



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ANÁLISIS Y REHABILITACIÓN DEL ABLANDADOR DE AGUA PARA EL
LABORATORIO DE INGENIERA QUÍMICA**

Erick Fernando Cifuentes Pérez

Asesorado por el Ing. José Manuel Tay Oroxon

Guatemala, agosto de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**ANÁLISIS Y REHABILITACIÓN DEL ABLANDADOR DE AGUA PARA EL
LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

ERICK FERNANDO CIFUENTES PÉREZ

ASESORADO POR EL ING. JOSE MANUEL TAY OROXON

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS Y REHABILITACIÓN DEL ABLANDADOR DE AGUA PARA EL
LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 29 de abril de 2005.



Erick Fernando Cifuentes Pérez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 6 de septiembre de 2,006

Ingeniero
Williams Álvarez Mejía
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

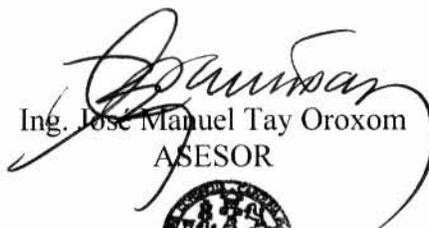
Estimado Ingeniero Alvarez

El motivo de la presente es para darle a conocer que he asesorado el Trabajo de Graduación del estudiante **Erick Fernando Cifuentes Pérez**, con No. De carné 2915977, titulado **“ANALISIS Y REHABILITACION DEL ABLANDADOR DE AGUA PARA EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA”**

Habiendo encontrado el informe del trabajo de Graduación totalmente Satisfactorio, lo remito a su consideración para proceder a la revisión y aprobación del mismo

Atentamente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. José Manuel Tay Oroxom
ASESOR



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 22 de mayo de 2,007.

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez.

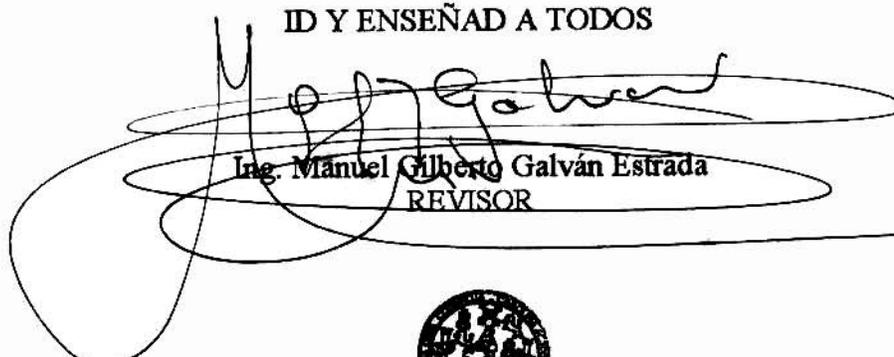
El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final del trabajo graduación del estudiante Erick Fernando Cifuentes Pérez, con No. de carné 2915977 titulado: "ANÁLISIS Y REHABILITACIÓN DEL ABLANDADOR DE AGUA PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA".

Habiendo encontrado el informe final del trabajo de graduación satisfactorio por lo que, lo remito a su consideración.

Agradeciendo la atención que se sirva dar a la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,

Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
REVISOR

c.c archivo



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA



FACULTAD DE INGENIERIA

Es Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M. Sc. después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe del Departamento al trabajo de Graduación del estudiante **Erick Fernando Cifuentes Pérez** titulado: **“ANÁLISIS Y REHABILITACIÓN DEL ABLANDADOR DE AGUA PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA.”**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M. Sc.
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, julio de 2,007



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS Y REHABILITACIÓN DEL ABLANDADOR DE AGUA PARA EL LABORATORIO DE QUÍMICA**, presentado por el estudiante universitario **Erick Fernando Cifuentes Pérez**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Glyrape Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, julio de 2007



DEDICATORIA

A mis padres

Aparicio Reginaldo Cifuentes
Marta Lidia Pérez,
por su apoyo

AGRADECIMIENTOS A:

A todas las personas que de una u otra forma me apoyaron durante la carrera y durante el desarrollo de este trabajo de graduación

Dios

Por prestarme la vida

Mis padres

Por su apoyo incondicional

Al Ing. José Manuel Tay

Por su asesoría para llevar a cabo el presente trabajo de graduación, el cual no hubiera sido posible sin su apoyo.

**Mis amigos Luis Valdez,
Luis Vassaux, Julio Marroquín,
Julio González, Verónica
Chang, Maria Córdova,
Enrique Castro-conde,
Alfredo Gutierrez, Paola Castillo
Mariela Cruz, Letty Castillo**

Por su apoyo y larga amistad durante la carrera y después de esta

**Mis amigos y compañeros
de trabajo**

Por su apoyo durante la etapa laboral de mi carrera

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
OBJETIVOS	IX
INTRODUCCIÓN	XI
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Agua dura	1
1.2 Técnicas de Ablandamiento de Agua	3
1.2.1 Evaporación	4
1.2.2 Diálisis	5
1.2.3 Precipitación	6
1.2.4 Intercambio Iónico	9
1.2.4.1 Intercambio Catiónico	12
1.2.4.2 Intercambio Aniónico	17
1.1.5 Secuestración de Iones	18
2. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO	19
2.1 Características Iniciales	19
2.1.1 Columna de Intercambio ionico y resina	21
2.1.2 Llave de Multiple paso	22
2.1.3 Tanque Auxiliar	25
2.2 Análisis Operacional del Equipo y Cambios realizados	25
2.3 Ciclos de Operación del Sistema de Intercambio I.	30
2.3.1 Operación Normal	31

2.3.2	Regeneración	33
2.3.3	Retrolavado	39
3.	CONSEJOS DE SELECCIÓN DE RESINA Y OPERACIÓN DE COLUMNA	41
4.	RESULTADOS OBTENIDOS	45
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES	53
	REFERENCIAS	55
	BIBLIOGRAFÍA	57
	APÉNDICES	59
	ANEXOS	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura cristalina de las zeolitas	10
2.	Estructura física de la zeolita	11
3.	Diagrama del equipo de intercambio iónico bajo condiciones iniciales	20
4.	Llave de Múltiple paso	23
5.	Esquema interno y fotografía de llave de múltiple paso	23
6.	Parte frontal de la llave de múltiple paso	24
7.	Posiciones de operación de llave de múltiple paso	25
8.	Diagrama del equipo de intercambio iónico después de los cambios realizados	26
9.	Bomba instalada	27
10.	Diferencias entre la resina extraída y la resina nueva	28
11.	Diagrama del equipo durante el régimen de ablandamiento	31
12.	Diagrama del equipo durante la primera fase de la regeneración	33
13.	Diagrama del equipo durante la segunda fase de la regeneración en su variante A	34
14.	Diagrama del equipo durante la segunda fase de la regeneración en su variante B	35
15.	Diagrama del equipo durante el retrolavado	39
16.	Grafica de dureza de agua vrs volumen de agua tratada	48

TABLAS

I.	Simbología del equipo de intercambio iónico	18
II.	Dureza del agua cruda del agua tratada vrs. Volumen de agua	48

GLOSARIO

- Bypass:** Separación de una parte o toda la corriente que alimenta un equipo para reintroducirlo al final del mismo
- Caldera:** Recipiente metálico dotado de una fuente de calor, donde se calienta el agua, cuyo vapor en tensión constituye la fuerza motriz de la máquina
- Dureza:** Se le conoce como dureza del agua a la presencia de sulfatos de calcio y magnesio en el agua, estos compuestos forman una costra al calentarse el agua
- EDTA:** Acido etilen diamin tetra acético, usado para identificación de iones por complejometria
- Microorganismos:** Nombre genérico que designa los seres organizados solo visibles al microscopio; p. ej. las bacterias, los infusorios, las levaduras, etc.
- Iones:** Grupo de átomos o moléculas, que por pérdida o ganancia de uno o más electrones adquiere carga eléctrica, se dividen en **Cationes** (iones de carga eléctrica positiva) y **Aniones** (iones de carga eléctrica negativa)

- Mol:** Unidad mínima de una sustancia que conserva sus propiedades químicas. Puede estar formada por átomos iguales o diferentes, equivalente $6.023 * 10^{23}$ moléculas
- Precipitación:** o sedimentación, es cuando un mineral insoluble en una solución se apelmaza en el fondo de la misma
- Quelatacion:** se define como la formación de complejos solubles de iones metálicos en presencia de agentes químicos que normalmente producirían precipitados en soluciones acuosas.
- Solubilidad:** cantidad máxima de un compuesto que se puede disolver en una solución
- Válvula:** equipo utilizado para abrir o cerrar el paso de un fluido en tubería o para regular la cantidad del mismo

RESUMEN

El laboratorio de Operaciones unitarias de la escuela de Ingeniería Química cuenta con un sistema de ablandamiento de agua, el cual alimenta a la caldera utilizada dentro del mismo, dicho sistema ha estado en desuso, el objetivo es reactivar dicho sistema y determinar la posibilidad de una práctica para los estudiantes del área.

Como primer punto se determinaron los equipos que conforman al sistema (tanques, columna de intercambio iónico, bombas, llaves, etc.), luego se procedió a determinar el funcionamiento del sistema, y se concluyó que el sistema necesitaba algunos cambios: agregar una bomba auxiliar con el objetivo de desplazar el regenerante (salmuera), cambiar el medio de intercambio iónico, así como agregar una cama de grava que a la vez sirve de rejilla y no permite el escape de la resina de intercambio

Luego se procedió con la operación experimental del sistema, es decir determinar el ciclo de operación y regeneración del mismo, a fin de determinar la posibilidad de realizar una práctica experimental con el equipo; luego de calcular y verificar que la capacidad teórica rebasa los 30 m³ de agua blanda se concluyó que el sistema es demasiado grande para utilizarse en una práctica experimental con los estudiantes del área de operaciones unitarias.

OBJETIVOS

- **General**

Rehabilitar el sistema de ablandamiento del laboratorio de operaciones Unitarias, a fin de proveer a la caldera de agua tratada para su operación.

- **Específicos**

1. Determinar la concentración de iones de calcio y magnesio, es decir, medir la dureza del agua del laboratorio (sin tratamiento) y los límites permisibles en el proceso de ablandamiento para su uso en caldera.
2. Determinar la secuencia de operación del equipo de ablandamiento en cada una de sus fases

INTRODUCCIÓN

El laboratorio de operaciones unitarias cuenta con una columna de intercambio iónico, cuya función es alimentar de agua blanda a la caldera que se utiliza en las prácticas de dicho laboratorio; el sistema de ablandamiento tiene en desuso mucho tiempo.

El objetivo del presente trabajo de graduación fue re-activar la unidad de intercambio iónico y al mismo tiempo realizar una práctica experimental para realizarse en el laboratorio, para que los estudiantes de los cursos de laboratorio de ingeniera Química aprendieran los principios básicos del ablandamiento de agua.

Se analizó el equipo que se contaba, y se le cambio la resina encargada del intercambio iónico, así como se le agrego una bomba para movilizar el regenerante necesario para mantener al sistema funcionando.

Se regeneró el sistema con una solución salina, para luego producir 32.5 m³ de agua blanda (28 a 0 ppm de dureza). También se determino la presencia de hidróxido férrico en el agua de alimentación del sistema, lo que daño la resina original, por lo que se recomienda hacer los cambios respectivos a dicho sistema para alargar la vida útil del sistema y reducir los costos de operación del mismo

Se encontró que el tiempo de operación continua del sistema seria 48 horas, por lo que no es factible producir una práctica para los estudiantes del laboratorio de ingeniería química.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Agua dura

El agua como la conocemos es un líquido incoloro, inodoro e insípido, solvente universal por naturaleza y medio ideal para transferencia de calor debido a que su capacidad calórica es bastante grande, $4.219 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{K}$ en forma líquida y $44,045 \text{ KJ/Kg mol}$ es su calor latente de vaporización a 1 atm de presión y $298.15 \text{ } ^\circ\text{K}^1$, además de ser un compuesto fácilmente encontrable en el planeta (de la superficie del planeta $2/3$ son agua).

Sin embargo, en la naturaleza no existe de esa forma, siempre se encuentra unida ya sea a minerales y sales (en el agua de ríos, lagos, pozos, agua de mar y agua de manantiales), microorganismos (contaminación bacteriana); por estas características es difícil encontrar una fuente de agua pura, por ello, el agua debe someterse a un tratamiento previo para eliminar todos estos compuestos y microorganismos no deseados, a fin de poder usarla ya sea con fines industriales o de consumo humano.

El agua para consumo humano debe tener ciertas características diferentes de las que debe llevar el agua para calderas, la primera tiene que estar libre de microorganismos nocivos, materiales venenosos, olores y sabores extraños, sin embargo puede llevar minerales y otros compuestos no-nocivos para la vida humana; mientras que el agua alimentación de calderas tiene que estar libre de minerales que causan incrustación, libre de compuestos que causen corrosión, y con la menor concentración de oxígeno posible (desaeración), además debe estar libre de los microorganismos que pueden causar efectos tan dañinos como los compuestos que se desean extraer.

