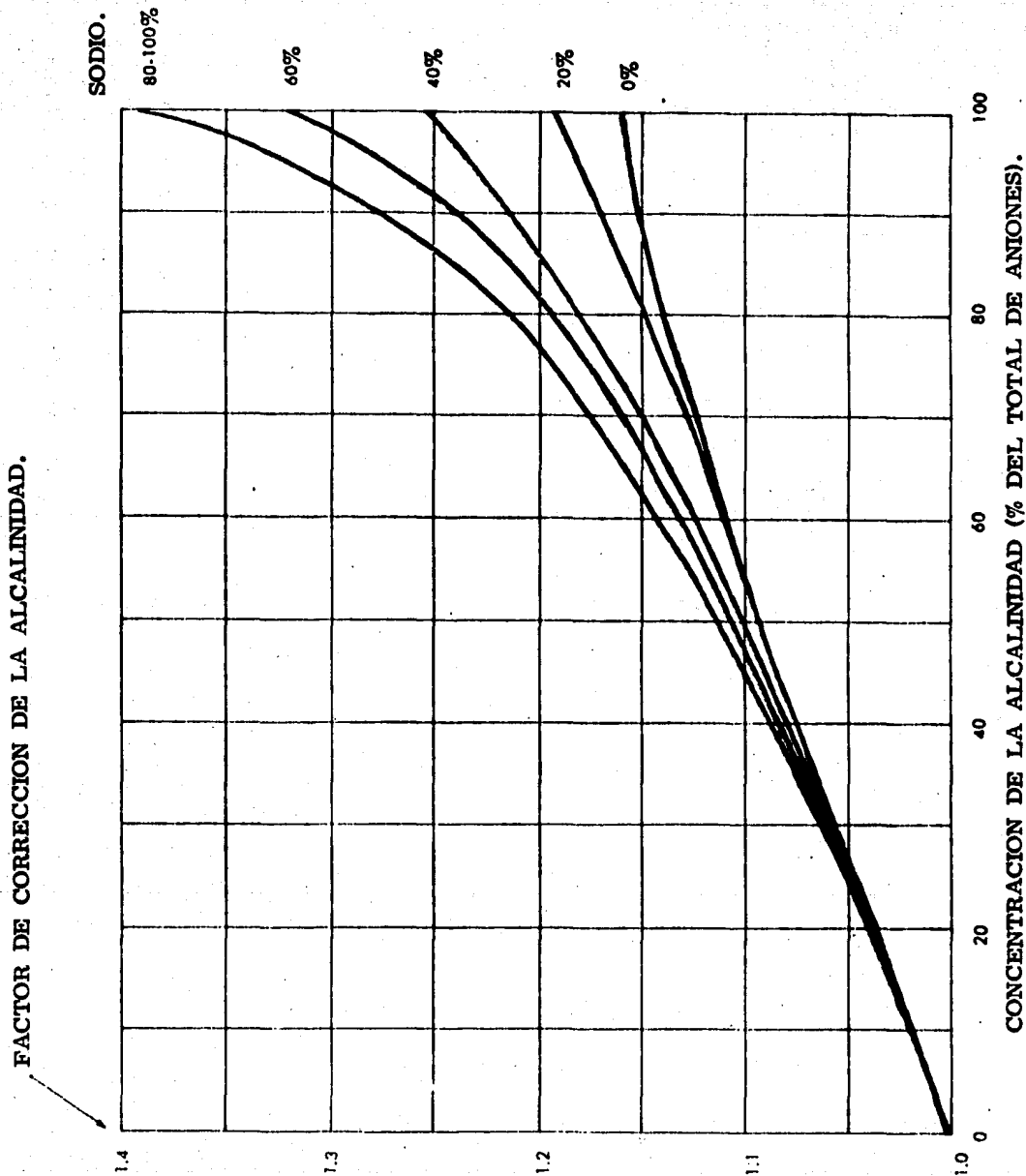
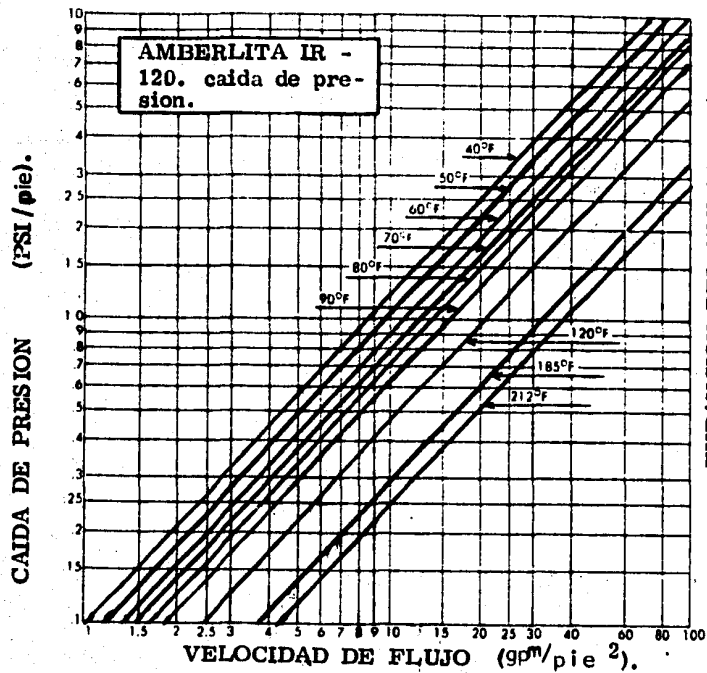
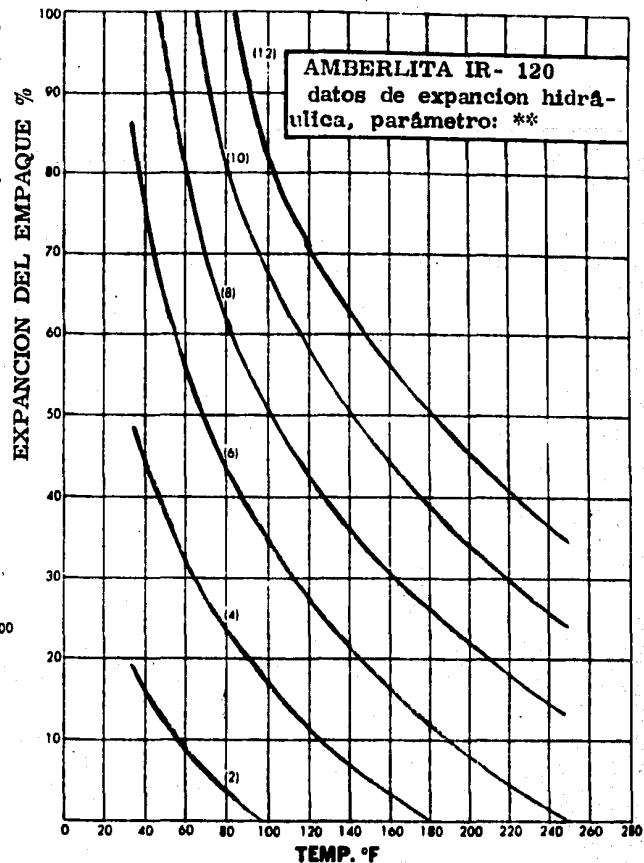




FIG. 2.56 DATOS DE CAIDA DE PRESION Y EXPANCIION HIDRAULICA.



\*\* velocidad del flujo gpm/ pie.



## AMBERLITA IRA-900

Es una resina macrorreticular de intercambio de aniones fuertes. Su estructura macrorreticular incluye poros largos, presentando una forma esponjosa que es única entre las resinas de estructura tipo gel, su grupo funcional es de tipo base fuerte, derivado de su amonio cuaternario. Ello le permite remover todos los aniones, incluyendo sflice, pero simultáneamente su estructura permite remover moléculas orgánicas de tamaño grande como son los ácidos carboxílicos. Por ello la Amberlita IRA-900 se usa donde agua de alta calidad desionizada es requerida.

Esta Amberlita desde el punto de vista químico y físico es no celular. Su rígida estructura permite máxima resistencia a la fricción de esfuerzos osmóticos o físicos. Posee alta velocidad de reacción. En cama múltiple o mono-cama dá muy buenos resultados.

Propiedades químicas y físicas (todos los datos son de aplicación a la forma de cloruros, menos donde se especifique).

Forma iónica (como suplente)	Cloruro
Forma	Partículas esféricas
Contenido de humedad	60% (Aprox.)*
Densidad	40 a 43 lb./pie <sup>3</sup>
Peso de embarque	42 lb / pie <sup>3</sup>
Tamaño efectivo	0.53 mm.
Grado de tamizado	16 a 50 mallas.
Coefficiente de uniformidad	1.8 Máximo
Contenido de fineza	Menos del 1% hasta 50 mallas. U.S. Strd. Screen.
Expansión	Aproximadamente 20% sobre la conversión completa de la forma cloruro a la hidróxido.

**Capacidad total de intercambio****(a) Volumétrica**

1.0 meq./ml. mínimo

21.8 kgr ./pie<sup>3</sup> como CaCO<sub>3</sub>3.1 lb.eq./pie<sup>3</sup>, 49.9 gr .CaCO<sub>3</sub>/l.**(b) Peso**

4.2 meq./gr . de resina en forma de cloruro, mínimo.

**Limitación de Temperatura****Forma OH**

140°F ó 66°C.

**Otras Formas**

170°F ó 77°C

**Características de Operación Sugeridas.****Limitación de pH.**

Ninguno.

**Mínima profundidad de empaque**

24 pug. (0.61 m.)

**Velocidad de retrolabado.**

Ver la información detallada.

**Concentración del regenerante\***

4% NaOH

**Velocidad de flujo regenerante.**0.25 a 0.5 GPM/pie<sup>3</sup>**Nivel de regenerante**

ver información detalla.

**Velocidad de flujo de enjuague**0.5GPM/pie<sup>3</sup> inicial y después  
1.5 GPM/pie<sup>3</sup>.**Requerimiento del agua en enjuague.**Aprox.75 gal/pie<sup>3</sup>.**Velocidad de flujo de servicio.**1 a 3 GPM/pie<sup>3</sup>.**Capacidad de intercambio**

ver la información más detallada.

Para la caída de presión en la Amberlita, observamos a la fig.2.57 para agua a varias temperaturas y gastos manejados, así que se necesita la caída de presión total sobre la Amberlita IRA-900 se multiplica la altura del lecho en pies por la velocidad de flujo de diseño. Dicha presión se elevará con aumento en el número de Reynolds del sistema.

La expansión hidráulica para la Amberlita IRA-900 se observa en la fig. 2.58 para varias temperaturas en función de la velocidad del agua y también aumenta con incremento del número de Reynolds.

Posee características similares con la resina IRA-402 por ser del mismo tipo en lo referente a filtración de aniones. Las figs. 2.59, 2.60, 2.61 y 2.62 son para niveles de regeneración de 4, 6, 8 y 10 lb. NaOH/pie<sup>3</sup> a 64, 96, 128 y 160 g. NaOH/l. y a 24, 35 y 49°C, que fueron datos reportados en laboratorio usando un diámetro de columna de 1 pulgada y con flujo regenerante de 0.25 GPM/pie<sup>3</sup> y flujo de servicio de 2.5 GPM/pie<sup>3</sup>, la fig. 2.63 muestra las condiciones óptimas de regeneración de la resina a 120°F.

En resumen las condiciones de regeneración son:

- 1 Para regenerar usar de 4 a 8 lb./pie<sup>3</sup> de NaOH a 100% (64 a 128g/l.).
- 2 La concentración de la solución será de 4% de NaOH.
- 3 Temperatura de regeneración 24 a 49°C, siendo a 49°C la mas adecuada.
- 4 Velocidad de flujo regenerante 0.25 GMP/pie<sup>3</sup>.
- 5 Velocidad de flujo de lavado 0.25 GMP/pie<sup>3</sup>.

Cuando las partículas se envenenan con orgánicos, es bueno lavarlas con hipoclorito de sodio diluido.

- \* Precaución.- Acido nítrico y otros agentes oxidantes pueden causar reacciones explosivas al mezclarse con las resinas de intercambio iónico.

lb. NaOH/pie<sup>3</sup> Capacidad (Kgr. como CaCO<sub>3</sub>/pie<sup>3</sup> de resina)  
Resina a.

75°F	HCL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
4	8.8	10.3	8.6	14.4
6	10.4	11.8	10.3	15.6
8	11.5	13.0	11.5	15.9
10	12.2	13.9	12.4	16.2

La tabla anterior muestra la capacidad de la Amberlita IRA-900 para varios ácidos como función del nivel de regeneración a la temperatura de 75°F.

Procedimiento de cálculo de la capacidad.

Se tiene agua con la siguiente composición y se pide que su contenido final de sílice sea menos 0.1 ppm. (como CaCO<sub>3</sub>).

IONES	ppm
Cloruro	2 como Cl <sup>-</sup>
Nitrato	0 como NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Sulfato	8 como SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Bicarbonato	20 como HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Sílice	12 como SiO <sub>2</sub>
Calcio	7 como Ca <sup>+2</sup>
Magnesio	1 como Mg <sup>+2</sup>
Sodio	3 como Na <sup>+</sup>
Total de sólidos	45
Dureza total	22 como CaCO <sub>3</sub>

Para determinar la capacidad total de Amberlita IRA-900 a un nivel de regeneración apropiado, se requiere convertir a ppm las concentraciones del análisis (Sección A) y entonces representarlo como una fracción del total de aniones.

Mediante las figs. 2.59, 2.60, 2.61, 2.62 y 2.63 se selecciona el nivel de regeneración y la temperatura adecuada. En este caso se usa un nivel de 6 lb. NaOH a 100% (96g NaOH/l. Resina) a 95°F ó 35°C (Fig. 2.60) que es la adecuada para la concentración de sílice (27% del total de aniones).

En la sección B del ejemplo, las capacidades de los componentes son determinadas de las figs. 2.64, 2.65 y 2.66 pero en este caso la temperatura elegida fue de 95°F y la fig. 2.65 es la correspondiente a 6 l. de nivel de regeneración. Cada capacidad de componente se lee en la gráfica apropiada usando como base la fracción de 27% para sílice.

## SECCION A.

## CONCENTRACIONES DE ANIONES.

ppm	COMO ANION	ppm	COMO CaCO <sub>3</sub>
CL <sup>-</sup>	2 x 1.41	=	2.8
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0. x 0.81	=	<u>0.0</u>
	TOTAL Cl	=	3.0
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	8 x 1.04	=	8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	20 x 0.82	=	16
SiO <sub>2</sub>	12 x 0.83	=	<u>10</u>
	TOTAL DE ANIONES		37

## FRACCION TOTAL DE ANIONES

CL <sup>-</sup>	= 3/37	= 0.08
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	= 8/37	= 0.22
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	= 16/37	= 0.43
SiO <sub>2</sub>	= 10/37	= <u>0.27</u>
TOTAL		1.0

## SECCION B.

## CALCULO DE LA CAPACIDAD TOTAL.

CAPACIDAD DE LOS COMPONENTES COMO $\text{CaCO}_3/\text{pie}^3$	FRACCION DEL TOTAL DE ANIONES	CAPACIDAD Kgr. COMO $\text{CaCO}_3/\text{pie}^3$	$\text{gCaCO}_3/\text{l. RESINA.}$
$\text{SiO}_2$ - Cl 10.4	0.08	0.856 X 2.333	1.999
$\text{SiO}_2$ - $\text{SO}_4$ 11.8	0.22	2.596 X "	6.057
$\text{SiO}_2$ - $\text{HCO}_3$ 13.8	0.43	5.934 X "	13.846
$\text{SiO}_2$ 11.6	0.27	3.132 X "	7.30
		<u>12.518</u>	<u>29.2086</u>

La capacidad total es 12.6 Kgr. como  $\text{CaCO}_3/\text{pie}^3$  =  
 29.2 g  $\text{CaCO}_3/\text{l.}$  de Resina.

FIG. 2.57 CAIDA DE PRESION.  
AMBERLITA IRA - 900.

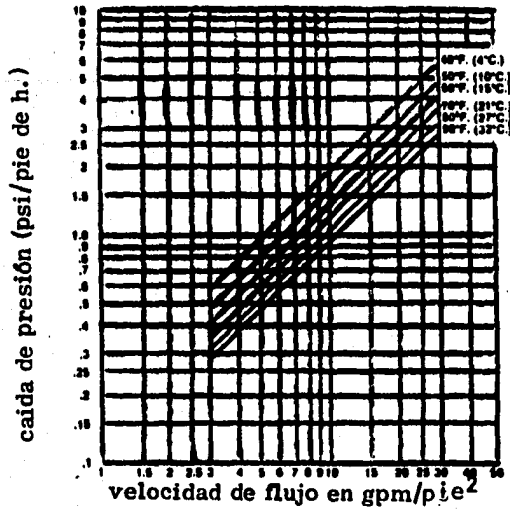


FIG. 2.58 RETROLAVADO  
AMBERLITA IRA - 900.

