



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA

Incorporada a la U.N.A.M.

DISEÑO DE UNA PRACTICA SOBRE INTERCAMBIO IONICO
PARA EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA
DE LA UNIVERSIDAD LA SALLE

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS PROFESIONAL
Que para obtener el Título de:
INGENIERO QUIMICO
Presenta
JUAN CARLOS BERMUDEZ DAVILA



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE EL AGUA

a).- Tipos de agua	1
b).- Acondicionamiento de agua industrial	9

CAPITULO II

TECNICAS PARA EL ANALISIS DE AGUA

a).- Potencial hidrógeno	17
b).- Conductividad eléctrica	20
c).- Alcalinidad (OH^- , $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- , CO_2)	24
d).- Nitratos	31
e).- Sulfatos	34
f).- Cloruros	38
g).- Dureza total	39
h).- Calcio	42
i).- Magnesio	43
j).- Sílice	44
k).- Sólidos Totales	47
l).- Sólidos disueltos totales	48

CAPITULO III

RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO

a).- Breve historia	50
b).- Tipos de resinas y ciclos de regeneración	52

CAPITULO IV

DISEÑO, CONSTRUCCION Y/O SELECCION DEL EQUIPO

a).- Bases de diseño	66
b).- Hoja de datos	70
c).- Esquemas dimensionales	71
d).- Costos	73

CAPITULO V

EXPERIMENTACION

a).- Pruebas y ensayos	77
b).- Corridas	80

CAPITULO VI

ANALISIS DE RESULTADOS	85
------------------------	----

CAPITULO VII

DISEÑO DE LA PRACTICA SOBRE INTERCAMBIO IONICO	98
--	----

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
--------------------------------	-----

CAPITULO IX

BIBLIOGRAFIA	122
--------------	-----

APENDICE	128
----------	-----

CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE EL AGUA

CAPITULO I
(TIPOS DE AGUA)

El agua es una sustancia que la industria usa en tan vastas cantidades, que tanto en sus cantidades netas, como en los tonelajes totales, sobrepasa por mucho a todos los otros materiales; por ejemplo: se requirieron más de 250 toneladas de agua para fabricar una tonelada de acero, 700 toneladas para hacer una tonelada de papel etc.

El agua cualquiera que sea la fuente de abastecimiento contendrá impurezas, ya que no hay agua natural químicamente pura.

Las fuentes de suministro pueden ser:

Aguas Superficiales: Ríos, lagunas, canales, lagos.

Aguas Subterráneas: Pozos profundos, manantiales, (o galerías - -
filtrantes), estanques.

Para propósitos industriales, las impurezas que pueden estar presentes en el agua se pueden agrupar:

- 1) Sustancias minerales disueltas
- 2) Gases disueltos
- 3) Turbidez y sedimento
- 4) Color y materia orgánica
- 5) Sabores y olores
- 6) Microorganismos

Para que estas impurezas sean dañinas dependerá de:

- a) Naturaleza y cantidad de impurezas presentes
- b) Usos a los cuales el agua este destinada
- c) Tolerancia para las varias impurezas en cada caso particular

Aguas Subterráneas: A medida que el agua se percola suavemente a través de la tierra los estratos por los que pasa, ejercen sobre ella una acción filtrante, absorbente y purificante, así, mientras que su contenido de minerales solubles aumenta, la materia suspendida, color y su contenido de bacterias pueden ser reducidos apreciablemente.

Manantiales: Los hechos han demostrado que muchas aguas de manantiales pueden ser claras y brillantes y otras pueden tener turbidez de tiempo en tiempo especialmente después de períodos de lluvias abundantes, muchas de estas aguas son duras y contienen gran cantidad de sustancia mineral disuelta.

POZOS: Los abastos de agua por medio de pozos profundos, son un recurso muy usado en la industria. Estos tienen algunas ventajas sobre las aguas superficiales, entre estas están: Mayor claridad, libre de colores orgánicos, sabores y olores, composición constante, libres de contaminantes de drenajes y desperdicios industriales, temperatura constante.

Las excepciones para olor y sabor son las aguas sulfuradas y las que contienen hierro, las primeras tienen tanto sabor como olor desagradable, y las segundas tienen un sabor astringente.

Aguas Superficiales: El crecimiento de organismos es común en estas aguas y frecuentemente le imparten sabores y olores objetables.

RIOS: Los análisis han demostrado que el contenido mineral de un río varía ampliamente, durante el año así como también hay una gran variación en las proporciones relativas de sus

constituyentes.

Por ejemplo: muchas veces el contenido de magnesio constituye el 7% y otras el 47% de la dureza total.

Es por tanto necesario hacer en cada río un estudio individual de manera que el tratamiento y el equipo requerido sea adecuado - y lo suficientemente elástico para manejar las variaciones en -- composición que puedan ocurrir.

LAGOS: De una manera general, el agua de un lago está menos sujeta a variaciones rápidas en su composición que las aguas provenientes de ríos, esto es particularmente cierto en los grandes lagos.

Debido a su reposo relativo comparado con los ríos, los lagos sirven eficientemente como depósitos de asentamiento y sus turbideces son usualmente bajas la mayoría del tiempo. Sin embargo éstas se pueden ver afectadas y aumentadas por acción de las olas, la temperatura y los fuertes aguaceros.

Estos efectos son considerables principalmente en lagunas y depósitos de tamaño pequeño.

Agua de Mar: Los principales constituyentes y proporciones relativas de estos son practicamente las mismas en todos los océanos, un análisis es el siguiente.

PARAMETROS	(mg/lit CaCO_3)
CALCIO	1000
MAGNESIO	5234
SODIO	22950
POTASIO	480
BICARBONATO	115
CLORUROS	26790
SULFATOS	2757
BROMUROS	41
DUREZA	6234

El agua de mar contiene aproximadamente 2.7% de cloruro de Sodio y 0.8% de otras sales, haciendo un total de 3.5% de sales totales. Los fabricantes de sal, Bromo y Magnesio usan el agua de mar como materia prima.

En la industria principalmente en plantas que se encuentran cerca del mar se usa ampliamente como agua de enfriamiento.

SUMINISTRO DE AGUA EN EL D.F.

Balance hidrológico del valle de México:

El volúmen de lluvia media anual, dividido entre el número de segundos en un año, arroja un caudal medio equivalente a $213\text{m}^3/\text{seg}$. Se estima que de este caudal se evapotranspiran $171\text{m}^3/\text{seg}$, que por lo tanto, no son susceptibles de aprovechamiento. De los $42\text{m}^3/\text{seg}$.

restantes, 23 recargan el acuífero y 19 escurren superficialmente, de estos últimos se regulan $3m^3$ /seg. para su aprovechamiento y se desalojan $16m^3$ /seg. a través de los drenajes del valle para evitar inundaciones.

FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL D.F.

Hasta 1982 el caudal de agua disponible para el D.F. era $40m^3$ /seg. de los cuáles $2.2m^3$ /seg. son aguas superficiales del Río Magdalena y Río Cutzamala.

$0.3m^3$ /seg., es agua de manantial y los $37.5m^3$ /seg. restantes -- son suministrados por pozos Municipales que suministran un 60% -- aproximadamente de este volúmen y el 40% restante lo suministran -- los pozos particulares.

ANÁLISIS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL DISTRITO FEDERAL.

CONCENTRACION $\frac{(mg)}{(lt)}$ PARAMETROS	Manantial	Pozo
pH	7.6	7.9
Turbiedad (NTU)	1.7	20.0
Color (U Pt-Co)	2.5	30.0
Conductividad (usiemens/cm)	140.0	3000.0
Sólidos totales	56.0	2316.0
S. Disueltos totales	52.0	2310.0
Alcalinidad total (CaC ²)	57.0	692.0
Dureza Total (CaCO ₃)	54.0	510.0
N. amoniacal	0.1	1.45
Nitratos (NO ₃)	1.74	0.41
Cloruros (Cl ⁻)	4.5	262.0
CO ₂ (CO ₂)	2.8	17.0
Dureza de Calcio (CaCO ₃)	24.0	124.0
Dureza de Magnesio (CaCO ₃)	30.0	386.0
Fluoruros (F ⁻)	0.35	0.6
Sulfatos (SO ₄)	2.82	600.8
Hierro (Fe ⁺⁺)	0.02	0.26
Manganeso (Mn ⁺⁺)	0.018	0.47
Calcio (CA ⁺²)	10.50	47.50
Magnesio (Mg ⁺⁺)	9.70	92.50
Potasio (K ⁺)	3.33	46.0
Sodio (Na ⁺)	12.10	614.0

FUENTE DE INFORMACION: UNIDAD DEPARTAMENTAL DEL LABORATORIO
CENTRAL DE CONTROL (DIRECCION GENERAL
DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULI-
CA) D.D.F...

En resumen el 94.5% es agua subterránea la que abastece al D.F.

Usos del agua en el D.F.

Del caudal disponible de $40\text{m}^3/\text{seg.}$, $8\text{m}^3/\text{seg.}$ se emplea para los llamados "usos no contabilizados", se les denomina así porque su complejidad y dispersión dificultan el medir los volúmenes que utilizan, (usos públicos y fugas).

De los $32\text{m}^3/\text{seg.}$ restantes el 69% se destina al uso doméstico, que comprende el agua requerida para satisfacer las necesidades propias de las personas en sus viviendas.

El 16% es utilizado por la industria. Los 30,000 establecimientos industriales del Distrito Federal requieren de agua como materia prima en sus procesos, como medio de enfriamiento, limpieza vehículo de desechos y en servicios generales.

Los procesos industriales consumidores de agua son: La refinación de petróleo ubicada en el norte del Distrito Federal, la fabricación de celulosa y papel. Localizada en el Sur, la elaboración de alimentos y la siderurgia. La mayor concentración del uso industrial del agua se sitúa en las delegaciones, Miguel Hidalgo y Azcapotzalco, en donde se encuentran, la unidad industrial Vallejo y una refinería de Petróleos Mexicanos.

Por último el 15% restante de agua se destina a usos comerciales y de servicios proporcionados por el sector privado.

TRATAMIENTO DEL AGUA SUMINISTRADA.

En cuanto al tratamiento que se le da al agua suministrada a los usuarios del D.F., hasta ahora ha sido suficiente la cloración. Siendo el hipoclorito de Sodio en solución el principal desinfectante utilizado.

ACONDICIONAMIENTO DE AGUA INDUSTRIAL.

Los suministros de agua industrial deben ser:

- 1.- Suficientemente abundantes para cubrir los requerimientos pre sentes y futuros.
- 2.- Disponibles a suficientes niveles de flujo y presiones para - satisfacer las máximas demandas y proveer una protección ade- cuada contra incendios.
- 3.- Ser de calidad apropiada para los usos a que está destinada.

Los usos de agua utilizada en plantas industriales pueden cla sificarse como sigue:

- 1.- Agua para propósitos generales.

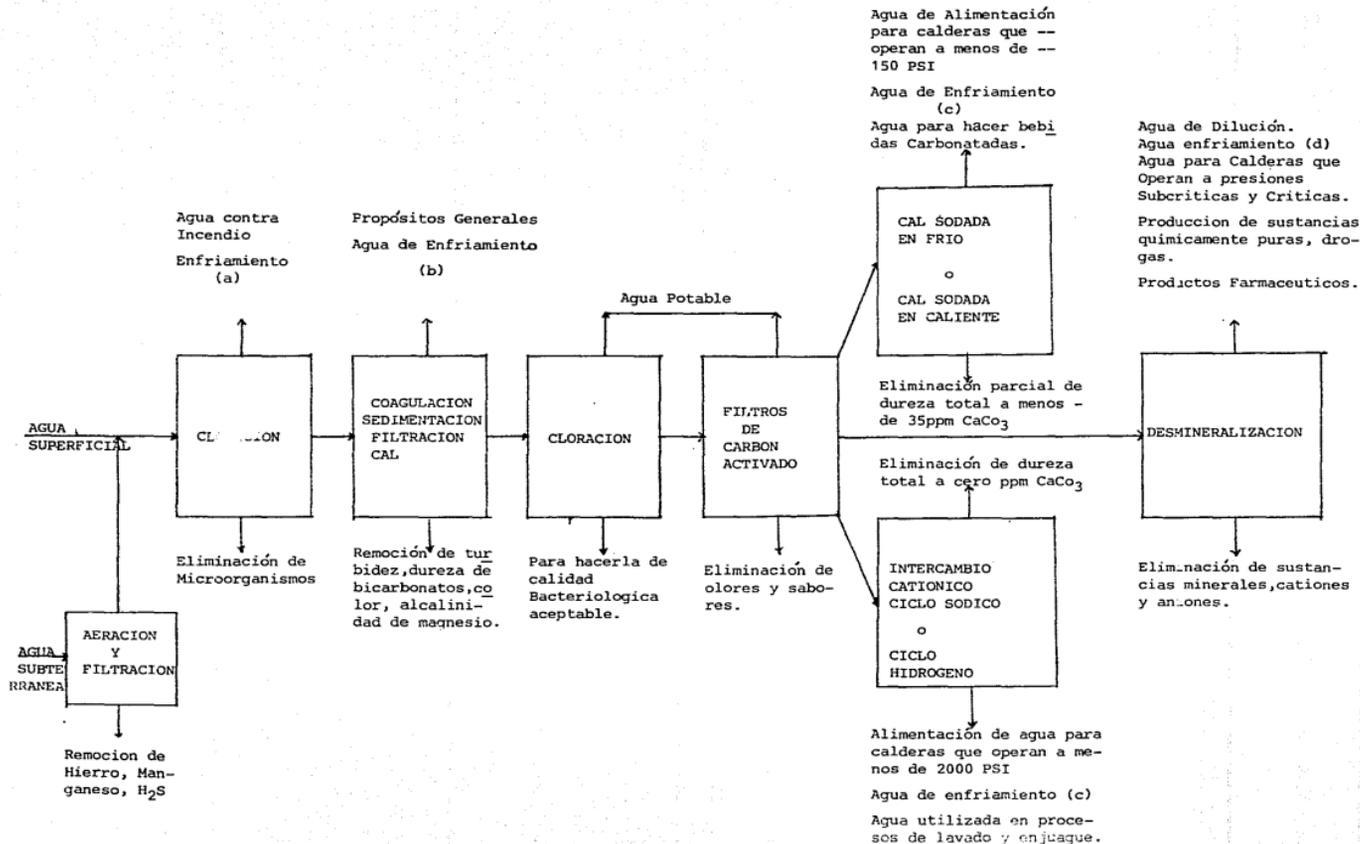
Este término se usa para cubrir el agua empleada en otros - usos además de los tres restantes, como pueden ser agua para- regaderas, lavanderías etc.

- 2.- Agua de enfriamiento: La única especificación general. Es que- el agua no debe formar depósitos aislantes de calor, ya sean - de origen orgánico o inorgánico, y que no debe ser extremada- mente corrosiva bajo las condiciones de trabajo. Hay cuatro - clasificaciones basadas en las condiciones de uso.

- a).-Sistemas abiertos de un solo paso y el drenaje.
- b).-Sistemas de un solo paso y luego usadas para otros propósitos.
- c).-Sistemas abiertos con recirculaciones (Torres de enfriamiento).
- d).-Sistemas de enfriamiento con recirculación en circuito cerrado.
- 3).- Agua de proceso. Su demanda en calidad dependerá del tipo de- industria que la utilice.

4.- Agua de alimentación de calderas. La calidad requerida será función de la presión de operación de la caldera.

Para tener una idea general de los procesos de acondicionamiento y usos del agua, se presenta a continuación un diagrama de bloques



La combinación de los equipos en cada uno de los pasos del diagrama dependerá principalmente de la calidad de agua requerida por el usuario, pero muchos de ellos tienen casi siempre el mismo tipo de problema. El principal puede ser y común a muchos eliminar: Turbidez, color, hierro, manganeso, H_2S , olor, sabor, calidad bacterológica aceptable, dureza cero. En algunas industrias donde la calidad del agua requerida debe ser de alta calidad como en el caso de la industria automovilística, plantas químicas, industria alimenticia, refinerías de azúcar, fábricas de pulpa y papel, plantas petroquímicas, textiles etc. requieren de agua desmineralizada como agua de proceso, además de agua para alimentación a calderas.

Las especificaciones del agua requerida para calderas y para enfriamiento según U.S.F.W.P.C.A.* son las siguientes:

* UNITED STATES FEDERAL WATER POLLUTION CONTROL ASSOCIATION.

CALIDAD REQUERIDA DEL AGUA PARA CALDERAS .

CONCENTRACION (mg) lt	Baja Presion	Presion Media	Presion Alta	Termo Elec.
	0-10.55 (kg/cm ²)	10.55-49.21 (kg/cm ²)	49.21-105.36 (kg/cm ²)	105.36-35-53 (kg/cm ²)
Silice	30	10	0.7	0.01
Aluminio	5	0.1	0.01	0.01
Fierro	1	0.5	0.05	0.01
Manganeso	0.5	0.1	0.01	C
Calcio	A	B	B	C
Magnesio	A	B	B	C
Amoníaco	0.1	0.1	0.1	0.1
Bicarbonatos (CaCO ₃)	170	120	48	C
Súlfatos	A	A	A	C
Cloruros	A	A	A	C
Sólidos Dis.	700	500	200	0.5
Cobre	0.5	0.05	0.05	0.01
Zinc	A	B	B	C
Dureza (CaCO ₃)	20	B	B	B
Acidez (CaCO ₃)	B	B	B	B
Alcalinidad (CaCO ₃)	140	100	40	B
pH (unidades)	8-10	9.2-10	8.2-9.0	8.8-9.2
Color (Pt-Co)	A	A	A	A
DQO	5	5	0.5	B
Oxígeno Dis.	2.5	0.007	0.007	0.007
Temperatura °C.	A	A	A	A
Sólidos Susp.	10	5	3	B
Sólidos Totales	710	505	203	0.5

- (A) Aceptada si satisface los sólidos totales
- (B) Cero o no detectada mediante la prueba correspondiente
- (C) Control mediante tratamiento para otros componentes

Fuente de información.- S.A.R.H. Subsecretaría de Planeación
Reuso del agua en la agricultura
la industria, los municipios y -
en la recarga de acuíferos.

CALIDAD REQUERIDA DEL AGUA PARA ENTRIAMIENTO

CONCENTRACION ($\frac{\text{mg}}{\text{lt}}$) PARAMETROS	PROCESO CONTINUO DE UN SOLO PASO		PROCESO DE RECIRCULACION	
	DULCE (A)	SALOBRE (B)	DULCE (A)	SALOBRE (B)
Sílice	50	25	50	25
Aluminio	C	C	0.1	0.1
Hierro	C	C	0.5	0.5
Manganeso	C	C	0.5	0.02
Calcio	200	420	50.0	420.0
Magnesio	C	C	C	C
Amoníaco	C	C	C	C
bicarbonatos	600	140	24	140
Sulfatos	680	27000	200	27000
Cloruros	600	19000	500	19000
Sólidos Dis.	1000	35000	500	35000
Cobre	C	C	C	C
Zinc	C	C	C	C
Dureza (CaCO ₃)		6250	150	6250
Acidez mineral Libre (CaCO ₃)	D	D	D	D
Alcalinidad (CaCO ₃)	500	115	20	115
pH (unidades)	5.0-8.5	6.0-8.3	C	C
Color (Pt-Co)	C	C	C	C
SAM	C	C	1.0	1.0
Extractables con EC14	E	E	1.0	2.0
DQO	75	75	75	75
Oxígeno Dis.	C	C	C	C
Temperatura °C.	C	C	C	C
Sólidos Susp.	5000	2500	100	100
Sólidos Totales	6000	37500	600	35100

- (A) Agua dulce contiene menos de 100 mg/lit de Sólidos Disueltos
- (B) Agua salobre contiene más de 100 mg/lit de Sólidos Disueltos
- (C) Aceptada tal como se reciba si satisface sólidos totales o las otras limitaciones
- (D) Cero o no detectada en la prueba correspondiente
- (E) Sin aceite flotante
- (F) El agua que se use no deberá tener a la vez todos los valores máximos indicados

Fuente de información.- Estudio para el aprovechamiento en la industria de las aguas residuales del emisor poniente, Jefatura de agua potable y alcantarillado, S.A.R.H., México, Octubre 1975.

CAPITULO 11

TECNICAS PARA EL ANALISIS DE AGUA

POTENCIAL HIDRÓGENO

La determinación de pH es una de las más importantes y frecuentes pruebas en el análisis del agua. Debido a que prácticamente cada fase en el suministro de agua o de aguas residuales, por ejemplo: Neutralización, desinfección, control de la corrosión etc. es dependiente del pH. A una temperatura dada la intensidad del carácter ácido o básico de una solución se indica por el pH.

El agua pura se encuentra muy ligeramente ionizada y en el equilibrio el producto iónico a 25°C es:

$$[H^+] [OH^-] = K_w = 1.01 \times 10^{-14}$$

$$[H^+] = [OH^-] = 1.005 \times 10^{-7}$$

$$pH = -\log [H^+]$$

$[H^+]$ = Concentración de iones hidrógeno (moles/lit.)

$[OH^-]$ = Concentración de iones hidróxidos (moles/lit.)

DETERMINACION.- Debido a que la actividad de los iones hidrógeno no puede ser medida como tal, operacionalmente el pH se ha definido sobre una escala potenciométrica, utilizando para estas mediciones un electrodo de vidrio y uno de referencia (calomel). El utilizar un electrodo de vidrio se ha aceptado ampliamente puesto que es más fácil de usar y su probabilidad de ser envenenado es menor que el electrodo estándar primario de Hidrógeno

APARATOS. - 1 potenciómetro con compensador de temperatura
 1 electrodo de referencia (calomel)
 1 electrodo de vidrio
 1 agitador magnético

REACTIVOS. A continuación se da una tabla de los reactivos y pH de las soluciones a tres temperaturas.

TEMPERATURA	20° C	25° C	30° C	Peso de reactivo por preparar 1000 mls. de solución.
pH	6.881	6.865	6.853	3.388 KH_2PO_4 + 3.533 Na_2HPO_4
pH	7.429	7.413	7.400	1.179 g KH_2PO_4 + 4.302 g Na_2HPO_4
pH	9.225	9.180	9.139	3.80 g $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

El agua con que preparen estas soluciones deberá tener una conductividad de 2.0 usiemens/cm o menor y deberá ser calentada a ebullición durante 5 minutos para eliminar el CO_2 .

PROCEDIMIENTO.- Primero se deberán lavar los electrodos con agua destilada y se secarán con una limpia, el secado con la tela debe ser suave y evitar toda posible fricción de esta con los electrodos. Homogeneizar y anotar la temperatura de las soluciones buffer y de la muestra, ajustar el compensador del potenciómetro a esta temperatura, calibrar el instrumento con los electrodos sumergidos en una solución buffer que este dentro de un rango aproximado de 2 unidades de pH del pH de la muestra, sacar los electrodos lavarlos con agua destilada, secarlos suavemente y sumergirlos dentro de otra solución buffer que tenga aproximadamente 3 unidades de pH arriba de la primera solución estándar, la lectura del segundo buffer deberá estar dentro de 0.1 unidades de pH del valor conocido para el segundo buffer.

Para determinar el pH de la muestra primero homogeneizarse esta mediante agitación constante sin formación de vórtices para establecer un equilibrio con los electrodos, y tomar la lectura de pH una vez que se estabilice ésta en el potenciómetro.

INTERFERENCIAS.- El electrodo de vidrio se encuentra relativamente libre de interferencias tales como; color, turbiedad, materia coloidal, oxidantes, reductores. Las mediciones de pH se encuentran sujetas a 2 efectos diferentes de temperatura.

a).- Efecto de la temperatura del agua sobre el instrumento incluyendo los electrodos, esto se corrige por el compensador de temperatura del potenciómetro, lo anterior no ajusta el pH medido a una temperatura común, por esto la temperatura para cada medición de pH deberá ser anotada.

b).- Cambios en el pH de la solución acuosa debido a alteraciones en el equilibrio iónico por efecto de la temperatura.

CONDUCTIVIDAD.