La presencia de sales de minerales que causan incrustación en la grifería (calcio y magnesio) se le conoce como dureza del agua, y el proceso de remoción de estas sales se llama ablandamiento del agua. La reducción o remoción de estas es importante debido a que dejan costras (incrustaciones) en las calderas, condensadores e intercambiadores de calor, que son producidas al aumentar la temperatura y desprenderse gas carbónico, al mismo tiempo se precipita parte de la dureza, adhiriéndose a las superficies calientes, al adherirse los componentes de la dureza a las superficies calientes, aumenta la resistencia a la transferencia de calor, teniendo como consecuencia que la eficiencia de la caldera disminuya y que se requiera más calor para calentar la misma cantidad de agua.

La dureza en sí esta conformada por las siguientes sales de calcio y magnesio:

Carbonato de calcio (CaCO_3)

Carbonato de magnesio (MgCO_3)

Sulfato de calcio (CaSO_4)

Sulfato de magnesio (MgSO_4)

Silicato de calcio (CaSiO_4)

Existen algunas otras sales que producen dureza también, como los nitratos y cloruros de calcio y magnesio (CaNO_3 , MgNO_3 , CaCl_2 , MgCl_2), las sales de hierro y aluminio, pero por lo regular la concentración de estas sales es tan baja, que se desprecia su contribución a la dureza del agua.

Hay dos tipos de dureza, la temporal o dureza de carbonatos y la no temporal. La dureza producida por los Carbonatos es conocida como dureza temporal, ya que al calentarse el agua, la solubilidad de los carbonatos disminuye, y se precipitan en el agua, pegándose a las superficies calientes. Mientras que la dureza producida por los otros compuestos es la conocida como dureza permanente y no precipita completamente al calentarse la solución.

La dureza se expresa comúnmente por la cantidad equivalente de carbonato de calcio en granos por galón (g. p. g.) o en miligramos por litro. Un grano por galón equivale a 17.1 mg por litro o 17.1 partes por millón (p.p.m)².

1.2 Técnicas de ablandamiento de agua

En los procesos donde se requiere ablandamiento de agua se utiliza comúnmente cualquiera de 5 técnicas donde disminuye la concentración de los minerales, estas son:

- Evaporación
- Diálisis
- Precipitación
- Intercambio iónico y
- Secuestación de iones

En algunos casos se utiliza más de una de estas técnicas, ya que se necesita agua de una pureza mayor.

1.2.1 Evaporación

La evaporación se emplea para producir agua sustancialmente pura destinada a calderas de alta presión o para procesos industriales en los que resultan perjudiciales aun las más pequeñas cantidades de sales disueltas. Al calentar el agua solamente esta se evapora, más no las sales que la acompañan, aunque se puede producir cierto arrastre de dichas sales en el vapor producido.

En las plantas de energía se emplea comúnmente evaporadores de tubos acodados de efecto sencillo. Con evaporadores de efecto múltiple se produce agua pura para fines industriales. El condensado de una planta de energía de vapor o de un proceso que utiliza vapor para calentamiento es agua ablandada por evaporación también. Un ejemplo clásico y de conocimiento de todo el mundo es que el agua de lluvia es un agua ablandada por evaporación³, por ello es que el condensado del vapor se mantiene en el ciclo y se reintroduce al sistema, ya que es agua purificada por evaporación.

El inconveniente de esta técnica es que su costo es elevado y además cuando la concentración de dureza es grande, hay que utilizar alguna de las otras técnicas a fin de evitar que se incruste el calentador.

Una variante de este método es utilizar evaporadores de baja presión, al calentar el agua e introducirla en un tanque donde la presión es menor que la atmosférica, el punto de ebullición del agua disminuirá, produciéndose vapor y una solución con mayor concentración de contaminantes, este método produce tanto agua dulce como agua pura para caldera, al condensar el vapor producido, por lo que la mayoría de barcos y submarinos aun lo utilizan tanto para producir agua potable, como agua para vapor y así mover los generadores eléctricos y las propelas en los submarinos nucleares.

1.2.2 Diálisis

Cuando se tienen dos soluciones con los mismos componentes, pero de diferentes concentraciones, separadas por una membrana semipermeable, la que permite el paso solamente del solvente, por lo regular se da movimiento del solvente desde el lado de menor concentración al lado de concentración mayor, a este proceso se le conoce como osmosis, a la presión necesaria para detener este proceso se le llama presión osmótica⁴.

La osmosis inversa hace uso del proceso inverso para producir agua pura a partir de agua salada; un ejemplo de fácil reproducción es cuando se tiene agua dulce y agua salada, separadas por un celofán o plástico poroso, el agua dulce pasa hacia el lado salado, al aplicarle una presión a la parte con agua salada, se hace que el flujo de agua dulce hacia el lado de agua salada sea menor, e inclusive que se detenga, cuando la presión aplicada es superior a dicho punto, el flujo se invierte, haciendo que el agua pase desde el lado salado hacia el lado donde no hay sales.

La electro diálisis es una variante de este proceso donde además de utilizar una membrana se utiliza un potencial eléctrico (voltaje) para que el movimiento de los iones se realice sin necesidad de aplicar presión, ya que los cationes se moverán hacia el ánodo, mientras que los aniones se moverán hacia el cátodo, se colocan membranas específicas para cada parte de la celda y la parte central tendrá menor concentración de iones que las dos de los extremos

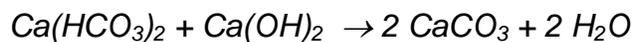
Se han interpuesto dificultades técnicas y costos elevados en el camino de la purificación del agua por diálisis. Actualmente va en aumento el uso de este sistema para purificación de agua en lugares donde solamente se tiene acceso a agua salada, como en Arabia y algunos Emiratos Árabes, ya que se tiene acceso a agua de mar. El uso de este método también va en aumento en algunos barcos, y submarinos, ya que ellos también tienen acceso a agua marina, mas no a agua potable.

1.2.3 Precipitación

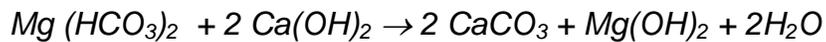
El proceso de ablandamiento por precipitación se realiza por lo regular en grandes plantas de ablandamiento y se realiza agregando cal, o cal y bicarbonato de sodio (sosa calcinada), o cal y dióxido de carbono, para hacer que el calcio y magnesio precipiten en forma de compuestos insolubles.

La cal reacciona con los bicarbonatos de calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) y magnesio ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$), que son los causantes de la “dureza de carbonatos”, formando carbonato de calcio e hidróxido de magnesio. La sosa calcinada, carbonato de sodio (Na_2CO_3), reacciona con los compuestos solubles no carbonatados de calcio y magnesio, estos causan la “dureza permanente o de no carbonatos”, precipitando el calcio y magnesio como compuestos insolubles, dejando en solución a los compuestos de sodio.

Las reacciones involucradas en el ablandamiento del agua para eliminar la dureza de carbonatos son:



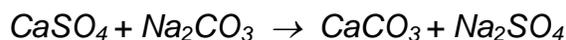
(Bicarbonato de calcio + hidróxido de calcio → carbonato de calcio + agua)



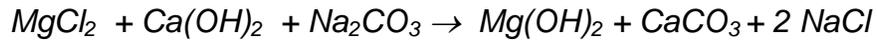
(Bicarbonato de magnesio + hidróxido de calcio → carbonato de calcio + hidróxido de magnesio + agua)

En estas reacciones los productos (carbonato de calcio e hidróxido de magnesio) precipitan en forma de sólidos (carbonato) y coágulos (el hidróxido precipita en forma de coloide).

Mientras que las reacciones de precipitación del carbonato sódico (para agua con dureza de no-carbonatos) son:



(Sulfato de calcio + carbonato de sodio → carbonato de calcio + sulfato de sodio)



(Cloruro de magnesio + hidróxido de calcio + carbonato de sodio → hidróxido de magnesio + carbonato de calcio + cloruro de sodio)

Acá igualmente precipitan el carbonato y el hidróxido, mientras que el sulfato es soluble en agua (44g/100 g de agua) al igual que el cloruro de sodio, la sal común es soluble en agua (30 g/100 g de agua).

Cuando existen grandes concentraciones de magnesio, se debe agregar suficiente cal para elevar el pH hasta 10.5 al menos, ya que este es el punto de máxima precipitación de hidróxido de magnesio, continuándose con la coagulación y sedimentación convencionales. Entonces se agrega dióxido de carbono (CO₂) para bajar el pH hasta 9.5 aproximadamente, ocurriendo en este punto la máxima precipitación del carbonato de calcio seguida de una coagulación y sedimentación secundarias. Finalmente, se agrega más dióxido para disolver cualquier cantidad de carbonato de calcio que haya quedado en suspensión.

Cuando la precipitación se realiza en caliente resulta más completa que cuando se realiza en frío, ya que a temperatura ambiente este proceso deja de 0.3 – 0.5 e.p.m. de dureza, mientras que el agua salida de una unidad de proceso en caliente, bajo condiciones de 3-5 psi de presión de vapor y 105-111 °C, tendrá solo de 0.15 – 0.2 e.p.m. obviamente una solución cuando se trabaja a bajas temperaturas sería aumentar el tiempo de residencia en el reactor⁵.

Este tratamiento tiene el inconveniente que luego habrá que verificar el pH del agua, ya que si se agrega CO₂ en exceso, el agua se volverá ácida, si esto ocurre habrá que desgasificar el agua o neutralizarla, ya que si esta llega ácida a la caldera aumenta la corrosión en esta.

1.2.4 Intercambio iónico

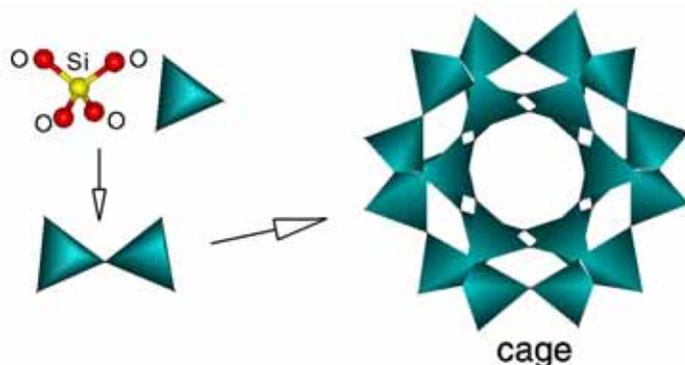
El sistema de tratamiento de agua por intercambio iónico se realiza por lo regular en plantas pequeñas y con usos particulares para el agua, el cual consiste en filtrar el agua a través de una resina parecida a la arena, donde la resina contiene compuestos, los cuales intercambian los iones dañinos al sistema por otros iones menos dañinos o inertes al sistema.

El intercambio iónico tiene la ventaja de que no solo permite disminuir la dureza del agua, también permite atrapar otros iones dañinos al sistema, por lo que se puede utilizar para aplicaciones específicas donde se requiere eliminar ciertos iones que pueden resultar dañinos para un sistema en particular, mas no para otro.

La resina, conocida comúnmente como zeolita, es un sólido cristalino de estructuras bien definidas, las cuales tienen micro porosidades, en su estructura lleva Silicio, aluminio y oxígeno, lleva agua, cationes y/o otras moléculas en sus poros.

Las zeolitas, ocurren naturalmente como minerales, sin embargo con el advenimiento de los polímeros se han generado zeolitas sintéticas, las cuales son generadas comercialmente para usos específicos. Dada la naturaleza porosa de las zeolitas estas son usadas en un sin fin de aplicaciones, desde tratamiento de agua, hasta la catálisis de reacciones.

Figura 1. Estructura cristalina de las zeolitas, la molécula tiene forma de tetraedro, cada molécula se une a la siguiente por los átomos en las esquinas

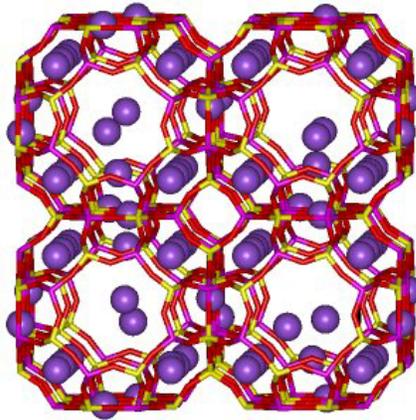


Fuente: <http://www.bza.org/zeolites.html>

Una característica definitoria de las zeolitas es que la red está hecha de 4 átomos formando un tetraedro, con un átomo de silicio en el centro y átomos de oxígeno en las esquinas, estos forman una red enlazada por las esquinas de los tetraedros, y pueden unirse en una variedad de estructuras haciendo todo tipo de formas. La estructura de la red puede contener jaulas, cavidades o canales unidos entre si, estos regularmente tienen una porosidad entre 3 y 10 Å de diámetro.