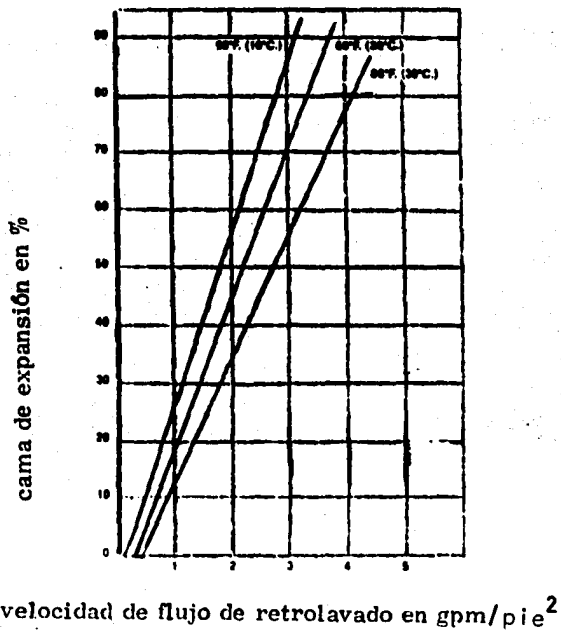




FIG. 2.59 AMBERLITA 900. FILTRACION DE SILICE.  
4 lb. de NaOH a 100 % (64 g. NaOH/l. de RESINA).

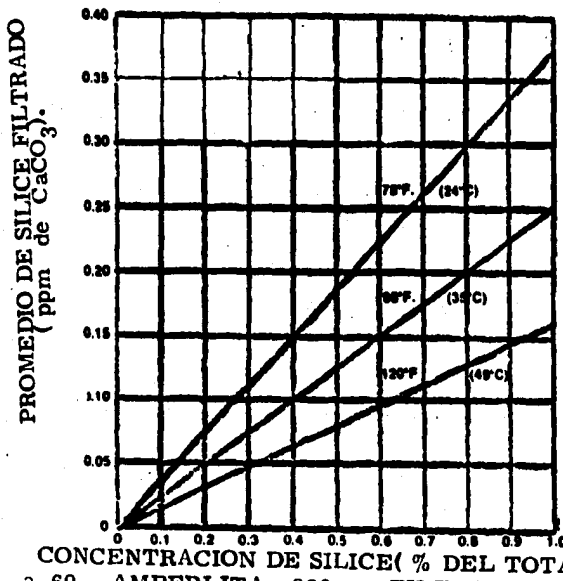
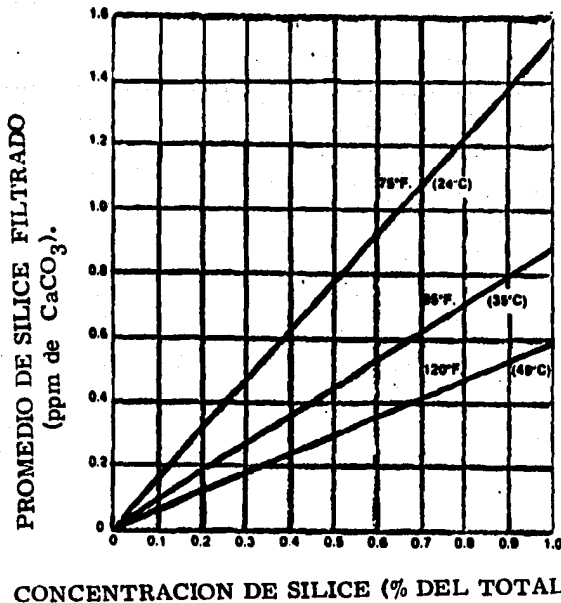
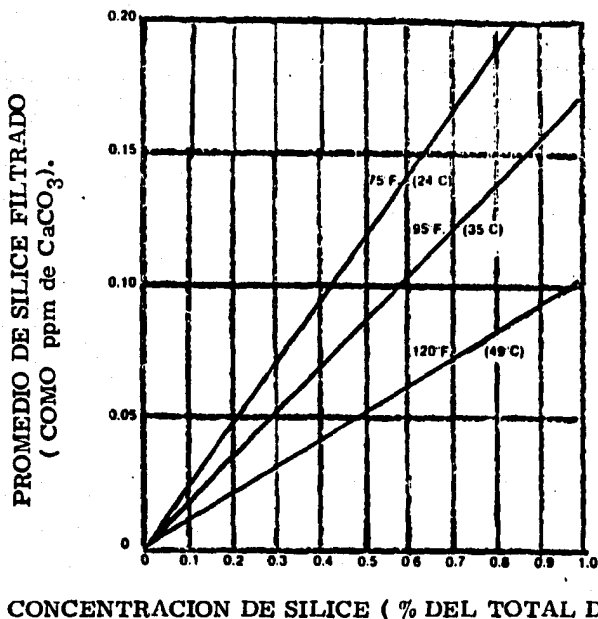
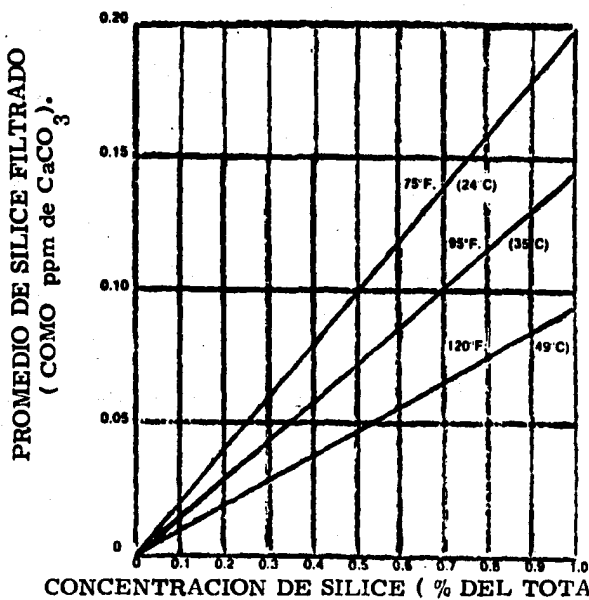


FIG. 2.60 AMBERLITA 900. FILTRACION DE SILICE.  
6 lb. de NaOH a 100 % (96 g. NaOH/l. de RESINA).

FIG. 261 AMBERLITA IRA - 900. FILTRACION DE SILICE.  
8 Lbs. de NaOH a 100 % (128 g. NaOH/l. de RESINA).



CONCENTRACION DE SILICE ( % DEL TOTAL DE ANIONES ).



CONCENTRACION DE SILICE ( % DEL TOTAL DE ANIONES ).

FIG. 262 AMBERLITA IRA - 900. FILTRACION DE SILICE.

10 lb. de NaOH a 100% (96 g. NaOH/l. de RESINA).

FIG. 2.63 AMBERLITA 900. REGENERACION OPTIMA A 120°F. (49°C.)

FILTRACION DE SILICE (COMO  $\text{CaCO}_3$  EN PPM) CON  
NIVEL DE REGENERACION.

FILTRACION DE SILICE (COMO PPM DE  $\text{CaCO}_3$ ).

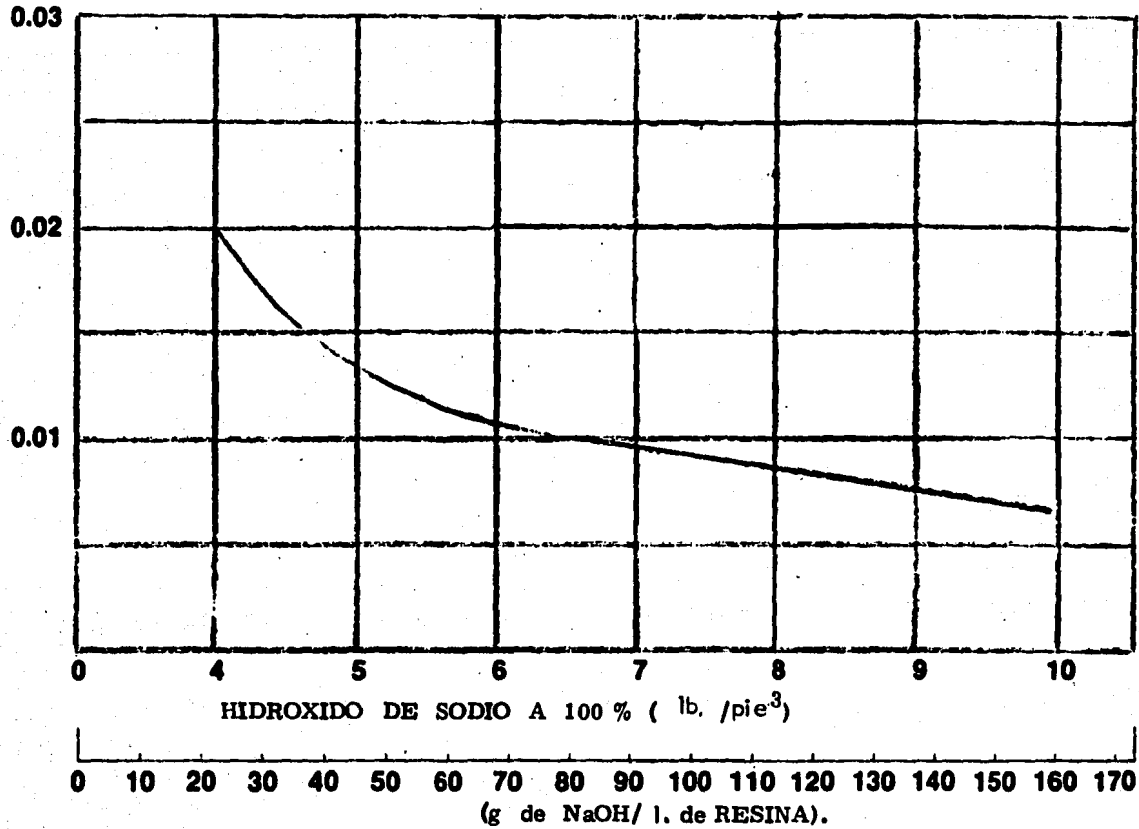
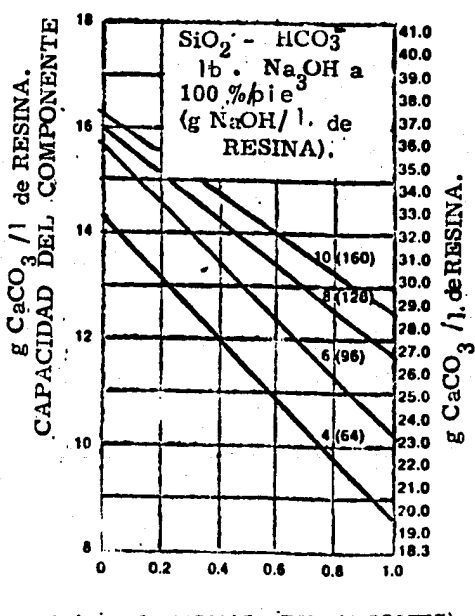
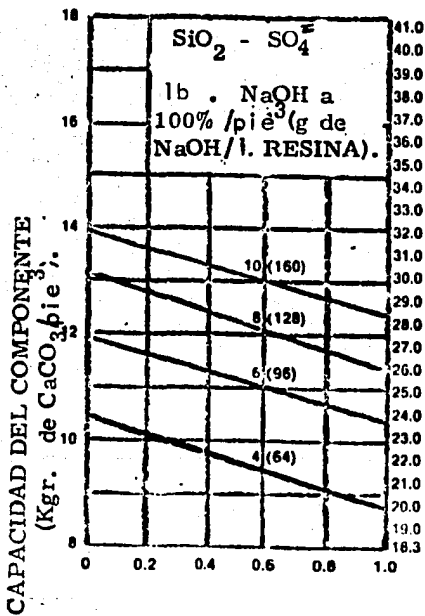
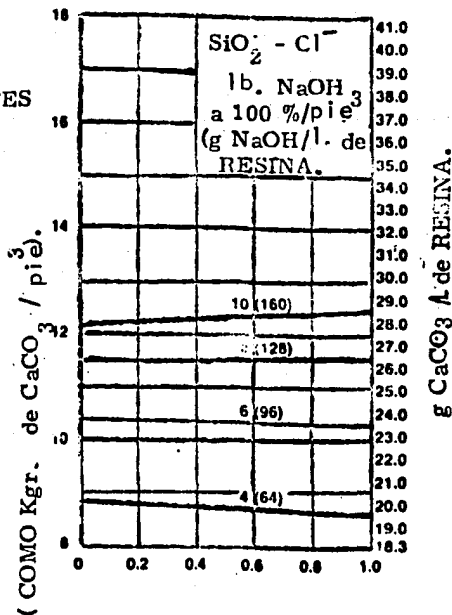


FIG. 2.64 AMBERLITA 900.

CAPACIDAD DE LOS COMPONENTES

A 75°F o 24°C.

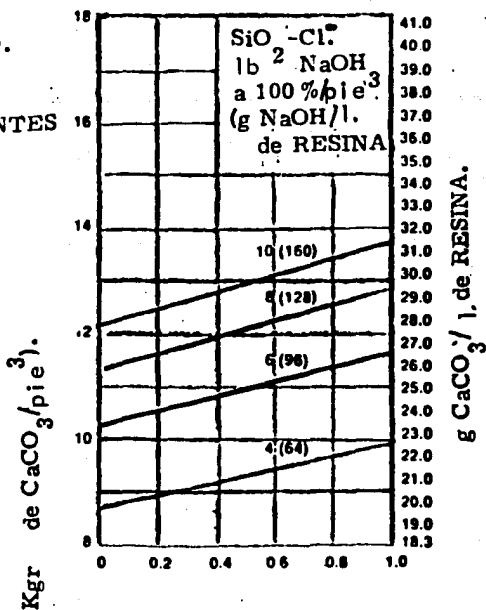


CONCENTRACION DE SILICE (% DEL TOTAL DE ANIONES).

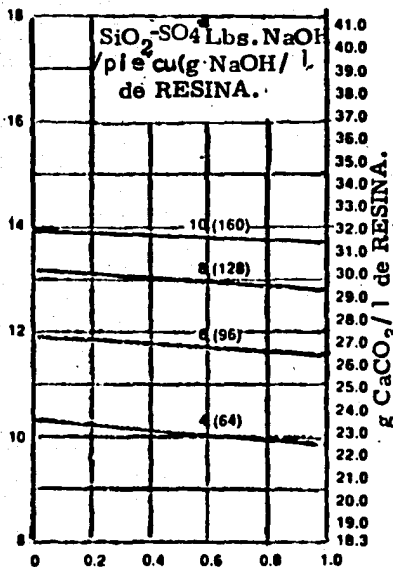
FIG. 2.65 AMBERLITA IRA - 900.

CAPACIDADES DE LOS COMPONENTES

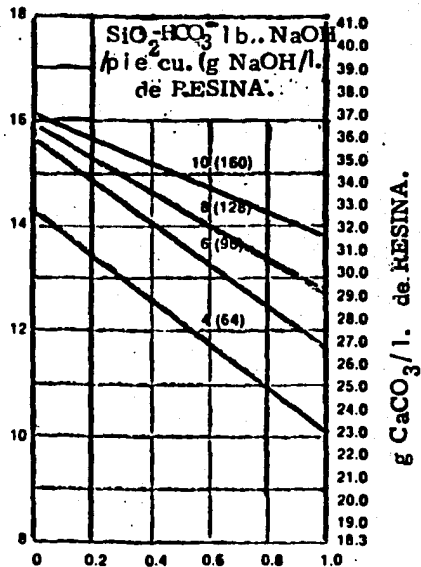
A 95°F o 35°C.



CAPACIDAD DEL COMPONENTE  
(COMO Kgr. de CaCO<sub>3</sub>/pie<sup>3</sup>).



CAPACIDAD DEL COMPONENTE (COMO Kgr. de CaCO<sub>3</sub>/pie<sup>3</sup>).



CONCENTRACION DE SILICE (% DEL TOTAL DE CATIONES).

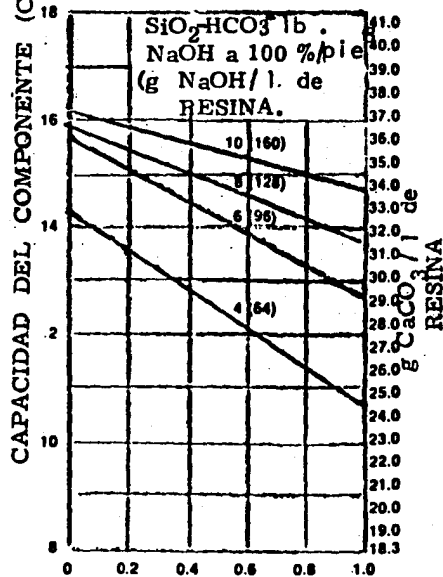
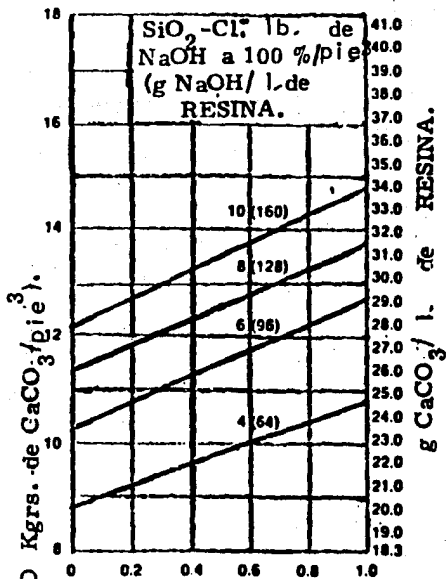
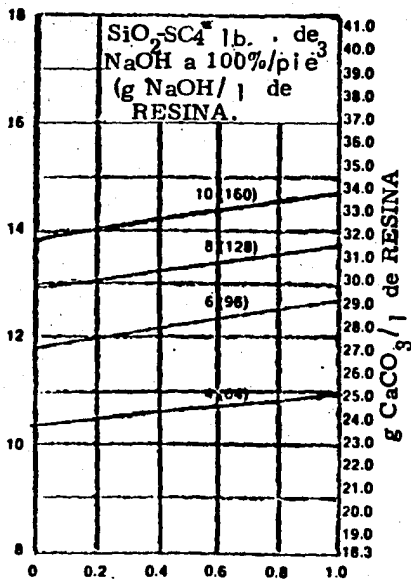
FIG.2 .66 AMBERLITA 900.