El agua que existe en la naturaleza en sus diferentes formas tiene disueltas en ella una serie de sustancias de muy diferentes clases, entre estas un grupo muy importante que imparte una característica especial al agua, las sustancias iónicas que le confieren al agua una propiedad denominada conductancia específica o más comúnmente conocida como conductividad, a su vez esta es una expresión numérica de la habilidad de una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica y varía con el número y tipo de iones disueltos en ésta. La conductividad se mide en una celda conductímetrica conectada a un circuito de puente de Wheatstone.

Se sabe que la resistencia de un conductor es directamente proporcional a su longitud "L" e inversamente proporcional a su sección transversal "A" siendo la unidad el Ohm.

R= Resistencia OHM

L= Longitud del conductor

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

ρ = Resistencia específica de la sustancia conductora.

A= Sección transversal del conductor.

La conductancia es el recíproco de la resistencia y por lo tanto es directamente proporcional al área de la sección transversal "A" e inversamente proporcional a la longitud del conductor y directamente proporcional a la constante "K" (ésta última es la conductividad medida entre las caras opuestas de un cubo de un centímetro cúbico).

$$K = \frac{l}{p} = \text{Ohms}^{-1} \text{ cm.}^2 = \frac{\text{MHOS}}{\text{cm}}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{K \cdot A}{l}$$

$$K = \frac{l}{R \cdot A} = \frac{\text{cm.}}{\text{cm.}^2 \text{ OHMS}} = \frac{\text{MHOS}}{\text{cm.}}$$

El valor numérico de ésta expresión multiplicado por 1 000 000 es la conductividad eléctrica en umhos/cm.

En el sistema internacional de unidades (SI) el recíproco del Ohm es el Siemens y la conductividad se reporta en usiemens/cm. - siendo exactamente igual 1 Mho = 1Siemens.

Las mediciones de conductividad hechas en el laboratorio se -- utilizan principalmente para:

- a) Definir el grado de mineralización del agua destilada y deionizada
- b) Evaluar variaciones de concentración de minerales disueltos en el agua cruda y agua residual.
- c) Estimar la cantidad de muestra a tomar para determinaciones -- analíticas y verificar resultados de análisis químicos
- d) Determinar la cantidad de sólidos disueltos totales en una - muestra multiplicando la conductividad medida en umhos/cm por un factor empírico que pueda variar de 0.55 a 0.9 dependiendo de los componentes solubles del agua y de la temperatura a la que se hace la medición.

APARATOS. 1 conductímetro
 1 termómetro
 1 celda de inmersión de constante adecuada para medir el rango de conductividad en que se trabaje, las recomendadas son:

Rango de Conductividad umhos/cm.	Constante de Celda cm ⁻¹
0.05 a 20	0.01
1.00 a 200	0.10
10.00 a 2000	1.00
100.00 a 20000	10.00
1000.00 a 200000	50.00

PROCEDIMIENTO. La temperatura más común a la que se reporta la conductividad es de 25°C. por lo tanto la muestra debe traerse a esta temperatura lavar la celda con 1 o más porciones de la muestra, dependiendo del aparato, medir la resistencia de la muestra (Ohms) o la conductancia (Mhos), sumergiendo la celda en la muestra contenida en un vaso de precipitado que contenga la suficiente cantidad de agua para que ésta este aproximadamente a 2.5 cms. en nivel -- arriba de las ventanas de la celda que sirven para desalojar el aire que pueda quedar en ella.

CALCULOS. Si la lectura es obtenida en Ohms aplicar la siguiente fórmula.

$$K = \frac{1000000}{R_m} \times C$$

K=Conductividad (umhos/cm).

C=Constante de celda cm⁻¹

R_m=Resistencia medida de la muestra (Ohms).

Cuando la lectura se hace en conductancia y esta a su vez expresada en Mhos se aplica la siguiente fórmula.

$$K = K_m \times 1000000 \times C \quad K_m = \text{Conductancia medida en - Mhos.}$$

Si la conductancia es obtenida en umhos ésta sólo se multiplicará por la constante de celda.

$$K = K_m \times C = \text{umhos/cm.}$$

ALCALINIDAD

Los iones de bicarbonato, carbonato, hidróxidos son las principales fuentes de alcalinidad en las aguas naturales, aunque también y menos frecuentes los boratos, silicatos y fosfatos, son fuente de esta propiedad, una vez probada la ausencia de los últimos tres iones, la alcalinidad es la suma de los tres primeros, estos tienen una importancia primordial cuando se estudia la posibilidad de utilizar dichas aguas en plantas industriales. La mayor parte del calcio y magnesio solubles, que producen dureza, estarán presentes en forma de bicarbonatos. Cuando el agua se calienta lo suficiente para liberar el CO_2 formando carbonatos, se puede producir la precipitación de carbonato de calcio, algunas veces este precipitado puede ser útil porque esta capa delgada depositada en el interior de la tubería metálica proporciona un recubrimiento protector que evita la corrosión, por esto es muy importante controlar la alcalinidad.

Si el agua va a utilizarse para alimentación de calderas es esencial conocer el contenido de carbonatos en el abastecimiento de agua, a fin de decidir el tratamiento apropiado. En las calderas de baja presión conviene mantener una reserva de carbonato debidamente controlada en el agua de caldera, a fin de evitar que se deposite sulfato de calcio, que forma una incrustación muy dura. Como el carbonato de calcio es mucho menos soluble ($K_{ps}=4.8 \times 10^{-9}$) que el sulfato de calcio ($K_{ps}=1.2 \times 10^{-6}$) a las temperaturas del agua de caldera. La presencia de ion bicarbonato asegura que el calcio residual se precipitará en forma de carbonato y no de sulfato. En el agua de alimentación de calderas de alta presión, el control del contenido de bicarbonatos es esencial para minimizar la liberación de CO_2 que puede ser arrastrado con el vapor.

El hidróxido de carbono se disuelve en el condensado para formar ácido carbónico, que puede corroer el equipo de condensación del vapor y el sistema de retorno del condensado.

La concentración de hidróxidos de las aguas industriales se relaciona con su pH y por lo tanto con la alcalinidad total. En calderas de baja presión, las concentraciones de hidróxido y carbonatos son elementos primordiales para evitar la formación de incrustaciones y en el control de la dureza, a-

presiones más altas en calderas donde se aplica el tratamiento con fosfatos, el control de la alcalinidad de hidróxidos es esencial para asegurar la precipitación del magnesio como hidróxido y para eliminar el calcio como hidroxiapatita $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$). La presencia de alcalinidad de hidróxidos a niveles apropiados retarda la corrosión del hierro en las calderas; pero en algunas zonas localizadas como ejemplo: en áreas de circulación inadecuada pueden producirse altas concentraciones de cáustico y esto puede destruir la capa protectora de óxido de hierro magnético o evitar su formación, creando con ello graves problemas de corrosión.

DETERMINACION COLORIMETRICA DE ALCALINIDAD

REACTIVOS.- Solución de carbonato de sodio 0.05 N, pesar 2.5 ± 0.2 g de carbonato de sodio previamente secado a 250°C por 4 hrs aforar a 1 lt.

Soluciones estándar de H_2SO_4 o HCl 0.02 N diluir 3.0 ml de H_2SO_4 conc. o 8.3 ml. de ácido clorhídrico concentrado a 1 lt. con agua, deionizada, tomar 200 ml. de cualquiera de éstos dos ácidos y aforar a 1 lt. con agua deionizada, para tenerlos en una concentración de 0.02 N. estandarizar el ácido con 15 ml. de Na_2CO_3 y 85 ml. de agua deionizada en un matraz de 250 ml. y por titulación potenciométrica primero llevar la solución hasta un pH de 5.0, enjuagar los electrodos y dejar que el agua caiga en el matraz, llevar a ebullición la solución durante 3 ó 5 minutos, cubierto el matraz con un vidrio de reloj, enfriar a temperatura ambiente, enjuagar el vidrio de reloj dejando que el agua caiga dentro del matraz y terminar la titulación hasta un pH de 4.5 calcular la normalidad de - - - -

ácido mediante:

$$N \text{ ácido} = \frac{A \times B}{53.0 \times C}$$

A=g Na_2CO_3 Pesados para 1 litro de agua.

B=ml Na_2CO_3 Tomados para la valoración

C=ml de ácido usado.

Indicadores: Anaranjado de metilo (0.5g/lt) disolver 0.05 g de anaranjado de metilo en agua y diluir a 100 ml.

Fenolftaleína (5g/lt) disolver 0.5 g de fenolftaleína en 50 ml. de alcohol etílico o isopropílico al 95% y añadir 50 ml. de agua destilada.

Procedimiento: Tomar 100 ml. de muestra con una pipeta y depositar los en una matraz Erlen Meyer de 250 ml., añadir 0.2 ml. de indicador de fenolftaleína y si la alcalinidad a la fenolftaleína la muestra tomará un color rosa, titular con ácido 0.02 N hasta la desaparición del color rosa al color natural del agua, agregar 0.02 ml. de anaranjado de metilo, el agua tomará un color amarillo titular con ácido 0.02 N hasta el punto final en el cuál prevalecerá un color canela, esto sucede a un pH= 4.2.

DETERMINACION POTENCIOMETRICA:

La elección de un punto final del pH en la titulación potenciométrica dependerá, principalmente del uso particular a la que este destinada el agua en cuestión. A continuación se da una tabla con los valores de pH sugeridos como puntos de equivalencia para las concentraciones correspondientes de alcalinidad en ppm de CaCO_3 .

ALCALINIDAD mg/lit CaCO ₃	TOTAL	PUNTO FINAL DEL PH. FENOLFTALEINA
30	5.1	8.3
150	4.8	8.3
500	4.5	8.3
Silicatos, fosfatos		
conc. conocida o sosp.	4.5	8.3
análisis de rutina	4.5	8.3
desechos industriales	3.7	8.3

Una vez seleccionado el punto final del pH apropiado, titular con ácido 0.02 N 100 ml. de muestra o una porción adecuada diluida a 100 ml. hasta alcanzar el punto final al acercarse a éste adicionar el ácido gota a gota y asegurarse que el pH en el punto final ha alcanzado el equilibrio antes de adicionar más ácido.

CALCULOS.

$$\text{Alcalinidad mg/lit CaCO}_3 = \frac{A \times N \times 50.000}{\text{ml. muestra.}}$$

A= ml. de ácido usado

N= normalidad del ácido valorado

A continuación se dan los detalles para el cálculo de las tres formas de alcalinidad, mediante ecuaciones corregidas por el efecto de la temperatura y la concentración de sólidos disueltos totales, así como también este método puede ser programado para el cálculo rápido de Hidróxidos, carbonatos, bicarbonatos y CO₂ libre.

Son 4 los parámetros que son indispensables para utilizar las ecuaciones, éstos son: Temperatura °C. a la que se realiza el análisis, pH, Sólidos Disueltos Totales y Alcalinidad Total (ppm de Carbonato de Calcio).

$$\text{pH} = - \log [H^+]$$

$$\text{pK}_1 = - \log K_1$$

$$\text{pK}_2 = - \log K_2$$

$$\text{pK}_w = - \log K_w$$

Temperatura °C	pK _w	pK ₁	pK ₂
0	14.920	6.577	10.625
5	14.744	6.517	10.557
10	14.522	6.468	10.490
15	14.337	6.420	10.430
20	14.167	6.383	10.377
25	14.000	6.351	10.329
30	13.835	6.326	10.290
35	13.681	6.310	10.250
40	13.534	6.295	10.220
45	13.395	6.290	10.195
50	13.261	6.288	10.172

Tomando como variable independiente a la temperatura se ajustó cada una de estas constantes a una recta por el método de mínimos cuadrados, obteniéndose las siguientes ecuaciones:

$$\text{pK}_w = -3.327E-2 \times T + 14.867 \quad r=0.997$$

$$pK_1 = -7.006E-3 \times T + 0.515 \quad r=0.977 \text{ ajustada con 9 - valores (0-40°C)}$$

$$pK_2 = +9.03e3E-3 \times T + 10.585 \quad r=0.9855$$

La ecuación que se utiliza para corregir los cálculos por concentración de sólidos disueltos totales, con el método simplificado, de Langelier, por cálculo de la fuerza iónica es:

$$u = 0.000025 \times \text{ppm de sólidos disueltos totales}$$

$$u = fza. \text{ ionica.}$$

Las ecuaciones para corregir cada una de las constantes son las siguientes.

$$pK'_w = pK_w - \frac{\sqrt{u}}{1 + 1.4\sqrt{u}}$$

$$pK'_1 = pK_1 - \frac{\sqrt{u}}{1 + 1.4\sqrt{u}}$$

$$pK'_2 = pK_2 - \frac{2\sqrt{u}}{1 + 1.4\sqrt{u}}$$

Una vez que se corrigen las constantes por los efectos de temperatura y concentración de sólidos disueltos totales, las ecuaciones que se utilizan para el cálculo de: Bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos y CO₂ libre son las siguientes.

Las unidades en que se reportan los tres primeros parámetros -- son ppm de CaCO₃ y el CO₂ libre se reporta en ppm CO₂ libre.

$$OH^- = 50000 \frac{K'_w}{[H^+]}$$

$$CO_3^{--} = \frac{A \cdot Total \cdot OH^-}{1 + \frac{[H^+]}{2K'_2}}$$

$$\text{HCO}_3^- = \frac{A_{\text{total}} - \text{OH}^-}{1 + \frac{2K_2'}{[\text{H}^+]}}$$

$$(\text{libre}) \text{CO}_2 = \frac{0.98 \times [\text{H}^+] \times \text{HCO}_3^-}{K_1}$$

REFERENCIAS

- 1.- Dye, J.F. Correlation of the two principal methods of calculating the three kinds of alkalinity. Jour AWWA, 50:800 (June - 1958).
- 2.- Dye, J.F. Calculation of effect of temperature on pH, Free carbon dioxide, and the three forms of alkalinity. Jour AWWA 44:356 (April 1952).
- 3.- Harned N.S. & SHOLES, S.R. the ionization of HCO_3^- from 0 to 50° C. Jour Am. Chem. Soc. 67:1706 (1941)

NITRATOS.

En casi todas las aguas naturales existen pequeñas cantidades de nitrato, por lo común provienen de la materia orgánica nitrogenada de origen animal, la descomposición de materia vegetal en el suelo libera muy pocos nitratos. Por esta razón, las concentraciones importantes de nitrato en el agua pueden indicar que las fuentes de este líquido se contaminaron en una etapa anterior con aguas negras o desechos animales. Otra fuente importante de estos iones son los estratos a través de los cuales se filtra el agua.

Los nitratos se aplican en el tratamiento de aguas como compuestos inhibidores de la corrosión en sistemas de enfriamiento. En calderas de baja presión, el nitrato solo, o en combinación con ciertos compuestos orgánicos, permite controlar en forma efectiva la corrosión intergranular (fragilidad del metal de las calderas).

DETERMINACION DE NITRATOS POR METODO ESPECTROFOTOMETRICO ULTRAVIOLETA.

Esta técnica es apropiada para muestras de agua de bajo contenido de materia orgánica, por ejemplo: agua potable.

Las mediciones de absorción en espectro ultravioleta a 220 nm. permite una determinación rápida de NO_3^- . la curva de calibración para nitratos sigue la ley de Beer hasta 11 mg/lt de NO_3^- .

Debido a que la materia orgánica disuelta puede también absorber a 220nm y los nitratos no absorben a 275 nm. se tiene que hacer por ello una segunda lectura a 275 nm. para corregir los valores de nitratos. Por lo anterior éste método no es recomendable para aguas que requieren una corrección bastante significativa por absorbancia de materia orgánica. La filtración de la muestra

- se hace con objeto de remover posibles interferencias de partículas suspendidas. La acidificación con HCl 1 N se utiliza para prevenir interferencias de hidróxidos o concentraciones de carbonatos hasta de 1000 mg/lit CaCO_3 , los cloruros no afectan en la determinación.

APARATOS. Espectrofotómetro para usarse a 220 nm y 275 nm con celdas de un paso de luz de 1 cm.

Filtro de membrana de 0.45 μm de diámetro de poro.

REACTIVOS Agua libre de nitratos; usar agua destilada o redestilada o también agua deionizada para preparar todas las soluciones y disoluciones.

Solución stock de nitratos.- Disolver 0.7218g de KNO_3 (previamente secado a 105°C durante 24 hrs.) en agua y diluir a 1 litro, -- preservar con 2 ml. de clor. .mo. La solución madre será de la siguiente concentración. 1.0 ml. = 100 ug N- NO_3

Solución estándar de Nitratos, diluir 50 ml. de solución madre a 500 ml. concentración 1.0 ml. = 10.0 ug N- NO_3

Acido clorhidrico 1N.

PROCEDIMIENTO. A 50 ml. de muestra clara, filtrada si es necesario adicionar 1 ml. de HCl 1N y mezclar perfectamente.

CURVA DE CALIBRACION. Preparar estándares de nitratos en el rango de 0 a 7 ppm de nitratos por disolución a 50 ml. Tomar los siguientes mililitros de la solución estándar.

mililitros	pmm de nitratos
0	testigo
5	1
10	2
15	3
20	4
25	5
30	6
35	7

Estos estándares deberán ser tratados de la misma forma que las muestras.

LECTURA. Leer la absorbancia con agua destilada a 0.00 de absorbancia (testigo), a 220 nm de longitud de onda para obtener la lectura de nitratos y a 275 nm. para determinar interferencia debidas a materia orgánica disuelta.

CALCULOS. Para la corrección por materia orgánica disuelta restar 2 veces la lectura de absorbancia a 275 nm. de la lectura de absorbancia a 220 nm. para obtener la absorbancia real debida a nitratos, utilizando la curva de calibración ajustada previamente a una recta, se obtiene la concentración de nitratos en ppm NO_3^-

SULFATOS

Los iones sulfatos son relativamente abundantes en las aguas naturales, sobre todo en las duras.

En el agua industrial, el sulfato es importante especialmente cuando los procesos de evaporación introducen problemas potenciales de formación de depósitos y en donde el control de los sólidos totales disueltos es un problema de gran importancia.

La terminación del sulfato es sumamente útil para regular las concentraciones permisibles en agua de calderas y en torres de enfriamiento en donde estos se incrementan a menudo al añadir ácido sulfúrico para reducir la alcalinidad y controlar el PH.

METODO TURBIDIMETRICO PARA DETERMINACION DE SULFATO

TEORIA: En medio ácido (HCl) el ión sulfato se precipita con cloruro de bario para formar sulfato de bario que son cristales de tamaño uniforme, la absorbancia de luz de la suspensión de sulfato de bario se mide en un espectrofotómetro y la concentración del ión sulfato se determina por comparación de las lecturas obtenidas con una curva de calibración previamente construida con soluciones estándar.

INTERFERENCIAS:

Materia suspendida en cantidades considerables

Color

Sílice en exceso de 500 ppm.

Materia orgánica

Concentración Mínima detectable: Aproximadamente 1 ppm SO_4^{2-}

APARATOS: Agitador magnético, mantener una velocidad constante para cada corrida de muestra usando magnetos de la misma forma y tamaño.

ESPECTROFOTOMETRO: Para usarse en una longitud de onda de 420 nm. y proveer un paso de luz de 4 a 5 cm.

RELOJ: Con dispositivo para regular el tiempo de lectura entre muestras.

Espátula para tomar aproximadamente de 0.2 a 0.3 grs. de cloruro de Bario.

REACTIVOS: Con bajo contenido de sulfatos.

a) Reactivo acondicionador, mezclar 50 ml. de glicerina con una solución que contenga 30 ml. de HCL concentrado. 300 ml. de agua destilada, 100 ml. de alcohol etílico o isopropílico al 95% y 75 grs. de cloruro de sodio.

b) Cloruro de Bario, cristal uniforme para trabajo turbidimétrico.

c) Solución estándar de sulfato 0.1 mg = 1ml, se prepara a partir de sulfato de sodio anhidro.

$$a_{SO_4} = 100 \text{ ugs/ml} = 100 \text{ mgs/lt.}$$

$$a_{Na_2SO_4} = \frac{a_{SO_4} \times E_{Na_2SO_4}}{E_{SO_4}} = \frac{100 \text{ mgs.} \times 71.0}{18} = 147.91 \text{ mgs}$$

Cantidad de sulfato de sodio que se debe pesar y diluir a 1 litro para obtener la concentración deseada en la solución estándar.

a = peso (miligramos)

E = Equivalente químico (miligramos / miligramos - equivalentes)

CONSTRUCCION DE LA CURVA DE CALIBRACION.- De la solución std preparada, tomar la cantidad de mililitros apropiada para cubrir una -- concentración de 0 a 40 ppm.

Arriba de 40 ppm. la exactitud del método decrece y las suspensiones de BaSO_4 pierden estabilidad.

mililitros de solución	ppm de $\text{SO}_4^{=}$
estándar	(100 mls. de soln.)
0	0
5	5
10	10
15	15
20	20
25	25
30	30
35	35
40	40

Aforar a cada estándar a 100 ml. en un matraz erlen meyer de 250 - ml.

Adicionar 5 ml. de reactivo acondicionador y mezclar con el agitador magnético, cuando se está agitando agregar a la solución 0.3 g de BaCl_2 y comenzar a contar el tiempo inmediatamente. Después de 1 minuto de agitación a una velocidad constante, verter la solución a una celda de absorción del espectrofotómetro, dejar reposar 4 -- minutos y tomar la lectura en absorbancia. Así sucesivamente con todos los estándares, calibrando el aparato después de cada lectura con el testigo a cero de absorbancia y a 100% de transmitancia.

- Para saber la concentración de sulfatos en una muestra X, se tomarán 100 ml. de muestra o una porción adecuada y diluida a 100 ml y siempre correr un testigo con agua destilada tratada para un análisis de sulfatos.

CLORUROS

INTRODUCCION: Aunque los cloruros rara vez son una causa directa de la corrosión, el ión cloruro es pequeño, sumamente móvil y acelera las reacciones de corrosión en proporción a su concentración, debido a su capacidad para penetrar e incrementar la velocidad de disolución del hierro y a su contribución al contenido de electrolitos.

En aguas de enfriamiento y calderas de baja presión, los cloruros presentan pocos problemas.

La concentración de cloruros en el agua de proceso se mantiene invariable, en aguas de calderas y de enfriamiento por evaporación el cloruro se concentra en una relación exacta a la cantidad de -- evaporación que se efectúa. Por lo tanto es un parámetro importante para determinar la cantidad de evaporación que se está llevando a cabo.

INTERFERENCIAS: Sulfuros, Tiosulfatos y iones sulfito, interfieren pero pueden ser removidos con H_2O_2 , Ortofosfatos en exceso de 25 - mg/lt. precipitan con fosfato de plata.

Hierro en exceso de 10 ppm. interfiere ocluyendo el punto de vire.

REACTIVOS: Cromato de potasio (Soln. Indicadora) disolver 50 grs. de K_2CrO_4 en 100 ml. de agua, agregar $AgNO_3$ solución hasta que un precipitado color rojo se forme. Dejar reposar la solución por 12 horas, filtrar y diluir a 1 litro con agua destilada.

SOLUCION ESTANDAR DE NITRATO DE PLATA: 0.0141N

1 ml = 500 ugs Cl^- = 0.5 mgs/lt.

$$^a \text{AgNO}_3 = N \times V \times E = 0.0141 \times 1 \text{ lt} \times 169.9 = 2.395 \text{ gramos}$$

$$= \text{g-eq/lt} \times \text{grs/g-eq.} = \text{grs.}$$

Pesar 2.395 grs. de AgNO_3 y aforar a 1 lt. valorar la solución con cloruro de sodio 0.0141 N.

Solución estándar de NaCl 0.0141 N

$$^a \text{NaCl} = 0.0141 \times 1 \text{ lt.} \times 58.5 = 0.824 \text{ grs.}$$

PROCEDIMIENTO. - Tomar 100 ml. de muestra o una porción adecuada y diluirla a 100 ml. las muestras deberán tener un pH entre 7.0-10.0 adicionar 1 ml. K_2CrO_4 la solución acuosa tomará un color verde titular con AgNO_3 hasta un color amarillo, como punto final se debe ser constante en el reconocimiento del punto final.