Se han descubierto más de 130 diferentes estructuras de red. Además de tener silicio o aluminio como átomo tetraédrico, otras composiciones han sido sintetizadas, incluyendo la categoría creciente de aluminofosfatos micro porosos, también conocidos como ALPO por sus siglas en ingles; estos compuestos son usados como catalizadores en la industria petroquímica tanto por su porosidad, como por que forman ácidos de bronsted, los cuales aumentan el potencial catalítico de la zeolita, y de allí su importancia.

Figura 2. Estructura de la zeolita, los iones metálicos están representados en morado, estos se intercambian en el ablandamiento de agua.



Fuente: <http://www.bza.org/zeolites.html>

La aplicación en distintos campos es sumamente interesante, sin embargo es su aplicación en el tratamiento de agua la que nos interesa en este momento, específicamente el intercambio de iones.

La naturaleza del enlace entre los iones metálicos de la red externa con la matriz, la cual es suelta, significa que regularmente pueden ser cambiados por otros tipos de metal cuando se encuentra la zeolita en una solución acuosa. Esta propiedad es explotada en el ablandamiento, donde los metales alcalinos como el sodio o el potasio prefieren salir de la zeolita, siendo reemplazados por el calcio y el magnesio del agua dura.

Existen 2 tipos de tratamientos de intercambio iónico:

- Intercambio catiónico
- Intercambio aniónico

1.2.4.1 Intercambio catiónico

En este tipo de intercambio iónico se utiliza zeolitas para remover los iones positivos (cationes) de la dureza del agua

Existen 2 tipos de sistemas de intercambio catiónico:

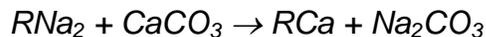
- el de zeolitas de sodio,
- el de zeolitas de hidrógeno

Como ya se explico, al usar este método se sustituye los iones calcio y magnesio de los sulfatos y bicarbonatos, por bicarbonatos y sulfatos de sodio al utilizar zeolitas de sodio, y en el caso de trabajar con zeolitas de hidrógeno, los bicarbonatos y sulfatos se reemplazan por ácido carbónico y otros ácidos. El contenido de ácido carbónico se puede disminuir por un proceso de aireación.

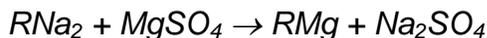
Sin embargo debe tenerse presente que el sustituto del calcio y magnesio, el sodio o el hidrógeno, presente en la zeolita se agotará en algún punto y la dureza del agua aumentará en ese momento. Entonces deberá regenerarse la zeolita a fin de seguir extrayendo la dureza del agua, los tiempos de tratamiento y regeneración dependerán del tipo de zeolita (natural o sintética), y de los valores de tolerancia que se permitan en la dureza del agua.

Para regenerar la zeolita de sodio se debe sustituir el sodio perdido durante el tratamiento de agua utilizando sal común (cloruro de sodio) el cual debe pasarse a través de la unidad de ablandamiento a fin de que se de el intercambio iónico inverso al del tratamiento. Cuando se utiliza zeolita de hidrógeno se utiliza ácido clorhídrico o sulfúrico diluido a fin de restituir el hidrógeno utilizado.

Las reacciones de ablandamiento de agua al utilizar una zeolita de sodio se describen a continuación, el compuesto de la zeolita se designa por una R, debido a la complejidad de su estructura⁶:

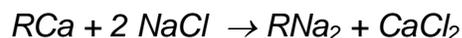


(Zeolita de sodio + carbonato de calcio → zeolita de calcio + carbonato de sodio)

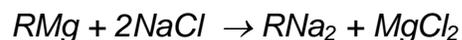


(Zeolita de sodio + sulfato de magnesio → zeolita de magnesio + sulfato de sodio)

Mientras que las reacciones de regeneración son:



(Zeolita de calcio + cloruro de sodio → zeolita de sodio + cloruro de calcio)



(Zeolita de magnesio + cloruro de sodio → zeolita de sodio + cloruro de magnesio)

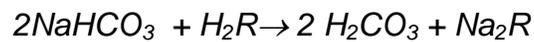
En el caso de un intercambiador de zeolita de hidrógeno se producen las siguientes reacciones durante el ablandamiento del agua:



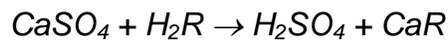
Bicarbonato de calcio + zeolita de hidrógeno → ácido carbónico + zeolita de calcio



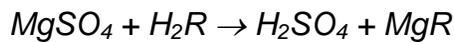
Bicarbonato de magnesio + zeolita de hidrogeno → ácido carbónico + zeolita de magnesio



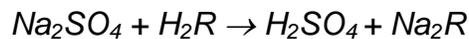
bicarbonato de sodio + zeolita de hidrógeno → ácido carbónico + zeolita de sodio



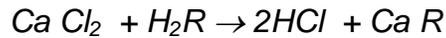
Sulfato de calcio +zeolita de hidrógeno → ácido sulfúrico + zeolita de calcio



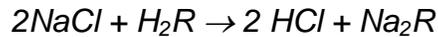
Sulfato de magnesio + zeolita de hidrógeno → ácido sulfúrico + zeolita de magnesio



Sulfato de sodio + zeolita de hidrógeno → ácido sulfúrico + zeolita de sodio

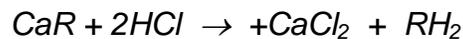


Cloruro de calcio + zeolita de hidrógeno → ácido clorhídrico + zeolita de calcio

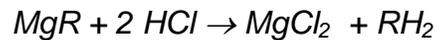


cloruro de sodio + zeolita de hidrógeno → ácido clorhídrico + zeolita de sodio

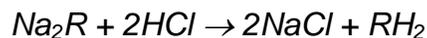
En el ciclo de regeneración se tiene:



Zeolita de calcio + ácido clorhídrico → cloruro de calcio + zeolita de hidrógeno



Zeolita de magnesio + ácido clorhídrico → cloruro de magnesio + zeolita de hidrógeno



Zeolita de sodio + ácido clorhídrico → cloruro de sodio + zeolita de hidrógeno

Se debe recordar que durante este tipo de tratamiento los aniones (iones negativos) permanecen disueltos en el agua.

En el caso de un tratamiento con zeolita de hidrógeno se necesita que el agua se desgasifique, ya que el agua a la salida del intercambiador regularmente tiene una alta concentración de ácido carbónico y dicha acidez aumenta la corrosión en la caldera.

Es usual tener un sistema combinado donde se colocan en paralelo dos ablandadores, uno de iones de hidrógeno y otro de iones de sodio, ya que por lo regular el de sodio puede tener el resultado indeseable de producir una solución diluida de bicarbonato, al ebulir en la caldera se produce una solución cáustica y el dióxido de carbono pasa al vapor, la acidez natural producida por el intercambiador de iones hidrógeno neutraliza esta solución cáustica cuando se utilizan en paralelo los dos sistemas. El ablandador de iones de hidrógeno también se utiliza en combinación con un ablandador por intercambio aniónico, neutralizando el agua a la salida del segundo, o también se puede usar un desgasificador donde se eliminan todos bicarbonatos (convirtiéndolos en CO_2 y extrayendo todo el gas) evitando la necesidad del intercambiador extra.

En años recientes, con el advenimiento de los polímeros se ha vuelto común utilizar resinas sintéticas en lugar de zeolitas, de tal forma que ha aumentado el número de iones que puede remover un intercambiador de iones catiónico, así como se ha incrementado la selectividad hacia los mismos.

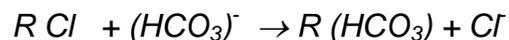
1.2.4.2 Intercambio aniónico

En años recientes ha aumentado el uso de resinas de intercambio aniónicas (eliminan los iones de carga negativa), por lo regular se utilizan en conjunto con tratamientos de resinas catiónicas, produciendo agua de una pureza que era solamente alcanzable con destilación anteriormente, ya que no solamente se eliminan los minerales causantes de la dureza, sino que también se eliminan las sales solubles, teniendo la ventaja que el proceso es más barato que la destilación.

Este sistema se utiliza ya sea en paralelo con un sistema de intercambio catiónico o en conjunto ambos tipos en una sola columna y regenerándose con sal común ambos cuando ambos sistemas son compatibles con dicho regenerante (cloruro para aniónico y sodio para catiónico), o utilizando otra forma de regeneración cuando no tienen en común el regenerante.

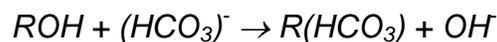
La importancia inicial del intercambio aniónico radicaba en la eliminación de la sílice, la cual representa un compuesto de dureza en su forma de silicato de calcio y de magnesio, ya que éstos se depositan en superficies calientes al igual que los sulfatos y los carbonatos.

En el caso de resinas de intercambio aniónico se tiene la siguiente reacción cuando se tiene una resina fuertemente básica de cloruro:



Cloruro de zeolita + bicarbonato (carbonato ácido) → bicarbonato de zeolita + cloruro

Como se puede observar se eliminan los aniones, sustituyéndolos por cloruros; en el caso de utilizar resinas de otras bases fuertes como los hidróxidos se tiene:



Hidróxido de zeolita + bicarbonato → bicarbonato de zeolita + hidróxido

Este ión de hidróxido se neutraliza con el ácido producido en un tratamiento con zeolita de hidrógeno cuando se colocan estos sistemas en paralelo.

1.2.5 Secuestración de iones

En este caso se agregan químicos que producen un ion complejo en el agua, este ion atrapa las moléculas de dureza, evitando que reaccionen o que se depositen en las superficies calientes, aunque su uso principal es en lavandería, donde la dureza evita que los jabones y detergentes reaccionen con la suciedad y al agregar estos compuestos se sustituye la reacción entre los iones de dureza con el jabón por la formación de un compuesto quelante con los complejos.

La Quelatación se define como la formación de complejos solubles de iones metálicos en presencia de agentes químicos que normalmente producirían precipitados en soluciones acuosas. El mismo término se utiliza para describir la solubilización en agua de precipitados de iones metálicos⁷. Los dos procesos son idénticos en el sentido de que el mismo equilibrio se alcanza para el mismo conjunto dado de componentes. Los compuestos capaces de ligar iones metálicos de tal manera que ellos no exhiban sus reacciones normales en presencia de agentes precipitantes se conocen como agentes secuestradores o secuestrantes.

Los agentes secuestrantes disponibles comercialmente se clasifican en general como orgánicos o inorgánicos. El compuesto quelante más común es el EDTA (ácido etilendiamintetracético por sus siglas en inglés), este compuesto de la familia de los orgánicos, tiene amplio uso en la industria de ablandamiento de agua, en producción de jabones, en análisis químicos, así como en la industria agrícola, donde las sales de complejos se utilizaron para corregir la deficiencia de hierro de las naranjas, actualmente se utiliza para corregir deficiencia de otros micro nutrientes como el zinc, el cobre y el manganeso.

2. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

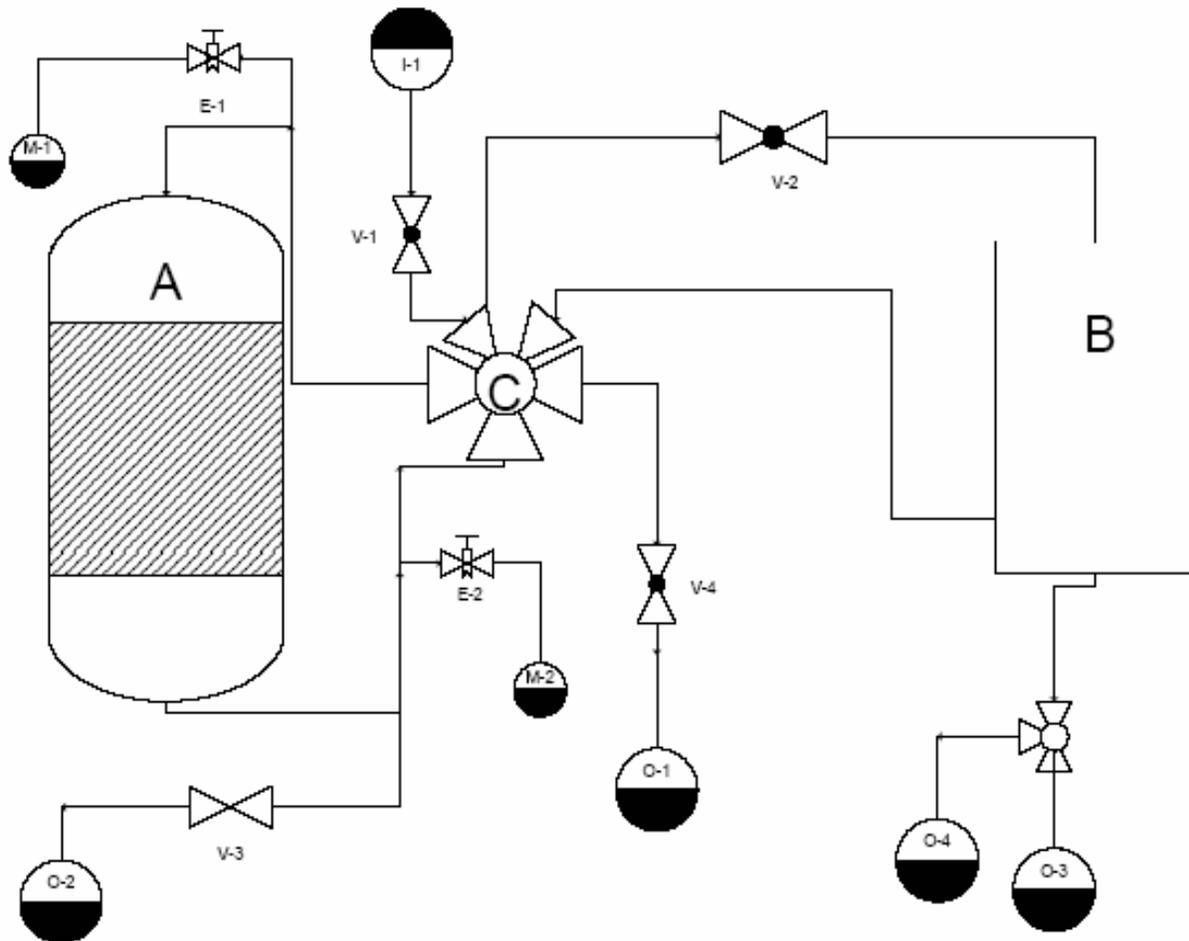
2.1 Características iniciales

El laboratorio de Operaciones Unitarias cuenta con una caldera Power Master, hecha por ORR y Sembower en 1,967, es un modelo JL de 50 Hp y cuenta con un área de intercambio calórico igual a 252 ft² (23.41 m²). Como ya se explico anteriormente los sistemas de producción de vapor por lo regular requieren un sistema de tratamiento para que el agua que llega no produzca daño a la caldera.