CAPACIDADES DE LOS

COMPONENTES A

120°F o 49°C.

CAPACIDAD DEL COMPONENTE  
(COMO Kgr. de  $\text{CaCO}_3/\text{pie}^3$ ).



CONCENTRACION DE SILICE (% DEL TOTAL DE CATIONES).

**CAPITULO III.**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA  
PLANTA PILOTO.**

## DISEÑO DE LA PLANTA DESMINERALIZADORA.

Se tiene el siguiente diagrama provisional, Fig.3.1

Se observan cinco columnas, soportadas en un bastidor metálico, interconectadas en su parte superior e inferior. Dichas columnas presentan las siguientes especificaciones:

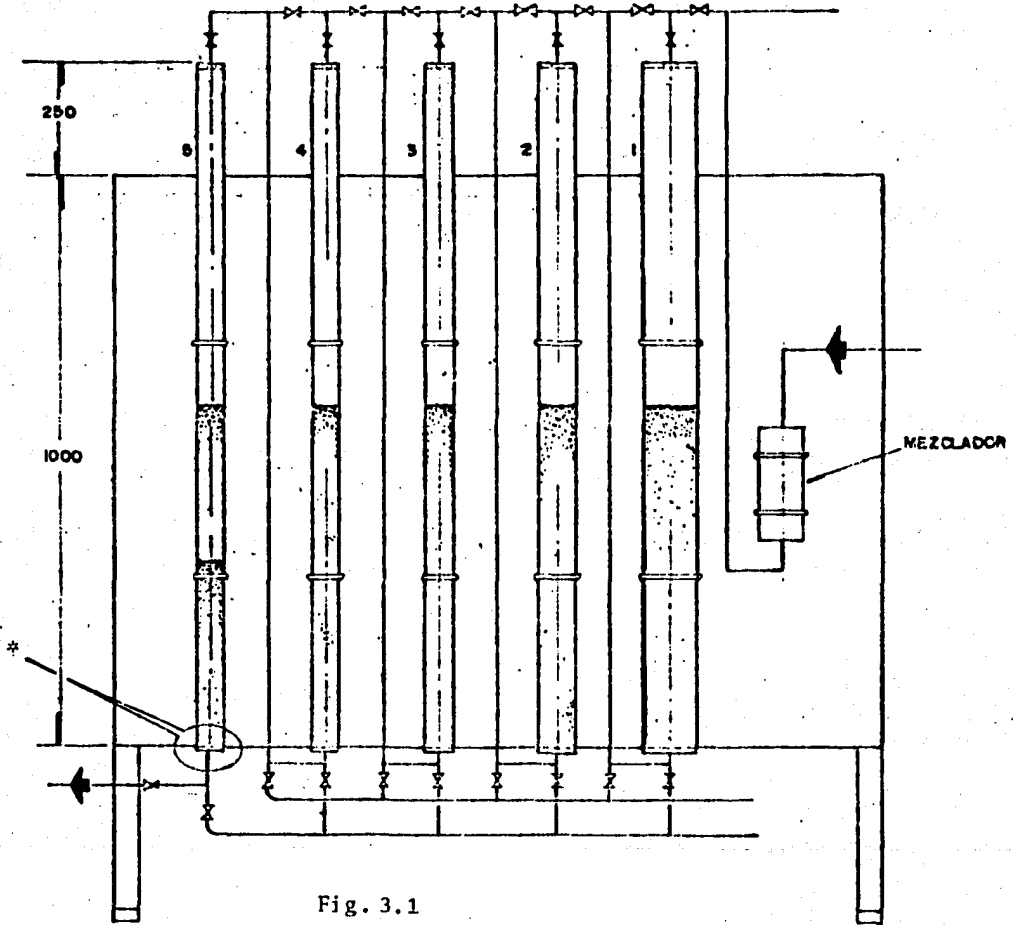


Fig. 3.1  
DIAGRAMA PROVISIONAL.

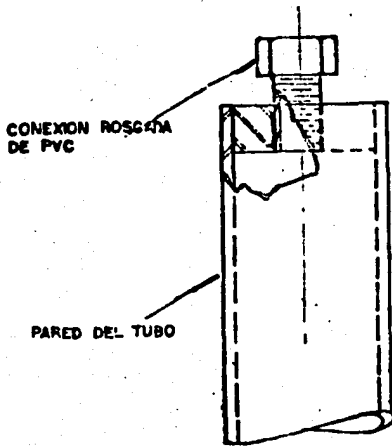
\* Ver detalle No. 2.



## COLUMNA No.1

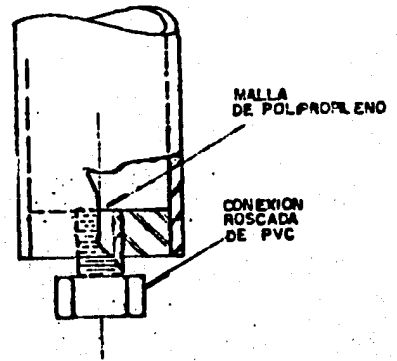
Material de construcción acrílico, tubo de cuatro pulgadas de diámetro, 44 pulgadas de altura, 3 milímetros de espesor.

Tapa superior e inferior del mismo material ver detalles números 1 y 2. Dicha columna está empacada con arena de sílice o antracita su función es como medio filtrante de los sólidos de entrada. Se recomienda la temperatura del agua a tratar no exceda de los 40°C, debido a que presenta



DETALLE No. 1

(TÍPICO)



DETALLE No.2

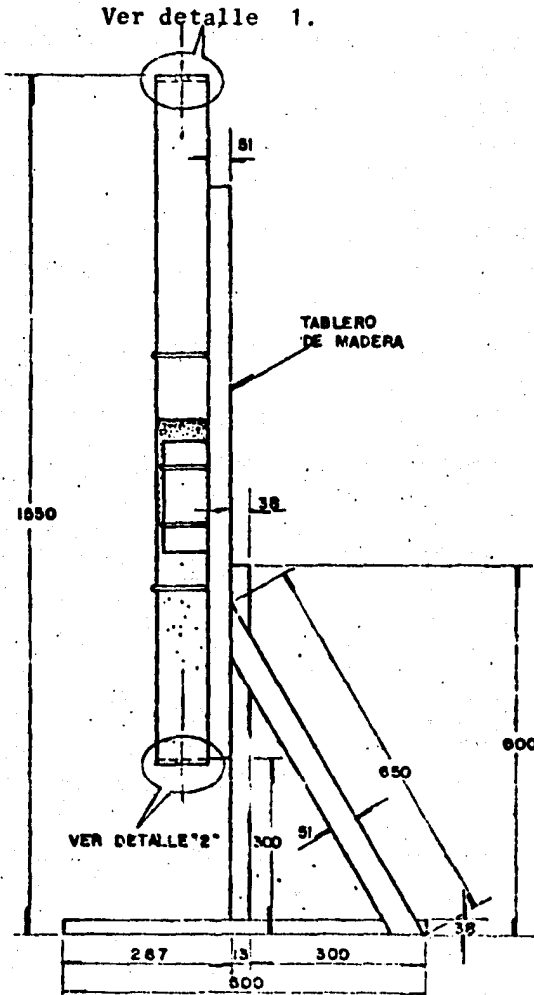
(TÍPICO)

un arrastre del sílice, que ocasiona que nuestra agua se contamine e inactive las resinas de intercambio iónico. La altura requerida de empaque se recomienda que sea mayor a 10 pulgadas, para fines a pequeña escala.

## COLUMNA No. 2.

Esta columna es del mismo material (acrílico transparente), 3 pulgadas de diámetro y 44 de altura, 3 mm de espesor.

Está empacada con carbón activado y su función es eliminar color y sabor en el agua, la altura del lecho se recomienda que sea de 2 pies de altura.



En la figura 3.2 se observa de perfil la forma en que se fijan las columnas con el bastidor metálico.

cuando el carbón no absorba color y sabor significa que se encuentra agotado, por ello es necesario calentarlo aproximadamente a 200°C sobre una charola durante 15 minutos.

Una vez seco se vuelve a colocar en la columna.

Fig. 3.2  
Vista lateral.

## COLUMNA No. 3

Del mismo material, 2 pulgadas de diámetro y 44 pulgadas de altura, 3 mm de espesor. Empacada con resina, catiónica, Amberlita IR-120, cuya función es la eliminación de cationes tipo calcio y magnesio del agua.

## COLUMNA No. 4.

Del mismo material y dimensiones que la columna 3; empacada con resina aniónica, amberlita IRA-402; su función es la eliminación de aniones tipo, sulfatos, cloruros, etc.

## COLUMNA No.5

Del mismo material y dimensiones que la columna 4; empacada con lecho mixto, utilizando Amberlita IRA-900 anionica y la Amberlita-200 cationica; la función de esta columna es de pulir el agua ya desmineralizada.

El análisis del agua que será tratada fué realizado en el departamento de Química Orgánica bajo autorización de la profesora Ma. Cristina Rock F. que especifica lo siguiente:

	muestra No. 1	muestra No. 2
Cl <sup>-</sup>	40.57 mg/l.	huellas
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	45.05	0.00
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	00.00	0.00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	118.00	6.49
Na <sup>+</sup>	33.50	0.00
Ca <sup>++</sup>	51.19	2.13
SiO <sub>2</sub>	45.30	huellas
	-----	
Conductividad	320 micromhos	7.4
pH	6.5	6.1
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	127.99 mg/l.	5.32
Sólidos	276.00 "	6.10

## Agrupación hipotética de los constituyentes.

NaCl	66.86 mg/l.	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	22.26	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 8.62 mg/l.
CaSO <sub>4</sub>	42.50	
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	156.69	

## CALCULO DE LA COLUMNA CATIONICA.

Amberlita-IR-120.

## Aniones:

				ppm como $\text{CaCO}_3$	%
Cloruros	40.57	x 1.41	= 57.2		24%
Sulfatos	45.05	x 1.04	= 46.8		20%
Carbonatos	0.0	x 0.82	= 0		0%
Bicarbonatos	118.0	x 0.83	= 96.8		40%
			200.8		
Sílice	45.3	x 0.83	= 37.6		16%
			238.4		100%

## Cationes:

Sodio	33.5	x 0.83	= 73.	36%
Calcio	51.1	x 2.5	= 127.8	64%
			200.8	

Diam. = 1.984 pulg.

Area = 3.091 pulg<sup>2</sup>

Altura = 24 pulg. = 2 pies

Vol. = 47.6 pulg<sup>3</sup> = 0.027 pie<sup>3</sup> (volumen de empaque)

Temperatura de operación 75°F y una expansión hidráulica para esta resina del 75% de su volumen de retrolavado. Con estos datos de la fig. 2.56 se tiene un flujo de retrolavado de 9GPM/pie<sup>2</sup>

Los cationes por remover son 200.8 ppm como  $\text{CaCO}_3$  que equivale a

$$\frac{200.8 \text{ ppm como } \text{CaCO}_3}{17.1} = 11.74 \text{ Granos/gal.}$$

$$\frac{17.1 \text{ ppm como } \text{CaCO}_3}{\text{granos/gal.}}$$

esto indica que un galón de agua contiene 11.74 granos de cationes.

Cálculo de la capacidad de la resina IR-120. Se fija un nivel de regeneración de 4 lb. de  $H_2SO_4$  a 66°Bé y 75°F.

La fuga de sodio:

de la fig. 2.42 se tiene con una concentración de sodio de 36% y 40% de alcalinidad, se obtiene una fuga del 3% del total de cationes, igual a 6 ppm de sodio.

Cálculo de la isocapacidad.

de la fig. 2.43 con:

calcio	64%
sodio	36%
magnesio	<u>6%</u>
	100%

se lee 10.8 kilogramos/pe<sup>3</sup> a cero alcalinidad.

Corrección por alcalinidad.

de la fig. 2.11 con:

sodio	36%
bicarbonato (alcalinidad)	40%

se lee 1.075

Capacidad corregida es:

$$C_c = \frac{10.8 \text{ kilogramos}}{\text{pe}^3} \times 1.075 = 11.6 \text{ kilogramos/pe}^3$$

Corrección por enjuague de la capacidad de la resina para eliminar la solución de  $H_2SO_4$ .

Se fijan 75 gal/pe<sup>3</sup>.

$$\text{Corrección} = 75 \frac{\text{gal}}{\text{pe}^3} \times 11.74 \text{ granos} \times \frac{1 \text{ Kgr}}{1000 \text{ gr}} \\ = 0.881 \text{ Kgr/pe}^3$$

$$\text{Capacidad final: } C_f = 11.6 - 0.881 = 10.72 \frac{\text{Kilogramos}}{\text{pe}^3}$$

El volumen de resina es 0.027 pe<sup>3</sup>, la capacidad disponible es:

$$C_o = 10.72 \frac{\text{Kgr}}{\text{pe}^3} \times 0.027 \text{ pe}^3 = 0.29 \text{ Kilogramos}$$

Volúmen de agua a tratar:

$$V_t = \frac{0.29 \text{ Kgr}}{11.74 \frac{\text{Kgr}}{\text{pe}^3}} \times 1000 = 24.7 \text{ galones} \\ = 93.74 \text{ litros.}$$

Flujo de servicio:

$$W_s = \frac{5 \text{ GPM}}{\text{pe}^3} \times 0.027 \text{ pe}^3 = 0.135 \text{ GPM} \\ = 0.51 \text{ l./min.}$$

tiempo de servicio:

$$t_s = \frac{24.7 \text{ gal.}}{0.135 \text{ GPM}} = 189 \text{ min} = 3 \text{ horas.}$$

## REGENERACION DE LA RESINA IR-120.

### 1.- Retrolavado

$$\text{Vol. de la columna} = 88.3 \text{ pulg.}^3 \\ = 0.051 \text{ pe}^3 \\ = 0.382 \text{ galones.}$$

flujo de retrolavado a 75°F, 75% de expansión hidráulica 9 GPM.

$$W_{\text{ret}} = 9 \frac{\text{GPM}}{\text{pie}^2} \times 0.021 \text{ pie}^2 = 0.189 \text{ GPM} \\ = 0.715 \text{ l./min.}$$

tiempo de retrolavado:

$$t_{\text{ret}} = \frac{0.382 \text{ gal}}{0.075 \text{ GPM}} = 5.09 \text{ min.} \quad 5 \text{ min.}$$

2.- inyección de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 66°Be.

Cantidad de  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 4 \text{ l./pie}^3$  de resina, al 100%

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4, 100\%} = \frac{4 \text{ lb}}{\text{pie}^3} \times 0.027 \text{ pie}^3 = 0.108 \text{ lb de H}_2\text{SO}_4$$

Volúmen de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 2%:

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4, 2\%} = \frac{0.108 \text{ lb H}_2\text{SO}_4}{0.1689 \frac{\text{lb H}_2\text{SO}_4}{\text{gal}}} = 0.639 \text{ gal. de H}_2\text{SO}_4 \text{ al 2\%}$$

(De tablas de apendice)

El flujo de inyección de regenerante se recomienda de 1 GPM/pie<sup>3</sup> de resina.

$$W_{\text{reg}} = \frac{1 \text{ gal}}{\text{pie}^3} \times 0.027 \text{ pie}^3 = 0.027 \text{ GPM}$$

Tiempo de regeneración:

$$T_{\text{reg.}} = \frac{0.6394 \text{ gal}}{0.027 \text{ GPM}} = 23.7 \text{ min} \quad 24 \text{ min.}$$

3.- Desplazamiento.

$$W_{\text{reg}} = 0.027 \frac{\text{gal}}{\text{min.}}$$

$$V_{\text{reg}} = 0.382 \text{ gal.}$$

$$t_{\text{reg}} = \frac{0.382 \text{ gal}}{0.027 \text{ GPM}} = 14 \text{ min.}$$

## 4.- Enjuague rápido.

Flujo de servicio

$$W_s = 0.135 \text{ GPM}$$

Volumen de servicio

$$V_s = 75 \frac{\text{GPM}}{\text{pie}^3} \times 0.027 \text{ pie}^3 = 2.025 \text{ galones.}$$

pie<sup>3</sup>

 Tiempo de servicio:

$$T_s = \frac{2.025 \text{ gal.}}{0.135 \text{ GPM}} = 15 \text{ min.}$$

Tiempo total del ciclo

Tiempo de servicio = 189 min.

Tiempo de regeneración = 24 min.

Tiempo de desplazamiento = 14 min.

Tiempo de enjuague = 15 min.

Tiempo de retrolavado = 5 min.

247 min    4 horas.

## CALCULO DE LA COLUMNA ANIONICA.

AMBERLITA - IRA-402.

Aniones:

			ppm como CaCO <sub>3</sub>	%
Cloruros	40.57	x 1.41	= 57.2	24%
Sulfatos	45.05	x 1.04	= 46.8	20%
Carbonatos	0.0	x 0.82	= 0	%
Bicarbonatos	118.0	x 0.83	= <u>96.8</u>	40%
			200.8	
Sflice	45.3	x 0.83	= <u>37.6</u>	16%
			238.4	



## Cationes:

Sodio	33.5 x 2.18 = 73	36%
Calcio	51.19 x 2.5 = 127.8	<u>64%</u>
		100%

Diámetro Interno = 1.984 pulg.  
 Area = 3.091 pulg<sup>2</sup> = 3.092 pulg<sup>2</sup>  
 Altura = 24 pulg. = 2 pies  
 Volúmen de empaque = 47.6 pulg<sup>3</sup> = 0.027 pie<sup>3</sup>.