Nota.- El AgNO_3 se deberá guardar en frascos color ámbar

CALCULOS.

$$\text{mg/lt Cl}^- = \frac{(A - B) \times N \times 35450}{\text{ml. de muestra}}$$

A= ml de AgNO_3 gastados para la titulación de la muestra

B= ml de AgNO_3 gastados para el blanco (0.2 a 0.3 ml. es lo usual)

N= Normalidad calculada del AgNO_3

DUREZA TOTAL

En la actualidad la dureza se acepta como un dato que representa la concentración total de iones calcio y magnesio. Siendo estos últimos los principales contaminantes que forman incrustaciones en

- la mayoría de los abastecimientos de agua cruda, por lo consi-
guiente casi todos los métodos de tratamiento para agua de calde-
ras tienen como objeto principal eliminar o reducir la formación
de los depósitos de calcio y magnesio produciendo estos iones so-
bre la superficie de transferencia térmica del sistema de calde-
ras, depósitos voluminosos y pesados, que varían desde incrusta-
ciones duras (CaSO_4) hasta precipitados suaves Mg(OH)_2 .

PRINCIPIO.- Cuando una solución acuosa tiene un pH de 10.0 ± 0.1 y
se le añade una pequeña cantidad del indicador negro de eriocromo
T, ésta toma un color vino, cuando se adiciona EDTA el calcio y -
magnesio forman un complejo y cuando todo el Ca y Mg reaccionan -
formando este complejo, la solución toma un color azul cielo.

PRECAUCIONES.- Después de adicionar el buffer titular en un tiem-
po menor a 5 minutos para evitar la formación del precipitado de
 CaCO_3 . El volumen de muestra seleccionada deberá ser tal que gaste
15 mililitros de EDTA* como máximo.

* Acido Etilen Diamino Tetracético.

REACTIVOS.- Soln. buffer, disolver 1.179 g. de ácido etilen diam-
ino tetracético disódico dihidratado 780 mg. de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ o 644
mg. de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en 50 ml. de agua destilada, adicionar ésta so-
lución a 16.9 g. de NH_4Cl y 143 ml de NH_4OH concentrado, mezclan-
do bien y diluir a 250 ml. con agua destilada.

Indicadores.- Utilizar negro de eriocromo T en polvo teniendo pre-
caución al agregarlo a la solución acuosa, se requiere aproxima-
mente 0.05 g.

Solución estándar de Acido Etilen Diamino Tetracético 0.01 M.- pe-
sar 3.723 g. de EDTA disolverlo en agua destilada y aforar a 1 lt.

- estandarizar contra una solución estándar de CaCO_3 , guardar el reactivo en frasco de polietileno.

Soln, estándar de CaCO_3 pesar 1.0 g de CaCO_3 anhidro en un erlen meyer de 500 ml. y adicionar hasta disolver todo el CaCO_3 -HCl (1+1), después adicionar 200 ml. de agua destilada y hervir la solución unos minutos para eliminar el CO_2 enfriar, adicionar unas gotas de indicador rojo de metilo y ajustar la solución a un color intermedio (naranja) con adición de NH_4OH o (1+1) HCl según se requiera transferir cuantitativamente a un matraz volumétrico de 1 lt. y aforar con agua destilada. Concentración. 1ml = 1mg de CaCO_3 .

PROCEDIMIENTO.- Tomar en una cápsula de porcelana 50 ml. de muestra o una alícuota diluida a 50 ml. con agua destilada, esto dependerá de la cantidad de EDTA gastado en la titulación. Agregar 1 ó 2 ml. de la solución buffer para alcanzar un pH de 10 ± 0.1 , adicionar el indicador negro de eriocromo T, la solución tomará un color vino titular con la solución de EDTA y con agitación constante, el punto final será indicado por la aparición de un color azul claro, tomar la lectura de los mililitros gastados por la titulación y asegurarse del punto final agregando 1 ó 2 gotas más de EDTA. Si el color no cambia el punto final determinado ha sido el correcto.

CALCULOS

$$\text{DUREZA mgs/lit CaCO}_3 = \frac{A \times B \times 1000}{\text{mls. muestra}} \quad (\text{H})$$

$$= \frac{\text{mls. EDTA} \times \text{mg CaCO}_3 \times 1000 \text{ ml mgs CaCO}_3}{\text{mls. muestra} \times \text{mls EDTA} \times 1 \text{ lit.} \quad \text{it}}$$

A= Ml de EDTA gastados en la titulación de la muestra.

B= Mg. CaCO_3 equivalente a 1.0 ml. de EDTA

Este factor se obtiene de la valoración de EDTA con la solución estandar de CaCO_3

DETERMINACION DE CALCIO. $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$

PRINCIPIO: El calcio puede ser determinado directamente con EDTA, cuando el pH es suficientemente alto 12 o 13 para precipitar el magnesio como Hidróxido y utilizando un indicador que se combine con el calcio cuando este ha sido acomplejado por el EDTA, dando un cambio de color.

REACTIVOS: NaOH 1 N, Pesar 40 grs. de NaOH cristales a y aforar a 1 lit.

INDICADOR: Por lo general se utiliza muréxida (purpurato de amonio), cambia en el vire de un color rosa púrpura a orquídea. Este se puede utilizar en solución con etilen-glicol mezclando 150 mg en 100 gr de etilen-glicol absoluto o en polvo mezclando 200 mg de muréxida con 100 g de NaCl y moler bien la muestra hasta obtener un polvo fino y uniforme de color rosa salmón.

$\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$ - (0.01m), se utiliza el mismo que para la dureza total

PROCEDIMIENTO:

En una cápsula de porcelana o matríz tomar 50 ml, de muestra-
o alicuota diluída a 50 ml, adicionar 2 ml de NaOH 1N para tener
un pH de 12-13 y agregar 0.2 gr de muréxida, debido al alto pH -
con el que se trabaja, se deberá titular inmediatamente después
de agregados el alkáli y el indicador. Para muestras con una - -
alcalinidad mayor de 300 ppm. Tomar una alicuota y diluir a 50 --
ml.

La agitación debe ser continua durante la titulación, el punto
final será indicado por el cambio de color de rosa a púrpura, para
asegurarse el vire agregar 1-2 gotas de EDTA en exceso y no debe -
haber ningún cambio en la coloración final.

CALCULOS PARA CALCIO Y MAGNESIO

$$\text{CALCIO (mgs/lt CaCO}_3) = \frac{A \times B \times 1000}{\text{mls muestra}} \quad (I)$$

$$\text{MAGNESIO (mgs/lt CaCO}_3) = H - I$$

SILICE (SiO_2)

La concentración de sílice puede constituir un factor muy importante en algunas instalaciones industriales. Este material tiene un coeficiente de transmisión de calor muy bajo y las capas extremadamente delgadas pueden producir sobrecalentamiento del metal, corrosión y falla en los tubos de las calderas así como una reducción en la transferencia calórica.

En las calderas de alta presión, el sílice puede arrastrarse con el vapor. Al aumentar la presión de la caldera a más de 400 lbs/in² y conforme aumenta la presión el contenido de sílice en el vapor en relación al agua se incrementa con suma rapidez. Esta sílice se deposita formando capas duras y vítreas en los álabes de las turbinas, tapando los conductos pequeños y produciendo desequilibrios en el rotor. La clave para reducir al mínimo los depósitos de sílice, es mantener su concentración en el agua de caldera a un nivel lo suficientemente bajo para lograr que la sílice en el vapor, no pase de 0.02 mg/lit.

La sílice también puede originar la formación de depósitos en los sistemas de agua de enfriamiento, no obstante en este caso se le considera como un problema de menor importancia, a menos que la concentración supere el límite de solubilidad (150mg/lit).

DETERMINACION.- Método molibdo silicato.

La intensidad del color amarillo es proporcional a la concentración de (silicatos simples disueltos, sílice monomérica y ácido silícico). Estos compuestos se agrupan bajo el nombre de sílice "reactiva al molibdato".

Interferencias.- En concentraciones apreciables interfieren: Sulfu

-ros, hierro y fosfatos, así como también el color y turbiedad.

APARATOS.- Cápsulas de platino 100 ml. de capacidad

Espectrofotómetro; para utilizarse a 410 nm. con un paso de luz de 1 cm.

Tubos Nessler de 50 ml.

REACTIVOS.- ácido sulfúrico 1N

ácido clorhídrico (1_ + 1)

bicarbonato de sodio en polvo.

Molibdato de Amonio: disolver 10 gramos de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en -- agua destilada con calentamiento suave y agitación y diluir a 100 ml. ajustar a un pH de 7.0 a 8.0 con hidróxido de amonio o hidróxi do de sodio y almacenarlo en una botella de polietileno.

Solución de Acido Oxálico.- Disolver 7.5 gramos de $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y diluir a 100 ml.

Solución Stock de Sílice: Disolver 4.73 gramos de metasilicato de sodio nonahidratado $\text{Na}_2\text{SiO}_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y diluir a 1lt. guardar la solución en un frasco bien tapado de polietileno

1 mg SiO_2 = 1 ml.

Solución estándar de Sílice; tomar 10 ml. de la solución stock y - aforar a 1000 ml. con agua destilada. 1 ml=10ug SiO_2

PROCEDIMIENTO.- Para detectar la presencia de sílice no reactiva - al molibdato tomar 50 ml. de muestra y adicionarlos a la cápsula - de platino de 100 ml. agregando 200 mg. de NaHCO_3 y digerir la - - muestra en un baño de agua durante 1 hr., enfriar y añadir con agi tación 2.4 ml. de H_2SO_4 1N, transferir cuantitativamente a un tubo Nessler de 50 ml. y llevar a la marca con agua destilada.

DESARROLLO DE COLOR.- A la muestra preparada o a 50 ml. de muestra sin tratar, esto es cuando se omite la digestión, adicionar en forma sucesiva y continua 1.0 ml. de HCl (1+1) y 2.0 ml. de reactivo de molibdato de amonio, mezclar bien y dejar reposar de 5 a 10 min. adicionar 2.0 ml. de ácido oxálico y mezclar nuevamente, tomar la lectura en el espectrofotómetro después de que pasen dos minutos o antes de 15 minutos tomados después de la adición del ácido oxálico.

CURVA DE CALIBRACION.- Si se utiliza un pretratamiento con bicarbonato de sodio, a los estándares se les debe añadir 200 mg. de bicarbonato de sodio en polvo y 2.4 ml. de ácido sulfúrico 1 normal - para compensar la ligera cantidad de sílice introducida por los reactivos y el efecto de la sal sobre la intensidad del color.

Preparar una serie de 6 estándares para cubrir el rango óptimo del método.

ug de sílice	ppm SiO_2 en un volumen final de 55 ml.
200	3.63
400	7.27
600	10.90
800	14.54
1000	18.18
1300	23.63

Después de preparar los estándares seguir los mismos pasos que en la sección de desarrollo de color previamente expuesta. Poner el espectrofotómetro a cero de absorbancia con agua destilada y tomar las lecturas en absorbancia de todos los estándares, graficar -

- microgramos de sílice existentes en el volumen final de 55 ml. -
contra las absorbancias leídas en el espectrofotómetro.

CALCULOS

$$\text{mg/lt SiO}_2 = \frac{\mu\text{g SiO}_2 \text{ (en 55 ml de volumen final)}}{\text{ml de muestra.}}$$

SOLIDOS TOTALES

El incremento en peso que se tiene al evaporar una muestra de agua bien mezclada en una estufa a 103 - 105° C, sobre el peso de la cápsula a peso constante que contiene a la misma representa el contenido de sólidos totales.

APARATOS.- Cápsulas de porcelana de 100 ml de capacidad, o de Pt.-

Mufla; para operar a 550 ± 50° C

Baño de agua a temperatura constante

Estufa; para operar entre 103-105°C

Desecador

Balanza analítica; de 160 a 200 gramos de capacidad.

PROCEDIMIENTO.- Secar las cápsulas limpias durante 1 hr. a 550 ± 50° C. en la mufla. Enfriar en el desecador, pesarlas y guardarlas en el desecador para que estén listas para usarse.

Transferir un volumen medido de muestra a la cápsula previamente pesada y evaporar a sequedad en el baño de agua o en la estufa, el volumen requerido de muestra puede ser estimado más o menos de la lectura de conductividad, secar a la muestra evaporada en una estufa a 103-105°C. durante al menos 1 hr., enfriar la muestra a - - -

- la temperatura de la balanza en un desecador y pesar, repetir -- esto último hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso obtenida de la pesada anterior sea menor del 4%.

CALCULOS

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

A= peso de la muestra + el de la cápsula (mg)

B= peso de la cápsula (mg)

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Son aquellos que pasan a través de un filtro estándar de fibra de vidrio y permanecen después de la evaporación y secado a peso constante entre 103-105°C.

APARATOS.- Todos los utilizados para sólidos totales y además:

Filtros de fibra de vidrio whatman 934 AH y 984 H

Crisol Gooch de 25 a 40 ml. de capacidad.

Soporte para el crisol gooch

Bomba de vacío

Kitazato

PROCEDIMIENTO.- Poner el filtro en la base del crisol gooch, aplicar vacío y lavar el filtro con agua destilada 3 veces con volúmenes sucesivos de 20 ml. continuar con la succión para eliminar las trazas de agua, las cápsulas limpias deberán ser secadas a 550-50°C durante 1 hr. en la mufla, enfriarlas en el desecador y pesarlas - antes de ser utilizadas.

Utilizar una muestra que produzca entre 2.5 mg. y 200 mg. de sólidos disueltos totales.

Filtrar un volumen adecuado de muestra para la determinación, transferir el filtrado a la cápsula a peso constante, evaporar la muestra en un baño de agua y secar durante al menos 1 hr. en la estufa a 103-105°C. enfriar a la temperatura de la balanza en un desecador, pesar hasta obtener un peso constante, o el peso obtenido difiera del inmediato anterior en menos de 4%.

CALCULOS

$$\text{mg/lit de SDT} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{ml. de muestra}}$$

A= peso del residuo + la cápsula (mg)

B= peso de la cápsula (mg)

CAPITULO III

RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO

BREVE HISTORIA

La primera demostración sobre intercambio iónico fué hecha por dos químicos Ingleses, Thompson & Way en 1850. Ellos reportaron -- que cuando una solución de fertilizante conteniendo amoniaco se pa- saba a través de una columna de laboratorio teniendo abono como le- cho, ésta retenía el amoniaco intercambiándolo por calcio que fué el ión que se encontró en el efluente. Sin embargo ellos creían -- que el proceso de intercambio era irreversible. En 1858 un químico Alemán, Eichhorn, fué el primero en probar que la reacción de in- tercambio era reversible, esto sugirió la posibilidad de volver a su estado natural el material exhausto por intercambio iónico. No hubo aplicación práctica de este descubrimiento hasta 1905, cuando Gans, un químico Alemán desarrolló el proceso de ablandamiento del agua, mediante materiales sintéticos de intercambio catiónico lla- mados ZEOLITAS, sustituyendo los iones calcio y magnesio los prin- cipales causantes de la dureza, por iones sodio de la Zeólita, pa- ra regenerar a ésta última se utilizó una solución de NaCl. No obs- tante, éste proceso no tenía acción alguna sobre los aniones y cu- ya presencia causaba dificultades en algunas aplicaciones indus- - triales, esto llevó al desarrollo del proceso de intercambio catió- nico ciclo hidrógeno, el cual transforma las sales a sus ácidos co- rrespondientes y por lo tanto, el regenerante deberfa ser un ácido, pero desafortunadamente los intercambiadores catiónicos disponibles éran solubles en ácido, El primer intercambiador catiónico fué de- sarrollado con éxito por Smit en Holanda a mediados de la década - de 1930, éste fué producido por sulfonación de gránulos selecciona- dos de hulla con ácido sulfúrico fumante, la sulfonación unió a la

- matriz orgánica el grupo activo ácido sulfónico, la Zeólita pudo ser regenerada con ácido y por consiguiente pudo soportar aguas de bajo pH. Pero aún el proceso de intercambio catiónico seguía teniendo como limitación, el no poder ejercer cambio alguno sobre los -- aniones del agua cruda, hubo entonces la necesidad de buscar un -- proceso de desmineralización económico por intercambio iónico que removiera a cationes y aniones incluyendo a la sílice.

Un equipo de químicos Ingleses integrado por Adams y Holmes hicieron la primer investigación, la cual publicaron en 1935 creando nuevos intercambiadores catiónicos y aniónicos, éstos últimos solamente eran debilmente básicos y por lo tanto no eliminaban la sílice.

El desarrollo de resinas de intercambio catiónico y aniónico de alta capacidad, utilizadas en los desmineralizadores actuales fue realizado por D'Alelio en 1941.

La mayoría de las resinas modernas están formadas por una matriz polimérica de hidrocarburos, a la cual se encuentran unidos los grupos activos funcionales.

TIPOS DE RESINAS.

A. Intercambiadores catiónicos Inorgánicos.

1. Arena verde modificada.- Este compuesto natural se compone de óxidos de potasio, magnesio, fierro, aluminio y silicio, cuando este producto se introdujo al mercado tuvo una gran demanda en el -- ablandamiento del agua debido a su rápida velocidad de reacción, - buena eficiencia en su regeneración, estabilidad en soluciones neutras y su selectividad hacia el calcio y magnesio, sus propiedades y características de operación se enlistan a continuación:

Tamaño de partícula (malla)	-20+50
Peso de embarque (lb/ft ³)	81
Rango de pH	6.2-8.4
Rango de temperatura °F	max. 150
Tolerancia de Dureza UTJ	5-10
Tolerancia de Fierro (Fe ⁺⁺)	8-10
Tolerancia de Cloro (Cl ₂)	8-11
Flujo de retrolavado (gal/min/ft ²)	5-7
Tiempo de retrolavado (min.)	8-12
Espacio para enjuague (%)	20-30
Volumen de enjuague (gal/ft ³)	10-15
Flujo de servicio (gal/min/ft ²)	4-5
Regenerante y concentración (%)	NaCl-(6-12)
Dosis (lb/ft ³)	1-1.5
Capacidad de operación (kgr/ft ³ como CaCO ₃)	2.5-3.0
Eficiencia del regenerante (lb/kgr)	0.4-0.5

Actualmente este producto raras veces se utiliza para el ablanamiento del agua, pero se usa como acarreador del MnO_2 para remoción de oxígeno.

2.- Gels sintéticas de aluminosilicato.- Este material fué desarrollado para aumentar el tiempo de operación entre los procesos de regeneración, a través de un aumento en la capacidad por unidad de volumen; no obstante tenían algunas desventajas. Estaban sujetas al ataque del CO_2 y eran fácilmente ensuciadas por turbiedad, debido a la naturaleza de sus poros, su composición usual era:

$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ sus características de operación y propiedades son:

Tamaño de partícula (malla)	-16+50
Peso de embarque (lb/ft ³)	50-55
Rango de pH	6.9-8.0
Temperatura (°F)	95 max.
Tolerancia de Turbiedad (UTJ)	5 max.
Tolerancia de Hierro (Fe ⁺⁺)	0.4 max.
Tolerancia de cloroppm Cl_2	8-11
Flujo de retrolavado (gal/min/ft ²)	5-8
Tiempo de retrolavado (min)	8-12
Espacio de enjuague (ft)	30-45
Volumen de enjuague (gal/ft ³)	15-20
Servicio (gal/min/ft ²)	4-6
Regenerante y concentración (ft)	NaCl-(6-12)
Dosis del regenerante (lb/ft ³)	4.0
Capacidad de operación (Kgr/ft ³ como $CaCO_3$)	8-12
Eficiencia del regenerante (lb/kgr)	0.4-0.5

En el presente estos materiales de intercambio son de uso poco frecuente en el ablandamiento de agua, su uso se ha extendido en aplicaciones especiales como: Recuperación de hormonas en la orina, estuches desalinizadores y como un reactivo en análisis bioquímicos de diagnóstico.

B. Intercambiadores catiónicos orgánicos naturales.

El primer intercambiador ciclo hidrógeno producido comercialmente fue el Zeo-Karb, obtenido por sulfonación del carbón, un producto natural, con ácido sulfúrico el cual une a la matriz orgánica del carbón los grupos funcionales de intercambio ácido sulfónicos $-SO_3H$.

Los grupos de ácido carboxílico $-COOH$, se encuentran también presentes, provenientes del carbón original y de la oxidación durante el proceso de tratamiento con ácido. Estos grupos hacen a este material de intercambio muy útil para la desalcalinización del agua, y la regeneración del material con ácido sulfúrico diluido es más eficiente. Las propiedades y características de este material son:

Tamaño de partícula (malla)	-16+20
Peso de embarque (lb/ft ³)	30
Contenido de humedad (%)	18-24
Rango de pH	10.5 max.
Temperatura (°F)	140 max
Tolerancia de turbiedad (UTJ)	5
Tolerancia de Hierro (Fe ⁺⁺)	10
Tolerancia de H ₂ S (H ₂ S)	0.5
Tolerancia de cloro (Cl ₂)	0

Flujo de retrolavado (gal/min/ft ²)	5-7	
Tiempo de retrolavado (min.)	10	
Espacio de enjuague (ft)	75	
Ciclo de Operación	Hidrógeno	Sodio
Regenerante y concentración.	H ₂ SO ₄ 2%	NaCl 5%
Dosis de regenerante (lb/ft ³)	1.5-2.5	3
Flujo de regenerante (gal/min/ft ²)	0.5-1	0.5
Volumen de enjuague (gal/ft ³)	40-60	15-20
Capacidad de operación (Kgr/ft ³) como CaCO ₃	3.8-6.8	8

En la actualidad se usa ocasionalmente en el tratamiento de - -
aguas que contienen elevada alcalinidad y bajo contenido de sólidos.

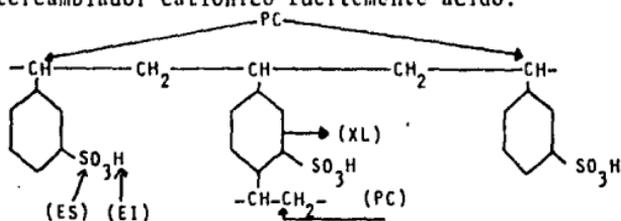
C. Intercambiadores Catiónicos Sintéticos Orgánicos.

Estos materiales formados por un copolímero de estireno y divinilbenceno son actualmente los más utilizados en procesos de desmineralización, son de dos tipos principalmente; los fuertemente ácidos y los debilmente ácidos teniendo como grupos funcionales al ácido sulfúrico y el ácido carboxílico respectivamente, dentro de las resinas fuertemente ácidas hay 4 tipos de productos disponibles - -
dependiendo de la estructura de la matriz polimérica estos son:

1.- Tipo Gel.- Este tipo de intercambiadores se preparan por una polimerización en suspensión en agua con agentes apropiados para --
tal efecto, solamente después de la sulfonación e hidratación se --
desarrolla un cierto grado de porosidad el divinilbenceno actúa --
como un retículo entre las cadenas de polímero y determina muchas-

de las propiedades físicas como son: El grado de hinchamiento de las perlas, el contenido de humedad y la porosidad, el grado de reticulación es igual al porcentaje de divinilbenceno adicionado al estireno durante la copolimerización, si el grado de reticulación decrece el hinchamiento, la cantidad de agua que absorberá la resina y la velocidad de la reacción de intercambio se incrementa, sin embargo si la reticulación es pequeña, la resina se vuelve gelatinosa y suave, lo cual hace que esta tenga propiedades hidráulicas pobres.

La figura siguiente muestra la fórmula química estructural de un intercambiador catiónico fuertemente ácido.



2.- Tipo Macroporoso.- Mientras que algunos materiales de intercambio se consideran de carácter macroporoso debido a su baja reticulación, algunos se hacen macroporosos mediante la incorporación de un componente dentro de la matriz del copolímetro durante el proceso de polimerización. Después este componente se remueve de la matriz antes o durante la sulfonación, dejando así poros dentro de la estructura final del producto.

3.- Tipo Macroreticular.- Se prepara por una polimerización en suspensión, pero se adiciona un solvente donde el monómero es soluble antes de la polimerización, pero el polímero una vez que se forma es - - -

- insoluble, esto hace que se precipite el polímero y se formen - poros fijos cuando se elimina el solvente antes o durante la sulfonación, este tipo de resinas se introdujeron comercialmente en - - 1959, sus poros permiten la remoción de iones de alto peso molecular y una más eficiente eliminación de estos iones durante la regeneración de la resina son más resistentes a las colisiones y ataques oxidativos, su capacidad de intercambio es menor que las de - tipo Gel.