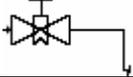
El equipo de tratamiento encontrado en el laboratorio de operaciones unitarias consta únicamente de un sistema de intercambio iónico, este hecho probablemente obedecía a que el agua alimentada a dicho sistema es agua para consumo humano, considerando que llevaba suficiente pretratamiento y solamente se requería reducir la dureza del agua por medio del ablandador.

El ablandador o sistema de intercambio iónico, constaba inicialmente de la columna de ablandamiento, una llave de múltiple paso, un tanque auxiliar y las llaves correspondientes al bypass del sistema así como las llaves de operación del equipo.

Figura 3. Diagrama del equipo de intercambio iónico bajo condiciones iniciales



SIMBOLOGÍA

NOMENCLATURA	SIGNIFICADO
A	Columna de intercambio
B	Tanque auxiliar
C	Llave de multiple paso
I-1	Entrada de agua cruda
O-1	Salida de agua blanda
O-2	Salida de agua a desagüe
O-3, O-4	Salidas de tanque auxiliar a desagüe
M-1 Y M-2	Tomas de muestra
 V-1, V-2 y V-4	Llaves de globo
	Chorros
 V-3	Llave de compuerta
	Llave de dos direcciones

2.1.1 Columna de intercambio iónico y resina

La columna tiene un diámetro de 42 cm y una altura de 1.45 m, siendo el volumen interno igual a 0.20 m³ (equivalente a 7 ft³), al desalojar el volumen de la columna se encontró que esta contenía un volumen aproximado de 0.0850 m³ (3 ft³) de resina, 0.0425 m³ (1.5 ft³) de grava y el resto del volumen es vacío, el volumen vacío es para permitir que la resina se expanda durante el ciclo de retrolavado.

Los contaminantes principales en el agua de alimentación son, como se explico anteriormente, el calcio, el magnesio, el hierro; los primeros dos son causantes de las incrustaciones dentro de la caldera, y el tercero es dañino para los sistemas de tratamiento de agua, ya que daña la resina.

La resina dentro de la columna atrapa los cationes (iones de cargas positiva) presentes en los compuestos de la dureza (carbonatos, sulfatos de calcio y magnesio) sustituyéndolos por compuestos de sodio, los cuales no precipitan dentro de la caldera.

La cantidad de resina que originalmente se encontraba dentro de la columna (3ft³), ablandaba una cantidad aproximada de 44 m³ de agua, suficiente para trabajar un año sin necesidad de regenerarse, sin embargo se analizo que podría utilizarse eficientemente con una cantidad menor de resina, en este caso se escogió 2 ft³, tanto por razones económicas como por ciclo de operación, ya que no es necesario tener un ciclo de operación tan largo para un uso tan bajo.

2.1.2 Llave de múltiple paso

En el equipo se tiene una llave de múltiple paso, la cual simplifica bastante el funcionamiento del sistema, ya que esta permite cambiar la dirección del flujo de agua dependiendo de una manivela, sustituyendo varias llaves de compuerta. Esta llave como se puede apreciar en la fotografía tiene conexión a 6 tuberías, dos de las cuales conectan a la columna, una con la alimentación de agua cruda, otra para la salida del sistema, y 2 mas para conectar el sistema a un tanque auxiliar (llenado/recirculación y succión).

Figura 4. Llave de múltiple paso y sus conexiones



La llave cuenta con 4 piezas:

La manivela y su resorte, la cubierta, el fondo y la pieza de conexión.

La pieza de conexión es la que como su nombre lo indica conecta cada una de de las entradas con una salida, conecta dos flujos al mismo tiempo.

**Figura 5. Esquema interno del fondo la llave de múltiple paso y fotografía
(Las conexiones en negro están bloqueadas)**

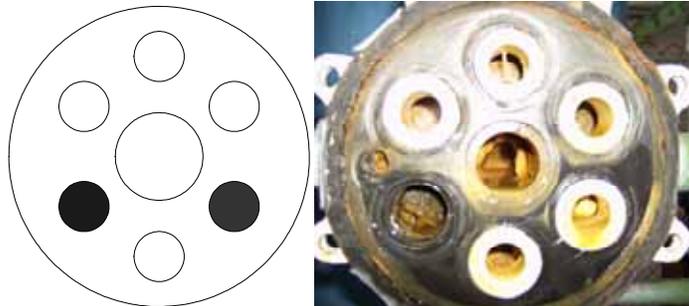


Figura 6. Fotografía de la parte frontal de la llave de múltiple paso, las conexiones están indicadas con las flechas



Esta válvula tiene 3 posiciones entre las cuales debe trabajar:

- Operación normal
- Regeneración
- Retrolavado

Figura 7. Posiciones de operación de la válvula de múltiple paso, de izquierda a derecha, operación normal (run), regeneración (regen) y retrolavado (wash)



2.1.3 Tanque auxiliar

El tanque auxiliar, permite preparar la solución de salmuera a utilizarse para la regeneración, por lo regular la dilución de la sal industrial lleva algún tiempo, ya que sus granos no son finos, entonces esto permite regular la concentración de la salmuera para regeneración.

2.2 Análisis operacional del equipo y cambios realizados

El primer cambio efectuado se realizó al momento de analizar el funcionamiento mecánico del sistema, ya que se determinó que no había circulación de regenerante hacia el sistema, entonces se determinó que para inducirlo hacia la columna de ablandamiento era necesario adicionar una bomba.

Se instaló una bomba de ½ HP con la finalidad de hacer circular el regenerante desde el tanque auxiliar hacia el sistema y de regreso, ya que la fase de regeneración se da durante un ciclo de aproximadamente 45 minutos a una hora, durante los cuales debe circular una solución de cloruro de sodio al 5 % en el sistema.

Figura 8. Diagrama del equipo de intercambio ionico luego de los cambios realizados

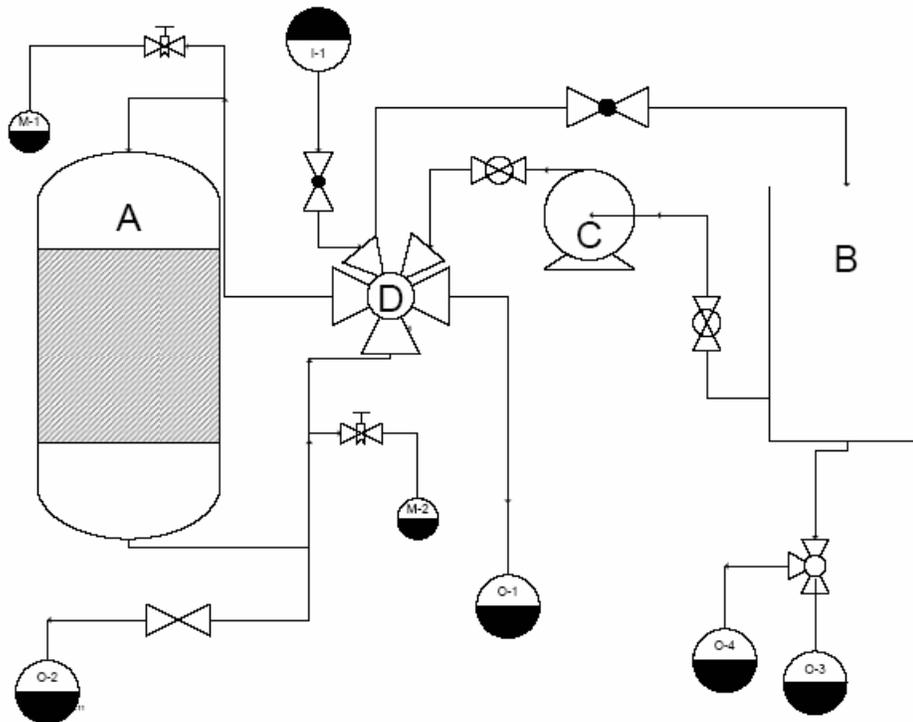
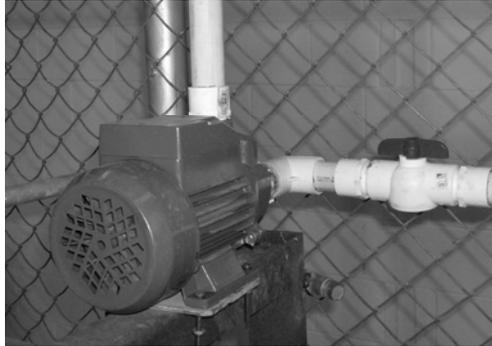


Figura 9. Bomba instalada para circulación del regenerante al sistema



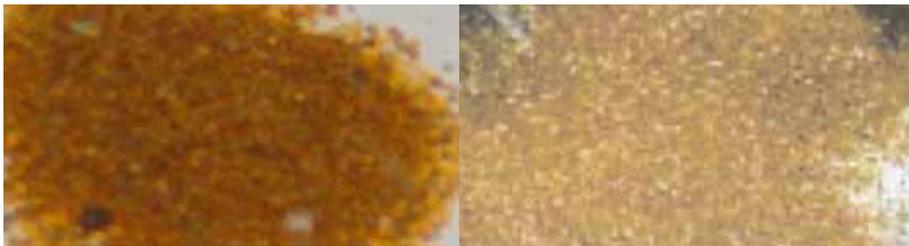
Después de instalada la bomba, se evaluó la parte de ablandamiento. Se regeneró el sistema con salmuera (solución de cloruro de sodio) al 5 %. Se tomaron muestras de la solución salina y se procedió a analizar la concentración de sodio, el cual es uno de los actuantes en este sistema. Se determinó que no hubo cambio en la concentración de dicho ion, determinando que la resina no se encontraba en buen estado.

Se procedió a comprobar los resultados mediante un ciclo de operación, para determinar si existía ablandamiento de agua, determinándose así mismo que no había ablandamiento y comprobando así que la resina no estaba en buen estado.

Se concluyó que la resina se encontraba dañada por la presencia de hidróxido férrico, este compuesto presente en el agua cruda, recubre la resina, la cual tiene un área extensa debido a su porosidad, el compuesto luego se oxida sobre la superficie de las perlas e impide el intercambio de iones, lo que reduce poco a poco la capacidad de la resina hasta hacerla inútil.

Dados los resultados de la fase anterior se procedió a sacar el contenido de la columna para luego proceder a la inserción de resina nueva. Además de los 3 pies³ de resina que se encontraban en la resina, también se encontró alrededor 1 pie³ de grava, el objetivo de esta grava es evitar que la resina salga de la columna por la parte inferior y se pierda en el agua blanda, ya que la columna carece de un plato de soporte para la resina.

Figura 10. Diferencias en resinas, izquierda: resina extraída de la columna; derecha: resina nueva colocada en la columna



Se sustituyó la resina con resina tipo catiónico, del tipo Amberlite IR 120 NA, en la figura 10 se pueden apreciar las diferencias sustanciales entre las dos resinas, la resina de la izquierda tiene un color rojizo, mientras que la resina nueva tiene un color ámbar (las características de las resinas pueden encontrarse en la sección de anexos).

Luego de proceder a sacar la resina y parte de la grava se instaló una cantidad igual de grava (1 pie³) de grava nueva, Esta grava como se explico anteriormente sirve como plato de soporte para la resina, y a la vez sirve como filtro de partículas acarreadas en el agua.