La temperatura de operación es 75°F y una expansión hidráulica, para la resina, del 75% de su volúmen en retrolavado; Con esos datos en la fig. 2.21 se tiene un flujo de 3.5 gal/min/pie<sup>2</sup>

Aniones por remover: 238.4 ppm como CaCO<sub>3</sub>

que equivale a:

$$\frac{238.4 \text{ ppm con CaCO}_3}{17.1 \text{ ppm como CaCO}_3} = 13.94 \text{ granos/galón}$$

granos/gal.

Lo cual indica que un galón de agua analizada contiene 13.94 granos de aniones que serán eliminados.

Cálculo de la capacidad de la resina Amerlita IRA-402.

Se fija un nivel de regeneración de 4 lb de NaOH/pie<sup>3</sup> y 75°F.

Fuga de sílice: en la figura 2.22 con una concentración de 0.16 de sílice y con temperatura de 75°F se obtiene 0.2 ppm de SiO<sub>2</sub> como CaCO<sub>3</sub> a la salida.

Cálculo de la iso-capacidad.

En la figura 2.28 con:

H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	-	16%
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-	40%
TMA - 44%	-	24%
SO <sub>4</sub>	-	20%

se lee la isocapacidad de 11.6 kilogranos/pe<sup>3</sup>. Que será corregida mediante la gráfica 2.27 como sigue:

Corrección por la relación:

$$\frac{Cl^-}{Cl^- + SO_4^{2-}} = \frac{57.2}{57.2+46.8} = 0.55$$

con 0.55 se lee un factor de corrección de 0.97.

Entonces la capacidad corregida será:

$$C_c = 0.97 \times 11.6 \text{ Kgr} = 11.25 \text{ Kgr /pe}^3.$$

Debido a que se hará el enjuague de la resina con agua cruda, después de regenerar con NaOH se hace una corrección por enjuague:

Volumen de agua cruda de enjuague = 90 gal/pe<sup>3</sup> de resina.

$$90 \frac{\text{gal}}{\text{pe}^3} \times 13.94 \frac{\text{granos}}{\text{gal}} \times \frac{1 \text{Kgr}}{1000 \text{gr}} = 1.25 \frac{\text{Kgr}}{\text{pe}^3} \text{ de resina.}$$

Cantidad que se le resta a la capacidad de la resina, para obtener la capacidad final.

$$C_f = 11.250 - 125 = 10 \text{ Kgr/pe}^3 \text{ de resina.}$$

Debido a nuestro volumen de resina con 0.027 pe<sup>3</sup> la capacidad disponible de la columna es:

$$C_0 = 10 \frac{\text{Kgr}}{\text{pe}^3} \times 0.027 \text{ pe}^3 = 0.27 \text{ Kgr.}$$

Volumen de Agua a tratar.

$$V_t = 13.94 \frac{\text{gcs}}{\text{gal}} \times \frac{\text{Kgr}}{1000 \text{gr.}} = 0.013 \frac{\text{Kgr.}}{\text{gal}}$$

$$V_t = \frac{0.27 \text{ Kgr.}}{0.01394 \frac{\text{Kgr.}}{\text{gal.}}} = 19 \text{ Galones} = 52.76 \text{ l.}$$

Flujo de servicio:

$$W_s = 5 \text{ GPM/pie}^3 \times 0.027 \text{ pie}^3$$

$$= 0.135 \text{ GPM} = 0.511 \text{ l./min.}$$

Tiempo de operación:

$$T_o = \frac{19 \text{ galones}}{0.135 \text{ GPM}} = \frac{140 \text{ min}}{60} = 2.34 \text{ horas.}$$

Regeneración de la resina IRA-402

Retrolavado.

$$\text{Volumen total de la columna} = 88.3 \text{ pulg}^3$$

$$= 0.051 \text{ pie}^3$$

$$= 0.382 \text{ galones.}$$

Flujo de retrolavado a 75°F y 75% expansión hidráulica.

$$W_{ret} = 3.5 \frac{\text{GPM}}{\text{pie}^2} \times 0.021 \text{ pie}^2 = 0.071 \text{ GPM}$$

$$W_{ret} = 0.284 \text{ l./min.}$$

Tiempo de retrolavado.

$$T_{ret} = \frac{0.382 \text{ gal.}}{0.075 \text{ GPM}} = 5 \text{ minutos.}$$

2.- Inyección de NaOH

Cantidad de NaOH = 4 lb/pie<sup>3</sup> de resina

$$\frac{4 \text{ lb}}{\text{pie}^3} \times 0.027 \text{ pie}^3 = 0.108 \text{ lb de NaOH}$$

Volumen de NaOH al 4%

$$V_{\text{NaOH, 4\%}} = \frac{0.108 \text{ lb}}{0.3481 \frac{\text{lb}}{\text{gal}}} = 0.31 \text{ galones}$$

que equivalen a 1.173 l. de NaOH al 4%

El flujo de inyección de regenerante se recomienda que sea de 0.5GPM/pie<sup>3</sup> de resina.

$$W_{\text{reg}} = \frac{0.5 \text{ gal}}{\text{min}} \times 0.027 \text{ pie}^3 = 0.014 \frac{\text{gal.}}{\text{min.}}$$

Tiempo de regeneración:

$$t_{\text{reg}} = \frac{0.31 \text{ gal}}{0.014 \frac{\text{gal}}{\text{min.}}} = 22 \text{ min}$$

3.- Enjuague lento (desplazamiento).

Esto es para eliminar con agua cruda la sosa que quedó en la resina.

$$W_{\text{reg}} = 0.014 \text{ GPM}$$

$$V_{\text{reg}} = 0.317 \text{ gal.}$$

$$t_{\text{reg}} = 27 \text{ min.}$$

4.- Enjuague rápido.

$$\text{Flujo de servicio} = 0.135 \text{ GPM}$$

Volumen de enjuague

$$V_e = 90 \frac{\text{galones}}{\text{pie}^3} \times 0.027 \text{ pie}^3 = 2.43 \text{ gal.}$$

$$= 9.3 \text{ l.}$$

Tiempo de enjuague

$$t_e = \frac{2.43 \text{ galones}}{0.135 \text{ GPM}} = 18 \text{ minutos}$$

Tiempo total del ciclo:

Tiempo de servicio	= 140 min.	
Tiempo de regeneración	= 22 min.	
Tiempo de desplazamiento	= 27 min.	(rápido)
Tiempo de enjuague	= 18 min.	
Tiempo de retrolavado	= 5 min.	
	<u>212 min.</u>	

Tiempo de ciclo

$$t_{\text{ciclo}} = 212 \text{ min} \quad 3.5 \text{ h.}$$

#### CALCULO DE LA COLUMNA MIXTA.

El agua proveniente de las columnas de desmineralización trae 0.2 ppm de sílice y 6 ppm de sodio, los cuáles serán absorbidos por el lecho mixto compuesto por:

Amberlita IRA-900  
Amberlita 200

Se observa que la concentración de sílice es menor que la de sodio; por lo tanto la Amberlita 200 (catiónica) va a agotarse antes que la resina Amberlita 900 (aniónica), debido a que se tienen volúmen iguales de las resinas en la columna.

Cálculo del lecho catiónico (Amberlita 200).

Diam. interno = 1.984 pulgadas  
Area = 0.91 pulgadas  
Altura = 12 pulgadas  
volúmen =  $0.0135 \text{ pie}^3 = 382 \text{ cm}^3$

Se fija un nivel de regeneración de 4 lb de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a  $66^\circ\text{Be}$  por  $\text{pie}^3$  y  $75^\circ\text{F}$ . Mediante la gráfica 2.4 con 100% de sodio (es el único que se tiene) se lee 14 kgr/ $\text{pie}^3$ .

Capacidad disponible

$$C_o = \frac{14 \text{ Kgr}}{\text{pie}^3} \times 0.0135 \text{ pie}^3 = 0.189 \text{ Kgr} .$$

Cationes por remover:

$$\frac{6 \text{ ppm CaCO}_3}{17.6 \text{ ppm CaCO}_3} = 0.35 \text{ granos/gal}$$

$$\text{granos/galón}$$

Volumen a tratar

$$V_t = \frac{0.189 \text{ Kgr} \times 1000 \text{ gr.}}{0.35 \frac{\text{gr}}{\text{gal}}} = 538 \text{ galones}$$

$$= 2037 \text{ l} .$$

Flujo de servicio en las columnas de desmineralización:

$$0.135 \text{ GPM} = 0.51 \text{ LPM}$$

Tiempo de operación

$$t_o = \frac{538 \text{ gal}}{0.135 \text{ GPM}} = 3985 \text{ min}$$

$$\underline{66 \text{ horas}}$$

Inyección de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :

$$\frac{41 \text{ lb H}_2\text{SO}_4 \text{ a } 66^\circ\text{Be}}{\text{pie}^3} \times 0.0135 \text{ pie}^3 = 0.054 \text{ lb de H}_2\text{SO}_4$$

$$\text{al } 100\%$$

este es un cálculo aproximado por no contarse con un equipo de regeneración apropiado.

Cantidad de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 2%.

$$\frac{0.054 \text{ lb H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 100\%}{0.1689 \text{ H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 2\%} = 0.32 \text{ gal}$$

$$\text{gal} = 1.21 \text{ l} .$$

Cálculo del lecho aniónico (Amberlita IRA-900).

Diam. Interno	=	1.984 pulg.
Area	=	0.91 pulg. <sup>2</sup>
Altura	=	12 pulg.
Volumen	=	0.0135 pie <sup>3</sup>

Se elige el nivel de regeneración de 4 lb de NaOH al 100% por pie<sup>3</sup> de resina a 75°F. Mediante la gráfica 2.64 se lee una capacidad disponible de 8.6 kilogramos/pie<sup>3</sup>.

Los cationes por remover es 0.2 ppm de SiO<sub>2</sub> como CaCO<sub>3</sub>

$$\frac{0.2 \text{ ppm como CaCO}_3}{17.1 \text{ ppm como CaCO}_3} = \frac{0.117 \text{ granos}}{\text{gal.}}$$

granos/gal.

Capacidad disponible

$$C_o = \frac{8.6 \text{ Kilogramos}}{\text{pie}^3} \times 0.0135 \text{ pie}^3$$

$$= 0.1161 \text{ kilogramos}$$

Volumen de agua a tratar

$$V_t = \frac{0.1161 \text{ kilogramos} \times 1000}{0.0117 \text{ granos}} \text{ gal}$$

$$= 9923 \text{ gal.}$$

Flujo de servicio de columnas de dismineralización es de 0.135 gal/min.

Tiempo de operación:

$$t_o = \frac{9923 \text{ gal.}}{0.13 \text{ gal.}} = 76330 \text{ min.}$$

$$\text{mint.} = 1279 \text{ horas}$$

Inyección de NaOH. 4 lb al 100%/pie<sup>3</sup> de resina

$$\frac{4 \text{ lb}}{\text{pie}^3} \times 0.0135 \text{ pie}^3 = 0.054 \text{ lb. de NaOH } 100\%$$

es un cálculo aproximado.

Cantidad de NaOH al 4%

$$\begin{aligned} 0.054 \text{ lb. NaOH al } 100\% &= 0.155 \text{ galones} \\ 0.3481 \frac{\text{lb NaOH al } 4\%}{\text{gal.}} &= 0.587 \text{ l.} \end{aligned}$$



### Construcción de una Planta Piloto.

Con base al diseño realizado, se procede a armar la planta piloto. En el plano anexo, se detalla el diagrama de flujo final, donde se observa lo siguiente:

a) El mezclador propuesto en la fig. 3.1., es eliminado, ya que las soluciones regenerantes de las resinas, son de volúmenes muy pequeños, por lo cual su preparación no requiere el mezclador.

b) Las líneas de tubería son modificadas respecto a la fig. 3.1

Las columnas empacadas, son de acrílico transparente con el fin de que el alumno observe directamente como cambian de color las resinas por realizar el intercambio iónico.

La tubería en su totalidad es de media pulgada de diámetro y de PVC debido a que no presenta oxidación y así no se contamina el agua tratada; pero existe la inconveniencia de que a temperaturas mayores a 50°C. Puede ser reblandecida, lo cual produce un efecto negativo a el agua que se obtiene.

Las válvulas son de media pulgada y de nylon 6; su ventaja es que tampoco contaminan por oxidación. Su temperatura de reblandecimiento es mayor a los 170°C. Pero si puede ser atacado por el  $H_2SO_4$ , por dicha razón, las soluciones regenerantes son diluidas al 2% en peso, motivo por el cual el diseño de las columnas se basó a un nivel de regeneración bajo.

Respecto a la instrumentación, a la entrada del sistema, se requiere de un rotámetro de una cant. máxima a 5 LPM; un manómetro de una cant. de cero a cuatro  $Kg/cm^2$ , ya que la presión máxima permisible en el sistema no debe exceder a 2  $kg/cm^2$ , debido a que la misma resina, sufriría efectos de tipo mecánico (rompimiento, inactividad), por lo cual no hay intercambio iónico.

Respecto a la salida, se requiere de un conductímetro, con un rango mínimo de cero a 500 micromhos, ya que el efluente obtenido, no excede de una ppm de iones como  $\text{CaCO}_3$ , según consta en el diseño especificado anteriormente.

Las columnas se encuentran soportadas sobre un bastidor metálico, el cual puede ser trasladado de un lugar a otro por ser para fines didácticos. Los accesorios e instrumentos que son requeridos para la construcción se especifican en la tabla 3.1.

TABLA 3.1. ACCESORIOS E INSTRUMENTOS DE CONSTRUCCION.

Concepto	Cantidad	Diámetro
Válvulas	29	1/2
Codos 90°	6	1/2
Tes	25	1/2
Tuerca Unión	14	1/2
Rotámetro	1	(0-5 LPM)
Manómetro	1	(0-4 Kg/cm <sup>2</sup> )
Puente de Conductividad	1	Marca CHEMTRIX Tipo-70 escala en micromhos/cm: 0-2 0-20 0-200 0-2000 0-2000

Nota: Los accesorios son de nylon 5. El puente de conductividad, da lecturas directamente de la conductividad de el agua, por lo cual la constante de la celda no es involucrada.

La figura 3.4 indica una columna desmonada de la red de tubería, para indicar como son las uniones, y que hay posibilidad de darle mantenimiento ya sea a la columna o a la resina contenida en

la misma. En caso de ser necesario , puede instalarse otro re  
puesto similar.

La siguiente, muestra, el equipo terminado, donde se observa  
el bastidor con las columnas en su arreglo final; el puente  
de conductividad empleado y el recipiente colector de agua  
desionizada.

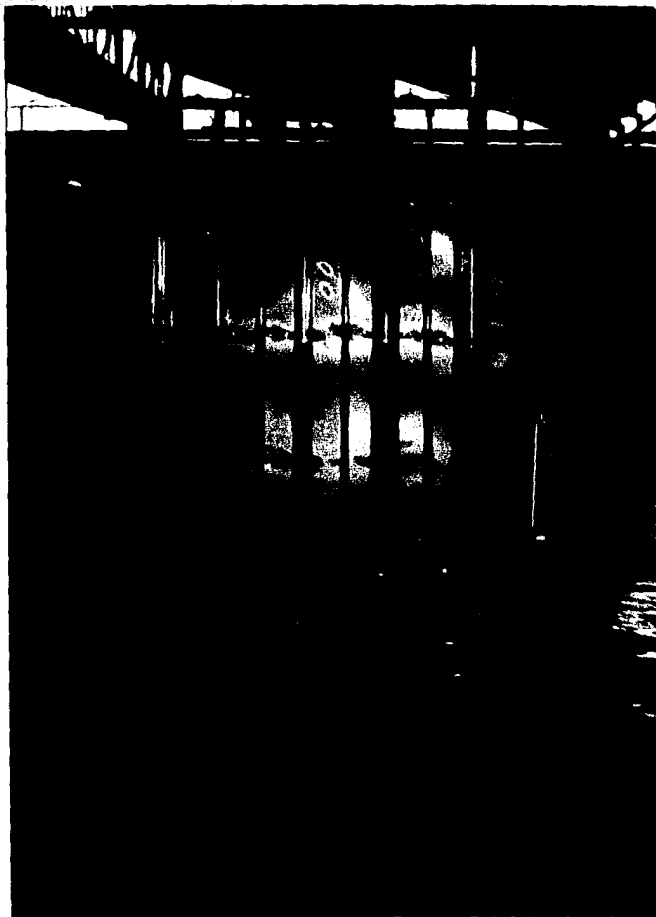


FIG. 3.3 ARREGLO FINAL DEL SISTEMA.