4.- Tipo Isoporosa.- En estas resinas la copolimerización se controla de tal forma que se produzcan polímeros de estructura uniforme, después de la sulfonación cuando ocurre la hidratación e hinchamiento, se desarrolla una porosidad de carácter uniforme en la resina.

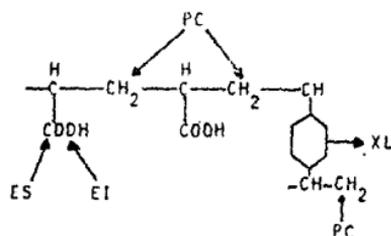
Estos 4 tipos básicos de materiales de intercambio catiónico -- son los de uso más común hoy en día, sus características de operación y propiedades se resumen a continuación:

	TIPO GEL	MACRORETICULAR
Tamaño de partícula (malla)	-16+50	-16+50
Peso de embarque (lb/ft ³)	53	52
Contenido de humedad (%)	45-48	40-46
Rango de pH	0-14	0-14
Temperatura (°F)	280 max.	300 max.
Tolerancia de Tubiedad (UTJ)	5	5
Tolerancia de Cloro (Cl ₂)	1	1
Flujo de retolavado (gal/min/ft ²)	5	6
Período de retolavado (min.)	20	20

	TIPO GEL	MACRORETICULAR
Espacio de enjuague (%)	50	50
CICLO HIDROGENO		
Regenerante y concentracion	H ₂ SO ₄ 2%	H ₂ SO ₄ 2%
Dosis del regenerante (lb/ft ³)	4-10	4-10
Flujo de regenerante (gal/min/ft ³)	0.5	0.5
Volumen de enjuague (gal/ft ³)	20	20-30
Capacidad de operación (kgr/ft ³ como CaCO ₃)	18-25	16-23
Servicio (gal/min/ft ³)	2	2

2.- INTERCAMBIADORES CATIONICOS DEBILMENTE ACIDOS.

Resinas carboxílicas.- Estos polímeros se preparan haciendo reaccionar monómeros metacrilatos o acrílicos con divinilbenceno que actúa como agente reticular, su fórmula química estructural es:



PC= Cadena del polímero
 XL= Reticulo
 ES= Sitio de intercambio
 EI= Ión intercambiable

Estos materiales exhiben gran especificidad sobre iones divalentes, por lo que se utilizan frecuentemente para la eliminación de la dureza total y reducción de la alcalinidad de bicarbonatos, que se encuentran a menudo en suministros de agua subterránea. Los factores que influyen en su capacidad de intercambio son: la cantidad

de acidez mineral total (sulfatos y cloruros) y la dureza y la alcalinidad en el influente, mientras más grandes sean - estos valores, la capacidad de la resina aumenta. Algunas - de las propiedades y características de operación de la resina son:

	TIPO GEL	MACRORETICULAR
Tamaño de partícula (malla)	-16+50	-16+50
Peso de embarque (lb/ft ³)	47	47-50
Contenido de humedad (%)	46-53	52-57
Rango de pH	4-14	5-14
Temperatura (° F)	250 max	250 max.
Capacidad total (meq/ml.)	3.5	4.8-4.9
Hinchamiento (H --- Na%)	65	27-65
(H --- Cs)	25	7-26
Valor de pK	5.3	5-5.5
Tolerancia de turbiedad (UTJ)	5	5
Tolerancia de Hierro (Fe ⁺⁺)	0.5	0.5
Tolerancia de Cloro (Cl ₂)	-	-
Flujo de retrolavado (gal/min/ft ²)	3-5	3-5
Período de retrolavado (min)	20	20
Espacio de enjuague (%)	50-60	40-60
Regenerante y concentración (%)	H ₂ SO ₄ (0.5-1)	H ₂ SO ₄ (0.5-1)
Volumen de enjuague (gal/ft ³)	50	50

RESINAS DE INTERCAMBIO ANIONICAS.

Existen dos grupos principalmente a).- debilmente básicos b).- fuer

-temente básicas y también existe un grupo intermedio que contiene resinas de ambos grupos.

a). Hay cinco tipos principales de intercambiadores aniónicos debilmente básicos: 1.- Poliamina de poliestireno. 2.- Poliamina fenólica. 3.- Poliamina epóxica. 4.- Poliamina acrílica. 5.- Resina macro reticular. amino terciaria.

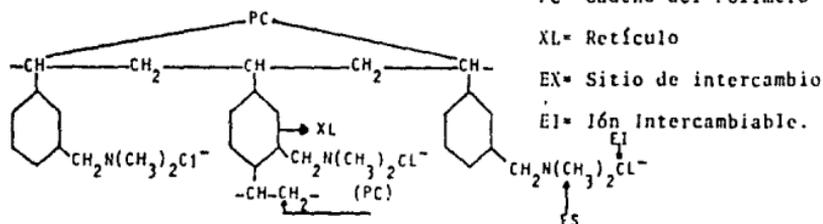
Las tres primeras no se utilizan a menudo actualmente debido a que requieren enjuagues excesivos cuando se utiliza sosa cáustica como regenerante.

4.- Resina Acrílica. Estos intercambiadores se preparan por la polimerización de ácidos acrílicos y metacrílicos en presencia de un grupo amino terciario con puentes de -N-CO-C que proveen los retículos, la estructura resultante es de un carácter más hidrofílico, y esto hace que sean buenos candidatos para aplicaciones donde se requiere la absorción y desorción de cuerpos de agua coloreados por materia orgánica, su principal aplicación se encuentra en la desmineralización de aguas saladas, puesto que en esta operación reduce el costo del regenerante porque puede operar en la forma de bicarbonato e intercambia el bicarbonato por los cloruros presentes en mayor cantidad en el agua salobre, sus propiedades y características de operación son:

Tamaño de partícula (malla)	-16+50
Peso de embarque (lb/ft^3)	45
Contenido de humedad (%)	54-59
Rango de pH	0-14
Temperatura ($^{\circ}\text{F}$)	140 max.

Tolerancia de Turbiedad (UTJ)	5 max.
Tolerancia de Hierro (Fe^{++})	1.0
Tolerancia de Cloro (Cl_2)	0.1 max.
Flujo de retrolavado ($gal/min/ft^2$)	5-7
Período de retrolavado (min.)	15-20
Espacio de enjuague (%)	50-75
Regenerante y concentración (%)	$NH_3; Na_2CO_3; NaOH$ (5)
Dosis de regenerante (lb/ft^3)	4-8
Flujo de regenerante ($gal/min/ft^3$)	0.25
Volumen de enjuague (gal/ft^3)	40-50
Servicio ($gal/min/ft^3$)	2

5.- Resinas Macroreticulares.- Fué desarrollada con el objeto de -- resistir ensuciamiento por moléculas orgánicas y el aumento de requerimientos de lavado que ocurren con el envejecimiento de la misma, -- su fórmula química estructural es la siguiente:



sus propiedades y características de operación son:

Peso de Embarque (lb/ft^3)	38
Rango de pH	0-9.0
Temperatura ($^{\circ}F$)	212 max.
Hinchamiento de la resina (%)	25-35

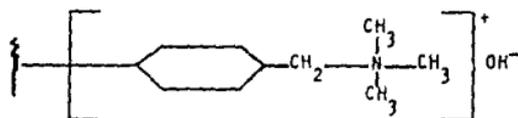
OH --Cl

Flujo de retrolavado (gal/min/ft ²)	2.0-2.5
Regenerante y flujo (gal/min/ft ³)	NaOH(4%); 0.5-1.0
Velocidad de flujo durante el servicio (gal/min/ft ³)	1.0-3.0

b).- Resinas fuertemente básicas.- Existen tres tipos fundamentalmente:

- 1.- Estándar I y II
- 2.- Porosa I y II
- 3.- Macroreticular I y II

1.1 Estándar I su fórmula química estructural es:



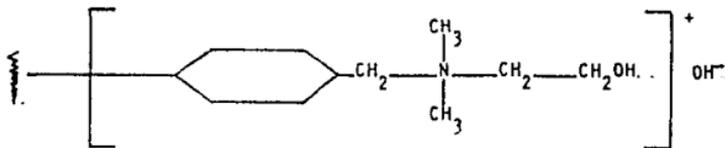
Es la más fuertemente básica y es menos porosa que las demás resinas, por lo que no resiste el ensuciamiento orgánico, pero las perlas poseen buena estabilidad física por lo que pueden soportar las colisiones de una manera satisfactoria, sus propiedades son:

	TIPO I	TIPO II
Tamaño de partícula (malla)	-16+50	-16-50
Peso de embarque (lb/ft ³)	44	44
Contenido de humedad (%)	43-49	38-42
Rango de pH	0-14	0-14

Rango de temperatura ($^{\circ}\text{F}$)	140 como OH 212 como Cl	105 como OH 170 como Cl
Tolerancia de turbiedad (UTJ)	5 max	5 max.
Tolerancia de Fierro (Fe^{++})	0.1 max	0.1 max
Tolerancia de Cloro (Cl_2)	0.1	0.05
Flujo de retrolavado ($\text{gal}/\text{min}/\text{ft}^2$)	1.5-2.5	2.5-4
Período de retrolavado (min)	30	30
Espacio de enjuague (")	50-75	50-75
Regenerante y concentración	NaOH 5%	NaOH 5%
Dosis de regenerante (lb/ft^3)	4-8	4-8
Flujo de regenerante ($\text{gal}/\text{min}/\text{ft}^3$)	0.2-0.5	0.2-0.5
Servicio ($\text{gal}/\text{min}/\text{ft}^3$)	2	2
Capacidad de operación (kgr/ft^3 como CaCO_3)	11-15	20-26
Hinchamiento % Cl ---	19	13

Es importante notar que la resina se hincha cuando está exhausta y se enconge cuando se regenera.

1.2.- Estándar II.- Su fórmula química estructural es:



Estas difieren del tipo I en que un grupo metilo de la amina - cuaternaria se substituye por un grupo étanol por lo que tiene más capacidad de intercambio y es menos básica y menos estable químicamente que la tipo I, sus propiedades y características de operación se enlistaron en la tabla anterior.

Estas resinas se utilizan para desmineralización de aguas que contienen cantidades de sílice menores del 25 al 30% del total de aniones intercambiables, puesto que la fuga de sílice en estas resinas es mayor que en las del tipo I.

2.1. Porosa Tipo I.- Su mayor porosidad las provee de una mejor resistencia a ensuciamiento por materia orgánica, el aumento de porosidad se obtiene por la disminución de la reticulación, esta resina permite una mejor penetración de moléculas orgánicas en el interior de sus partículas, por otra parte su eliminación durante la regeneración es más fácil. La capacidad de intercambio es un poco mayor que las resinas estándar, sus propiedades físicas son:

Peso de embarque (lb/ft ³)	43		
Tamaño de la perla (malla)	-16+50		
Contenido de humedad (%)	55-58		
Hinchamiento % Cl-OH	25		
Temperatura (°F)	hasta 120		
Flujos de retrolavado para lograr de un 50 a 60 % de expansión			
Temperatura del agua (°F)	40	70	100
Flujo (gal/min/ft ²)	1.5-2.0	2-2.5	2.5-3

2.2 Porosa Tipo II.- Esta resina se recomienda para su uso en sustitución de la estándar II, cuando existe la presencia de materia orgánica, estas resinas difieren ligeramente en las propiedades físicas de las tipo I, sus propiedades químicas son semejantes.

3.1 Resina Macroreticular.- Tipo I. Tienen una mayor porosidad, poros más grandes y discontinuos que las resinas isoporosas, se utilizan principalmente cuando se requiere una eliminación casi completa

de sílice, tienen una mayor capacidad de eliminación de moléculas de materia orgánica y por lo tanto una mejor eliminación de estas durante su regeneración, sus propiedades y características de operación son:

Peso de embarque (lb/ft ³)	42
(%) de humedad	60-64
Tamaño de perla (malla)	16-50
Tamaño efectivo (mm.)	9.43-0.52
Flujo de retrolavado para expander el lecho un 50-60%	(3 gal/min/ft ²)
Temperatura (°F)	140 max.
Flujo de servicio (gal/min/ft ³)	1-3
Flujo de regeneración (gal/min/ft ³)	0-5
Flujo de enjuague (gal/min/ft ³)	1.5-2

Su capacidad de intercambio es aproximadamente un 20% menor que las resinas porosas.

3.2 TIPO II.- Las principales diferencias con las del tipo I son:

Tiene una capacidad de intercambio y eficiencia de regeneración mayores, y es más resistente al ensuciamiento por materia orgánica.

CAPITULO IV.

DISENO, CONSTRUCCION Y/O SELECCION DEL EQUIPO

BASES DE DISEÑO

I.- DATOS GENERALES

A. LOCALIZACION DEL EQUIPO

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1.- Ciudad | México D.F. |
| 2.- Lugar | Laboratorio de Ingeniería
Química de la Universidad
La Salle |
| 3.- Altura sobre el nivel
del mar | 2240.0 mts. |

B. DATOS METEOROLOGICOS

- | | |
|-------------------------|-----------|
| 1.- Presión Barométrica | 585 mm Hg |
|-------------------------|-----------|

II. PROCESO

A.- CAPACIDAD

1.- Producto

Agua desionizada con las
siguientes especificaciones:

Temperatura (°C.)	19.0
Conductividad eléctrica (umhos.cm ⁻¹)	3.5
pH (unidades de pH)	6.2

ANALISIS DE CATIONES Y ANIONES

(mgs/lt CaCO₃)

HCO ₃ ⁻	4.0	Ca ⁺²	0.0
Cl ⁻	8.5	Mg ⁺²	0.0
NO ₃ ⁻	0.0	Na ⁺¹	12.5
SO ₄ ⁻	0.0		
SiO ₂	4.9		
Co ₂	5.7		

2.- Producción

Nominal 45.4 lts/hr.

3.- Materia Prima

Agua cruda con las siguientes características:

Temperatura (°C)	17.0
Conductividad eléctrica (umhos. cms^{-1})	350.0
pH (unidades de pH)	7.35

ANALISIS DE CATIONES Y ANIONES

(mgs/1t CaCO_3)

HCO_3^-	138.0	Ca^{+2}	61.0
Cl^-	22.6	Mg^{+2}	66.0
NO_3^-	3.5	Na^{+1}	55.5
SO_4^{--}	18.4		
SiO ₂	53.1		
CO ₂	13.6		

4.- Presión requerida del

Agua desionizada

Atmosférica

B. HORAS DE OPERACION

156 hrs/año.

C.- CARACTERISTICAS DE LOS SERVICIOS.

1.- Agua de proceso

Calidad	Agua potable
Procedencia	De la red municipal
Temperatura	17.0 °C.

2.- Acido clorhídico

Forma de suministro	30% uso industrial
Estado	Líquido
Temperatura	Ambiente
Dosificación	10% (v/v)

3.- Hidróxido de Sodio

Forma de suministro	Escamas
Calidad	Químicamente puro
Estado	Sólido
Temperatura	Ambiente
Dosificación	4.0 % (p)

HOJA DE DATOS PARA UN DESMINERALIZADOR

Cliente: UNIVERSIDAD LA SALLE

Cantidad: 1

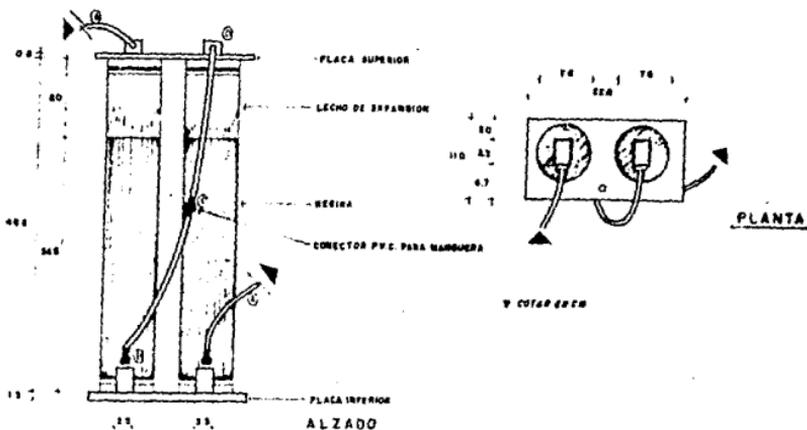
Lugar: MEXICO D.P.

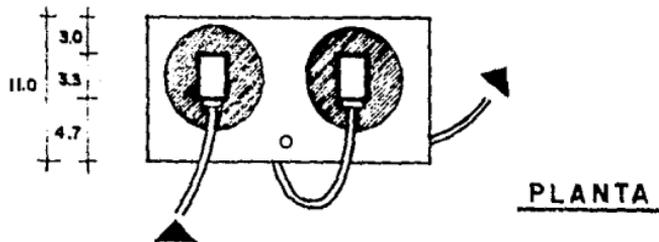
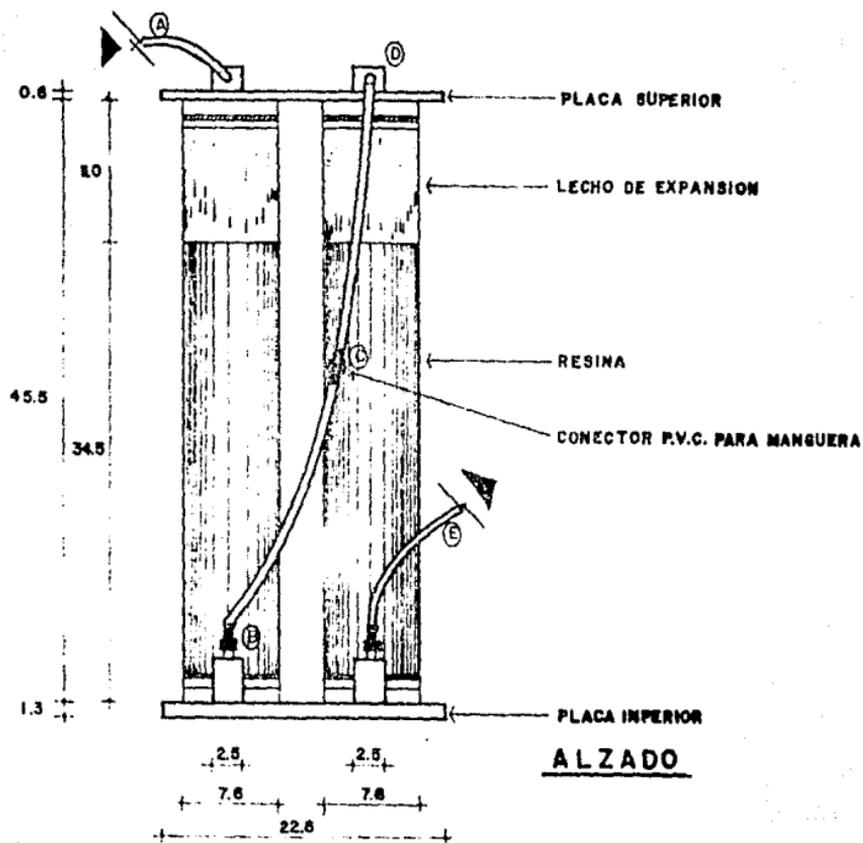
Unidad: DESMINERALIZACION

Fabricante: AGUA-MEX, S.A.

DATOS DE PROCESO		RESINAS : DATOS GENERALES	
capacidad(lts)nom: 230	operación: 140	columna:	catiónica aniónica
producto: agua desionizada		resina:	f.ácida f. básica
densidad:(grs/cm ³) 1.0		materiales:	estireno- estireno-
presión op.(kg/cm ²): 0.795			D.V.B. D.V.B.
temperatura op.(°C.): ambiente		diámetro de esferas :	
CONSTRUCCION		(mm)	0.3 a 1.0 0.3 a 1.0
fabricación: cementada		humedad (%):	45 a 55 45 a 52
tanques de las unidades:		ciclo de op.	H ⁺ OH ⁻
diám.ext.(cms):	catiónica aniónica	temperatura máxima de operación:	
	7.6 7.6	(°C.)	140 60
altura(cms):	45.7 45.7	altura mínima de la cama de resina:	
espesor(mm):	3.0 3.0	(cms)	60 76
tapas superior inferior		espacio libre de diseño:	
tipo: planas planas		(%)	75 100
espesor(mm): 0.6 1.3		flujo máximo de operación:	
MATERIALES		(lt/min/lt)	0.8 0.675
cuero: acrílico		OBSERVACIONES:	
tapas: acrílico			
partes internas:acrílico,polipropileno			
tubería exterior: tygon			

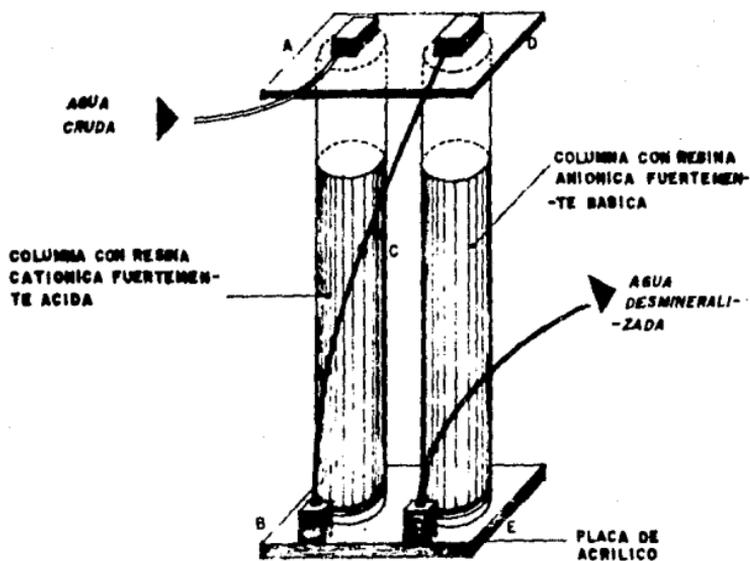
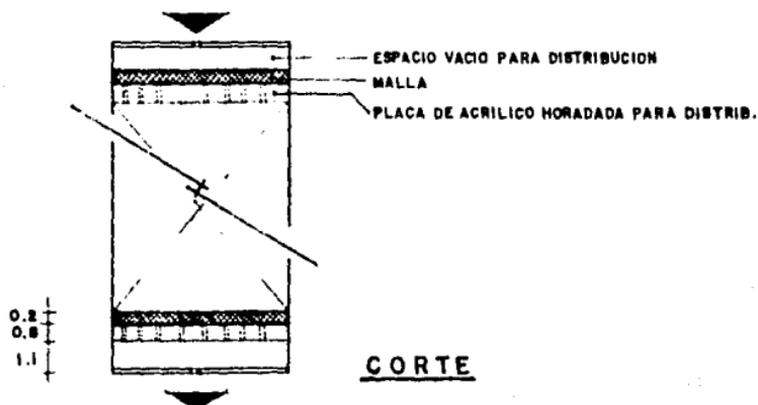
croquis





* COTAS EN CM.

COLUMNAS DE
INTERCAMBIO
IONICO



* COTAS EN CM.

c) COSTOS.

Realizaré dos tipos de análisis económico comparativo entre el costo del agua destilada vendida por electropura y el costo del agua desionizada producida por las columnas de intercambio iónico.

El primer análisis se realizará para el agua que produce el equipo con un pH alcalino y que como lo demuestran los análisis presentados en la tabla (6-6) está libre de CO₂ y con un bajo contenido de sílice, OH, CO₃, Cl.

En tanto que el segundo análisis económico comprenderá la cantidad de agua producida con un pH ácido, que aunque como los análisis de esta agua lo demuestran, presenta menor conductividad, tiene gran fuga de sílice, pero sin embargo puede ser utilizada para distintos usos en el laboratorio en donde, la concentración presente de SiO₂ no sea importante y pueda interferir en los resultados satisfactorios de la misma.

COSTO DE LA INVERSION.

DESMINERALIZADOR	\$43,470.00
MEDIDOR DE FLUJO	5,387.00
1 LLAVE DE AGUA PARA LABORATORIO	1,800.00
RECIPIENTES DE POLIETILENO (4 y 2 litros de capacidad.)	600.00
INVERSION TOTAL FIJA	51,257.00

COSTO DE AGENTES QUIMICOS.