Al agregar grava de variado tamaño a la columna se tuvo el efecto secundario de que la caída de presión aumento en la columna, ya que la nueva grava redujo el área libre para paso de agua en el fondo de la columna, reduciendo el flujo volumétrico máximo de 1.5 m³/hr de agua a 0.6 m³/hr.

La contaminación por hidróxido férrico en el agua cruda se hizo evidente al abrir la válvula de múltiple paso, ya que la tubería estaba recubierta de una capa color rojizo, Asimismo al abrir un chorro luego de un largo periodo de tiempo se puede observar coloración rojiza en el agua. Esta contaminación proviene de la tubería de hierro galvanizado, la cual tiene al menos 20 años, esta tubería es susceptible a corrosión después de 5-10 años de vida útil.

Se determinó que la fuente de la contaminación y envenenamiento de la resina original fue el resultado de esta corrosión, y también se observó que esta contaminación dañara de la misma forma la resina nueva que se instalo en el sistema. Se recomienda cambiar la tubería de alimentación de agua del laboratorio de Operaciones unitarias por tubería de PVC, lo cual evitaría causar mas daño al sistema, o realizar lavados periódicos con hidrosulfito de sodio , así como colocar un filtro el cual reduciría la concentración de hierro que llega a la columna de intercambio iónico.

Otro efecto de esta contaminación fue el bloqueo de la bomba auxiliar que se había instalado, dicha bomba tuvo que ser removida, al limpiarla se encontraron partículas de oxido en la carcaza y el impulsor de la bomba, las cuales solo podían provenir del sistema, ya que el impulsor de la bomba es de bronce, esta aleación es mas resistente a oxidación que el hierro fundido y el hierro galvanizado, luego se reinstaló la bomba con la adición de una llave de globo a la descarga, a fin de evitar que las partículas de oxido lleguen a la bomba cuando esta no esta operando.

2.3 Ciclos de Operación del Sistema

El ciclo de un sistema de intercambio iónico consiste en dos operaciones, sin embargo hay otra operación que también forma parte fundamental del mantenimiento del sistema, el retrolavado, este debe realizarse entre cada operación, es decir se realiza entre la operación normal y la regeneración, y luego entre la regeneración y la operación normal.

La importancia del retrolavado radica en que sirve para remover las impurezas que quedan atrapadas entre las perlas de la resina de intercambio iónico. Estas impurezas o lodos (cuando la acumulación es prolongada o cuando no hay un buen filtrado del agua de alimentación) tienden a formarse debido a que la columna funciona como filtro, ya que el área libre (donde circula el agua) es reducida.

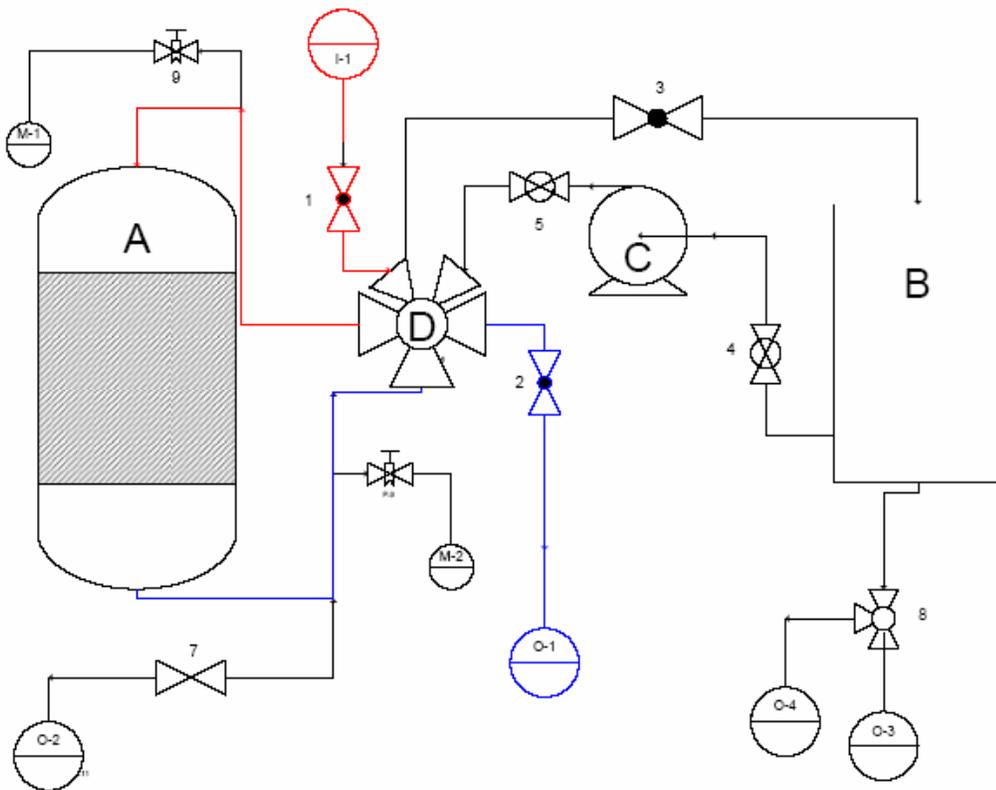
El retrolavado tiene otro objetivo al mismo tiempo, permitir que se expanda la resina, la cual se apelmaza en el fondo de la unidad tanto por la presión como por su propio peso, al hacer fluir el agua en la dirección opuesta al flujo normal, se expande la resina, y las perlas quebradas o fracturadas flotan y pueden ser retiradas de la columna al hacer este procedimiento. La resina quebrada es repuesta con resina nueva, si lo permite el proceso.

A continuación se describe el movimiento del fluido en cada una de las operaciones, así como el procedimiento exacto de cada operación

2.3.1 Operación normal (Run)

Al abrir la llave de paso que alimenta el sistema, se conecta este flujo a la parte superior de la columna, alimentando agua cruda por la parte superior de la columna; en la parte inferior se extrae agua blanda, esta es llevada de nuevo hacia la llave y es conectada hacia la salida del sistema.

Figura 11. Diagrama de flujo del equipo durante la operación normal del sistema.



En la figura la tubería de color negro es tubería no utilizada, la de color rojo es la del agua cruda que entra al sistema, mientras que la de color azul es la que sale.

Procedimiento de operación

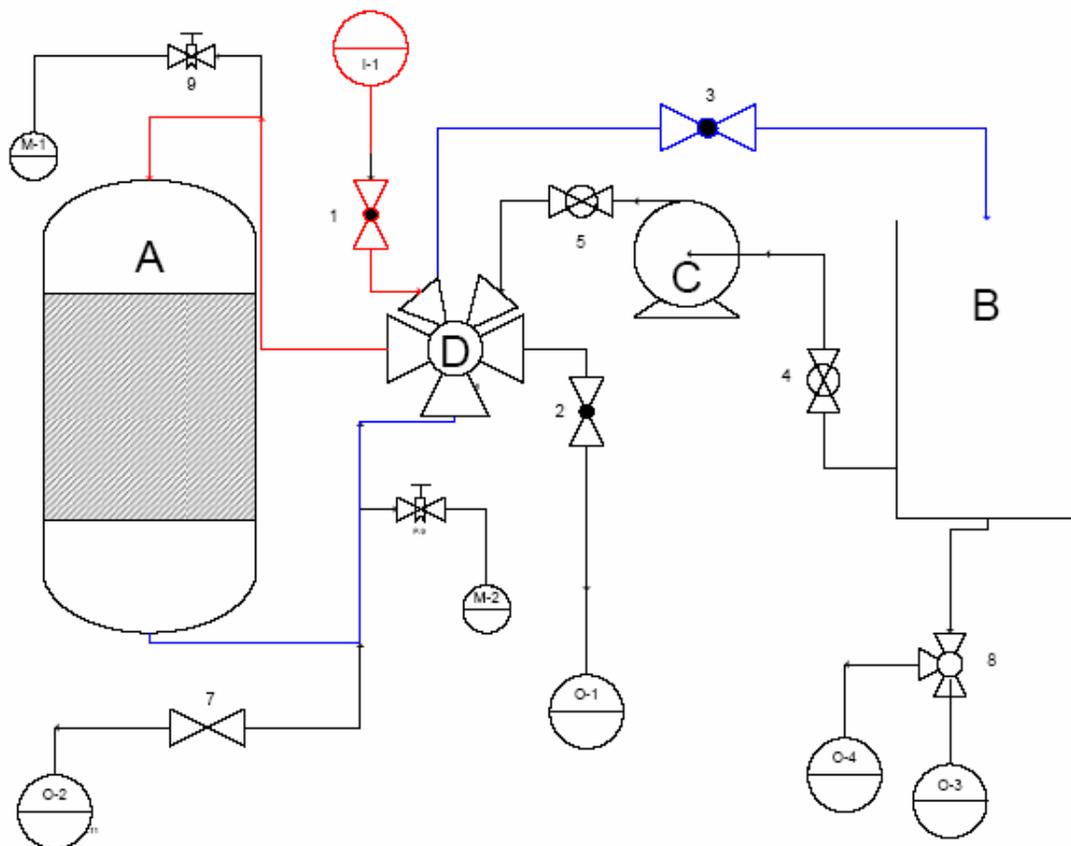
Durante la fase de ablandamiento de agua se debe verificar que la manivela de la llave de múltiple paso se encuentre en la posición de RUN.

1. Verificar que todas las llaves estén cerradas (incluidas las del tanque de almacenamiento).
2. Verificar la lectura del contador a fin de chequear que el ciclo de tratamiento no haya agotado la resina (duración del ciclo 30 m³)
3. Abrir la llave de salida del sistema de ablandamiento hacia el tanque de almacenamiento (llave 2).
4. Abrir la llave de alimentación de agua cruda hacia el sistema (llave 1).

2.3.2 Regeneración (regen)

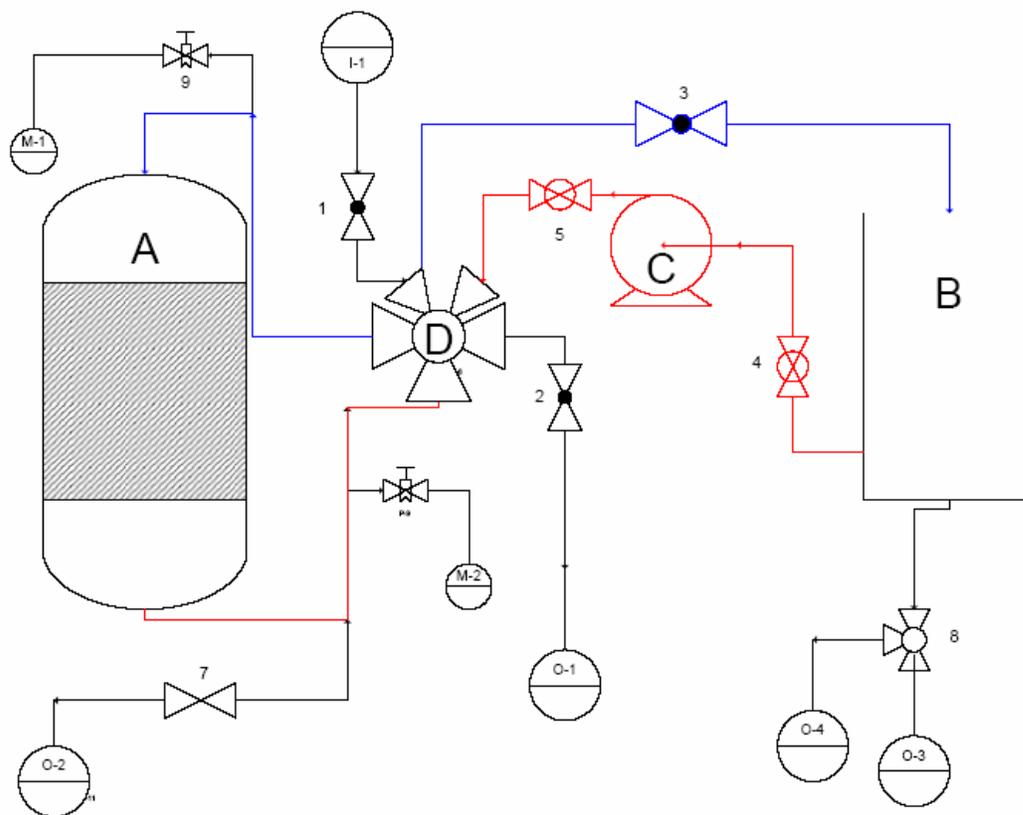
Esta operación consiste en dos fases, la primera consiste en la preparación del regenerante, en este caso una solución de sal al 5 %. Se llena el tanque auxiliar con agua del sistema y luego se disuelve la sal en el mismo. La tubería de color rojo indica la dirección del flujo dentro del sistema.

Figura 12. Diagrama de flujo del equipo durante la 1era fase de la regeneración.