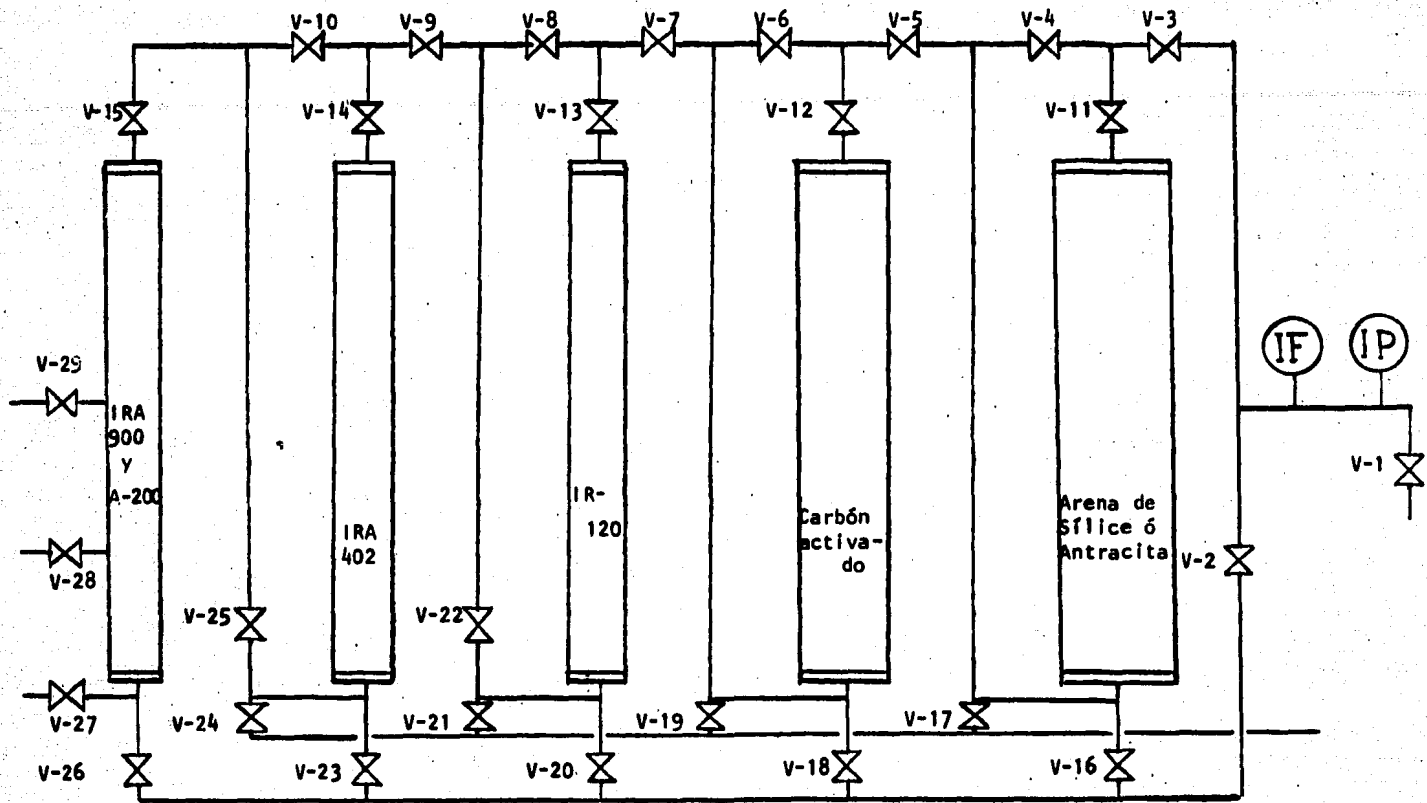
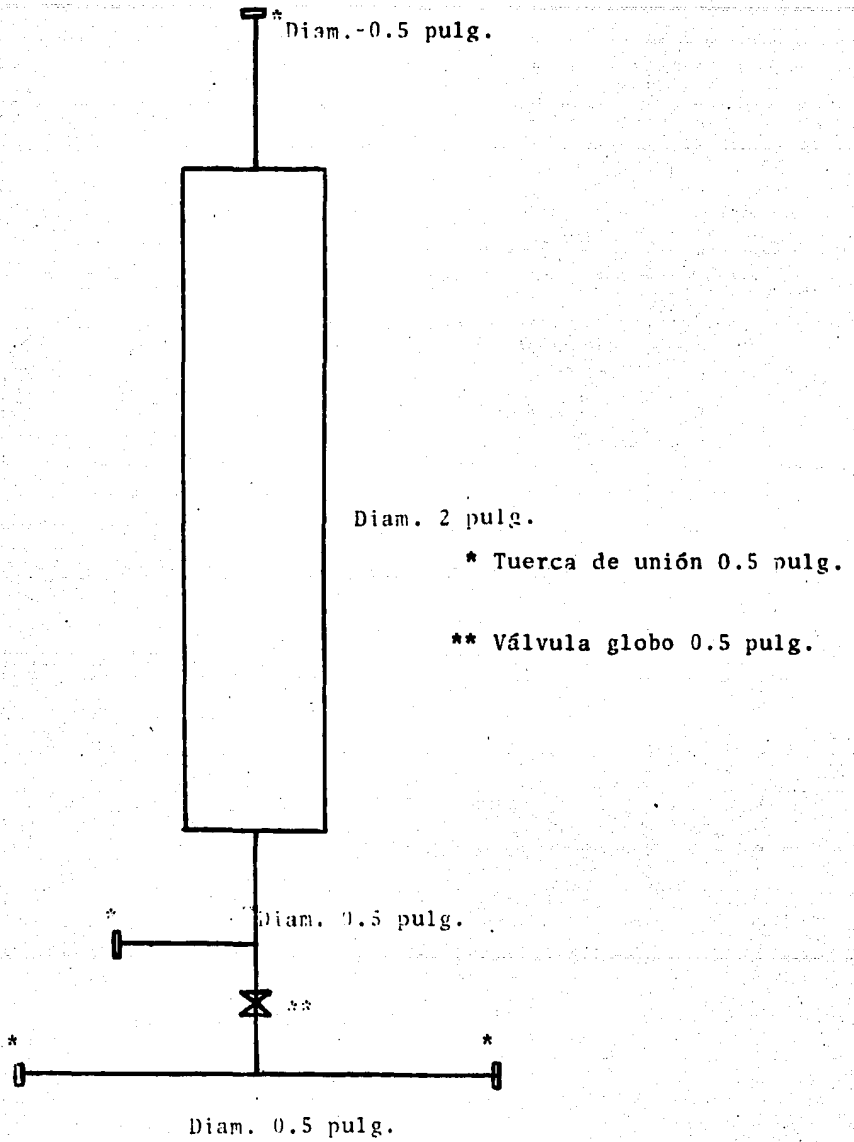


Fig.3.4 Columna desmontada para dar servicio.



**- CAPITULO IV -**

**EXPERIMENTACION.**

**EXPERIMENTACION:**

En la figura 4.1 se muestra la trayectoria seguida por el agua a ser procesada, donde se muestra la clave de las válvulas que necesariamente deben de permanecer abiertas para que pueda fluir el agua.

El flujo pasa por las unidades que se encuentran en serie.

Es importante notar que la V-1 es la que controla el flujo del sistema, que no debe de exceder de 0.51 litros por minuto.

En la figura 4.2 se muestra la trayectoria de fluido para el retrolavado. Esto es necesario para expandir la resina y provocar turbulencia que favorece el mezclado de la resina.

El flujo máximo de retrolavado, para evitar que la resina no pase de un tubo a otro no debe exceder de 0.75 litros por minutos, que es el flujo de retrolavado de la columna catiónica empacada con Amberlita Ir-120.

En las figuras 4-3 y 4-4 se muestran las trayectorias que deben seguir las soluciones ácidas o básicas para regenerar las resinas.

Como después de esta operación es necesario desplazar las soluciones remanentes en las resinas, bajo el mismo patrón de flujo, se hace pasar una corriente de desplazamiento que tendrá un flujo de 0.1 litros por minuto máximo durante un tiempo aproximado de 27 minutos según se estipulo en el diseño. Dicho desplazamiento se realiza con agua cruda. El siguiente proceso es el enjuague de la solución regenerante de las columnas de intercambio iónico que se observa en las figuras 4-5, 4-6, y 4-7. Dichas figuras especifican la trayectoria del fluido por el sistema según la columna que se este enjuagando.

## RESUMEN DE DATOS CALCULADOS EN EL DISEÑO.

TABLA 4.1 RESINA CATIONICA.

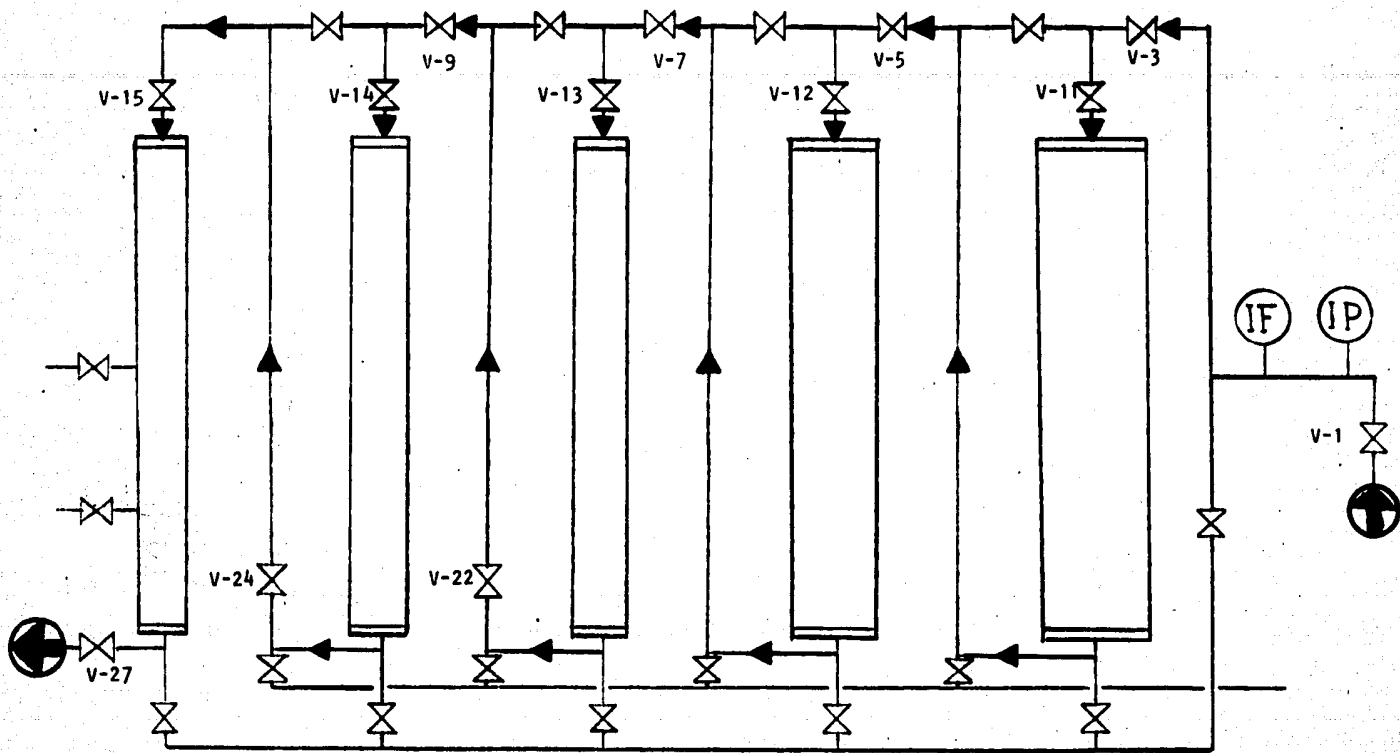
	Amberlita IR-120	Amberlita 200
Volumen H <sub>2</sub> O tratada	73.45 l.	2037 l.
W servicio	0.51 LPM	0.51 LPM
Tiempo operación	3 horas	66 horas
W retrolavado	0.75 LPM	0.375 LPM
Tiempo retrolavado	3 minutos	1.5 minutos
Vol. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2%	2.42 l.	1.21 l.
Tiempo regeneración	24 minutos	12 minutos
W desplazamiento	0.1 LPM	0.05 LPM
V desplazamiento	1.44 l.	0.72 l.
Tiempo desplazamiento	14 minutos	12 minutos
Volumen de enjuague	7.66 l.	3.83 l.
Tiempo enjuague	15 minutos	7.5 minutos.



TABLA 4. 2 Resina Aniónica.

	Amberlita IRA-900	Amberlita IRA 402
Volumen H <sub>2</sub> O tratada	3.75 x 10 <sup>4</sup> l.	52.76 l.
W servicio	0.51 LPM	0.51 LPM
Tiempo operación	1225 Horas	2.34 horas
W retrolavado	0.142 LPM	0.284 LPM
Tiempo retrolavado	2.5 minutos	5 minutos
Vol. NaOH 4%	0.59 l.	1.174 l.
Tiempo retrolavado	11 minutos	22 minutos
W desplazamiento	0.0265 LPM	0.053 LPM
V desplazamiento	0.72 l.	1.44 l.
Tiempo desplazamiento	13.5 minutos	27 minutos
Volumen de enjuague	4.65 l.	9.3 l.
Tiempo enjuague	7 minutos	18 minutos

FIG.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL AGUA A TRATAR.



Nota: Válvulas sin clave indican que están cerradas. (Para todos los diagramas).

Fig.4-2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL RETROLAVADO DE LAS COLUMNAS CATIONICA Y ANIONICA.

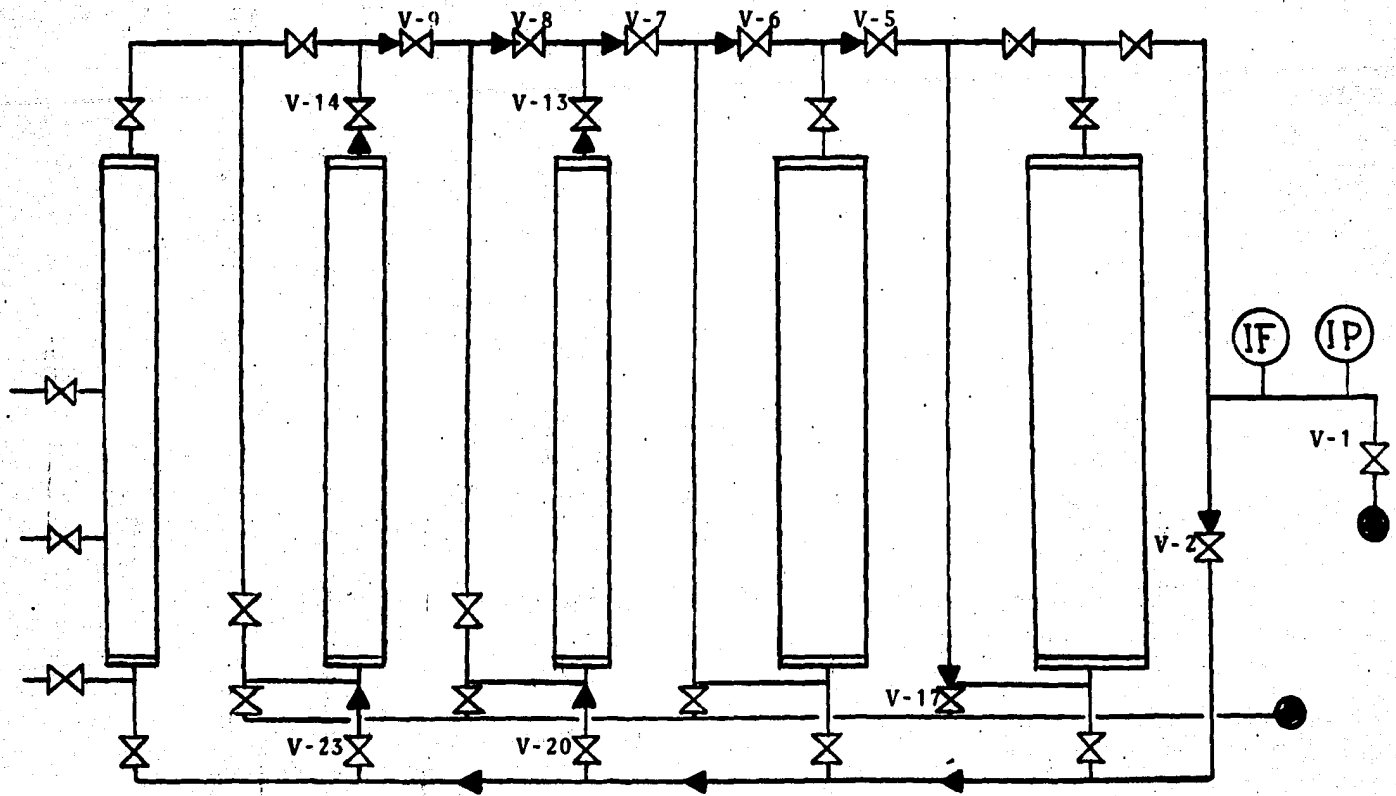


Fig. 4.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SOLUCION REGENERANTE Y DESPLAZAMIENTO CON LA SOLUCION DE  $H_2SO_4$  2% EN LA COLUMNA CATIONICA.