HCl al 30%	100.00 \$/lt.
NaOH escamas (Q.P.)	275.00 \$/kg.
Agua destilada	10.00 \$/lt.
Agua potable	23.00 \$/m ³ .
Sueldo Míximo	1060.00 \$/día

FUENTES DE INFORMACION.

Desmineralizador	Aqua-Mex, S.A.
Medidor de Flujo	Medidores Azteca, S.A.
Llave para laboratorio	Depósitos Unidos, S.A.

(Octubre 1984)

Agua destilada	Electropura
HCl al 30%	Industrias Luvian
NaOH escamas (Q.P.)	J.T. Baker Chemical Co.
Agua potable	Depto. de Aguas y Saneamiento
Sueldo Míximo	Secretaría de Programación y Presupuesto.

(FEBRERO 1985)

ANALISIS No.- 1

COSTOS DE OPERACION

HCl al 30%	330 mls.	\$ 33.00
NaOH	136 grs.	\$ 37.40

Agua potable	170 lts.	\$	3.90
Mano de obra	5 hrs.	\$	662.50
Costo total de operación		\$	736.80
litros de agua producida por el equipo (datos experimentales).		140.00	lts/ciclo.
Costo de agua producida		5.26	\$/lt.
Costo de agua destilada por proveedor		10.00	\$/lt.
Ahorro		4.74	\$/lt

Cantidad de litros que se tienen que producir para recuperar la inversión del equipo.

Inversión fija		\$ 51,257.00
Ahorro por litro producido		4.74 \$/lt.
litros totales	$\frac{\$51,257.00}{\$/lt \ 140}$	10813 lts.
litros producidos por ciclo de regeneración		= 140 lts.
Número de regeneraciones	$\frac{10813 \text{ lts}}{140 \text{ lts/ciclo}}$	= 77 regeneraciones

20.- Análisis.

De datos experimentales tenemos que la cantidad total de agua producida será de: $140 + 180 = 320$ litros.

HCl al 30 %	330 mls.	\$	33.00
NaOH	136 grs	\$	37.40
Agua potable	350 lts	\$	8.05
Mano de Obra	9 hrs	\$	1192.50

Costo total de operación \$/ciclo 1270.95

Costo de agua Producida = $\frac{1270.95 \text{ \$/ciclo}}{320 \text{ lts/ciclo}}$ \$/litro 4.00

Ahorro (10.00 - 4.00) \\$/15 = 6.00 \\$/lt.

Litros que se deberán producir para recuperar la inversión del equipo.

$\frac{\$ 51257.00}{6.00 \text{ \$/lt}} = 8542 \text{ litros}$

Número de ciclos de regeneración = $\frac{8542 \text{ litros}}{320 \text{ lts/ciclo}} = 27$

Debido a que lo más caro de la operación es la mano de obra, -
es económicamente conveniente para éste equipo, producir en cada
ciclo de regeneración los dos tipos de agua.

CAPITULO V

EXPERIMENTACION .

a). PRUEBAS Y ENSAYOS

Antes de empezar a experimentar en el equipo tuve que realizar varios análisis fisicoquímicos del agua de entrada (cruda), para conocer su composición y lo más importante saber si la concentración de los iones presentes en ella eran o no constantes.

(mgs/lit)	TABLA 6-1		
No. MUESTRA	1	2	5
PARAMETROS			
Temperatura (°C.)	17.0	17.0	17.0
pH (unidades de pH)	7.55	7.35	7.4
Cond. eléctrica (umhos.cm ⁻¹)	340.0	350.0	350.0
Alc. Total (CaCO ₃)	136.0	138.0	138.0
Cloruros (Cl ⁻)	15.0	16.0	17.0
Sulfatos (SO ₄ ⁼)	17.5	17.6	19.6
Nitratos (NO ₃ ⁻)	3.9	4.4	4.01
Sílice (SiO ₂)	56.0	64.0	55.0
D. Total (CaCO ₃)	129.0	127.0	133.0
Calcio (CaCO ₃)	55.0	61.0	61.0
Magnesio (CaCO ₃)	74.0	66.0	72.0
Sólidos totales	269.0	283.0	272.0
S. Disueltos totales	264.0	278.0	261.0
S. Suspendidos totales	5.0	5.0	11.0
(S.D.F./Cond. eléct.)	0.776	0.794	0.777

Los resultados anteriores ponen de manifiesto que el agua cruda tiene una composición poco variable.

- La primer corrida que realicé, siguiendo las instrucciones re-
comendadas por el fabricante, fué para saber que cantidad de --
agua debí pasar a las columnas de intercambio iónico para elimi-
nar la reacción a la fenolftaleína. El equipo lo operé sin llenar
de agua el lecho de expansión en ambas columnas, y obtuve los - -
siguientes resultados, determinando en este caso conductividad y-
alcalinidad a la fenolftaleína.

Las mediciones la realicé cada 15 minutos el flujo de operación
fué de 45.4 lts/hr.

TABLA 6 - 2

Tiempo (minutos)	Conductividad 25° C (umhos / cms.)
15	73
30	72
45	73
60	75
75	76
90	76
105	76
120	80
135	80
150	74
165	66
180	48
195	38
210	38
225	37

-- La alcalinidad a la fenolftaleína desapareció cuando habían pasa-
do 135 lts. de agua.

Suponiendo saber ya, la cantidad de agua necesaria para eliminar el exceso de alcalinidad a la fenolftalefna, realicé una corrida completa hasta agotar la resina de terminando a cada muestra todos los análisis teniendo entre ellas una muestra alcalina, el equipo lo operé nuevamente sin llenar de agua las columnas hasta los distribuidores, los resultados a un flujo de 45.4 lts/hr. son los siguientes: Las muestras fueron tomadas por cada hora de operación del equipo.

(mgs/lit)		TABLA 6-3												
PARAMETROS.	No. MUESTRA (hrs.)	ENT	ALC.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
pH (unidades de pH)		7.55	10.0	6.3	5.8	5.9	5.85	5.8	5.8	5.6	5.2	4.5	5.5	5.0
Cond. eléct. (umhos. -- cms ⁻¹)		340.0	75.0	39.0	32.0	30.0	30.0	33.0	33.0	33.0	33.0	59.0	135.0	390.0
Alc. Total (CaCO ₃)		136.0	26.0	12.0	9.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.0	7.0	0.0	8.0	10.0
Alc. fenolft. (CaCO ₃)		0.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cloruros (Cl ⁻)		23.0	5.0	10.0	6.0	8.0	9.0	9.0	11.0	12.0	9.0	16.0	39.0	113.0
Sulfatos (SO ₄ ^m)		17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9
Nitratos (NO ₃ ⁻)		3.85	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sílice (SiO ₂)		76.7	6.7	67.0	12.0	93.4	97.2	91.4	87.3	86.5	85.0	72.8	88.0	74.5
D. Total (CaCO ₃)		129.0	19.0	15.0	5.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
Calcio (CaCO ₃)		55.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Magnesio (CaCO ₃)		74.0	19.0	15.0	5.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0

Los resultados fueron poco satisfactorios, debido principalmente a una mala operación del equipo, porque se formaban canales en las camas de resina, el ciclo de operación tardaba más de lo especificado por el fabricante, había fuga de sílice, cloruro y de iones magnesio, la alcalinidad a la fenolftalefna esta vez terminó cuando habían pasado 72 litros de agua cruda a través de las columnas.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA FACULTAD

b). CORRIDAS.

Para corregir la mala operación del equipo, comencé por llenar de agua completamente las columnas hasta los distribuidores, evitando con ello las canalizaciones que se formaban en la resina y hacer la distribución del agua homogénea a través del lecho, operándola a un flujo de 45.4 lts/hr, y tomando muestras cada hora y entre ellas una muestra alcalina, tomada cuando habían pasado 116 litros desde el comienzo del ciclo de operación, obteniendo los siguientes resultados:

(mgs/lt)	TABLA 6-4						
No. MUESTRA (hrs.)	ENT.	ALC.	1	2	3	4	5
PARAMETROS							
pH (unidades de pH)	7.5	9.7	5.2.	5.55	5.3	5.4	6.9
cond.eléct. ($\mu\text{mhos.cm}^{-1}$)	350.0	26.0	20.0	18.0	18.0	24.0	85.0
Alc. Total (CaCO ₃)	136.0	11.0	7.0	10.0	7.0	9.0	32.0
Alc. Fenolf. (CaCO ₃)	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cloruros (Cl ⁻)	13.0	4.0	5.0	5.0	5.0	7.0	12.0
Sulfatos (SO ₄ ⁼⁼)	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nitratos (NO ₃ ⁻)	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sílice (SiO ₂)	74.1	4.9	111.4	81.7	84.6	82.3	79.5
D. Total (CaCO ₃)	133.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Calcio (CaCO ₃)	59.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Magnesio (CaCO ₃)	74.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

En esta corrida la alcalinidad a la fenolftaleína, terminó cuando habían pasado por las columnas 157 litros de agua cruda.

Se realizaron 2 corridas más después de la presentada en la tabla 6-4, para verificar la reproducibilidad de los resultados en ella presentados, por lo que nada más se midió la conductividad eléctrica, en las muestras tomadas a cada hora de operación en el equipo, -- a excepción de la muestra del agua de entrada (cruda).

		TABLA 6-5		
		(umhos. cm ⁻¹)		
No. Muestra	No. Corrida	1	2	3
	(hrs.)			
ENTRADA		350.00	345.0	340.0
1		20	22.0	23.0
2		18.0	22.0	22.0
3		18.0	23.0	22.0
4		24.0	24.0	24.0
5		85.0	52.0	42.0

- En la corrida número dos la alcalinidad a la fenolftaleína desapareció cuando habían pasado por la columna aniónica 152 -- litros de agua descationizada, y en la corrida número tres éste fenómeno ocurrió cuando habían pasado 165 litros de agua descationizada por la columna antes mencionada.

La conductividad del agua era buena, la reproducibilidad de -- los resultados también, pero aún había algo que no estaba correcto porque la fuga de sílice era demasiado alta.

Esto significaba que mi resina aniónica fuertemente básica no estaba actuando como tal por lo que basándome en las especificaciones del agua de alimentación para calderas, presentada en el -- primer capítulo, observé que el pH del agua era alcalino, y analizando los resultados de mis análisis de muestras alcalinas tomadas por curiosidad verifiqué que la fuga de sílice era mucho menor.

Por consiguiente hice caso omiso de eliminar la alcalinidad a -- la fenolftaleína y realicé un cálculo teórico presentado en el capítulo siguiente para saber cual era la cantidad de agua necesaria para eliminar el exceso de NaOH en la resina aniónica, y efectué la corrida en el equipo evaluando aquella parte en que el pH del -- agua era alcalino obteniendo a un flujo de 45.4 lts/hr los siguientes resultados:

(mgs/lt)	TABLA 6-6						
No. MUESTRA	ENT.	1	2	3	4	5	6
PARAMETROS							
Temperatura (°C.)	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
Cond.eléct. (umbos.cm ⁻¹)	340.0	54.0	52.0	50.0	50.0	40.0	25.0
pH (unidades de pH)	7.4	10.9	10.8	10.8	10.8	10.7	6.3
Alc. Total (CaCO ₃)	155.0	16.0	14.0	14.0	14.0	13.0	10.0
Alc. Fenolft. (CaCO ₃)	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0	8.0	0.0
Cloruros (Cl ⁻)	16.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0
OH ⁻ (CaCO ₃)	0.0	6.0	6.0	6.0	6.0	3.0	0.0
CO ₃ ²⁻ (CaCO ₃)	0.0	10.0	8.0	8.0	8.0	10.0	0.0
HCO ₃ ⁻ (CaCO ₃)	155.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nitratos (NO ₃ ⁻)	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sílice (SiO ₂)	58.0	2.27	2.09	2.21	2.21	5.65	66.78
D. Total (CaCO ₃)	125.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Calcio (CaCO ₃)	58.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Magnesio (CaCO ₃)	65.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO ₂ Libre (CO ₂)	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2

La primer muestra fué tomada 40 litros después de haber iniciado la corrida, pero las muestras subsecuentes se tomaron con un intervalo entre ellas de 30 litros, para tener una evaluación más confiable de lo que sucedía durante éste período de operación en el equipo.

Para verificar la veracidad de los resultados anteriores realicé dos corridas más, midiendo en cada una de las muestras tomadas, la conductividad eléctrica, al igual que en los datos obtenidos en la tabla 6-6, las muestras se tomaron: La primera 40 litros después de haber iniciado el ciclo de operación, y las cinco lecturas subsiguientes se midieron a intervalos de 30 litros.

		TABLA 6-7 (umhos. cm^{-1})		
No. Corrida		1	2	3
No. Muestra (lts.)	No. Corrida			
ENTRADA		340.0	350.0	360.0
1		54.0	52.0	55.0
2		52.0	50.0	52.0
3		50.0	48.0	52.0
4		50.0	44.0	48.0
5		40.0	35.0	25.0
6		25.0	23.0	25.0

Los resultados presentados en la tabla 6-6 son los correctos y por lo tanto fueron los que utilicé para hacer la evaluación experimental de la eficiencia y capacidad de la resina fuertemente básica RIA-55 como se expone en el capítulo siguiente.

CAPITULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

INTRODUCCION.

Los objetivos de éste capítulo son tres principalmente:

- 1.- Hacer un balance iónico del agua de entrada y del agua desmineralizada con los datos de la table 6-6.
- 2.- Evaluar la eficiencia con la que opera la resina aniónica - - fuertemente básica.
- 3.- Calcular experimentalmente la capacidad de la resina RIA- 55

La consumación de los objetivos señalados se efectuará mediante el desarrollo siguiente:

- a).- BALANCE IONICO.- Para efectuar el balance iónico es necesario calcular la concentración de cationes y aniones en el agua de entrada y desmineralizada en me ... Para obtener:
 - 1.- La cantidad de Sodio.
 - 2.- Expresar hipoteticamente con la ayuda de esquemas la concentración y tipo de sales presentes.
- b).- Cálculo de la capacidad teórica de la resina catiónica fuertemente ácida RIC - 16.
- c).- Cálculo de la capacidad teórica de la RIA -55.
- d).- Cálculo experimental de la capacidad y eficiencia de la resina aniónica fuertemente básica RIA - 55

BALANCE IONICO

a)

Cálculo de los miliequivalentes / litro.

MUESTRA DE AGUA CRUDA.

$$\text{HCO}_3^- = \frac{135 \text{ mg CaCO}_3/\text{lt}}{50 \text{ mg/meq}} = 2.7 \text{ meq/lt}$$

$$\text{Cl}^- = \frac{16 \text{ mg/lt Cl}}{35.45 \text{ mg/meq}} = 4.5 \text{ "}$$

$$\text{SO}_4^{=} = \frac{17 \text{ mg/lt SO}_4}{48 \text{ mg/meq}} = 0.35 \text{ "}$$

$$\text{NO}_3^- = \frac{4 \text{ mg/lt NO}_3}{62 \text{ mg/meq}} = 0.06 \text{ "}$$

$$\text{TOTAL DE ANIONES} = 3.56 \text{ meq/lt}$$

$$\text{Ca}^{++} = \frac{58 \text{ mg/lt CaCO}_3}{50 \text{ mg/meq}} = 1.16 \text{ "}$$

$$\text{Mg}^{++} = \frac{65 \text{ mg/lt CaCO}_3}{50 \text{ mg/meq}} = 1.30 \text{ "}$$

$$\text{CANTIDAD DE SODIO} = 3.56 - 2.46 = 1.1 \text{ meq/lt}$$

MUESTRA 1

$$\text{Cl}^- = \frac{5 \text{ mg/lt Cl}}{35.45 \text{ mg/meq}} = 0.141 \text{ "}$$

MUESTRA 1

$$\text{OH}^- = \frac{6 \text{ mg/lt}}{50 \text{ mg/meq}} = 0.12 \text{ meq/lt}$$

$$\text{CO}_3^{=} = \frac{10 \text{ mg/lt}}{50 \text{ mg/meq}} = 0.20 \text{ "}$$

$$\text{Na}^+ = \text{Suma de Aniones Totales} = 0.461 \text{ "}$$

Debido a que los análisis de las muestras 2,3 y 4 son similares - los presentaré como uno solo:

$$\text{Cl}^- = \frac{5 \text{ mg/lt}}{35.45 \text{ mg/meq}} = 0.141 \text{ meq/lt}$$

$$\text{OH}^- = \frac{5 \text{ mg/lt}}{50 \text{ mg/meq}} = 0.1 \text{ "}$$

$$\text{CO}_3^{=} = \frac{8 \text{ mg/lt}}{50 \text{ mg/meq}} = 0.16 \text{ "}$$

$$\text{Na}^+ = 0.421 \text{ "}$$

MUESTRA 5

$$\text{Cl}^- = \frac{5 \text{ mg/lt}}{35.45 \text{ mg/meq}} = 0.141 \text{ "}$$

$$\text{OH}^- = \frac{3 \text{ mg/lt}}{50 \text{ mg/meq}} = 0.06 \text{ meq/lt}$$

$$\text{CO}_3^{=} = \frac{10 \text{ mg/lt}}{50 \text{ mg/meq}} = 0.20 \text{ "}$$

$$\text{Na}^+ = 0.401 \text{ "}$$

MUESTRA 6

Cl^-	=	----- 6 mg/lt 35.45 mg/meq	=	0.17	meq/lt
HCO_3^-	=	----- 10 mg/lt 50 meq/lt	=	0.20	"
Na^+	=		=	0.37	"

2.-

ESQUEMATIZACION

MUESTRA DEL AGUA CRUDA

Tipo de sales presentes
y Concentración.

1		2		3 meq/lt		
HCO_3^-				Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-
Ca^{++}	Mg^{++}	Na				

$$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 1.6 \text{ meq/lt}$$

$$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 = 1.30 \text{ "}$$

$$\text{NaHCO}_3 = 0.24 \text{ "}$$

$$\text{NaCl} = 0.45 \text{ "}$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = 0.35 \text{ "}$$

$$\text{NaNO}_3 = 0.062 \text{ "}$$

MUESTRA 1

0.1		0.2		0.3		0.4 meq/lt	
OH^-	CO_3^{2-}	Cl^-					
Na^+							

$$\text{NaOH} = 0.12 \text{ meq/lt}$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.2 \text{ "}$$

$$\text{NaCl} = 0.141 \text{ "}$$

MUESTRAS 2 3 Y 4

tipo de sales presentes
y concentración.

0.1 0.2 0.3 0.4 meq/lt

OH ⁻	CO ₃ ⁼	Cl ⁻
Na ⁺		

NaOH	=0.12	meq/lt
Na ₂ CO ₃	=0.16	"
NaCl	=0.141	"

MUESTRA 5

0.1 0.2 0.3 0.4 meq/lt

OH ⁻	CO ₃ ⁼	Cl ⁻
Na ⁺		

NaOH	=0.06	meq/lt
Na ₂ CO ₃	=0.20	"
NaCl	=0.141	"

MUESTRA 6

0.1 0.2 0.3 meq/lt

HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
Na ⁺	

NaHCO ₃	=0.2	meq/lt
NaCl	=0.17	"

b). Debido a que la resina aniónica fuertemente básica es de menor capacidad, que la resina catiónica fuertemente ácida, los cálculos estarán enfocados a la resina RIA - 55, sin embargo a continuación se calculará la capacidad teórica de la resina catiónica RIC - 16.

1.- Cálculo de sólidos totales en ppm de CaCO_3 .

Del balance iónico del inciso anterior tenemos:

$$\begin{aligned} 3.56 \text{ meq/lt} \times 50 \text{ mg/meq} &= 178 \text{ ppm } \text{CaCO}_3 \\ \text{SiO}_2 = 58 \text{ mg/lt } \text{SiO}_2 \times 0.83 &= 48 \quad " \\ \text{TOTAL} &= 226 \quad " \end{aligned}$$

2.- Cálculo de los Kgs de HCl al 30 %

321 mls de ácido muriático son los que utilizan para regenerar la columna catiónica.

$$\text{Densidad del HCl} = 1.19 \text{ gr/cm}^3$$

$$321 \text{ ml} \times 1.19 \text{ gr/cm}^3 = 328 \text{ grs.} = 0.382 \text{ Kgrs HCl } 30\%$$

Mediante la gráfica "Capacidad de la resina RIC 16 en Ciclo Acido". Obtenemos una capacidad teórica de:

$$58,6 \text{ Kgr } \text{CaCO}_3/\text{M}^3 \text{ RIC } 16$$

Capacidad suficiente para descationizar toda el agua que se utilizará en la operación de la columna aniónica.

c).- CALCULO DE LA CAPACIDAD TEORICA DE LA RIA - 55

Análisis del agua de entrada en ppm de CaCO_3

Ca^{++}	58 ppm	CaCO_3	$\text{HCO}_3^- = 135$	$= 135$	ppm CaCO_3
Mg^{++}	65	"	$\text{Cl}^- = 16 \times 1.41$	$= 22.6$	"
Na^+	55.5	"	$\text{SO}_4^{--} = 17 \times 1.04$	$= 17.7$	"
			$\text{NO}_3^- = 4 \times 0.806$	$= 3.2$	"

pH = 7.4

 $\text{SiO}_2 = 58 \text{ ppm SiO}_2 \times 0.83 = 48 \text{ ppm CaCO}_3$ $\text{CO}_2 \text{ libre} = 10.6 \text{ ppm CO}_2 \times 1.13 = 12.0 \text{ ppm CaCO}_3$ Aniones Totales = $178.5 + 48 + 12 = 238.5$

$$\frac{\text{SiO}_2}{\text{A.T.}} = \frac{48}{238.5} = 0.201$$

Nivel de Regeneración. (136 grs NaOH es lo que utilizó para regenerar la columna aniónica).

$$\frac{136 \text{ grs NaOH}}{1.5 \text{ lts RIA-55}} = \frac{90.7 \text{ grs NaOH}}{\text{M3 RIA-55}}$$

1.5 lts RIA-55 M3 RIA-55

Temperatura de Regeneración = 24 °C

De fig. 55-4 la fuga de sílice = 0.115 ppm SiO_2 Nuevamente con el nivel de regeneración y la relación $\text{SiO}_2/\text{A.T.}$

y con la fig 55-1 obtenemos una capacidad de :

34.2 kgr $\text{CaCO}_3/\text{M3}$

- Factor de Corrección por Cloruros y Nitratos.

$$\frac{1}{A.T.} \left(\overline{Cl} + \overline{NO_3} \right) = \frac{(22.6 + 3.2) \times 100}{238.5} = 10.8\%$$

De fig. 55-2 el factor de corrección = 0.985

Factor de corrección por % CO₂

$$\frac{1}{238.5} \text{ CO}_2 = \frac{(135 + 12) \times 100}{238.5} = 61.6\%$$

De figura 55-3 el factor de corrección = 1.16

CAPACIDAD CORREGIDA = 34.2 x 0.985 x 1.16 = 39 Kgr CaCO₃/M³ RIA 55

d). CALCULO EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD Y EFICIENCIA DE LA RESINA ANIONICA FUERTEMENTE BASICA RIA 55

- Cálculo Teórico de la cantidad de agua necesaria para el enjuague lento y enjuague rápido de la resina aniónica.

La cantidad de agua necesaria para el enjuague lento será igual a la suma de (1+ 2)*

Volumen de resina = 0.05 ft³ = 1.5 lts.

Relación de flujo = 0.1 lts/min.

1.- Espacios vacios en la resina = 40% del volumen de resina.

$$0.05 \text{ ft}^3 \times 0.4 = 0.02 \text{ ft}^3$$

2.- Espacio vacio del distribuidor a la parte superior del lecho de resina.

$$\text{Radio} = 0.114 \text{ ft}$$

$$\text{Area} = 2 \times 3.1416 \times r^2$$

$$\text{Altura} = 0.416 \text{ ft}$$

$$\text{Volumen} = 0.416 \times 0.082 = 0.034 \text{ ft}^3$$

Volumen de agua necesario = (0.02 + 0.034) ft^3 = 0.054 ft^3 = --
1.5 litros.

Tiempo de enjuague lento = $\frac{1.5 \text{ lts}}{0.1 \text{ lts/min}}$ = 15 minutos

- Cálculo del volumen total de agua para enjuague rápido*

El volumen total usualmente está entre 100 - 130 gal/ft^3

Relación de flujo = 0.1 lts/min.