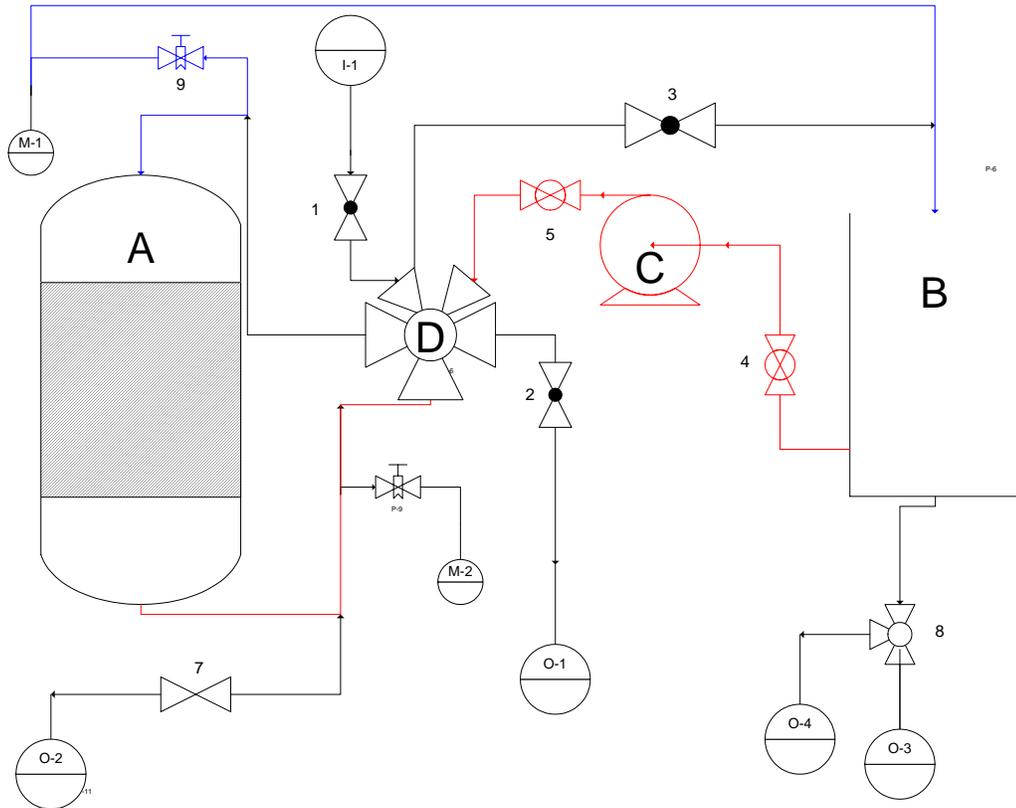
En la segunda fase, se alimenta el regenerante (salmuera) desde el tanque auxiliar hacia la parte inferior de la columna, saliendo esta por la parte superior hacia el tanque auxiliar. Esta fase se puede realizar como dos variantes, la primera es con el equipo en su estado actual y la segunda es agregando una manguera conectada al chorro (Válvula 9)

Figura 13. Diagrama de flujo del equipo durante la 2da fase de la regeneración en su variante A.



Como se explicó en los diagramas anteriores, La línea de color rojo indica el flujo de regenerante desde el tanque auxiliar (B) hacia la parte inferior de la columna de intercambio iónico con ayuda de la bomba; la línea de color azul, indica el retorno desde la columna hacia el tanque auxiliar. Esta variante se realiza con el equipo tal como se encuentra actualmente.

Figura 14. Diagrama de flujo del equipo durante la 2da fase de la regeneración en su variante B.



En esta segunda fase se agrega una manguera conectada en el chorro conectado a la parte superior de la columna (Válvula 9), a fin de asegurar la circulación del regenerante por la columna, hacia el tanque auxiliar. De ser posible se debe utilizar esta forma de operar siempre que se cuente con la manguera.

PROCEDIMIENTOS DE REGENERACIÓN

Durante este procedimiento la manivela de la llave de múltiple paso debe encontrarse en la fase de REGEN (regenerar).

Fase 1 (Preparación de solución)

En esta fase se debe de disolver sal en agua a fin de formar una solución de salmuera al 5 %

1. 14 KG de sal
2. Verificar que todas las llaves estén cerradas (incluidas las del tanque de almacenamiento).
3. Abrir la llave de llenado del tanque auxiliar (llave 3).
4. Abrir la llave de alimentación de agua cruda hacia el sistema (llave 1).
5. Llenar el tanque auxiliar hasta la primera marca superior.
6. Agregar la sal poco a poco, agitar la solución mediante movimientos con un agitador o inclusive con la mano si hace falta para diluir la sal hasta que no hayan granos visibles.

FASE 2 (Regeneración de la resina)

Como se explico esta fase se puede realizar de dos formas, las variantes A y B respectivamente.

Variante A

1. Verificar que todas las válvulas estén cerradas.
2. Abrir la llave de vaciado de la columna de ablandamiento (válvula 7) hasta que el nivel del agua este a aprox. 5 cm sobre el nivel de resina (verificar por medio de la boquilla de inspección) .
3. Verificar que la bomba auxiliar está cebada (tenga líquido en la tubería de alimentación a la misma).

4. Colocar la manguera hacia alimentación del tanque auxiliar.
5. Abrir la llave del chorro conectado a la manguera (válvula 9).
6. Abrir la llave de alimentación de la bomba (válvula 4)
7. Encender la bomba auxiliar.
8. Abrir la llave de bola a la descarga de la bomba (válvula 5) y dejar al sistema recircular durante 45 minutos.
9. Abrir la llave de vaciado de la columna (válvula 7) y vaciar el tanque auxiliar de dicha forma hasta donde sea posible (sin apagar la bomba de regenerante)
10. Cerrar el chorro conectado a la manguera (válvula 9)
11. Cerrar la llave de purga de la columna (válvula 7), apagar la bomba auxiliar y cerrar la llaves de la misma.
12. Vaciar el tanque auxiliar hacia el desagüe (abrir válvula 8).

Variante B

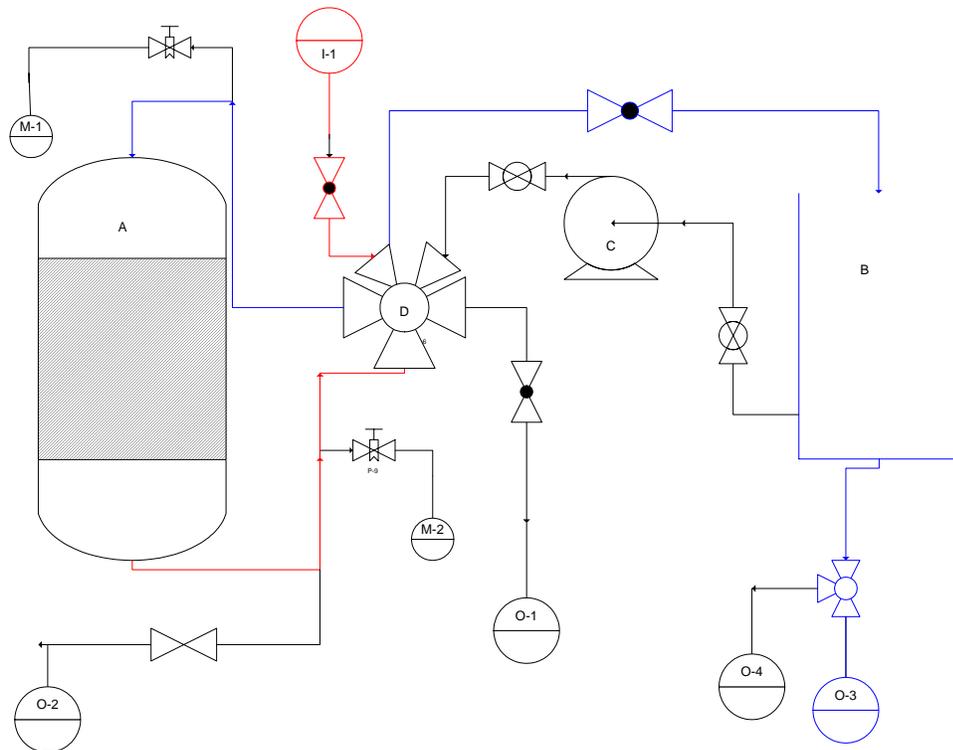
1. Verificar que todas las válvulas estén cerradas.
2. Abrir la llave de vaciado de la columna de ablandamiento (válvula 7) hasta que el nivel del agua este a aprox. 5 cm sobre el nivel de resina (verificar por medio de la boquilla de inspección) .
3. Conectar una manguera desde el chorro conectado a la parte superior de la columna (válvula 9).
4. Verificar que la bomba auxiliar está cebada (tenga líquido en la tubería de alimentación a la misma).
5. Abrir la llave de la tubería de alimentación del tanque auxiliar (válvula 3).
6. Abrir la llave de alimentación de la bomba (válvula 4)
7. Encender la bomba auxiliar.
8. Abrir la llave de bola a la descarga de la bomba (válvula 5) y dejar al sistema recircular durante 45 minutos.

9. Abrir la llave de vaciado de la columna (válvula 7) y vaciar el tanque auxiliar de dicha forma hasta donde sea posible (sin apagar la bomba de regenerante)
10. Cerrar el chorro conectado a la manguera (válvula 9)
11. Cerrar la llave de purga de la columna (válvula 7), apagar la bomba auxiliar y cerrar la llaves de la misma.
12. Vaciar el tanque auxiliar hacia el desagüe (abrir válvula 8).

2.3.3 Retrolavado (wash)

En la fase de retrolavado, se conecta la alimentación de agua cruda hacia la parte inferior de la columna, y de la parte superior se extrae el agua y se debe enviar hacia el desagüe.

Figura 15. Diagrama de flujo del equipo durante el retrolavado



La línea de color rojo indica el flujo de agua cruda que ingresa a la parte inferior de la columna, mientras que se saca el agua a través de la tubería del sistema hacia el tanque Auxiliar (B) y luego hacia el drenaje de este.

3. CONSEJOS DE SELECCIÓN DE RESINA Y OPERACIÓN DE LA COLUMNA

A continuación se detallan algunos consejos para una operación de sistemas de ablandamiento por intercambio iónico, así como algunas guías para la mejor operación de dichos sistemas.

Antes de escoger la resina se debe realizar un análisis completo del agua a tratar y las condiciones a las que se requiere la misma (ablandamiento, desmineralización) ya que de esa forma se podrá verificar cuales son los contaminantes principales del agua y eliminarlos adecuadamente según sea el caso y para la mejor selección de la resina a utilizar, distintas resinas tendrán distintos resultados en el agua de alimentación, ya que la selectividad también varía de marca a marca.

La mayoría de los proveedores de resina pueden proporcionar asesoría en el momento de escoger la resina, basándose primordialmente en los análisis de agua realizados, sin embargo algunos de ellos proveen software para la selección de los sistemas si se desea realizar el análisis personalmente y si se tiene los suficientes conocimientos para diseñar un sistema de este tipo.

Luego de puesto en funcionamiento el sistema de tratamiento de agua, se deben realizar análisis periódicos al agua que se inyecta al sistema, esto es debido a que en algunas regiones varía la concentración de los contaminantes del agua de verano a invierno, esto permite verificar que el ciclo de tratamiento tiene la longitud apropiada.

Si se cuentan con los suficientes fondos se puede contratar un ingeniero especializado en sistemas de este tipo, ya que el puede determinar si es necesario algún pretratamiento al agua antes de someterla a intercambio iónico o si requiere condiciones especiales después del mismo.

Según la verificación de los sistemas de intercambio iónico, se tienen varias fases de operación como se explico anteriormente son:

Operación Normal

Regeneración

Retrolavado

Cabria decir que el retrolavado se debe realizar 2 veces, por lo que no son 3 operaciones sino 4, este debe realizarse entre cada operación de la columna, es decir al final de la operación normal, antes de la regeneración y luego al final de la regeneración antes de la operación normal.

Se debe realizar al final del ciclo normal de operación debido a que la columna de intercambio iónico, además de ablandar el agua, como ya se explico anteriormente atrapa los sólidos finos, los cuales forman lodos que quedan atrapadas entre las perlas de zeolita y los cuales aumentan la caída de presión dentro de la misma.

Al llenar de agua la columna de intercambio se debe tener cuidado de evitar dejar burbujas de aire, ya que estas burbujas pueden causar canalizaciones del flujo de agua y esto a su vez causar fugas de dureza en la misma, así mismo se debe verificar de no causar sobre presiones, ya que estas tienen el mismo resultado que las burbujas de aire.

Una fuga de dureza se produce regularmente cuando se presentan canalizaciones de flujo, ya que el agua solamente circula por un área de la columna, la resina en dicha área se saturara antes que el resto y se observará un valor no estable en la concentración de dureza al realizar los análisis de agua blanda; si se presenta una fuga se debe realizar una regeneración y revisar que la resina dentro de la columna se asiente de nuevo, así como regularizar las presiones dentro de la columna y eliminar las burbujas de aire dentro de la misma (si las hubieren).