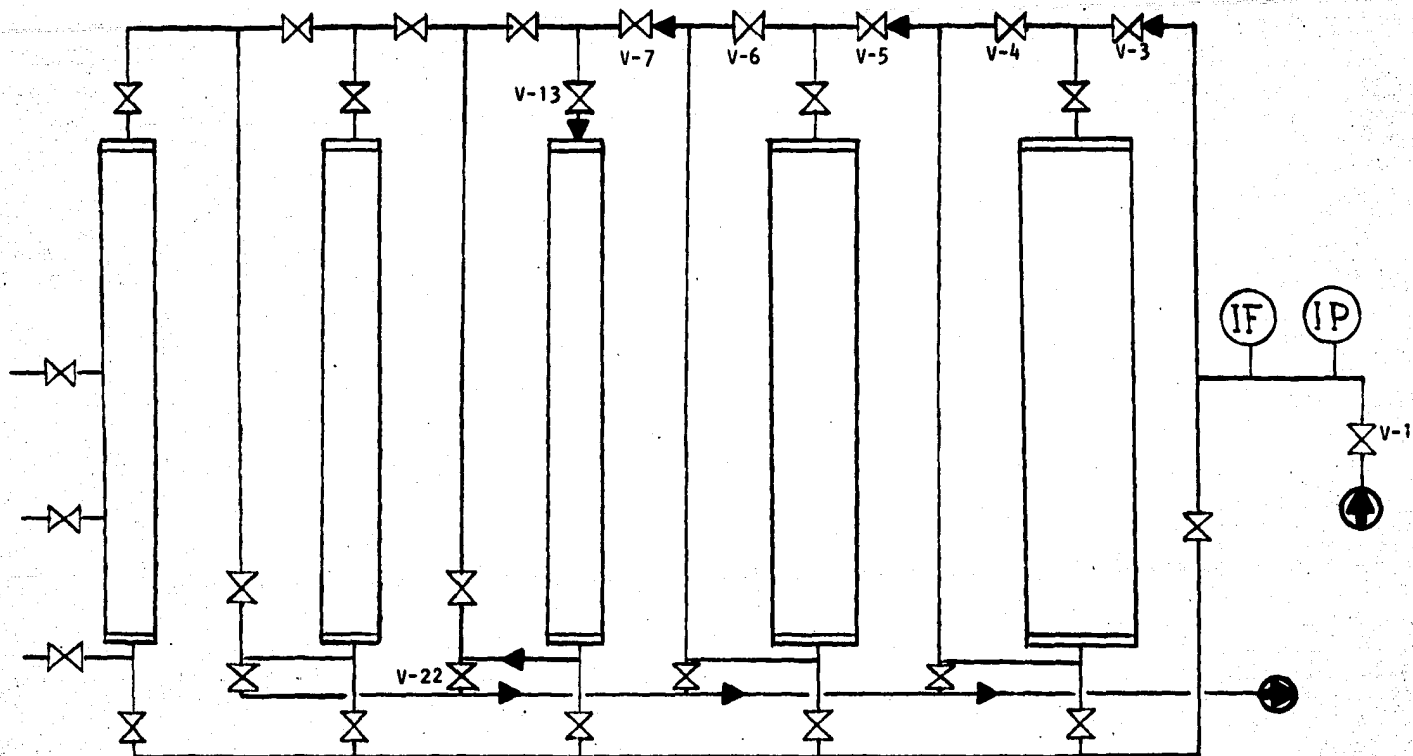


FIG.4.4. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SOLUCION REGENERANTE Y DESPLAZAMIENTO CON LA SOLUCION DE NaOH 4% EN LA COLUMNA ANIONICA.

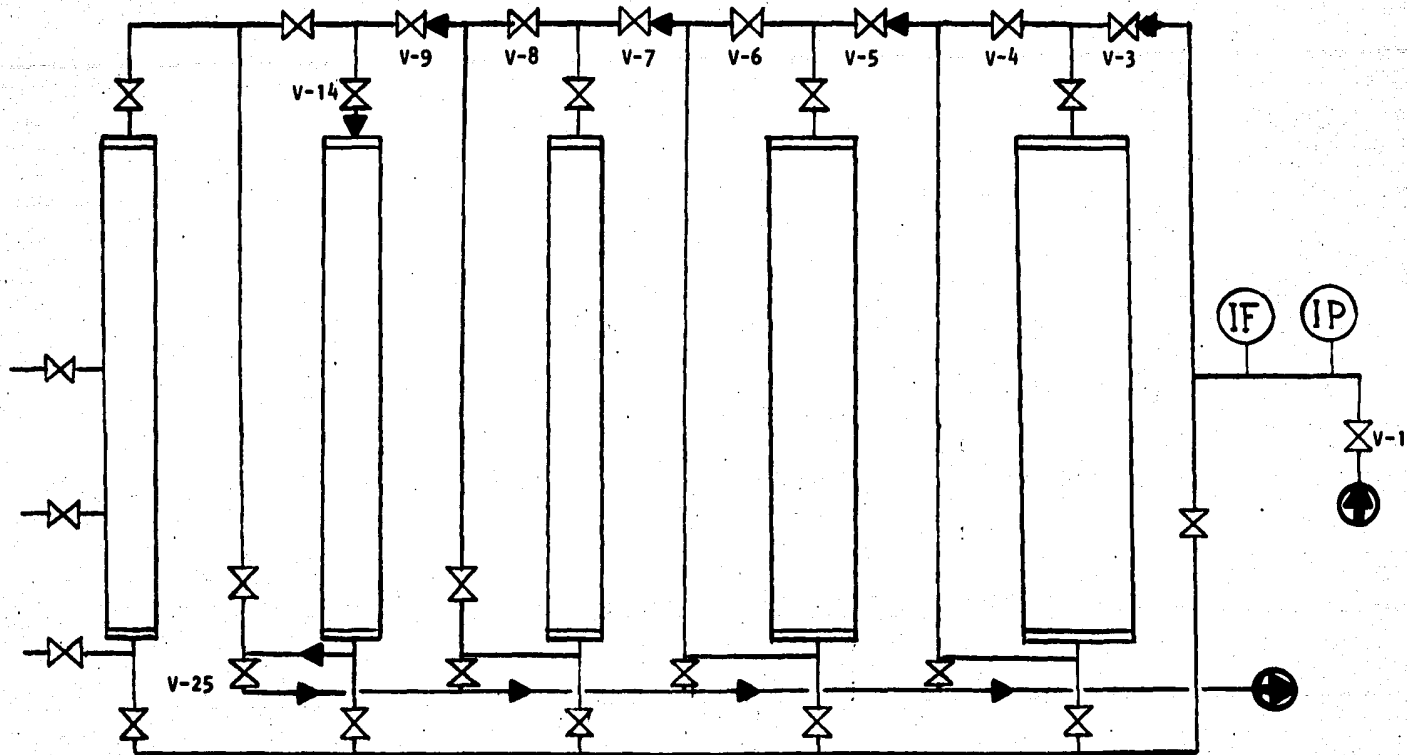


FIG.4.5 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL ENJUAGUE DE LA COLUMNA CATIONICA

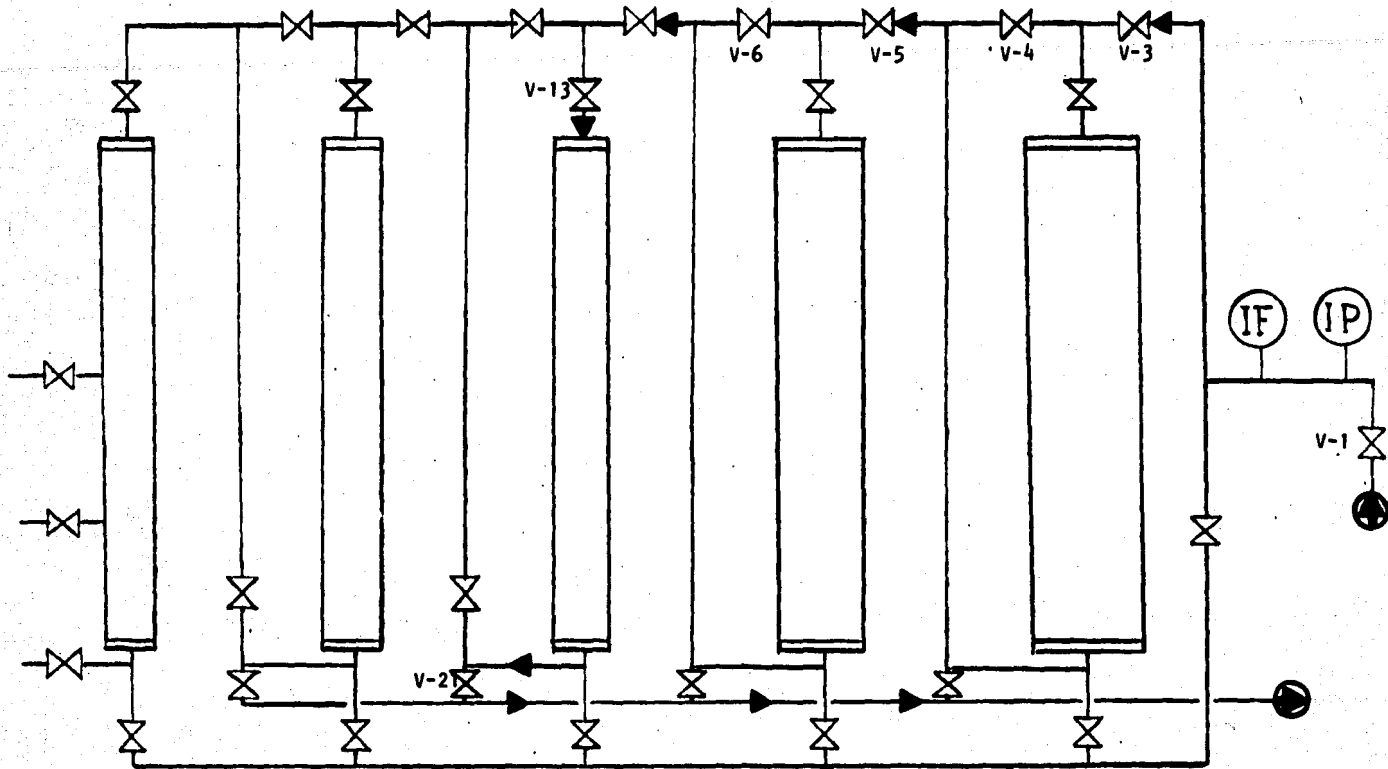


FIG. 4-6 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL ENJUAGUE DE LA COLUMNA ANIONICA.

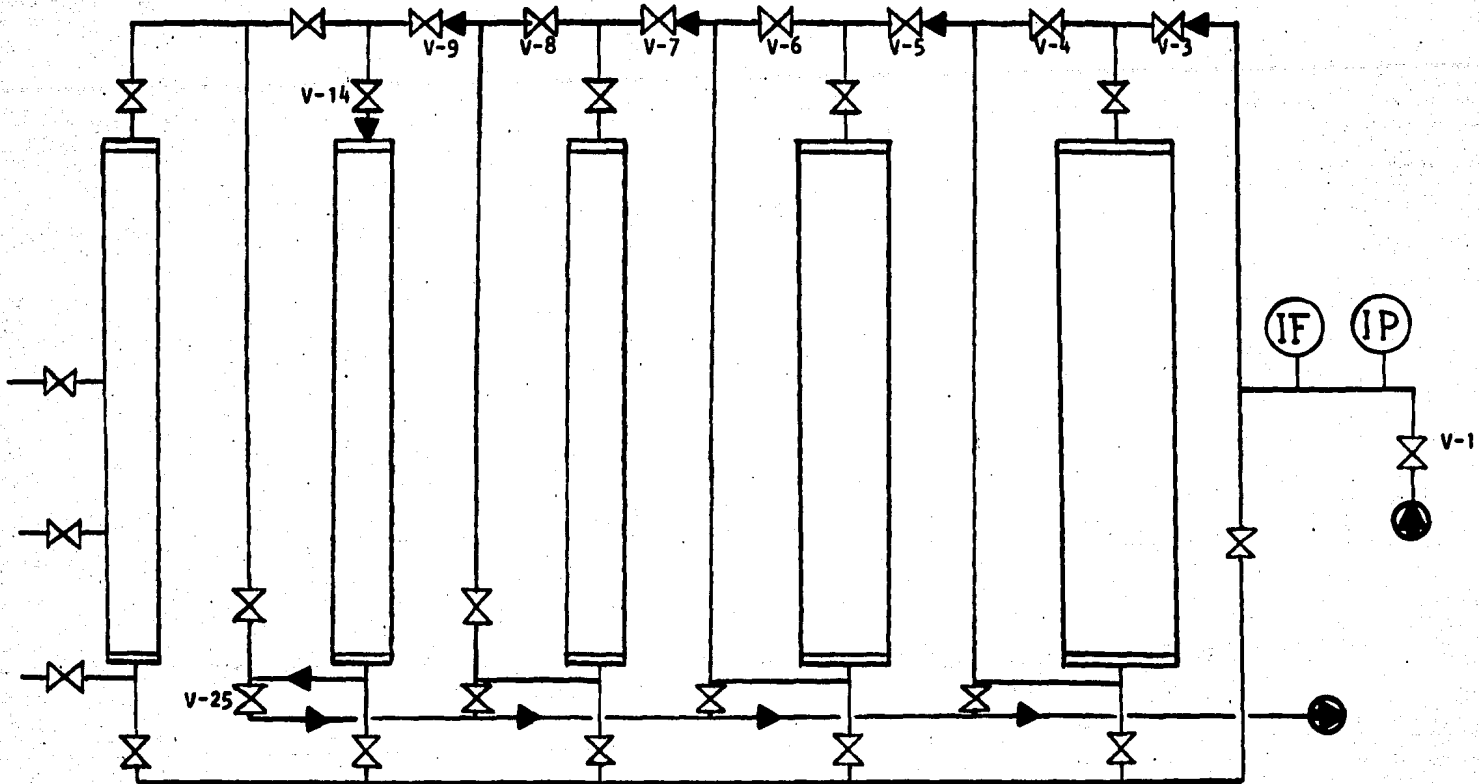
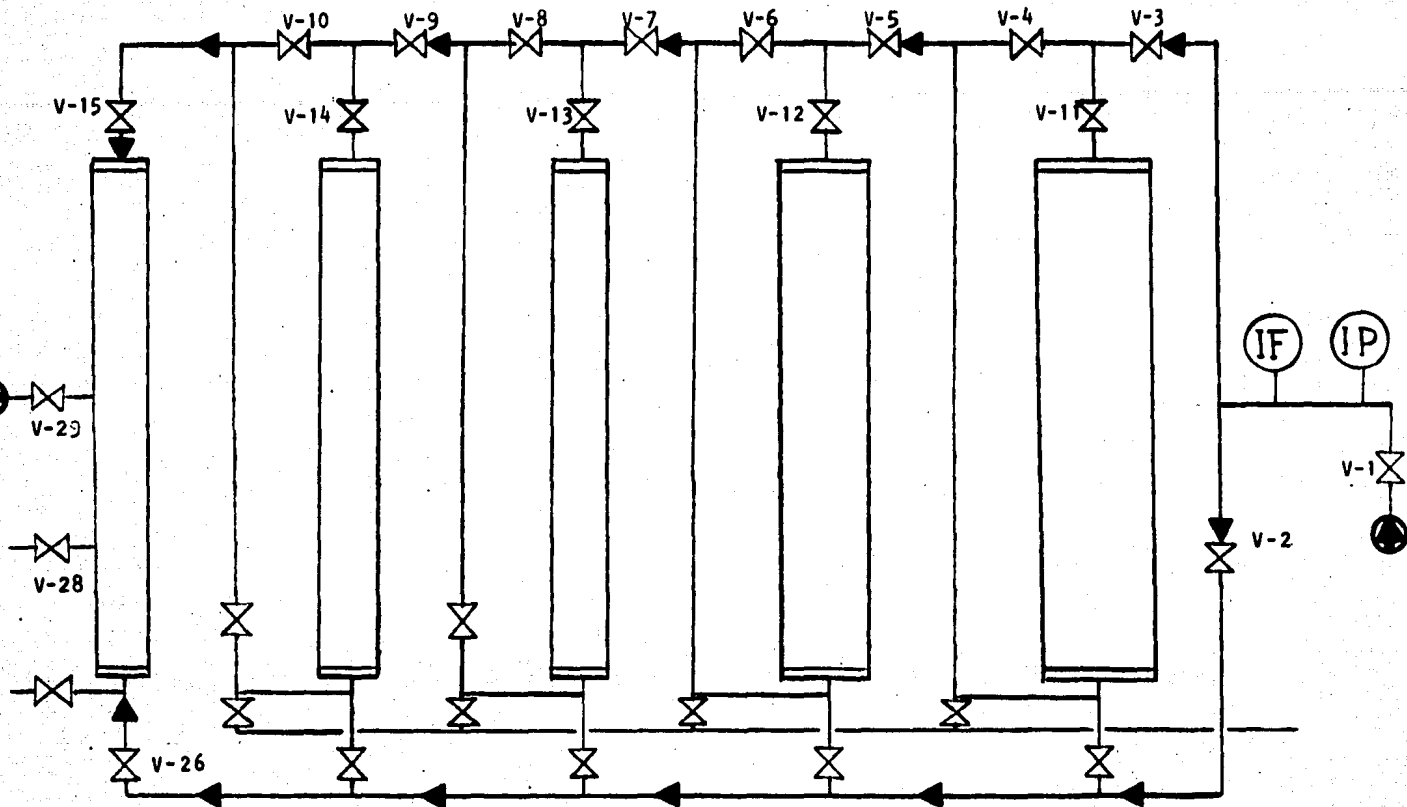


FIG. 4.7 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL ENJUAGUE DE LA COLUMNA MIXTA.





A nivel experimental se necesita un cronómetro para verificar tiempos, dos probetas de 1500 ml para medir volúmen de agua a la salida del sistema y el puente de conductividad antes mencionado.