Tomando como volumen total 100 gal/ft^3 tenemos un total de agua necesaria para enjuague igual a:

$$100 \text{ gal/ft}^3 \times 0.05 \text{ ft}^3 = 5 \text{ gal} = 18.9 \text{ litros.}$$

Volumen total de agua para enjuague lento y rápido = 20.4 litros.

CALCULOS DE CAPACIDAD Y EFICIENCIA.

Las operaciones siguientes se basan en el cálculo diferencial de los miligramos de CaCO_3 eliminados por la columna aniónica, - en cada una de las muestras de agua desmineralizada que se tomaron, con respecto al análisis de agua cruda y definir simultánea-

-mente su eficiencia de operación.

Es importante aclarar que la muestra No. 1 se tomó cuando habían pasado por el equipo 40 litros de agua incluyendo el agua necesaria para enjuague, por lo tanto la cantidad efectiva de agua desmineralizada en este intervalo fué de 20 litros.

Flujo de operación = 0.75 lts/min.

Intervalo Número 1

ANÁLISIS DE AGUA DE ENTRADA

ANÁLISIS DE AGUA DESMINERALIZADA

(mg/lit de CaCO_3)

HCO_3^-	135	HCO_3^-	0.0
Cl^-	22.6	Cl^-	7.0
SO_4^{2-}	17.7	SO_4^{2-}	0.0
NO_3^-	5.2	NO_3^-	0.0
SiO ₂	48.0	SiO ₂	1.88
CO ₂	12.0	CO ₂	0.0
	238.5	OH ⁻	6.0
		CO_3^{2-}	10.0
			24.88

$$\text{Eficiencia} = n = \frac{(238.5 - 24.88) \times 100}{238.5} = 89.5\%$$

$$\text{Miligramos eliminados} = 238.5 - 24.88 = 213 \text{ mg/lit } \text{CaCO}_3 \times 20 \text{ lts} = 4272 \text{ mgs } \text{CaCO}_3$$

Intervalo Número 2

ANÁLISIS MUESTRA NUM. 2 (mg CaCO_3 /lit)

HCO_3^-	0.0	
Cl^-	7.0	
SO_4^{2-}	0.0	
NO_3^-	0.0	$n = \frac{(238.5 - 22.73) \times 100}{238.5} = 90.42\%$
SiO ₂	1.73	
CO ₂	0.0	
OH ⁻	0.0	Miligramos eliminados = $(238.5 - 22.73) \times 30 = 6473 \text{ mgs } \text{CaCO}_3$
CO_3^{2-}	8.0	
	22.73	

ANALISIS DE LA MUESTRA (mg/lt CaCO₃)

HCO ₃ ⁻	0.0	
Cl ⁻	7.0	
		$n = \frac{(238.5 - 22.83) \times 100}{238.5} = 90.42\%$
SO ₄ ²⁻	0.0	
NO ₃ ⁻	0.0	
SiO ₂	1.83	mgs eliminados = (238.5 - 22.83) x 30 = 6470 mgs CaCO ₃
CO ₂	0.0	
OH ⁻	6.0	
CO ₃ ²⁻	14.0	
	22.83	

Intervalo Número 4

El análisis de la muestra 4 es similar al de la muestra número 3 por lo tanto:

$$n = 90.42\%$$

$$\text{mgs eliminados} = 6470 \text{ mgs CaCO}_3$$

Intervalo Número 5

ANALISIS DE LA MUESTRA (mg/lt CaCO₃)

HCO ₃ ⁻	0.0	
Cl ⁻	7.0	
		$n = \frac{(238.5 - 24.7) \times 100}{238.5} = 89.64\%$
SO ₄ ²⁻	0.0	
NO ₃ ⁻	0.0	mgs eliminados = (238.5 - 24.7) x 30 = 6414 mgs CaCO ₃
SiO ₂	4.7	
CO ₂	0.0	
OH ⁻	3.0	
CO ₃ ²⁻	10.0	
	24.7	

Intervalo Número 6

ANALISIS DE LA MUESTRA (mg/lt CaCO₃)

HCO ₃ ⁻	10.0	
Cl ⁻	8.46	$n = \frac{(238.5 - 86.51)}{238.5} \times 100 = 63.7 \%$
SO ₄ ⁼	0.0	
NO ₃ ⁻	0.0	
SiO ₂	55.4	} RIA 55 AGOTADA
CO ₂	$\frac{12.65}{86.51}$	

CAPACIDAD REAL DE RIA 55

Intervalos	mg CaCO ₃ eliminados
1	4272
2	6473
3	6470
4	6470
5	6414
TOTAL	30099 Miligramos de CaCO ₃

$$\text{CAPACIDAD REAL} = \frac{30099 \text{ mg CaCO}_3}{1.5 \text{ lts RIA 55}} = 20066 \text{ mg/lt} = \frac{20 \text{ Kgrs CaCO}_3}{\text{M}^3 \text{ RIA 55}}$$

EFICIENCIA PROMEDIO = 90%

$$\text{CAPACIDAD NETA DE LA RESINA} = \frac{20 \text{ kg/M}^3}{0.9} = 22.22 \text{ Kgrs CaCO}_3/\text{M}^3 \text{ RIA 55}$$

CAPITULO VII

DISEÑO DE LA PRACTICA

OBJETIVOS.

- 1.- Que el alumno observe y asimile los diferentes pasos que interviene en la operación y buen funcionamiento de un desmineralizador, conformado por resina catiónica fuertemente ácida y resina aniónica fuertemente básica en camas separadas.
- 2.- EL ALUMNO. Utilizando equipo y material de laboratorio identificará mediante análisis fisicoquímicos los principales cationes y aniones presentes en el agua cruda y agua desmineralizada.
- 3.- EL ALUMNO. Determinará la capacidad, eficiencia y costos de operación del desionizador.

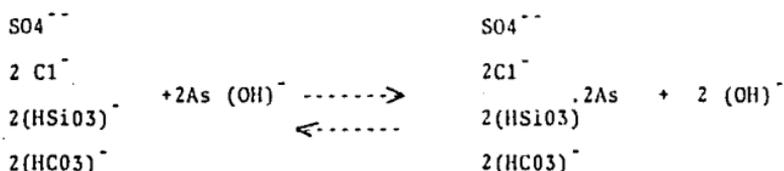
INTRODUCCION.

El proceso de desmineralización del agua por intercambio iónico radica en la conversión de las sales, a sus ácidos correspondientes por intercambiadores catiónicos ciclo hidrógeno y la eliminación de éstos ácidos por intercambiadores aniónicos.

Las sales disueltas en el agua se disocian en iones cargados positivamente (cationes) y iones negativos (aniones). Lo que permite a la solución la conducción de electricidad, la solución se encuentra en un estado de electroneutralidad, donde el número de cargas positivas balancea al de las cargas negativas, por consiguiente los intercambiadores contienen cationes y aniones en una condición de electroneutralidad, pero los intercambiadores difieren de las soluciones en que sólo una de las dos especies iónicas

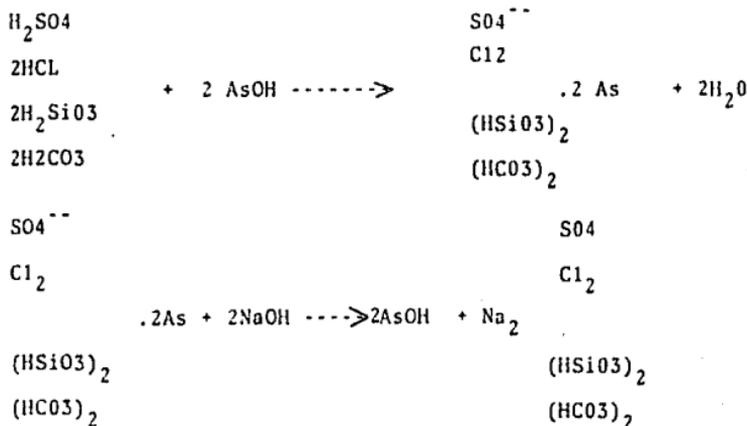
La mayor aplicación de la desmineralización, ha sido en la preparación de agua propia para alimentación de calderas, en donde la remoción de sílice es muy importante, esta necesidad obligó al desarrollo de un intercambiador aniónico fuertemente básico que pudiera remover tanto los ácidos fuertemente - - disociados y los debilmente disociados.

Las reacciones de las resinas aniónicas fuertemente básicas en forma iónica son:



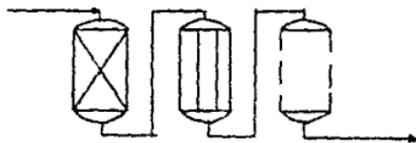
As - Es el sitio catiónico fijo del intercambiador.

Para la regeneración se utiliza un alcali fuertemente básico (sosa caústica), las reacciones de agotamiento y regeneración -- expresadas respectivamente en forma molecular son:



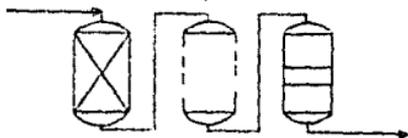
ARREGLOS MAS COMUNES EN EL INTERCAMBIO IONICO.

- 1.- Fuertemente ácida - Debilmente básica - Desgasificador.



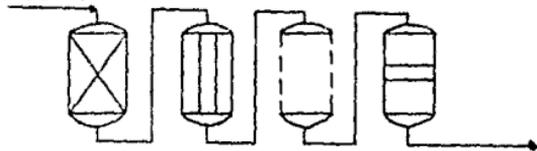
Este sistema es para plantas industriales que requieren una reducción de electrolitos hasta 2 y 10 ppm, pero no elimina el contenido de sílice.

- 2.- Fuertemente ácido - Desgasificador - Fuertemente básico.



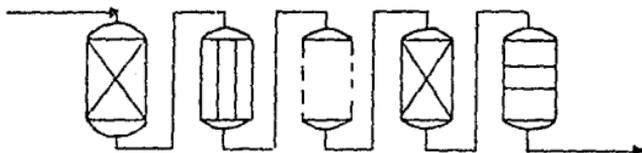
Permite la reducción de electrolitos hasta 2 y 3 ppm y la remoción de sílice entre 0.02 y 0.1 ppm.

- 3.- Fuertemente ácido - Debilmente básico - Desgasificador - Fuertemente básico.



El arreglo ahorrará sosa cáustica en aguas con alto contenido de acidez mineral total ($SO_4^{2-} + Cl^-$) y a menudo permitirá la omisión del desgasificador. Reduce el electrolito hasta el orden de 1 a 2 ppm y la sílice hasta un nivel de 0.02 - 0.1 ppm.

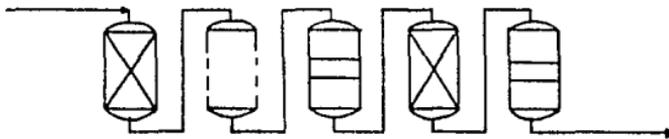
- 4.- Fuertemente ácido - Debilmente básico - Desgasificador - Fuertemente ácido - Fuertemente básico.



Este sistema reducirá la concentración de electrolitos hasta -- 0.2 y 1.0 ppm. y el sílice entre 0.02 y 0.1 ppm.

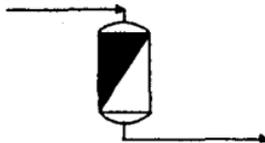
El empleo de resinas catiónicas primarias y secundarias economiza el regenerante ácido.

5.- Fuertemente ácido - Desgasificador - Fuertemente básica - Fuertemente ácida Fuertemente básica



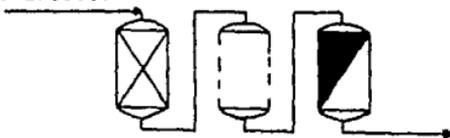
Ahorra tanto ácido como el anterior pero la utilización de resinas aniónicas fuertes en la etapa primaria y secundaria, reduce el contenido de sílice entre 0.01 y 0.05 ppm. El sistema evita también el ensuciamiento orgánico de las resinas secundarias.

6.- LECHO MIXTO.- Fuertemente ácida - Fuertemente básica.



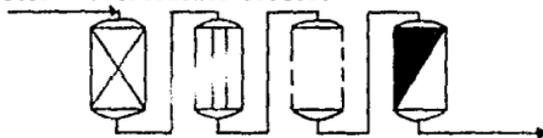
Este sistema se utiliza en plantas pequeñas para ahorrar costos de inversión, pero la práctica establece mayores costos de operación, la capacidad de la resina en lechos mixtos, se presupone que es de un 80 a 85 % de las mismas resinas en sistemas de dos camas, por consiguiente es necesaria una mayor cantidad de ácido y sosa para la regeneración.

- 7.- Fuertemente ácido - Desgasificador - Fuertemente ácido - Fuertemente básico.



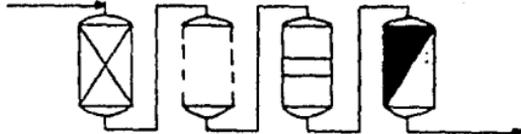
Reduce la cantidad de ácido y sosa caústica como regenerantes - en aguas con alto contenido de alcalinidad, comparado con el requerido por el lecho mixto individualmente. La unidad catiónica actúa también como un prefiltro y de esta manera protege de ensuciamiento orgánico a las resinas del lecho mezclado.

- 8.- Fuertemente ácido - Debilmente básico - Desgasificador - Fuertemente ácido - Fuertemente básico.



Este arreglo reducirá los electrolitos entre 0.04 y 10.0 ppm y el sílice entre 0.02 y 0.1 ppm, economiza tanto ácido como el sistema 7 pero ahorra mayor cantidad de sosa caústica que el mismo -- sistema en aguas con alto contenido de áidez mineral. ($\text{SO}_4^= + \text{Cl}^-$).

- 9.- Fuertemente ácido - Desgasificador - Fuertemente básico - Fuertemente ácido - Fuertemente básico.



Reduce el contenido de electrolitos entre 0.02 y 0.1 ppm y el sílice entre 0.01 y 0.05 ppm teniendo resinas fuertemente ácidas y básicas en la etapa primaria protegen a las resinas del lecho mixto de ensuciamiento orgánico y además la regeneración de este último es poco frecuente.

DESCRIPCION DEL EQUIPO A USAR EN ESTA PRACTICA.

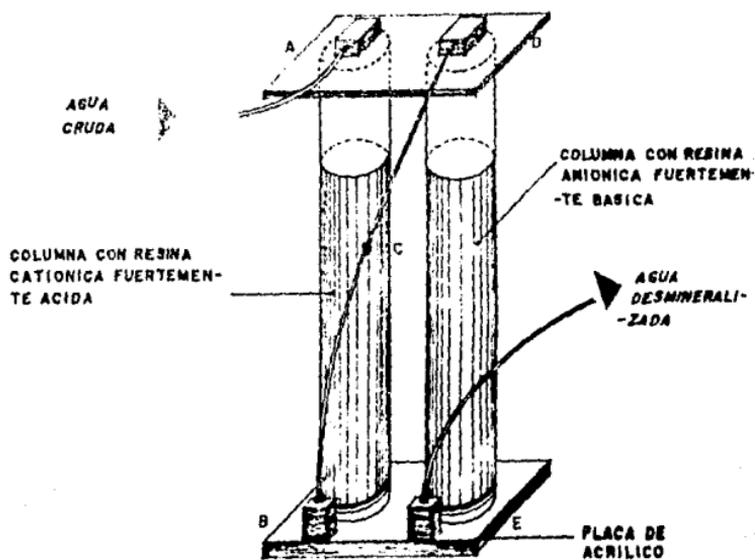
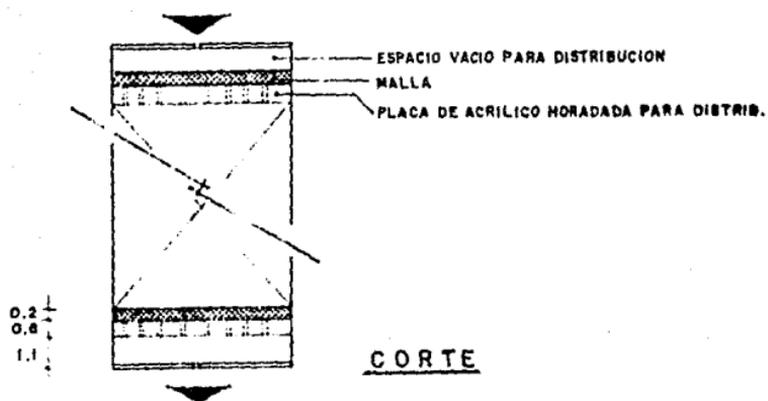
Es un desmineralizador tipo laboratorio, modelo DAC - 318. marca AQUA -MEX.

La estructura es de acrílico, está formado principalmente por dos cilindros con una altura de 45.5 cms. Un diámetro interno de 7.0 cms. y ambos están soportados por dos placas rectangulares de 22.6 centímetros de longitud, 11 cms. de ancho, la placa superior tiene un espesor de 0.6 cms. y la inferior de 1.3 cms, los cilindros están interconectados para su operación por mangueras de Tygon de 0.7 cms. de diámetro interno.

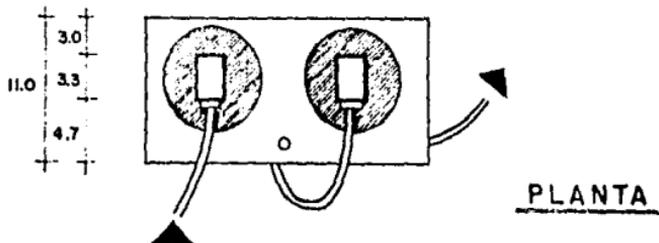
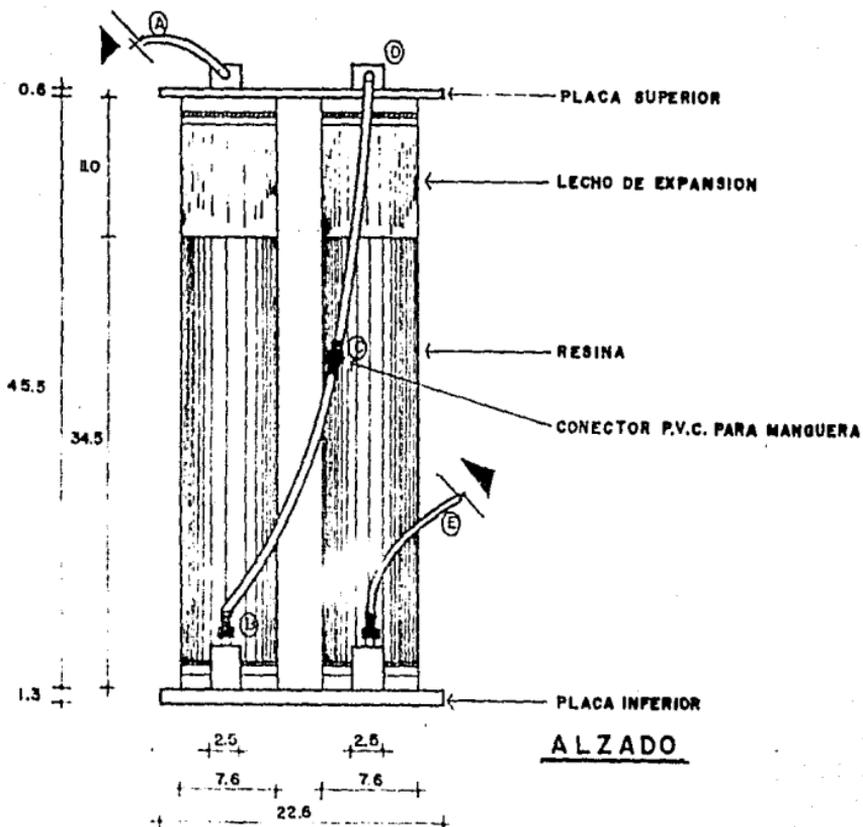
Unidos a las placas inferior y superior existen 2 cubos de acrílico en cada una de ellas, que tienen como función fundamental servir de interconexión roscada para las terminales roscadas de PVC de las mangueras de Tygon, y realizar la distribución y recolección del agua cruda, desmineralizada, y de las soluciones de ácido clorhídrico y NaOH.

Se encuentra en la parte superior e inferior interna de cada uno de los cilindros, mallas de polipropileno soportadas en una base horadada de acrílico, que sirven como fondo para la resina y evitan que las perlas de poliestireno, escapen junto con el agua y soluciones de regeneración en la operación del equipo.

Constituyendo la parte medular de la operación de intercambio iónico en el interior de los cilindros se encuentran las resinas cuya matriz está formada por un copolimero de estireno-divinilbenceno



* COTAS EN CM.



* COTAS EN CM.

**COLUMNAS DE
INTERCAMBIO
IONICO**

- no, el cilindro utilizado para el ablandamiento del agua cruda, contiene en su interior 1.5 litros de resina intercambiadora de -- cationes fuertemente ácida RIC-16. Su actividad iónica se debe a - grupos sulfónicos ligados directamente a los grupos aromáticos del copolímero, se presenta en forma de esferas reticulares con un 45- a 55% de humedad y tamaños de 0.3 a 1 mm de diámetro.

El cilindro que sirve para completar la desionización contiene 1.5 lts de la resina intercambiadora de aniones fuertemente básica-RIA-55, la cual se presenta en forma de esferas reticulares con un 45 a 52% de humedad y tamaños de 0.3 a 1 mm. de diámetro, su actividad se debe a aminas cuaternarias ligadas directamente a los grupos aromáticos del copolímero.

El equipo se completa con 2 recipientes de polietileno colocados a 1 metro por encima del mismo, que se utilizan para contener las -- soluciones de ácido clorhídrico y sosa cáustica y que sirven para - la regeneración de la celda catiónica y aniónica respectivamente.

Para regular el flujo de las soluciones se colocan en las mangueras de hule que sirven de conexión entre el equipo y los recipientes 2 pinzas de Mohr.

Para recoger el agua desmineralizada se cuenta con botellones -- de vidrio de 20 lts de capacidad.

TECNICA DE LA PRACTICA

EQUIPO NECESARIO

1 Potenciómetro

- 1 Conductímetro con celda de constante 1.0 cm^{-1}
- 1 Espectrofotómetro para operar en longitudes de onda de 220, 275, 410 y 420 nm. con celdas de cuarzo para un paso de luz de 10mm.
- 2 Soportes
- 2 Pinzas dobles para bureta
- 3 Buretas de 25 mls.
- 8 Matraces Erlen Meyer de 250 mls.
- 1 Pipeta volumétrica de 50 mls.
- 5 Pipetas graduadas de 5 ml.
- 1 Agitador magnético
- 1 Probeta de 1000 ml.
- 1 Cronómetro
- 2 Pinzas de Morh

REACTIVOS.

1.- Acido muriático comercial	321 mls.
2.- NaOH escamas Q.P.	136 grs.
3.- Soluciones Buffer pH 7.0 y 10.0	50 mls.
4.- HCl 0.02 N	200 mls
5.- Anaranjado de metilo	10 mls.
6.- Fenolftaleína +	10 mls.
7.- Solución buffer para dureza +	50 mls.
8.- EDTA 0.01 M	200 Mls.
9.- Nitrato de plata	100 mls.
10.- Cromato de Potasio (indicador) +	20 mls.
11.- Negro de eriocromo F	3 grs.

12.- Murexida +	5 grs.
13.- NaOH 1 N	20 mls.
14.- HCl 1 N	50 mls.
15.- Reactivo Acondicionador +	100 mls.
16.- Cloruro de Bario	10 grs.
17.- HCl (1 + 1) +	20 mls.
18.- Molibdato de Amonio +	50 mls.
19.- Acido Oxálico +	50 mls.
20.- Agua desionizada	1000 mls.

A continuación se presenta un resumen del procedimiento para hacer los análisis volumétricos, es importante que el alumno revise - ésta breve explicación antes de comenzar el desarrollo de la práctica.

1.- Alcalinidad a la Fenolftaleína.- Tomar 100 ml. de muestra y adicionarle 3 gotas de fenolftaleína, si existe alcalinidad a la fenolftaleína el agua tomará un color rosa, titular con HCl 0.02 N hasta que el agua tome nuevamente su color natural.