El ciclo de operación esta definido por el tamaño de la columna, la dureza del agua y el tipo de resina utilizada (dependiendo de la resina algunas marcas pueden producir mayor cantidad de agua blanda).

Habitualmente se hace un retrolavado a la resina luego de su ciclo de operación normal, este es con el objetivo de remover las partículas atrapadas entre las perlas (sólidos finos en suspensión), y expandir el volumen ocupado por la resina para que al momento de regenerar la resina las perlas tengan mayor superficie de contacto con la salmuera en el momento de la regeneración.

Algunos operadores recomiendan desocupar la columna hasta dejar el nivel del agua ligeramente superior al volumen de resina, esto con el objetivo de no diluir el regenerante con el agua de retrolavado, sin embargo este método tiene el inconveniente de que introduce aire en la columna, y se puede contaminar la resina, ya que a veces el aire comprimido utilizado para desocupar la columna (es muy lento hacerlo por gravedad) puede acarrear aceite del compresor u algún otro contaminante de la tubería de aire comprimido.

Otros recomiendan hacer la regeneración con una solución con mayor concentración para que al diluirla con el agua de retrolavado, la concentración sea la requerida inicialmente.

Después del retrolavado se realiza la regeneración, donde se coloca una solución del regenerante bajo las indicaciones del fabricante de la resina, como parámetro normal, cuando se desconozca el fabricante de la resina, se utilizan a una solución entre el 4-10% de regenerante. Al igual que el retrolavado, la regeneración se hace habitualmente en la dirección opuesta a la de operación normal; esta se hace recirculando el regenerante durante cierta cantidad de tiempo para permitir que toda la resina absorba el regenerante y así mismo no desperdiciar regenerante al no hacer recirculación.

Luego de la regeneración se procede a hacer un nuevo retrolavado para desplazar el regenerante (sobre todo cuando se usan ácidos y/o álcalis como regenerante), así mismo para limpiar cualquier traza de dureza que pueda haber en la resina.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

La columna de intercambio, tiene un diámetro de 42 cm y una altura de 1.45 m, teniendo un volumen neto de 0.20 m^3 (7 ft^3), de este volumen, se debe restar el volumen utilizado para grava, aproximadamente 0.0283 m^3 (1 ft^3), del restante volumen se puede llenar la columna hasta un volumen equivalente a 0.0850 m^3 (3 ft^3), y el resto debe permitirse quedar vacío, ya que permite la expansión de la resina.

Los principales cationes presentes en toda agua son el calcio (Ca, Mg, Na, K y Fe; El agua tiene una concentración de dureza equivalente a 130 ppm de CaCO_3 y 0.74 ppm de Fe^{+2} , de estos la resina atrapa el Ca, y el Mg, produciendo agua con 0 dureza catiónica, el hierro se oxida en la capa superior de las perlas de la resina, formando una capa superficial alrededor de esta, para luego oxidarse y pegarse a las perlas, reduciendo la capacidad de las mismas o anulándola

Al instalar la nueva resina dentro de la columna de intercambio iónico se analizó la capacidad teórica de ablandamiento para el volumen de resina instalado, y se determinó que dicha capacidad era aproximadamente 28 m^3 de agua a ablandar (ver cálculos en la sección de apéndices); estos 28 m^3 de agua blanda llevan una cantidad equivalente a 3.51 kg de dureza (carbonato de calcio) y 0.02 kg de hierro, los cuales quedan atrapados por la resina

Debido a la dureza se tendría un depósito de 3.5 kg de carbonato de calcio depositado en la superficie de la caldera si no estuviera el ablandador, haciendo una capa de 0.06 mm de espesor que recubre los tubos por donde circulan los gases de combustión procedentes del quemador (ver sección de apéndices para el cálculo completo); esta costra actúa como aislante térmico y no permite el paso de calor desde los gases de combustión hacia el agua, haciendo que se incrementen los costos de operación de la caldera, ya que se necesita mayor cantidad de combustible para calentar la misma cantidad de agua.

Se determinó asimismo el tiempo de operación entre regeneraciones asumiendo una operación constante, este tiempo se calculó dividiendo la capacidad teórica de agua blanda que produciría la resina entre el flujo máximo del sistema:

$$T = V / Q$$

Tiempo = volumen / caudal

$$T = 29 \text{ m}^3 / 0.6 \text{ m}^3/\text{hr} = 48.333 \text{ horas de operación.}$$

Como se puede observar es un tiempo muy grande para realizar una práctica en el laboratorio por lo tanto se decidió que no se elaboraría la práctica experimental con los alumnos de operaciones unitarias.

Se analizó el ciclo de operación de la columna, para esto se puso a operar el sistema de ablandamiento, con el objetivo de determinar la capacidad experimental o de la resina colocada en la columna, se tomaron muestras periódicamente y se analizó la dureza tanto del agua cruda como del agua tratada a fin de observar la curva de operación de la columna.

Las muestras se tomaron de la siguiente forma

Cada 5 m³ mientras el volumen de agua tratada se encontraba entre 0-20 m³.

Cada 1 m³ mientras el volumen se encontraba entre 20 m³ hasta el volumen teórico de regeneración.(29 m³)

Cada 500 l (0.5 m³) después de alcanzado el volumen teórico de regeneración hasta llegar al volumen experimental de regeneración

Al saturarse la resina de iones de calcio y magnesio, el valor de la dureza del agua deberá ir aumentando, es entonces que el operador debe fijar un valor de dureza, el cual servirá para determinar el fin del ciclo de operación y el momento para la regeneración de la columna. Este valor se fijo en el máximo para el agua blanda, 17 ppm de dureza⁸, según normativas para el tratamiento de agua, y por lo tanto la columna deberá regenerarse a los 28 m³ de operación, sin embargo para el ciclo inicial de la resina se dejó correr hasta los 32.5 m³ a fin de observar una curva de operación mas amplia.

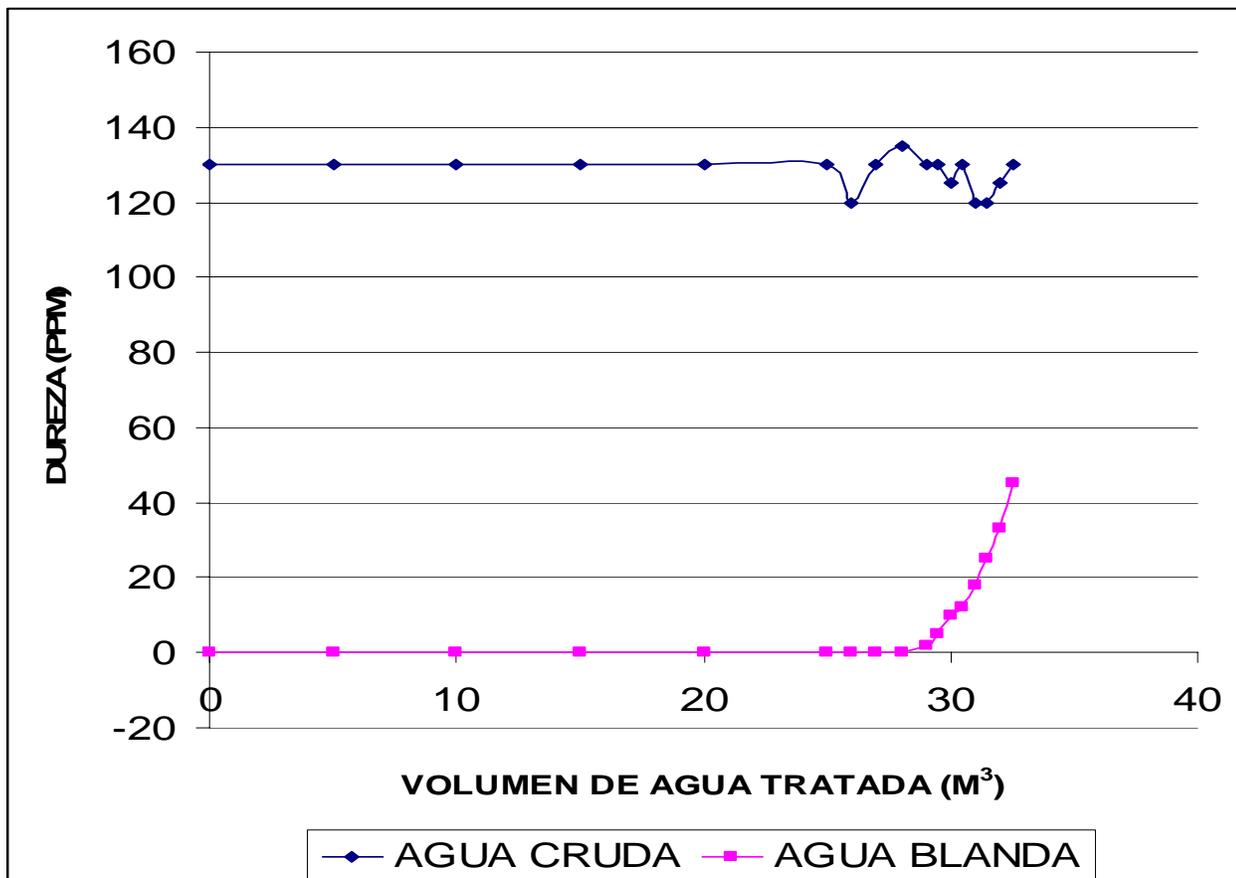
A continuación se pueden observar los datos obtenidos al realizarle las muestras y los volúmenes de agua tratados para cada una tanto en su forma tabular como en forma gráfica.

TABLA II. Dureza Del Agua Cruda Y Tratada Vrs Volumen

VOLUMEN DE AGUA TRATADA (m ³)	DUREZA DE AGUA CRUDA (PPM)	DUREZA DEL AGUA BLANDA (PPM)
0 – 25	130	0
26	120	0
27	130	0
28	135	0
29	130	2
29.5	130	5
30	125	10
30.5	130	12
31	120	18
31.5	120	25
32	125	33
32.5	130	45

Fuente: análisis realizados en laboratorio de agua Fac. de Ingeniería, USAC.

Figura 16. Grafica de dureza de agua vrs volumen de agua tratada



Como se puede apreciar, en este sistema, se logro producir agua con cero dureza hasta 28 m³, lo que es un valor bastante cercano al valor teórico esperado (28.97 m³), sin embargo se procedió a seguir operando la columna hasta que se llevo a un valor de 45 ppm de dureza, que es 1/3 del valor que presenta el agua cruda, este fue el limite definido para la regeneración, se procedió al retrolavado y a la regeneración después de hacer los últimos cambios en el sistema, los cuales fueron agregar la válvula de bola en la descarga de la bomba de regeneración, debido a que se bloqueo el impulsor con algunos residuos de oxido provenientes de la tubería.

CONCLUSIONES

1. El sistema de ablandamiento de agua produce 28 m³ de agua blanda por ciclo (0 ppm de dureza catiónica).
2. El ablandador puede operar por 48 horas continuamente antes de requerir regeneración.

RECOMENDACIONES

1. Llevar un registro del volumen de agua tratado, a fin de tener un control para la regeneración (en caso de no hacer análisis periódicos).
2. Cambiar el sistema de alimentación de agua del laboratorio de operaciones unitarias, ya que al ser muy antigua la tubería de hierro galvanizado, esta se encuentra muy corroída y esto dañará la resina y eventualmente la destruirá.
3. Agregar un dosificador de fosfatos, con el fin de reducir la cantidad de óxido que llega al ablandador mientras se cambia el sistema de tubería, y realizar análisis periódicos de óxido luego de realizados los cambios.

REFERENCIAS

1. Geankoplis, Christie J., **Procesos de transporte y Operaciones Unitarias**. (México:Compañía Editorial Continental, S.A. de CV, 1998) p. 943
2. Kirk, Othmer, **Enciclopedia de Tecnología Química**. (México: Editorial UTEHA, 1962) Tomo 1, p 552
3. Ibid. , p 553
4. Wikipedia, Osmosis, <http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93smosis>
5. Kirk, Othmer, **Enciclopedia de Tecnología Química**. (México: Editorial UTEHA, 1962) Tomo 1, p 553
6. Samayoa Mejia, Luis Fernando. Selectividad de equipos de tratamiento de agua para uso industrial, Tesis Ing. Químico. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Fac. de Ing. 1972 pág. 41
7. Dr. Calderón, laboratorios, Labnews, serie divulgativa No. 6, <http://www.drcalderonlabs.com/Labnews/Labnews6.html>

BIBLIOGRAFÍA

1. Kirk, Othmer, *Enciclopedia de Tecnología Química*. México, Editorial UTEHA, 1962. Tomo 1, Pág. 552-579
2. Geankoplis, Christie J., *Procesos de transporte y Operaciones Unitarias*. México:Compañía Editorial Continental, S.A. de CV, 1998. p. 943
3. Samayoa Mejia, Luis Fernando. Selectividad de equipos de tratamiento de agua para uso industrial, Tesis Ing. Químico. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Fac. de Ing. 1972 pág. 1- 51.
4. Manual de tratamiento de Aguas, Departamento de Sanidad del Estado de New York, tr. Raúl Guerrero Torres, Limusa, México, 1964, pág 79-107.
5. Solución a problemas y recomendaciones de Mantenimiento de Sistemas de Intercambio Iónico, Colombia Rohm & Haas Company, 1999, Pág. 7, 13-16.
6. Bell, R. G., <http://www.bza.org/zeolites.html>, 2001

APÉNDICES

Durante la operación de la columna se deben de llevar a cabo análisis químicos a fin de verificar el buen funcionamiento de esta y corroborar que se esta produciendo agua blanda.