Se realizan ciclos completos de operación en el sistema como el que se muestra a continuación:

Conductividad Micromhos/cm:	Volúmen ml.	Concentración en ppm como CaCO <sub>3</sub>
4.1	1250	0.8
4.2	1500	0.87
5.0	1500	1.0
5.2	1500	1.1
5.2	1500	1.15
5.3	1500	1.20
5.6	1500	1.20
5.7	1500	1.25
5.7	1500	1.25
6.0	1500	1.30
6.1	1500	1.3
6.1	1500	1.3
6.1	1500	1.3
6.1	1500	1.3
6.5	1500	1.45
8.5	1500	1.70
9.25	1500	1.85
9.5	1500	1.90
8.5	1500	1.65
6.9	1500	1.80
9.1	1500	1.84
12.5	1500	2.2
17.5	1500	3.4
25.0	1500	4.8
38.6	1500	7.7
38	1500	7.6

(continuación)

Conductividad Micromhos/cm.	Volumen ml.	Concentración en ppm como $\text{CaCO}_3$ .
40	1500	7.9
40	1500	7.9
40	1500	7.9
43	1500	8.3
44	1500	8.5
38	1500	7.8
41	1500	8.0
40	1500	7.9
38	1500	7.8

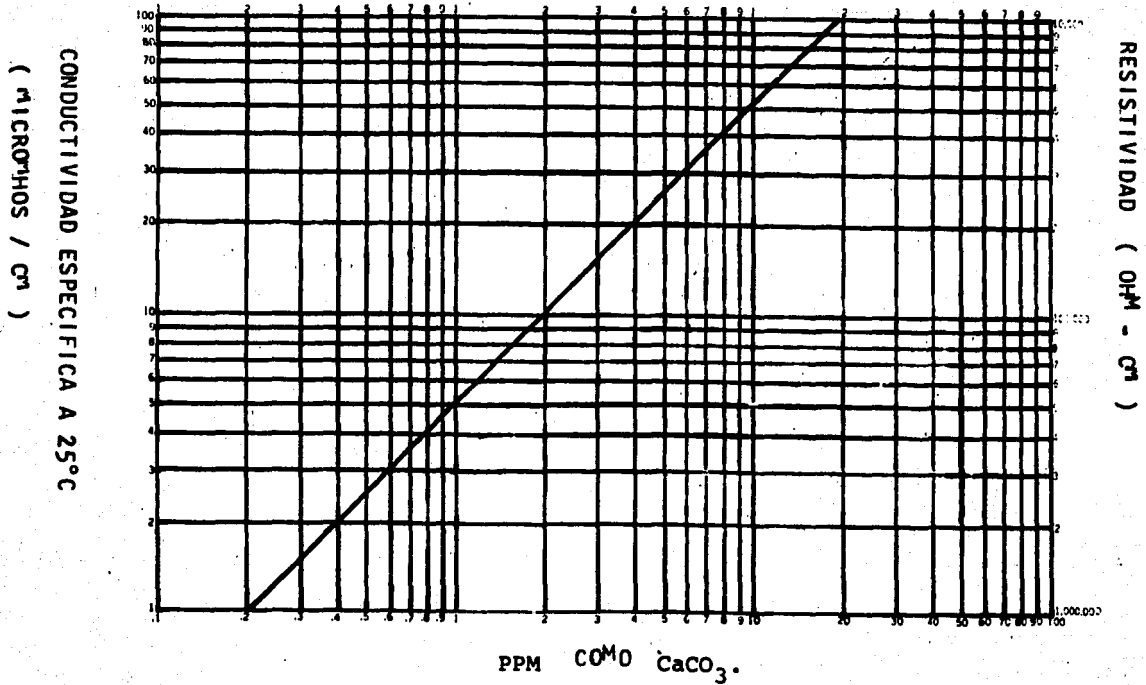
Los valores obtenidos de conductividad, se transforman a ppm como  $\text{CaCO}_3$  mediante la figura 4.8.

Cada 1500 ml de agua tratada se mide la conductividad; por haberse fijado un gasto de 0.51 LPM aproximadamente, se procesaron acerca de 52 l. en promedio a un tiempo cercano a una hora cuarenta y cinco minutos.

Al trazar la grafica entre ppm como  $\text{CaCO}_3$  y la conductividad del agua se obtuvo el comportamiento siguiente, ver fig. 4-9.

Figura 4.8

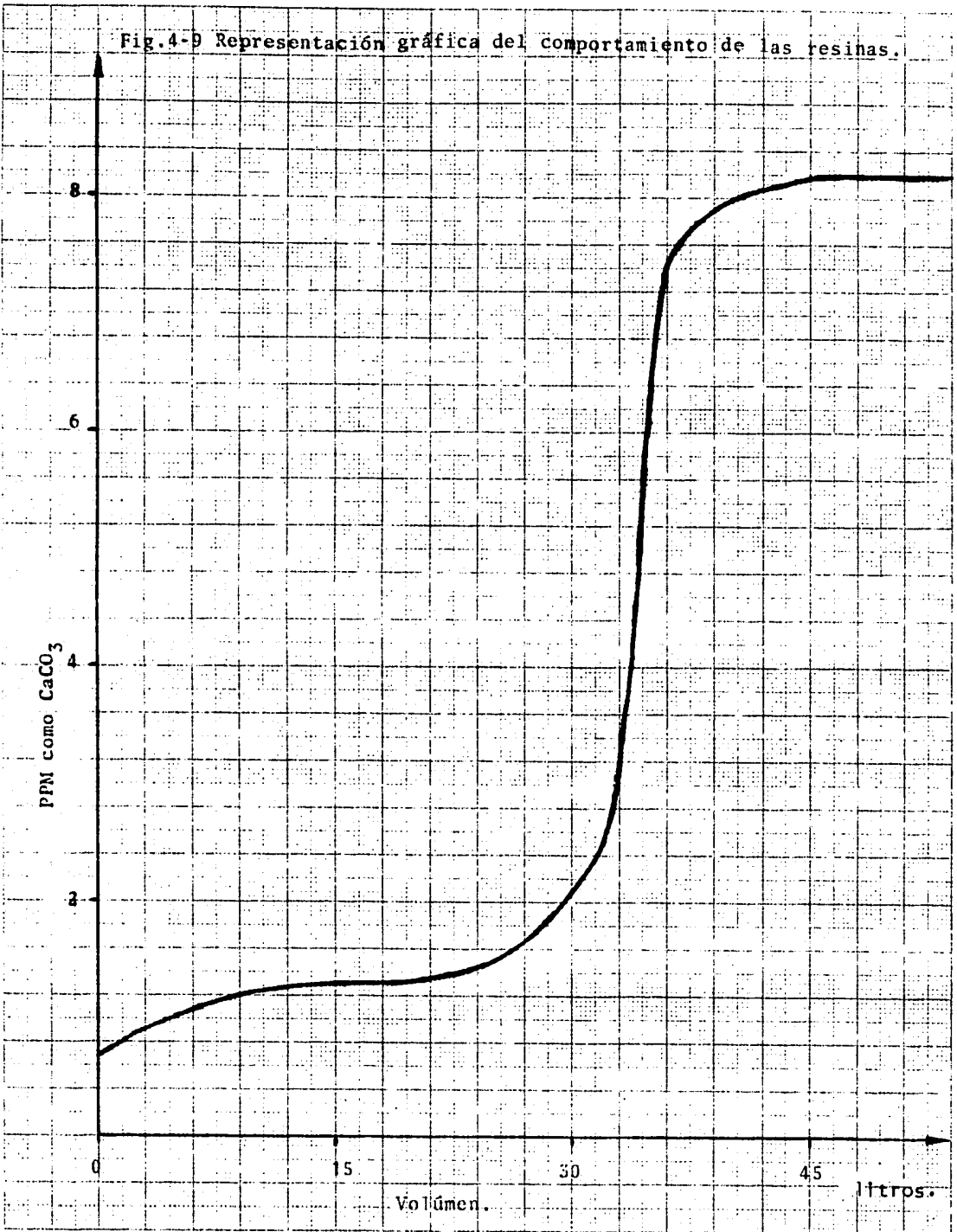
CONDUCTANCIA ESPECIFICA Y CONTENIDO ELECTROLITICO DE  
AGUA Y RESISTENCIA A 25° C.



# FALLA DE ORIGEN

**SERVICIOS DE MODIFICACION**

Fig.4-9 Representación gráfica del comportamiento de las resinas.



**- CAPITULO V -**

**APORTACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA PRACTICA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA POR INTERCAMBIO IONICO,  
PARA EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.**

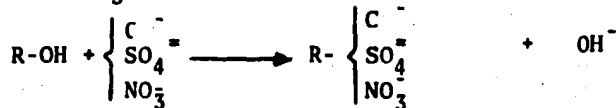
## 5. 1.- Objetivo:

Que el alumno se entrene respecto a tiempos y movimientos de manera práctica, en la operación de una planta piloto. Así mismo que el alumno adquiera criterio en lo relacionado a tratamiento de aguas, y que en base al pleno conocimiento de la planta piloto, proponga ideas para hacer una planta a mayor escala considerando los resultados prácticos finales.

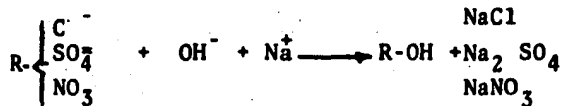
## 5.2.- Teoría.

Resinas de intercambio aniónico:

Estas resinas se caracterizan por realizar la transferencia de iones tipo  $\text{OH}^-$  al medio acuoso y recibir iones tipo  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , etc., de la siguiente forma:



una vez que todos los centros activos de las partículas se han saturado de aniones, se procede a regenerar la resina con una solución alcalina ( $\text{NaOH}$  a 4%), la cual nuevamente dona iones  $\text{OH}^-$  que se intercambian con la resina, liberando los iones que se absorbieron de la siguiente manera

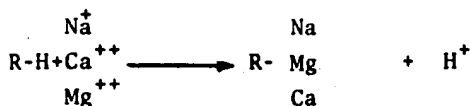


lo cual muestra que la resina al ser regenerada, produce sales que deberán ser desplazadas con agua de enjuague.

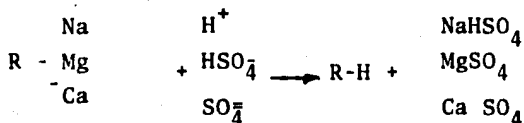
En el equipo, las resinas aniónicas son Ambertira IRA-402 y Amberlita IRA-900.

Resinas de intercambio catiónico:

Dichas resinas también captan iones, de manera similar a la anterior, pero en este caso son cationes los iones absorbidos.



Y, para regenerarla, se utiliza solución ácida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  2%), verificándose lo siguiente:



sales que serán desplazadas con agua de enjuague.

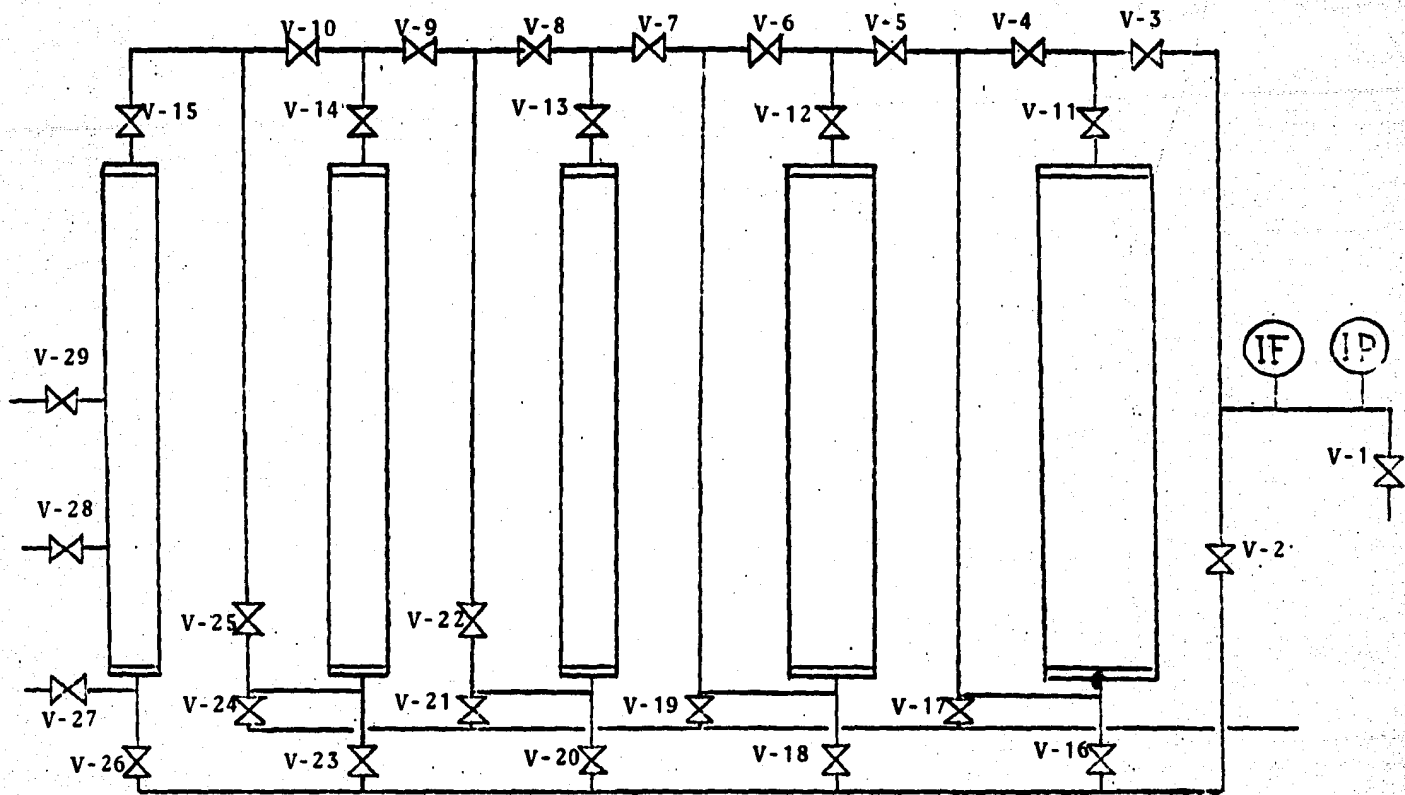
En el equipo las resinas catiónicas son Amberlita 200 y Amberlita IR-120.

Para purificar el agua que entra al equipo, se cuenta con cinco columnas: La primera, que filtra el agua con antracita la segunda que elimina color y sabor del agua, por tener carbón activado la tercera IR-120; la cuarta que contiene resina aniónica, Amberlita IRA-402 y la quinta que contiene un lecho mixto a base de resina catiónica y aniónica, Amberlita IRA-900 y Amberlita 200. El proceso de desmineralización se verifica de la primera a la cuarta columna y en la quinta columna únicamente pulimos el agua, es decir eliminamos, totalmente los iones que se fugaron de las columnas tercera y cuarta.

5.3.- Diagrama del sistema a operar.



Fig. 5.1 Arreglo Final del Sistema.



#### 5.4.- OPERACION.

5.4.1.- Suponiendo que las resinas se encuentra para realizar el intercambio iónico, se ajusta la línea de la tubería para efectuar la operación de servicio de la siguiente manera:

Abrir las válvulas: V-3, V-11, y su válvula de purga de la columna de antracita; posteriormente abrir la válvula V-1 hasta que llene la columna, entonces cerrar la válvula de purga. Inmediatamente abrir las válvulas V-5, V-12, y su válvula de purga de carbón activado hasta que llene completamente, cerrar la válvula de purga. Seguidamente abrir V-7, V-13 y la purga y abrir V-22, V-9 y V-14 y la purga de la columna aniónica. Hasta que se llene totalmente, cerrar purga y abrir V-24, V-15 y V-27, opcional si se desea purgar la columna mixta. Fijándose que el flujo no exceda de 0.51 litros por minuto aproximadamente.

5.4.2.- Previamente a la salida colocar un recipiente limpio para medir el volumen (de 0.5 litros) y entonces, a las muestras, medir la conductividad.

5.4.3.- Es importante marcar el tiempo de arranque ya que no debe de exceder de dos horas la operación de intercambio.

5.4.4.- Una vez contaminada la resina el agua de salida mostrará alta conductividad respecto a las primeras lecturas.

5.4.5.- Inicio del retrolavado cerrar todas las válvulas, iniciando por la V-1, para evitar el aumento de la presión. Ahora abrir V-2, V-20, V-23, V-14, V-13, V-8 y V-10, V-7, V-9, V-6, V-5, V-17 y abrir V-1 cuidando que el flujo no exceda a 0.375 LPM.

5.4.6.- Inicio de regeneración, cerrar válvulas y abrir V-3, V-4, V-6, V-7, V-13, V-22 y por último V-1 cuidando que el tiempo mínimo de 24 minutos y el volumen total de ácido sea de 2.42 litros.

Para que entre la solución regenerante es necesario para que se llene la columna cerrar V-22 y abrir la purga. Para que se vacíe toda la agua.

Cerrar V-22 y abrir V-1 para que entre regenerante a la columna, ya que este es el volumen requerido de ácido en la columna entonces mantener el tiempo indicado anteriormente.

5.4.7.- Desplazamiento: bajo el mismo arreglo de válvulas abiertas y cerradas introducir volumen de 1.44 litros para desplazamiento.

5.4.8.- Enjuague: Con el mismo arreglo introducir 7.7 litros de agua. Y así queda lista la resina activada para un nuevo ciclo.

5.4.9.- Para realizar la regeneración de la columna aniónica seguir la misma secuencia de pasos pero utilizando la tabla 4-2 para la resina IRA-402.

5.4.10.- La columna mixta tiene un tiempo de servicio de 66 horas por lo cual la relación de regeneración respecto a las demás columnas es de 33 veces. Así que esta se regenera aproximadamente cada 66 horas de la siguiente manera:

a) Retrolavado: Alinear la tubería para que el agua entre por la parte inferior de la columna abriendo V-1, V-2, V-26, V-15, V-10, V-9, V-8, V-7, V-6, V-5 y V-17 para dar la salida. Originando con esto una separación de la resina, quedando la 200 en la parte inferior, mientras que la IRA-900 por su menor densidad y su mayor expansión se sitúa en la parte superior.

b) La regeneración se realiza primero para la aniónica (IRA-900) con NaOH al 4% mandando por la parte superior de la columna la solución y extrayéndola por la V-28. Mientras que la parte catiónica (Ir-200) se regenera con  $H_2SO_4$  al 2% y se hace fluir extrayéndose por V-28.

c) El enjuague se opera similarmente al paso anterior.