2.- Alcalinidad al anaranjado de metilo.- Tomar 100 mls. de muestra primero verificar si hay alcalinidad a la fenolftaleína, si el resultado es negativo adicionar a la muestra 3 gotas de anaranjado de metilo y titular con HCl 0.02 N. Vire amarillo paja - canela.

Cálculos.

$$\text{mgs/lt CaCO}_3 = \frac{A \times 0.02 \times 50,000}{100 \text{ mls muestra}}$$

A= mls de HCl gastados en la titulación.

2.- CLORUROS.- Tomar 50 mls. de muestra añadir un gotero completo - del indicador cromato de potasio y titular con nitrato de plata - - 0.0141 N. Vire = verde - amarillo rojizo.

Cálculos.

$$\text{mg/lt Cl}^- = \frac{A \times 0.0141 \times 35450}{50 \text{ mls de muestra}}$$

50 mls de muestra

3.- Dureza total.- Tomar 50 mls de muestra añadir 2 goteros completos de la solución buffer para dureza (no oler de cerca ésta solución porque contiene hidróxido de amonio). Adicionar 0.005 grs de - negro de eriocromo T y titular con EDTA. Vire vino - azul claro.

Cálculos.

$$\text{mg/lt CaCO}_3 = \frac{A \times B \times 1000}{50 \text{ mls de muestra}}$$

50 mls de muestra

A= Volumen de EDTA gastado en la titulación.

B= Factor obtenido de la valoración del EDTA con una solución estándar de CaCO₃.

Dureza total = Dureza de Calcio + Dureza de Magnesio.

4.- Dureza de Calcio.- Tomar 50 mls de muestra adicionar 2 mls de - NaOH 1 N y agregar 0.3 grs de Muréxida como indicador y titular con EDTA. Vire = rosa salmón - violeta.

ESPECTROFOTOMETRICOS

Es necesario calibrar el espectrofotómetro en cada longitud de onda a la que se utilice, para ello es necesario correr un testigo con agua desionizada que contenga los mismos reactivos que la muestra de agua a analizar, se debe ajustar el aparato en cero de absorbancias y a 100% de transmitancia con éste testigo. Las lecturas obtenidas serán en absorbancias, las cuáles convertidas a concentración del ión mediante el uso de curvas de calibración previamente obtenidas con el uso de estándares para cada anión. En los cálculos daré las ecuaciones que obtuve experimentalmente por ajuste a una recta por mínimos cuadrados de los valores de concentración de mis estándares contra absorbancias leídas, es importante aclarar que los datos fueron obtenidos con los reactivos que preparé para hacer mis análisis durante el tiempo que tardé en evaluar la capacidad y eficiencia de operación del equipo.

NITRATOS.- Tomar 50 mls de muestra, adicionar 1 ml. de HCl 1 N, leer a una longitud de onda de 220 nm y después a 275 nm.

La absorbancia real por nitratos será igual a:

(Absorbancia a 220 nm - 2 veces la absorbancia a 275 nm.)

Cálculos

$$\text{mg/lt NO}_3^- \text{ Abs. real } = 0.00785 \\ 0.1787$$

SULFATOS

Tomar 100 mls. de muestra, agregar 5 mls de reactivo acondicionador adicionar 0.5 grs. de $BaCl_2$ con agitación constante la cual debe mantenerse durante un minuto, dejar reposar la muestra 4 minutos y leer a 420 nm.

Cálculos

$$\text{mg/lt } SO_4 = \frac{\text{Abs.} \cdot 0.00385}{0.010782}$$

SILICE

Tomar 50 mls de muestra, adicionar en forma sucesiva 1 ml de HCl (1+1) y 2.0 mls. de molibdato de amonio, dejar reposar la muestra de 5 a 10 minutos, adicionar 5 mls de ácido oxálico y mezclar nuevamente, tomar la lectura en el espectrofotómetro después de que pasen dos minutos o antes de 15 minutos, tomados después de la adición del ácido oxálico.

Cálculos

$$\text{mg/lt } SiO_2 = \frac{\text{Abs.} \cdot 0.0105}{0.0172}$$

OPERACION DEL EQUIPO

Antes de iniciar la operación del equipo el alumno deberá realizar los siguientes pasos:

- 1.- Preparar 3.3 litros de NaOH al 4% disolviendo 136 grs de NaOH - - escamas en 3.3 litros de agua destilada.
- 2.- HCl al 10%.- Adicionar 321 mls de ácido muriático comercial a - -

- 642 mls. de agua cruda.
- 3.- Tomar 1 litro de agua cruda como muestra, para el análisis del influente.

PASOS DE OPERACION

1.- RETROLAVADO DE LA CELDA ANIONICA.

Conectar la salida de la celda catiónica en B con la salida de la celda aniónica en E, hacer pasar el agua descationizada en flujo ascendente a través de la celda aniónica durante 10 minutos, con condiciones necesarias para dilatar la resina y eliminar algunas sustancias sólidas en suspensión, es importante empezar el retrolavado con un flujo lento, de tal manera que la resina se afloje y no suba empacada a la parte superior de la columna. Cerrar la salida de la celda aniónica para que ésta no se vacie y conectar la entrada de la celda aniónica (D) con la salida del recipiente de regeneración que contiene NaOH al 4%.

2.- RETROLAVADO DE LA CELDA CATIONICA

Conectar la salida de la columna catiónica (B) con la salida de agua cruda de la llave, hacer pasar el agua en flujo ascendente y que salga por (A) durante 10 minutos, el comienzo del retrolavado debe ser a un flujo más lento, debido a los efectos explicados anteriormente, cerrar la llave del agua de entrada y conectar la entrada de la celda catiónica (A) con la salida del recipiente de regeneración que contiene HCl al 10%.

3.- REGENERACION DE LA CELDA ANIONICA.

Al mismo tiempo en que se inicia el retrolavado de la celda catiónica se puede empezar la regeneración de la celda aniónica, haciendo pasar por gravedad, entrando por D y saliendo por E la solución de NaOH al 4% a través de la resina aniónica, abriendo la pinza de Mohr colocada entre el recipiente de regeneración y la columna, que ya habían sido conectados al finalizar el retrolavado, ajustando el flujo para que la solución alcalina tarde de 20 a 25 minutos en pasar a través de la resina, cerrar la salida de la celda aniónica (E) para que ésta no se vacíe y esperar hasta que la celda catiónica haya sido regenerada.

4.- REGENERACION DE LA CELDA CATIONICA.

La solución de HCl al 10% se hace pasar a través de la celda catiónica entrando por A y saliendo por B, regulando su flujo mediante una pinza de Mohr que se encuentra colocada entre la celda y el recipiente de regeneración, de tal manera que la solución ácida tarde en pasar de 20 a 25 minutos a través de la resina catiónica, cerrar la salida de la celda catiónica (B) para que ésta no se vacíe.

5.- LAVADO DE LA CELDA CATIONICA.

Haga pasar 5 litros de agua cruda entrando por A y que salga por B para eliminar el exceso de ácido, en 10 minutos aproximadamente.

6.- LAVADO DE LA CELDA ANIONICA.

Conectar las dos celdas en C y pasar 1.5 litros de agua des-cationizada en 5 minutos por la celda aniónica, y aumentar el flujo de operación a 0.75 lts/min, tirar los primeros 18 litros de agua - desmineralizada. A partir de éste momento ya puede empezar a reco-lectar los 140 litros de agua desionizada, en este intervalo de ope-ración el alumno deberá tomar la muestra de agua desmineralizada.

Haga todos los análisis que deberán presentar en la tabla - de resultados para cada una de las muestras.

TRABAJO POSTERIOR A LA REALIZACION DE LA PRACTICA.

Con los datos obtenidos mediante los análisis, realizar tanto para el agua de entrada y también para el agua desmineralizada:

- 1.- BALANCE IONICO.- De cationes y aniones para saber la cantidad de Sodio en el agua de entrada y la cantidad de Sodio que se fuga en el agua desmineralizada.
- 2.- Calcular hipoteticamente la concentración y tipo de sales presentes.
- 3.- Calcular la capacidad y eficiencia de operación de la resina -- aniónica, sabiendo que el total de agua desmineralizada producida es de 140 litros.
- 4.- Evalúe el costo de operación del equipo \$/lt de agua producida.
- 5.- Resuelva el cuestionario.

BIBLIOGRAFIA.

APPLEBAUM B. SAMUEL
Demineralization by ion exchange
Academic Press. 1968.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER &
WASTE WATER
15 th edition 1980
APHA AWWA WPCF.

CUESTIONARIO
DESMINERALIZADOR

Nombre del alumno ----- Grupo -----

- 1.- ¿Qué es el tratamiento de aguas.?
- 2.- Defina desmineralización
- 3.- Diferencia entre un desmineralizador y un ablandador.
- 4.- ¿Cuáles son los principales tipos de resina que se utilizan para el intercambio iónico?
- 5.- Mencione cuál es el copolimero que forma la matriz de las resinas de intercambio iónico.
- 6.- Mencione al menos 4 arreglos diferentes de desmineralizadores - por intercambio iónico que se utilizan en la industria.
- 7.- ¿Cuáles son los pasos que intervienen en la operación de un intercambiador de iones?
- 8.- ¿Cuáles son los principales cationes y aniones que trae el agua natural?
- 9.- ¿Qué es dureza y como se clasifica?
- 10.- ¿Cuáles son los aniones responsables de la alcalinidad en el agua?
- 11.- ¿Qué es y para que nos sirve la determinación de la conductividad eléctrica en el agua?
- 12.- ¿Cuál es la importancia de la eliminación de sílice en el agua para alimentación de calderas y que tipo de resina logra este objetivo?
- 13.- ¿Qué es el pH?

- 14.- ¿ Cómo eliminaría la materia orgánica del agua natural?
- 15.- ¿ Qué es el DBO?
- 16.- ¿ En concentración, a que es igual una parte por millón (ppm)?
- 17.- ¿ Qué es lo que produce color en el agua?
- 18.- ¿ En un espectrofotómetro a que es proporcional la absorbancia?
- 19.- ¿ Como construiría una curva de calibración para nitratos en --
un rango de concentraciones de 0 a 7 mgs/lt NO_3^- , teniendo - -
como volumen de aforo 50 mls y partiendo de una solución - - -
estándar de la siguiente concentración: 1 ml. = 10 ugs. de - -
 NO_3^- ?
- 20.- ¿ Qué es un miliequivalente por litro (meq/lt) .

TABLA DE RESULTADOS

TIPOS DE AGUA	AGUA CRUDA			AGUA DESMINERALIZADA			
	UNIDADES	$\frac{mg}{lt}$ (ION)	$\frac{mg}{lt}$ (CaCO ₃)	$\frac{meq}{lt}$	$\frac{mg}{lt}$ (ION)	$\frac{mg}{lt}$ (CaCO ₃)	$\frac{meq}{lt}$
PARAMETROS							
TEMPERATURA (°C)							
pH (UNIDADES DE pH)							
CONDUCTIVIDAD (umbos. cm^{-1})							
ALCALINIDAD TOTAL							
ALC. A LA FENOLFTALEINA							
HCO ₃ ⁻							
CO ₃ ⁼							
OH ⁻							
Cl ⁻							
SO ₄ ⁼							
NO ₃ ⁻							
SiO ₂							
Cu ⁺²							
Mg ⁺²							
Na ⁺¹							
DUREZA TOTAL							

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

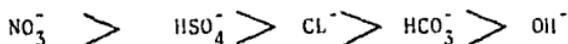
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo de este trabajo fue complementado al realizar una práctica sobre transferencia de masa por intercambio iónico en el laboratorio de ingeniería química con los alumnos del 8° semestre, los resultados fueron satisfactorios y la práctica despertó interés en los alumnos quienes tuvieron la oportunidad de participar activamente durante todo el desarrollo de la misma.

Es muy importante que al emitir un juicio sobre la calidad del agua desmineralizada, no confiar demasiado en el parámetro de conductividad eléctrica, porque aún cuando ésta sea baja no detecta la presencia de iones neutros como el SiO_2 principalmente.

Durante la evaluación de la capacidad y eficiencia de operación del equipo, (esto se presentó en las primeras corridas). La conductividad promedio del agua producida con un pH ácido era de 22 umhos cm^{-1} , pero la fuga de SiO_2 y CO_2 eran muy elevadas.

Caso contrario al agua producida cuando se opera correctamente el equipo que tiene un pH alcalino, la fuga de silice es pequeña, la de dióxido de carbono nula y la lectura de conductividad eléctrica de 50 umhos cm^{-1} en promedio, más del doble que la del agua anteriormente evaluada, debido a la presencia de iones hidróxidos, la fuga de éste ion en la resina aniónica fuertemente básica se debe a su propiedad deselectividad que presenta respecto a los aniones monovalentes.



y aún cuando la concentración de hidróxidos expresada en mg/l -- CaCO_3 es pequeña, él ion individualmente posee una conductividad eléctrica elevada.

La calidad del agua producida puede ser mejorada, aumentando a las columnas ya existentes una de lecho mixto, la cual actuaría como pulidor y su regeneración sería muy poco frecuente.

El equipo deberá operar presurizado, para conseguir esto se debe estar muy pendiente al término de la regeneración de cada columna, cerrar inmediatamente las pinzas de Mohr para no dejar pasar el aire a las columnas y operar el equipo al flujo recomendado por el fabricante (45.4 lts/hr).

Se deberá evitar la carbonatación de la resina aniónica la cual ocurre, cuando el equipo se opera con la resina catiónica agotada y la preparación de la solución de NaOH al 4% no se hace con agua descationizada.

En caso de que el aparato desmineralizador se guarde por tiempo indefinido es aconsejable regenerar completamente la celda catiónica porque se conserva mejor en el estado ácido. En cuanto a la resina aniónica es mejor conservarla en estado ácido, es decir completamente agotada. Ambas resinas deben estar completamente cubiertas de agua.

Después de que el desmineralizador ha estado fuera de uso por un tiempo prolongado, es necesario hacer una regeneración completa de ambas celdas para ponerlo de nuevo en servicio.

CAPITULO IX

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Calvin Calmon, Harris Gold, Richard Prober
Ion Exchange for pollution Control
CRC press Inc. 1979
Volumen I y II

- 2.- R. Cox Charles
Operation and Control of Water Treatment processes.
World Health Organization 1975

- 3.- Manual de agua para usos industriales.
American Society for testing and materials.
Editorial Limusa 1976

- 4.- Nordell Eskel
Tratamiento de agua para la industria y otros usos
Compañía Editorial Continental, S.A. 1976

- 5.- J. Weber Walter Jr.
Control de la calidad del agua procesos físico-químicos
Editorial Reverté, S.A. 1979

- 6.- Applebaum B. Samuel
Demineralization by ion exchange
Academic Press. 1968.

- 7.- Besselièvre B. Edmund & Schwartz Max
The treatment of industrial Wastes.
2nd edition 1976.

- 8.- Aiche Symposium Series
Water. vol 71, No 151, pp 118-145 y 286-292
American Institute of chemical engineers

- 9.- Betz Laboratories, Inc.
Handbook of Industrial water conditioning.
fifth edition 1957.
U.S.A.

- 10.- American Water Works Association
Water Quality and treatment.
McGraw Hill book company 1971.

- 11.- Manual of Methods for Chemical analysis of Water & Wastes
U.S. Environmental protection Agency.
Technology Transfer 1974.

- 12.- Standard Methods for the examination of Water & Wastewater
15 th edition 1980
APHA AWWA WPCF

- 13.- Treat your water by ion-exchange. H.P. 48,5,124-128,1969

- 14.- Cation Exchange column, behavior in a desalination process with regenerant recovery. 14,14,290-297.
- 15.- Ion exchange rates in bifunctional resins. Ind. Eng. Chem. vol 18,2,175-180,1979.
- 16.- Fixed bed ion exchange with differing ionic mobilities and non-linear equilibria. Ind. Eng. Chem. 18,4,312-317,1979.
- 17.- Sorption equilibria and rate studies on resinous retardation -- beds. IND. ENG. CHEM. 20,170-177,1981.
- 18.- Demineralizing solutions by a two step ion exchange process - - ind. eng. chem. 35,2,186-192,1943.
- 19.- Cation exchange water softening rates. ind. eng. chem. 35,5,546-553,1943.
- 20.- Silica-free boiler feed water by ion exchange, ind. eng. chem. 39,11,1453-1456,1947.
- 21.- Ion Exchange, ind. eng. chem. 40,1,41-44-,1948.
- 22.- Method for designing packed columns, ind. eng. chem. vol 40,1,93-96,1947.
- 23.- Regeneration of a cation exchange resin, ind. eng. chem. 41,7,1186-1188,1949.

- 24.- Kunin R. & McGarvey F., Equilibrium and column behavior of exchange resins, ind. eng. chem. 41,6,1265-1268,1949.
- 25.- Calise V.J. & Lane Marvin. Silica removal by a practical ion exchange process. ind. eng. chem. 41,11,2554-63,1949.
- 26.- Mixed-bed deionization, ind. eng. chem. 43,3,730-734,1951.
- 27.- Kunin R. & McGarvey F. Monobed deionization with ion exchange resins, ind. eng. chem. 43,3,734-740,1951.
- 28.- Ion Exchange Symposium, ind. eng. chem. 43,5,1062-93,1951.
- 29.- Alan S. Michaels & Simplified method of interpreting Kinetics data in fixed-bed ion exchange, ind. eng. chem. 44,8,1922-1930,1952.
- 30.- Vermeulen T. & Huffman E.H. Ion exchange column performance. ind. eng. chem. 45,8,1658-1664,1953.
- 31.- Opler Ascher. Application of computing machines to ion exchange process, ind. eng. chem. 45,12,2621-28,1953.
- 32.- Streicher L. & Bowers A.E. Demineralization of water by -- electrolytic and ion exchange processes. ind. eng. chem. 45,11,2394-2401,1953.

- 33.- Morrid Mindik. Capacity and leakage of ion exchange columns, --
ind. eng. chem. 47,1,96-100,1955.
- 34.- Dranoff J. & Lapidus L. Multicomponent ion exchange column cal-
culations. ind. eng. chem. 50,11,1648-53,1958.
- 35.- Beyer W.A. & James D.B. Independence of the performance of an --
ion exchange column on it's shape. S,3,433-34,1966.
- 36.- Lindsay F.K. High capacity cation exchangers. AWWA.
42,1,75-80,1950.
- 37.- Bacon H.E. Mixed-bed and multiple bed demineralizing systems --
AWWA. 48,1,19-29,1956
- 38.- Kunin R. & Frisch W. Organic fouling of anion-exchange resins -
AWWA. 52,7,875-887,1960.
- 39.- Aisentzer Harry A. Ion exchange in water treatment. AWWA
55,6,742-748,1963.
- 40.- Lynch M. Jr. & Mintz M. Membrane and ion exchange processes ---
AWWA 64,11,711-725,1972.
- 41.- Salem Eli & Dollmann C.H. Industrial applications of condensate
treatment and ion exchange techniques AWWA.
67,11,621-625,1975.

42.- Calmon C. Specific and chelate exchangers AWWA.

73,12,652-656,1981.

43.- Penchih Tao. Statistical sampling technique for controlling the accuracy of small water meters.

74,6,296-304,1982.

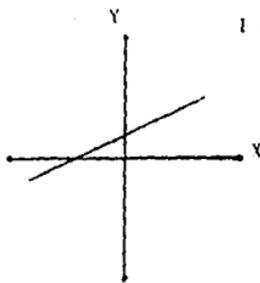
A P E N D I C E .

SOLIDOS MAS COMUNES DISUELTOS EN EL AGUA

NOMBRE	FORMULA	PESO MOLECULAR	FACTOR PARA ION-CaCO ₃	CONDUCTIVIDAD (umbos cm ⁻¹) ppm CaCO ₃ a 20° C
CALCIO	Ca ⁺⁺	40.080	2.497	1.041
MAGNESIO	Mg ⁺⁺	24.305	4.118	0.927
SODIO	Na ⁺	22.989	2.176	0.978
POTASIO	K ⁺	39.098	1.280	1.437
HIDROGENO	H ⁺	1.087	45.998	7.407
BICARBONATO	HCO ₃ ⁻	61.097	0.819	0.871
CARBONATO	CO ₃ ⁼	60.009	1.667	1.690
HIDROXIDO	OH ⁻	17.087	2.928	4.247
CLORUROS	Cl ⁻	35.453	1.411	1.516
FLUORUROS	F ⁻	18.998	2.634	1.169
SULFATOS	SO ₄ ⁼	96.057	1.042	1.478
FOSFATOS	PO ₄ ⁼	94.971	1.580	2.044
NITRATOS	NO ₃ ⁻	62.004	0.807	1.424
DIOXIDO DE C.	CO ₂	44.009	1.137	0.656
SILICE	SiO ₂	60.084	0.832	

PROGRAMA PARA EL AJUSTE DE DATOS A CUATRO TIPOS DE
ECUACIONES MEDIANTE METODO DE MINIMOS CUADRADOS

INTRODUCCION



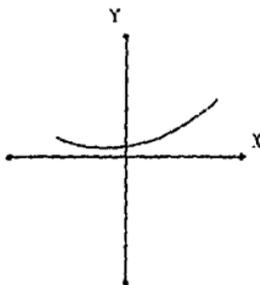
$$Y = a + bx$$

REGRESION LINEAL

$$b = \frac{Sx_i y_i - \frac{Sx_i S y_i}{n}}{Sx_i^2 - \frac{(Sx_i)^2}{n}}$$

$$a = \left\{ \frac{S y_i}{n} - b \frac{S x_i}{n} \right\}$$

$$r^2 = \frac{\left[Sx_i y_i - \frac{Sx_i S y_i}{n} \right]^2}{\left[Sx_i^2 - \frac{(Sx_i)^2}{n} \right] \left[S y_i^2 - \frac{(S y_i)^2}{n} \right]}$$



$$Y = a e^{bx}$$

$$a > 0$$

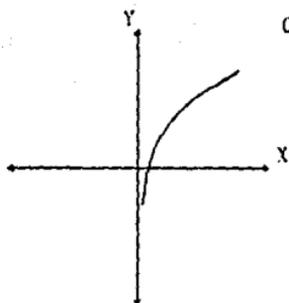
CURVA EXPONENCIAL

$$b = \frac{Sx_i \ln y_i - \frac{(Sx_i)(S \ln y_i)}{n}}{Sx_i^2 - \frac{(Sx_i)^2}{n}}$$

$$a = \exp \left[\frac{S \ln y_i}{n} - b \frac{S x_i}{n} \right]$$

$$r^2 = \frac{\left[Sx_i \ln y_i - \frac{Sx_i S \ln y_i}{n} \right]^2}{\left[Sx_i^2 - \frac{(Sx_i)^2}{n} \right] \left[S (\ln y_i)^2 - \frac{(S \ln y_i)^2}{n} \right]}$$

CURVA SEMILOGARITMICA



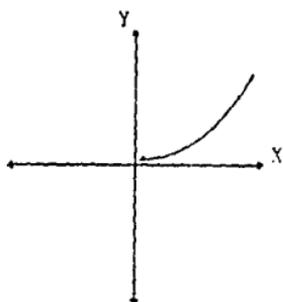
$$Y = a + b \ln x$$

$$b = \frac{S y_i \ln x_i - \frac{S \ln x_i S y_i}{n}}{S (\ln x_i)^2 - \frac{(S \ln x_i)^2}{n}}$$

$$a = \frac{1}{n} (S y_i - b S \ln x_i)$$

$$r^2 = \frac{[S y_i \ln y_i - \frac{1}{n} S \ln x_i S y_i]^2}{[S (\ln x_i)^2 - \frac{1}{n} (S \ln x_i)^2] [S y_i^2 - \frac{1}{n} (S y_i)^2]}$$

CURVA POTENCIAL



$$Y = a x^b$$

$$a > 0$$

$$b = \frac{S (\ln x_i) (\ln y_i) - \frac{1}{n} (S \ln x_i) (S \ln y_i)}{S (\ln x_i)^2 - \frac{1}{n} (S \ln x_i)^2}$$

$$a = \exp \left\{ \frac{S \ln y_i}{n} - \frac{b S \ln x_i}{n} \right\}$$

$$r^2 = \frac{[S (\ln x_i) (\ln y_i) - \frac{1}{n} (S \ln x_i) (S \ln y_i)]^2}{[S (\ln x_i)^2 - \frac{1}{n} (S \ln x_i)^2] [S (\ln y_i)^2 - \frac{1}{n} (S \ln y_i)^2]}$$

COMENTARIOS: Valores de cero y negativos causarán error en el programa en curvas logarítmicas, valores negativos y de cero en (Y_i) causarán error en curvas exponenciales, para curvas potenciales (x_i, y_i) deberán ser positivas y diferentes que cero.