**PRECAUCIONES:**

- 1.- Temperatura máxima de flujo 75°F.
- 2.- Presión máxima de operación 2 Kg/cm<sup>2</sup>.
- 3.- Flujo máximo de servicio 0.51 LPM.
- 4.- Flujo máximo de retrolavado 0.75 LPM.
- 5.- Tener cuidado en mandar los flujos regenerantes a las columnas indicadas porque de no ser así, se destruyen las resinas.

Al preparar la solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> adicionar primero el volúmen de agua y después el ácido para evitar proyecciones y mover lentamente.

Adicionarlo a la resina siempre y cuando este bien hecha la mezcla, de no ser así, se destruye la tubería de PVC y las válvulas de nylon.

- CAPITULO VI -

CONCLUSIONES.

## CONCLUSIONES.

Con base a los temas anteriormente considerados se concluye que la eficiencia de operación respecto al volumen de agua procesada fué de:

$$\frac{\text{Volumen agua procesada (práctica)}}{\text{Volumen agua procesada (diseño)}} \times 100 =$$

$$\frac{52.5 \text{ l.}}{52.77 \text{ l.}} \times 100 = 98\%$$

Respecto a la pureza del agua, se tiene lo siguiente:

$$\frac{\text{Suma de las conductividades leídas } 153.21 \text{ ppm como CaCO}_3}{\text{Volúmen de agua obtenida } 52.5 \text{ l.}}$$

= 2.57 ppm como  $\text{CaCO}_3$  contenido en el volumen total de agua purificada experimental.

De acuerdo al diseño, se tendran 52.77 l. de agua purificada con un contenido de 6 ppm de sodio y 0.2 ppm de sílice antes de ingresar a la columna mixta; y se supuso que la salida de el agua tendría entonces una concentración mas baja que esto; asi que se supone que es de 1 ppm como  $\text{CaCO}_3$ .

Lo cual indica que a nivel de práctica hay una diferencia de 1.57 ppm como  $\text{CaCO}_3$ .

Con lo anterior se observa que respecto al diseño, se espera una mejor calidad del efluente, pero el agua que se está obteniendo es de buena calidad por su bajo contenido de impurezas.

Creemos que la diferencia entre los cálculos de diseño y los resultados obtenidos es muy bajo y por lo mismo aceptable ya que, esta agua obtenida, puede ser útil en análisis de laboratorio, para caldera, etc.

Una forma de obtener agua con menor cantidad de iones que la que se obtuvo, es dando un flujo de servicio menor de 0.51 LPM, y realizar más corridas en el sistema ya que así se activan más las resinas.

Para un cálculo a mayor escala de una planta desmineralizada de agua, se siguen los cálculos de manera similar, pero en esta ocasión se calcula el volúmen de las resinas aniónica y catiónica requerido y posteriormente sus flujos de servicio, retrolavado, etc.

Es importante notar, que posiblemente no sea necesario calcular la columna mixta y si colocar un desgasificador, para eliminar el  $\text{CO}_2$  que el agua absorba del aire y el generado por la misma reacción.

**A P E N D I C E .**



FAHRENHEIT A CENTIGRADO

-100 a 0

C.	F.
-73.3	-100
-67.8	-90
-62.2	-80
-56.7	-70
-51.1	-60
-45.6	-50
-40.0	-40
-34.4	-30
-28.9	-20
-23.3	-10
-17.8	0

0 a 100

C.	F.
-17.8	0
-17.2	1
-16.7	2
-16.1	3
-15.6	4
-15.0	5
-14.4	6
-13.9	7
-13.3	8
-12.8	9
-12.2	10
-11.7	11
-11.1	12
-10.6	13
-10.0	14
-9.44	15
-8.89	16
-8.33	17
-7.78	18
-7.22	19
-6.67	20
-6.11	21
-5.56	22
-5.00	23
-4.44	24
-3.89	25
-3.33	26
-2.78	27
-2.22	28
-1.67	29
-1.11	30
-0.56	31
0	32
0.86	33
1.11	34
1.67	35
2.22	36
2.78	37
3.33	38
3.89	39
4.44	40
5.00	41
5.56	42
6.11	43
6.67	44
7.22	45
7.78	46
8.33	47
8.89	48
9.44	49
10.0	50
10.6	51
11.1	52
11.7	53
12.2	54

C.	F.
12.8	55
13.3	56
13.9	57
14.4	58
15.0	59
15.6	60
16.1	61
16.7	62
17.2	63
17.8	64
18.3	65
18.9	66
19.4	67
20.0	68
20.6	69
21.1	70
21.7	71
22.2	72
22.8	73
23.3	74
23.9	75
24.4	76
25.0	77
25.6	78
26.1	79
26.7	80
27.2	81
27.8	82
28.3	83
28.9	84
29.4	85
30.0	86
30.6	87
31.1	88
31.7	89
32.2	90
32.8	91
33.3	92
33.9	93
34.4	94
35.0	95
35.6	96
36.1	97
36.7	98
37.2	99
37.8	100

100 a 1000

C.	F.
38	100
43	110
49	120
54	130
60	140
66	150
71	160
77	170
82	180
88	190
93	200
99	210
100	212
104	220
110	230
116	240
121	250
127	260
132	270
138	280
143	290

C.	F.
149	300
154	310
160	320
166	330
171	340
177	350
182	360
188	370
193	380
199	390
204	400
210	410
216	420
221	430
227	440
232	450
238	460
243	470
249	480
254	490
260	500
266	510
271	520
277	530
282	540
288	550
293	560
299	570
304	580
310	590
316	600
321	610
327	620
332	630
338	640
343	650
349	660
354	670
360	680
366	690
371	700
377	710
382	720
388	730
393	740
399	750
404	760
410	770
416	780
421	790
427	800
432	810
438	820
443	830
449	840
454	850
460	860
466	870
471	880
477	890
482	900
488	910
493	920
499	930
504	940
510	950
516	960
521	970
527	980
532	990
538	1000

## FACTORES DE CONVERSION PARA GALONES- LITROS-PIES CUBICOS.

gal/min.	gal/h.	gal/8h.	gal/día.	l/min.	l/h.	l/8h.	l/día.	ft <sup>3</sup> /min.	ft <sup>3</sup> /h.
1	60	480	1,440	3.78	227.12	1,817	5,451	0.1337	8.0209
5	300	2,400	7,200	18.93	1,135.6	9,085	27,255	0.6684	37.431
10	600	4,800	14,400	37.85	2,271.2	18,170	54,510	1.3368	80.209
15	900	7,200	21,600	56.78	3,406.9	27,255	81,765	2.0052	120.31
20	1,200	9,600	28,800	75.71	4,542.5	36,340	109,020	2.6736	160.42
25	1,500	12,000	36,000	94.63	5,678.1	45,425	136,274	3.3420	200.52
30	1,800	14,400	43,200	113.56	6,813.7	54,510	163,529	4.0104	240.63
35	2,100	16,800	50,400	132.50	7,949.3	63,595	190,784	4.6788	280.73
40	2,400	19,200	57,600	151.42	9,085.0	72,680	218,039	5.3472	320.83
45	2,700	21,600	64,800	170.34	10,221	81,765	245,294	6.0156	360.94
50	3,000	24,000	72,000	189.27	11,356	90,850	272,549	6.6840	401.04
60	3,600	28,800	86,400	227.12	13,627	109,020	327,059	8.0209	481.25
70	4,200	33,600	100,800	264.98	15,899	127,189	381,568	9.3577	561.46
80	4,800	38,400	115,200	302.83	18,170	145,359	436,078	10.694	641.67
90	5,400	43,200	129,600	340.69	20,441	163,529	490,588	12.031	721.88
100	6,000	48,000	144,000	378.5	22,712	181,700	545,098	13.368	802.09
110	6,600	52,800	158,400	416.4	24,984	199,869	599,607	14.705	882.29
120	7,200	57,600	172,800	454.2	27,255	218,039	654,117	16.042	962.50
130	7,800	62,400	187,200	492.1	29,526	236,209	708,627	17.379	1,042.7
140	8,400	67,200	201,600	530.0	31,797	254,379	763,137	18.715	1,122.9
150	9,000	73,000	216,000	567.8	34,069	276,334	817,646	20.052	1,203.1
160	9,600	76,800	230,400	605.7	36,340	290,719	872,156	21.389	1,283.3
170	10,200	81,600	244,800	643.5	38,611	308,889	926,666	22.726	1,363.5
180	10,800	86,400	259,200	681.4	40,882	327,059	981,176	24.063	1,443.8
190	11,400	91,200	273,600	719.2	43,154	345,228	1,035,686	25.399	1,524.0
200	12,000	96,000	288,000	757.1	45,425	363,398	1,090,195	26.736	1,604.2
220	13,200	105,600	316,800	832.8	49,967	399,738	1,199,215	29.410	1,764.6
240	14,400	115,200	345,600	908.5	54,510	436,078	1,308,234	32.083	1,925.0
260	15,600	124,800	374,400	984.2	59,052	472,418	1,417,254	34.757	2,085.4
280	16,800	134,400	403,200	1,060	63,595	508,758	1,526,173	37.431	2,245.8
300	18,000	144,000	432,000	1,136	68,137	545,098	1,635,293	40.104	2,406.3
320	19,200	153,600	460,800	1,211	72,680	581,437	1,744,312	42.778	2,566.7
340	20,400	163,200	489,500	1,287	77,222	617,777	1,853,332	45.452	2,727.1
360	21,600	172,800	518,400	1,363	81,765	654,117	1,962,351	48.125	2,887.5
380	22,800	182,400	547,200	1,438	86,307	690,457	2,071,371	50.799	3,047.9
400	24,000	192,000	576,000	1,514	90,850	726,797	2,180,390	53.472	3,208.3

## HIDROXIDO DE SODIO.

PESO especifica	Baumé	% NaOH	norma lidad	g/l.	lb/pie <sup>3</sup>	lb/gal.
1.0095	1.4	1	0.2524	10.10	0.6302	0.0842
1.0207	2.9	2	0.5101	20.41	1.274	0.1704
1.0318	4.5	3	0.7814	30.95	1.932	0.2583
1.0428	6.0	4	1.042	41.71	2.604	0.3481
1.0538	7.4	5	1.317	52.69	3.289	0.4397
1.0648	8.8	6	1.597	63.89	3.988	0.5332
1.0758	10.2	7	1.902	75.31	4.701	0.6284
1.0869	11.6	8	2.175	86.95	5.428	0.7256
1.0979	12.9	9	2.470	98.81	6.168	0.8246
1.1089	14.2	10	3.772	110.9	6.923	0.9254
1.1309	16.8	12	3.392	135.7	8.472	1.133
1.1530	19.2	14	4.034	161.4	10.08	1.347
1.1751	21.6	16	4.699	188.0	11.74	1.569
1.1972	23.9	18	5.387	215.5	13.45	1.798
1.2191	26.1	20	6.094	243.8	15.22	2.035
1.2411	28.2	22	6.824	273.0	17.05	2.279
1.2629	30.2	24	7.577	303.1	18.92	2.529
1.2848	32.1	26	8.349	334.0	20.85	2.788
1.3064	34.0	28	9.145	365.8	22.84	3.053
1.3279	35.8	30	9.96	398.4	24.87	3.324
1.3498	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

## ACIDO SULFURICO (SOLUCIONES ACUOSAS).

peso especifico	Baumé	% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	norma- lidad	g/l	lb/pe <sup>3</sup>	lb/gal.
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

## ACIDO SULFURICO (SOLUCIONES ACUOSAS)

(CONTINUACION)

peso especifico	Baumé	% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	norma- lidad	g/l	lb/pie <sup>3</sup>	lb/gal.
1.419	41.8	51	14.62	716.5	44.73	5.979
1.4148	42.5	52	15.00	735.7	45.93	6.140
1.4148	43.2	53	15.41	755.1	47.14	6.302
1.4150	44.0	54	15.80	774.9	48.37	6.467
1.4153	44.7	55	16.22	794.9	49.62	6.634
1.4157	45.4	56	16.62	815.2	50.89	6.803
1.4162	46.1	57	17.05	835.7	52.17	6.974
1.4168	46.8	58	17.46	856.5	53.47	7.148
1.4175	47.5	59	17.91	877.6	54.79	7.324
1.4183	48.2	60	18.33	899.0	56.12	7.502
1.5191	48.9	61	18.79	920.6	57.47	7.682
1.5190	49.6	62	19.22	942.4	58.83	7.865
1.5110	50.3	63	19.68	964.5	60.21	8.049
1.5111	51.0	64	20.12	986.9	61.61	8.236
1.5113	51.7	65	20.61	1010	63.03	8.426
1.5116	52.3	66	21.06	1033	64.46	8.618
1.5110	53.0	67	21.55	1056	65.92	8.812
1.5114	53.7	68	22.00	1079	67.39	9.008
1.5119	54.3	69	22.51	1103	68.87	9.207
1.6195	55.0	70	22.98	1127	70.38	9.408
1.6221	55.6	71	23.51	1152	71.90	9.611
1.6218	56.3	72	23.98	1176	73.44	9.817
1.6416	56.9	73	24.51	1201	74.99	10.02
1.6514	57.5	74	25.00	1226	76.57	10.24
1.6612	58.1	75	25.55	1252	78.15	10.45
1.6710	58.7	76	26.06	1278	79.75	10.66
1.6717	59.3	77	26.59	1303	81.37	10.88
1.7113	59.9	78	27.10	1329	82.99	11.09
1.7118	60.5	79	27.65	1355	84.62	11.31
1.7212	61.1	80	28.18	1382	86.26	11.53
1.7313	61.6	81	28.73	1408	87.90	11.75
1.7311	62.1	82	29.24	1434	89.54	11.97
1.7514	62.6	83	29.79	1460	91.16	12.19
1.7613	63.0	84	30.30	1486	92.78	12.40
1.7716	63.5	85	30.85	1512	94.38	12.62
1.7812	63.9	86	31.34	1537	95.95	12.83
1.7911	64.2	87	31.87	1562	97.49	13.03
1.8012	64.5	88	32.34	1586	99.01	13.23
1.8017	64.8	89	32.85	1610	100.5	13.43
1.8114	65.1	90	33.30	1633	101.9	13.63
1.8115	65.3	91	33.79	1656	103.4	13.82
1.8210	65.5	92	34.22	1678	104.8	14.00
1.8219	65.7	93	34.64	1700	106.1	14.19
1.8312	65.8	94	35.09	1721	107.5	14.36
1.8317	65.9	95	35.55	1742	108.7	14.54
1.8315	66.0	96	35.93	1762	110.0	14.70
1.8314	66.0	97	36.34	1781	111.2	14.87
1.8311	66.0	98	36.68	1799	112.3	15.02
1.8312	65.9	99	37.36	1816	113.4	15.15
1.8315	65.8	100	37.34	1831	114.3	15.28

PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN TRATAMIENTO DE AGUA:  
 PESOS ATÓMICOS, PESOS EQUIVALENTES Y CONVERSIONES A  $\text{CaCO}_3$ .

SUSTANCIA	FORMULA	PESO ATÓMICO O MOLECULAR	PESO EQUIVALENTE	SUSTANCIA EQUIVALENTE A $\text{CaCO}_3$ .	$\text{CaCO}_3$ EQUIVALENTE A LA SUST.
Cloruros	$\text{Cl}^-$	35.5	35.5	1.41	0.71
Sulfatos	$\text{SO}_4^{=}$	96.1	48.05	1.04	0.96
Carbonatos	$\text{CO}_3^{=}$	60.0 *	30.0	0.83	0.60
Bicarbonatos	$\text{HCO}_3^-$	61.0	61.0	0.82	1.22
Calcio	$\text{Ca}^{+2}$	40.1	20.05	2.50	0.40
Sodio	$\text{Na}^+$	23.0	23.0	2.18	0.46
Silice	$\text{SiO}_2$	60.1	30.05	0.833	0.60

\* El peso atómico de  $\text{CaCO}_3$  se considerará como 100.0

Nota:

Para el cálculo del equivalente de una sustancia referido como  $\text{CaCO}_3$ , haciendo la relación entre los pesos equivalentes del carbonato de calcio entre el de la sustancia, como se indica a continuación:

$$\text{ppm de la sustancia} \times \frac{\text{peso eq. CaCO}_3}{\text{peso eq. de la sust.}} = \text{ppm como CaCO}_3$$

la relación se denomina factor gravimétrico, lo mismo se aplica para aniones como para cationes.

## Nomenclatura de símbolos:

$C_c$	- Capacidad corregida (kilogramos/pie <sup>3</sup> ).
$C_f$	- Capacidad final (Kilogramos /pie <sup>3</sup> ).
$C_o$	- Capacidad disponible (Kilogramos/pie <sup>3</sup> )
$V_t$	- Volúmen de agua a tratar (Litros)
$W_s$	- Flujo de servicio (GPM, LPM)
$t_s$	- Tiempo de servicio (horas)
$W_{ret}$	- Flujo de retrolavado (GPM, LPM)
$t_{ret}$	- Tiempo de retrolavado (minutos).
$G_{H_2SO_4}$	- Cantidad de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ( l. ).
$V_{H_2SO_4}$	- Volumen de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ( l. )
$W_{reg}$	- Tiempo de regeneración (minutos).
$G_{NaOH}$	- Cantidad de NaOH (lb).
$V_{NaOH}$	- Volumen de NaOH (ml)
TMA	- Fracción total de aniones. (%).