LISTA DE VARIABLES

X_i	=	X
Y_i	=	Y
$Sx_i y_i$	=	C
Sx_i	=	D
Sy_i	=	E
n	=	N
Sx_i^2	=	F
$(Sx_i)^2$	=	G
Sy_i^2	=	H
$(Sy_i)^2$	=	J
$Sx_i lny_i$	=	K
$S lny_i$	=	L
$S(lny_i)^2$	=	M
$Sy_i lnx_i$	=	O
$S lnx_i$	=	P
$S(lnx_i)^2$	=	Q
$(S lnx_i)^2$	=	R
$S(lnx_i)(lny_i)$	=	S
$(S lny_i)^2$	=	Z

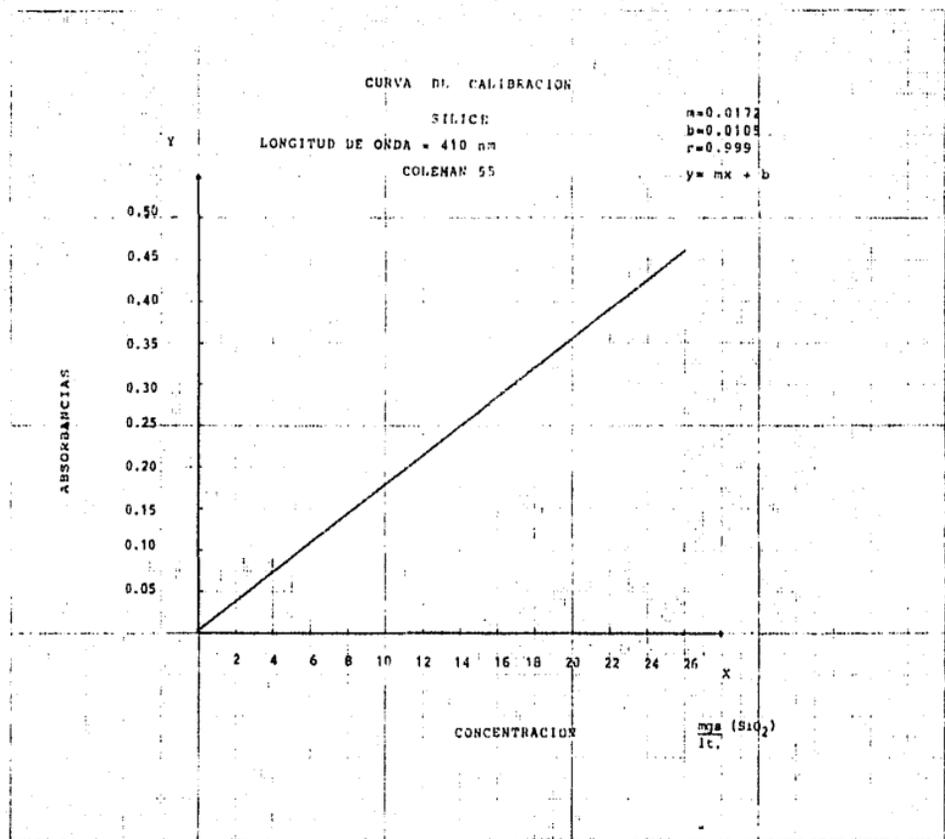
S= Sumatoria

```

10: S=REM *AJUS
TE-EXP ONEND
IHL=SEMILOS
WALTIMIO/POT
ENCIAL/LINEA
L=
15: IF #="NO"
20: PAUSE *AJUST
E+IESEAD0"
22: PAUSE *LINEA
L-ENPRENCIA
L"
24: PAUSE *SEMI
LOGARITHIC-FG
TENCIAL"
30: INPUT "CONE=
" I I
32: IF #="SI"
THEN 110
35: C=0; D=0; E=0;
F=0; H=0; I=0;
L=0; M=0; O=0;
P=0; Q=0; S=0
40: INPUT "DATO
S=" I I
50: FOR I=110 H
60: INPUT "X=" I I
; "Y=" I I
70: D=0; Y=C+Q+G;
D=D+G; E=E+Y;
F=F+(M+G); H=
H+(Y+Y); I=I+
(C+L); J=L+L
*LN Y
80: H=H+LN Y+LN
Y; O=C+Y+LN
X; P=PALI X;
Q=Q+LN Y+LN
Y; S=S+LN X
*LN Y
90: NEXT I
100: J=E+E; C=D+D;
Z=L+L; F=P+P
110: IF T="LINEA
L" THEN 200
120: IF T="EXPON
ENCIAL" THEN
500
130: IF T="SEMI
LOGARITHIC"
THEN 400
140: IF T="POTEN
CIAL" THEN 50
0
150: GOTO 260
200: P=C+I+E+D
; G=O+R; G=
(C+H-B+D)/D;
H=(C-D+E+D)
*(C-G)/D+(H-
J)/D
210: PAUSE *ECUAC
*Y=+BX"
220: PRINT "A=" I I
225: PRINT "B=" I I
230: PRINT "R2=" I
V
255: GOTO 600
240: PAUSE *MISMO
S-INTOS-OTRO
-TIESTE"
250: INPUT "SIMO
=" I I I
255: IF #="SI"
THEN 22
260: END
300: E=(C-D+L)/D;
F=G+H; G=
EXP (L+H-C)
*LN D)
; (C+D+L+H)
*(C-D+L+H);
(C+G-H)/(C+H-
Z)/D
310: PAUSE *ECUAC
*Y=REX(BX)"
320: PRINT "A=" I I
325: PRINT "B=" I I
330: PRINT "R2=" I
V
340: GOTO 255
400: B=(O-(P+E+H)
)/(O-R+D)+G
*(E-R+P)/D+G
*(O-P+E+H)/C
O-P+E+D)/(C
O-P-R)/(C+H-
J)/D
410: PAUSE *ECUAC
*Y=+BLX"
420: PRINT "A=" I I
425: PRINT "B=" I I
430: PRINT "R2=" I
V
440: GOTO 255
500: B=(S-P+L)/D;
(C-O+H)+G
EXP (L+H-B+P
)/D; V=(C-S-P+
L)/D+(C-O-R)/D
*(H-Z)/D
510: PAUSE *ECUAC
*Y=+BX"
520: PRINT "A=" I I
525: PRINT "B=" I I
530: PRINT "R2=" I
V
540: GOTO 255
600: PAUSE *AJUST
ACION?"
610: INPUT "SIMO
=" I I I
615: IF #="SI"
THEN 625
620: GOTO 770
625: INPUT I=1 TO N
630: INPUT "X=" I I
635: IF T="LINEA
L" THEN 650
640: IF T="EXPON
ENCIAL" THEN
600
645: IF T="SEMI
LOGA" THEN 710
650: IF T="POTEN
CIAL" THEN 74
0
655: GOTO 770
660: Y=+B+X
665: PRINT "Y=" I I
670: GOTO 760
680: Y=+G*EXP (I+X
)
690: PRINT "Y=" I I
700: GOTO 760
710: Y=+B+LN X
720: PRINT "Y=" I I
730: GOTO 760
740: Y=+K*X
750: PRINT "Y=" I I
760: NEXT I
770: RETURN

```

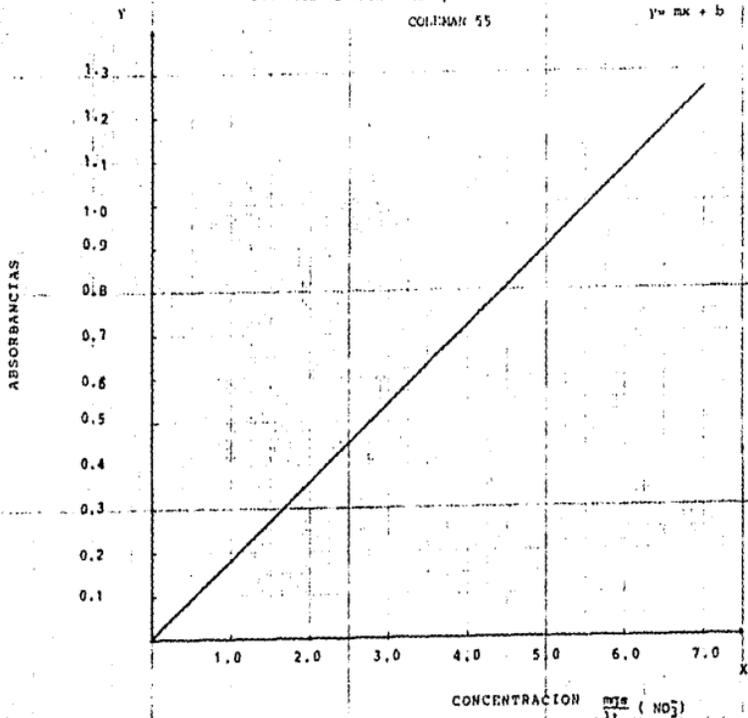
PSEDI



CONCENTRACION ORIGINAL	ABSORBANCIAS LEIDAS	CONCENTRACION PARA AJUSTE	ABSORBANCIAS CALCULADAS
mg/lt SiO ₂		mg/lt SiO ₂	
3.895	0.077	4.0	0.079
7.791	0.142	8.0	0.148
11.687	0.214	12.0	0.217
15.582	0.282	16.0	0.286
19.480	0.347	20.0	0.354
23.376	0.410	26.0	0.458

CURVA DE CALIBRACION
 NITRATOS
 LONGITUD DE ONDA = 220 y 275 nm
 COLIMADOR 55

$m = 0.1787$
 $ln = 0.00785$
 $r = 0.999$
 $y = mx + b$



CONCENTRACION	ABSORBANCIAS	ABSORBANCIAS	ABSORBANCIAS
mg/lit NO ₃ ⁻	LEIDA A 220 nm	LEIDA A 275 nm	CALCULADAS
1	0.182	0.0	0.186
2	0.366	0.0	0.365
3	0.548	0.0	0.544
4	0.726	0.0	0.723
5	0.892	0.0	0.901
6	1.101	0.0	1.080
7	1.246	0.0	1.26

12.12.61

CURVA DE CALIBRACION
SULFATOS

LONGITUD DE ONDA = 420 nm.

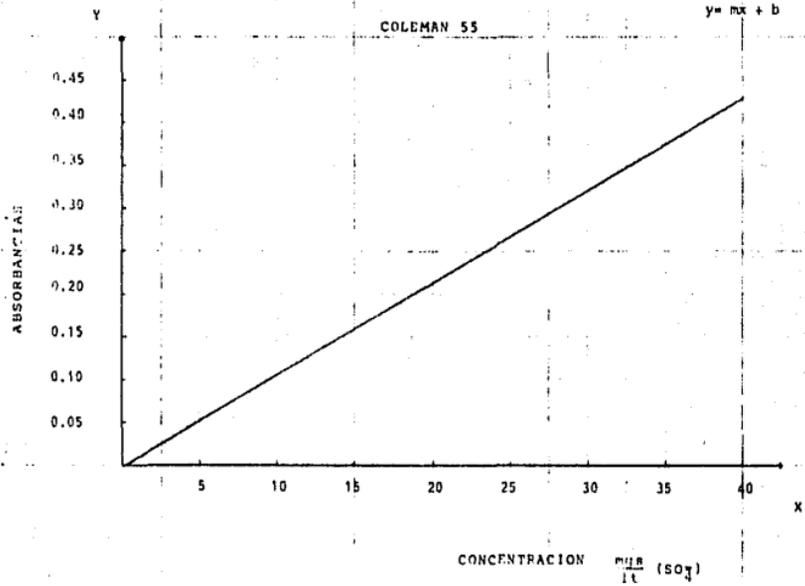
COLEMAN 55

$$m = 1.078 \times 10^{-2}$$

$$b = -3.85 \times 10^{-3}$$

$$r = 0.999$$

$$y = mx + b$$



CONCENTRACION Mg/lit $\text{SO}_4^{\text{=}}$	ABSORBANCIAS LEIDAS	ABSORBANCIAS CORREGIDAS
5	0.055	0.05
10	0.105	0.104
15	0.149	0.158
20	0.205	0.212
25	0.271	0.265
30	0.327	0.32
35	0.376	0.373
40	0.423	0.427

RES-INT S.A.

CALLE POSTAL 5017 • TEL. 52 22 22 22 22 • MEXICO



RES - INT, RIC - 16

DESCRIPCION:

La Resina RIC-16 es una resina intercambiadora de cationes fuertemente ácida y de alta capacidad, cuya matriz está formada por un copolímero de estireno-divinilbenzén, polimerizado en

forma reticular lo que permite que la Resina RIC-16 tenga las siguientes y excelentes cualidades:

- ALTA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO
- GRAN RESISTENCIA A LA ATRICION
- BUENA RESISTENCIA A LA OXIDACION

- INSOLUBILIDAD EN SOLVENTES COMUNES
- ESTABILIDAD A CUALQUIER pH

Su actividad iónica se debe a grupos sulfónicos ligados directamente a los grupos aromáticos del copolímero.

Se presenta en forma de esferas reticulares con un 45 a 55% de humedad y tamaños de 0.3 a 1 mm de diámetro.

USOS PRINCIPALES.

SUAVIZACION:

En su ciclo sódico y regenerada comúnmente con salmuera, la Resina RIC-16 es ampliamente recomendada para suavización en equipos domésticos e industriales.

En países en donde el agua contiene caldura: se puede utilizar en

de oxidantes, tal como el cloro, la Resina RIC-16 trabaja perfectamente, teniendo una alta capacidad de intercambio y resistencia a la oxidación.

DESCALCIFICACION:

En su ciclo ácido la Resina RIC-16 se puede combinar con resinas aniónicas débil ó fuertemente básicas en equipos desmineralizadores de dos columnas o de camas mezcladas para dar así una agua de bajo contenido de sólidos totales disueltos para

calderas u otros usos.

La Resina RIC-16 en su ciclo ácido se puede utilizar para descarbonatar aguas de repuesto a sistemas de enfriamiento

CONDICIONES GENERALES DE OPERACION RECOMENDADAS PARA CICLO SODICO Y CICLO ACIDO:

TEMPERATURA MAXIMA DE OPERACION.—140°C

ALTURA MINIMA DE LA CAMA DE RESINA.—60 cms.

FLUJO DE OPERACION.—0.27 a 0.8 l/min./l. de resina (2 a 6 g.p.m./Pie² cu)

FLUJO DE RETROLAVADO.—Ver información adjunta

pH.—1 a 14

CONDICIONES DE OPERACION EN CICLO SODICO (SUAVIZADORES)

La Resina RIC-16 da excelentes resultados en su ciclo de suavización para suavizadores en proceso de sistemas fríos ó calientes. Las condiciones de regeneración recomendadas para operación en ciclo sódico son:

FLUJO DE RETROLAVADO: De 200 a 245 l/min./l. a 20°C (5 a 6 g.p.m./Pie² a 68 F)

FLUJO DE SUCCION DE SALMUERA: 0.07 a 0.13 l/min./l. de resina. (0.5 a 1 g.p.m./Pie² cu)

CONCENTRACION DEL REGENERANTE: (SALMUERA) 10 a 20% de NaCl

FLUJO DEL LAVADO LENTO: 0.13 l/min./l. de resina (1 g.p.m./Pie² cu)

FLUJO DEL LAVADO RAPIDO: 2 l/min./l. de resina (1.5 g.p.m./Pie² cu)

AGUA DE LAVADO NECESARIA: 5.4 l./l. de resina (40 galones/Pie² cu)

TABLA No. 1

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO:

LAS CAPACIDADES DE LA RESINA RIC-16, PARA UN TIEMPO DE CONTACTO DE 50 MINUTOS CON AGUA DE 170 P.P.M. (10 GRANOS/GALON) DE DUREZA TOTAL Y UN CONTENIDO DE SODIO DE

56 P.P.M. (3.3 GRANOS/GALON) A DIFERENTES NIVELES DE CONCENTRACION DEL REGENERANTE, SON:

Kg. DE NaCl/l. DE RESINA	gr. CARBONATO DE CALCIO/LT.	LBS DE NaCl POR PIE CU.	KILOGRAMOS POR PIE CU.
0.080	46.0	5	20.1
0.160	59.3	10	25.9
0.240	68.7	15	30.0
0.32	74.5	20	32.3

CARACTERISTICAS DE OPERACIONES EN CICLO ACIDO:

LAS CARACTERISTICAS DE OPERACION EN CICLO ACIDO DE LA RESINA RIC-16 SON:

CAPACIDAD: VER GRAFICA

ALTURA DE LA CAMA RECOMENDADA: De 60 a 90 cm. (24" a 36")

FLUJO DE TRABAJO NORMAL: 0.27 l./min./l. de resina (2 g.p.m./Pie cu)

FLUJO DE RETRO LAVADO: 200 a 245 l./min./M³ a 20°C (5 a 6 g.p.m./Pie² a 68°F)

DOSIS DE ACIDO CLORHIDRICO HCl: 32 a 144 gr. HCl 100%/l de resina (2 a 9 Lbs. HCl 100%/Pie cu)

CONCENTRACION DEL ACIDO CLORHIDRICO EN CONTACTO CON LA RESINA: 0.5 A 10% HCl

* DOSIS DE ACIDO SULFURICO H₂SO₄: 48 a 160 gr. H₂SO₄, 100% /l de resina. (3 a 10 Lbs. H₂SO₄, 100%/Pie cu)

CONCENTRACION DEL ACIDO SULFURICO EN CONTACTO CON LA RESINA: 2 a 8%

FLUJO DE LA REGENERACION CON HCl: 0.067 l. de agua/l. de resina (0.5 g.p.m./Pie cu)

** FLUJO EN LA REGENERACION CON H₂SO₄: 0.067 a 0.27 l. de agua/l. resina (0.5 a 2 g.p.m./Pie cu)

FLUJO DE LAVADO LENTO: 0.067 l. de agua/l. de resina (0.5 g.p.m./Pie cu)

FLUJO DE LAVADO RAPIDO: 0.27 l. de agua/l. de resina (2 g.p.m./Pie cu)

AGUA DE LAVADO: 3 a 10.l. de agua/l de resina. (25 a 75 galones/Pie cu)

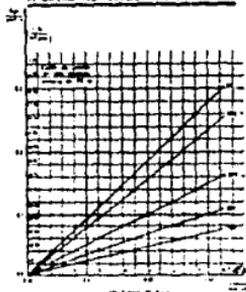
* CUANDO LA CONCENTRACION DE CALCIO ES ALTA, SE RECOMIENDA COMO PRIMER CONTACTO LA CONCENTRACION MENOR Y AUMENTAR PROGRESIVAMENTE LA CONCENTRACION DEL REGENERANTE DENTRO DEL MISMO CICLO DE REGENERACION.

** EL FLUJO RECOMENDADO VARIA CON LA CONCENTRACION DE CALCIO EN EL INFLUENTE, PARA 25 P.P.M. DE CALCIO, SE RECOMIENDA EL FLUJO MAS LENTO Y PARA 100 P.P.M. DE CALCIO, EL FLUJO MAS ALTO.

CAIDA DE PRESION DE LA RESINA

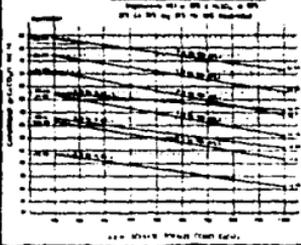
RIC-16

A DIFERENTES FLUJOS Y TEMPERATURAS



CAPACIDAD DE LA RESINA

RIC-16 EN CICLO ACIDO



CAPACIDAD DE LA RESINA

RIC-16 EN CICLO SODICO



RESINTSA S.A.

LA PRIMERA PLANTA FABRICANTE DE RESINAS INTERCAMBIADORAS DE IONES EN LATINOAMERICA



RESINTSA-RIA-55

RESINTSA-RIA-55

DESCRIPCION. RESINA ANIONICA FUERTEMENTE BASICA

La resina RESINTSA-RIA-55, es una resina intercambiadora de aniones fuertemente basica y de alta capacidad cuya matriz esta formada por un copolimero de estireno-divinil benceno polimerizado en forma reticular lo que permite que la resina RESINTSA-RIA-55 tenga las siguientes y excelentes cualidades:

ALTA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO GRAN RESISTENCIA A LA ATROFICACION BUENA RESISTENCIA A LA OXIDACION.

INSOLUBILIDAD EN SOLVENTES COMUNES. ESTABILIDAD A CUALQUIER pH

Su actividad se debe a aminas ligadas directamente a los grupos aromaticos de los copolimeros; se presenta en forma de esferas reticulares con un 45 a 52% de humedad y tamaños de 0.3 a 1 mm de diámetro

Capacidad total 30 meq/gr seco a 1.1 meq/ml.

USOS PRINCIPALES DESMINERALIZACION

La resina RESINTSA-RIA-55, se puede combinar con resina catiónica en grupos desmineralizadores de dos columnas o con resinas catiónicas y aniónicas débiles en columnas de camas mezcladas para dar así, una agua de pureza excelente para alimentación de calderas de alta presión, ya que tiene la habilidad de retener el SiO_2 y el CO_2 junto con los demás aniones

CONDICIONES DE OPERACIONES RECOMENDADAS:

Temperatura máxima de operación
 Altura mínima de la cama de resina
 Flujo máximo a través de un pie de 76 cm. de altura (30")
 Espacio libre de diseño
 Expansión en el retrolavado
 Concentración del regenerante en contacto con la resina
 Nivel de regeneración

60°C (140°F)

76 cm. (30")

0.675 lpm/ft. (5 G.P.M./pie²)

100% de altura de la cama

75%

4%

32 a 130 gramos de NaOH

100% por litro

(2 a 8 lb. de NaOH 100%/pie²)

0.0675 lpm/ft (0.5 G.P.M./pie²)

Relación del flujo durante el regenerado

Temperatura de regeneración

Temperatura

Tiempo de inyección del regenerante

Enjuagado lento

Enjuagado rápido

Agua de enjuagado rápido

Análisis típico de mallas

10°C a 49°C (50 a 120°F)

60 minutos

0.047 lpm/ft (0.5 G.P.M./pie²)

0.2 lpm/ft (1.5 G.P.M./pie²)

8 l/ft. (60 galones/pie²)

Malla	+16	-16+20	-20+30	-30+40	-40+50	-50
%	0.1	2.5	60-75	15-30	2.0	1.0 Max

CAPACIDAD EN OPERACION DE LA RESINA RESINTSA-RIA-55

La capacidad de la resina anionica fuerte RESINTSA-RIA-55, esta determinada por el nivel de regeneración con NaOH, la relación de SiO_2 aniones totales, expresados ambos en ppm, como $CaCO_3$, y la temperatura de regeneración como aparece en la figura 55-1

La fuga de SiO_2 , esta determinada por el nivel de regeneración, la relación de SiO_2 aniones totales y la temperatura de regeneración como se muestra en las figuras 55-4, 55-5 y 55-6. También afecta la fuga de SiO_2 , la cantidad de Na en el influente de la columna anionica causada por la fuga de Na en la columna catiónica como se muestra en la figura 55-7.

EJEMPLO DE CALCULO DE LA CAPACIDAD Y FUGA DE LA RESINA "RESINTSA-RIA-55"

ANALISIS DEL AGUA CRUDA:

	ppm $CaCO_3$		ppm $CaCO_3$
Ca	190	HCO_3	180
Mg	50	Cl	22
Na	20	SO_4	58
			<hr/>
	260		360

pH = 7.2

SiO_2 = 86 ppm SiO_2

CO_2 = 22.1 ppm CO_2

También está afectada la capacidad de la resina RESINTSA-RIA-55 por la relación de aniones monovalentes/aniones totales como aparece en la figura 55-2 y por el % de CO_2 con respecto a aniones totales como aparece en la figura 55-3. Todos los experimentos para determinar la capacidad y la fuga de SiO_2 , se hicieron a 5 m/h con 0.76 m de cama de resina.

Fuga de SiO_2 , al usar resina RESINTSA-RIA-55