Procedimiento de titulación con EDTA

Este procedimiento se utiliza para medir la dureza del agua de alimentación de la columna, el objetivo es verificar la concentración de iones de calcio y magnesio presentes en la columna.

Determinación de calcio y magnesio:

Paso 1

Determinación de magnesio en una muestra con concentración conocida de calcio y magnesio

- a. Tomar 10 ml de la muestra calcio y magnesio y colóquela en un earlenmeyer.
- b. Agregar 15 ml de solución buffer amoniacal
- c. Añadir 10 cc de agua destilada a la muestra
- d. Añadir 4 gotas de indicador negro de eriocromo T(se tornará rojo).
- e. Titule con solución de EDTA 0.01 M, hasta la aparición de color azul

Paso 2

Determinación de calcio en una muestra con concentración conocida de calcio y magnesio

- a. Tomar 10 ml de la muestra calcio y magnesio y colóquela en un earlenmeyer.
- b. Agregar 10 ml de solución de NaOH 1 M
- c. Añadir 4 gotas de indicador calcón (se tornará rojo)
- d. Titule con solución de EDTA 0.01 M, hasta la aparición de color vino tinto.

Determinación de la dureza del agua:

- a. Repita el paso 1 utilizando 50 ml de agua del grifo y 15 ml de solución buffer amoniacal
- b. Repita el paso 2 utilizando 50 ml de agua de grifo y 20 ml de solución 1 M de NaOH

Preparación de la solución buffer amoniacal

A 200 ml de agua destilada se agregan 54 g de cloruro de amonio y 350 ml de amoniaco liquido a una concentración no menor a 25%, y se completa hasta 1 litro con agua destilada.

Cálculos Realizados

El primer cálculo realizado fue determinar el volumen de agua a tratar esto se basa en los siguientes datos

A) Cantidad de dureza a remover por ft³ de resina: 30,000 granos

B) Cantidad de resina: 2 ft³

C) Concentración de la dureza: 130 ppm

Conversión de ppm a granos = 17.1

$$\text{Volumen a producir en m}^3 = \frac{A * B}{\left(\frac{C}{17.1}\right)} * 3.785 * \frac{1}{1000}$$

Volumen de agua a producir = 29.87 m³

El segundo cálculo es determinar la cantidad de cloruro de sodio (sal) requerida para el tratamiento de la columna

Cantidad requerida por ft³ de resina= 15 lb

Cantidad requerida = 15 lb/ft³* 2 ft³ = 30 lb, aproximadamente 14 kg de sal

CÁLCULO DE ESPESOR DE DUREZA EN LA SUPERFICIE DE LA CALDERA

Datos:

Concentración de dureza: 130 ppm CaCO_3 (mg/kg)

Volumen a tratar por día: 750 litros (aproximadamente 750 kg de agua)

Tiempo de operación: 2 días por semana, 18 semanas por semestre.

Densidad del carbonato: 2500 kg/m^3

Superficie calórica: 252 ft^2 (23.41 m^2).

Masa de dureza a eliminar:

$750 \text{ kg de agua/día} * 130 \text{ mg CaCO}_3/\text{kg de agua} * 2 \text{ días/semana} * 18 \text{ semanas/semestre}$:

$$= 750 * 130 * 2 * 18 = 3,510,000 \text{ mg de CaCO}_3 = 3.51 \text{ kg de CaCO}_3$$

$$\text{Volumen} = \text{masa} / \text{densidad} = 3.51 / 2500 = 0.0014 \text{ m}^3 \text{ de CaCO}_3$$

$$\text{Espesor} = \text{volumen} / \text{superficie calórica} = 0.0014 / 23.41 = 5.99 * 10^{-5} \text{ m} = 0.06 \text{ mm}$$

Espesor = 0.06 mm

ANEXOS

Datos técnicos de resina de intercambio iónico


AMBERLITE® SF120 Na
 Strong Acid Cation Exchanger

PRODUCT DATA SHEET

AMBERLITE SF120 Na is a high quality, high capacity, gel type, strongly acidic cation exchange resin. This resin is produced by a special solvent-free process unique in the water treatment industry. It produces a high quality resin completely free of solvent residue with very low color throw and free of objectionable taste and odor. Amberlite SF120 Na is suitable for water softening operations. Its principal characteristics are amber color, excellent physical, chemical and thermal stability and high exchange capacity. Amberlite SF120 Na is supplied in the sodium form as translucent beads packaged in one cubic foot bags or larger bulk packages.

PROPERTIES

Matrix _____	Styrene divinylbenzene copolymer
Functional groups _____	Sulfonic Acid
Physical form _____	Translucent, amber beads
Ionic form, as shipped _____	Sodium
Total exchange capacity _____	1.9 meq/ml minimum (Na ⁺ form)
Moisture holding capacity _____	41 to 49% (Na ⁺ form)
Shipping weight _____	53 lbs/ft ³
Screen Grading (wet) _____	16 to 50 mesh (US Std Screens)
Screen Analysis _____	2 % maximum on 16 mesh (US Std Screens) 2 % maximum thru 50 mesh (US Std Screens)
Maximum Reversible Swelling _____	Na ⁺ → H ⁺ : approximately 10 %

Test methods are available on request.

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS

pH Range _____	0 to 14
Maximum Operating Temperature _____	250 °F
Minimum Bed Depth _____	24 inches, preferably > 36 inches
Service Flow Rate _____	0.5 to 5.0 gpm/ft ³
Regenerant (100 % basis) _____	NaCl
Flow Rate _____	0.3 to 1.0 gpm/ft ³
Concentration _____	10 to 15 %
Rinse flow rate _____	0.3 to 1 gpm/ft ³ initially, then 1.5 gpm/ft ³
Rinse Requirements _____	25 to 75 gal/ft ³

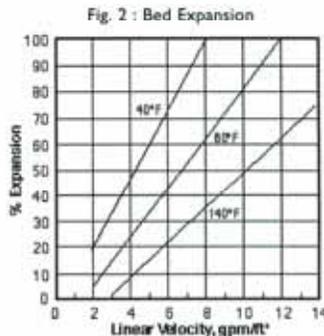
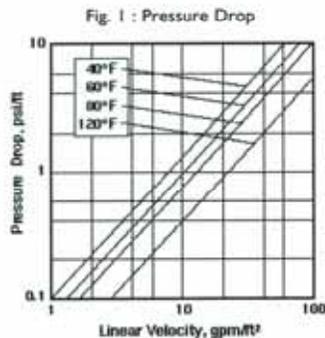
©1999 Rohm and Haas Company E533 EDS - Apr. 99 - 1/2

LIMITS OF USE

Amberlite SF120 Na is suitable for industrial used. For other specific applications such as *pharmaceutical, food processing or potable water applications*, it is recommended that all potential users seek advice from Rohm and Haas Company in order to determine the best resin choice and optimum operating conditions.

HYDRAULIC CHARACTERISTICS

Figure 1 shows the pressure drop data for Amberlite SF120 Na, as a function of service flow rate and water temperature. Pressure drop data are valid at the start of the service run with clear water and a correctly classified bed. Figure 2 shows the bed expansion of Amberlite SF120 Na, as a function of backwash flow rate and water temperature.



Rohm and Haas/Ion Exchange Resins - Philadelphia, PA - Tel. (800) RH AMBER - Fax: (215) 409-4534
Rohm and Haas/Ion Exchange Resins - 75579 Paris Cedex 12 - Tel. (33) 1 40 02 50 00 - Fax: 1 43 45 28 19

WEB SITE: <http://www.rohmhaas.com/ionexchange>



AMBERLITE is a trademark of Rohm and Haas Company, Philadelphia, USA.
Ion exchange resins and polymeric adsorbents, as produced, contain by-products resulting from the manufacturing process. The user must determine the extent to which organic by-products must be removed for any particular use and establish techniques to assure that the appropriate level of purity is achieved for that use. The user must ensure compliance with all prudent safety standards and regulatory requirements governing the application. Except where specifically otherwise stated, Rohm and Haas Company does not recommend its ion exchange resins or polymeric adsorbents, as supplied, as being suitable or appropriately pure for any particular use. Consult your Rohm and Haas technical representative for further information. Acidic and basic regenerant solutions are corrosive and should be handled in a manner that will prevent eye and skin contact. Nitric acid and other strong oxidizing agents can cause explosive type reactions when mixed with Ion Exchange resins. Proper design of process equipment to prevent rapid buildup of pressure is necessary if use of an oxidizing agent such as nitric acid is contemplated. Before using strong oxidizing agents in contact with Ion Exchange Resins, consult sources knowledgeable in the handling of these materials.

Rohm and Haas Company makes no warranties either expressed or implied as to the accuracy or appropriateness of this data and expressly excludes any liability upon Rohm and Haas arising out of its use. We recommend that the prospective users determine for themselves the suitability of Rohm and Haas materials and suggestions for any use prior to their adoption. Suggestions for uses of our products of the inclusion of descriptive material from patents and the citation of specific patents in this publication should not be understood as recommending the use of our products in violation of any patent or as permission or license to use any patents of the Rohm and Haas Company. Material Safety Data Sheets outlining the hazards and handling methods for our products are available on request.

FUENTE: <http://www.rohmhaas.com/ionexchange>

Procedimientos de Limpieza para Resina

Estos procedimientos se tomaron del manual de Rohm & Haas para la solución de problemas y recomendaciones de mantenimiento para sistemas de intercambio iónico, específicamente se tomaron los relacionados al problema principal del sistema, el cual es la contaminación con hidróxido férrico, a continuación se detallan los procedimientos exactos y guías para cada sistema, así como la detección de cada tipo de contaminación.

CONTAMINACIÓN CON HIERRO.

El hierro puede presentarse en forma natural en varias formas: cuando el hierro se presenta en forma de suspensión insoluble, en esa forma se separa del agua por filtración, depositándose en forma sólida sobre el lecho de la resina. El hierro puede encontrarse también en solución en forma ferrosa pero oxidarse a la forma férrica antes de la unidad de intercambio catiónico. Por último la resina catiónica puede absorber el hierro soluble en forma férrica, el cual se oxida una vez en la resina. El hierro en suspensión se puede eliminar mediante un retrolavado prolongado antes de la regeneración. Cuando ocurren precipitaciones antes de la unidad catiónica estas se presentan en forma de hidróxido férrico; este es un producto gelatinoso y pegajoso que recubre las perlas de resina envenenándolas y haciéndoles perder capacidad. Se recomienda en este caso efectuar una limpieza con hidrosulfito de sodio a fin de reducir el hierro al ión ferroso que es más soluble.

El mas difícil de los tratamientos es cuando el ión se ha oxidado de ferroso a férrico una vez precipitado en la resina, aquí se recomienda un tratamiento con ácido clorhídrico concentrado. Es muy importante tomar en cuenta la corrosividad del ácido clorhídrico, especialmente en lo relacionado con los materiales de construcción, es recomendable utilizar inhibidores de corrosión.

LIMPIEZA CON HIDROSULFITO DE SODIO

CONCENTRACION:

Hidrosulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{SO}_2\text{O}_4$):	2 %
Poli fosfato (por ejemplo $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$):	2 %
Volumen:	3 VL (S)

NOTAS:

- a) Siempre agregue el hidrosulfito de sodio al agua y no al revés, prepare la solución en un área ventilada ya que durante la disolución se pueden generar olores fuertes.
- b) El hidrosulfito se descompone rápidamente por lo cual no se recomienda almacenarlo durante mucho tiempo, la solución limpiadora debe usarse inmediatamente después de prepararse y no prepararse en exceso.
- c) Nunca debe emplearse hidrosulfito para limpiar resinas aniónicas; el hidrosulfito se deposita en los grupos funcionales aniónicos y puede formar polímeros que inutilizan las resinas.

PROCEDIMIENTO

1. Bajar el nivel de agua dentro de la columna hasta alcanzar una altura entre 2 y 5 cm arriba del nivel de resina.
2. Pasar la solución diluida de hidrosulfito de sodio a una velocidad máxima de 4 VL/h (volumen de liquido de la columna por hora).
3. Parar la alimentación de hidrosulfito y su salida al drenaje una vez que se han introducido dos (2) VL completos.
4. Dejar “remojarse” la resina con hidrosulfito durante un periodo de 12 horas si es posible (mínimo 4 horas).
5. Pasar el resto del hidrosulfito a la misma velocidad que en el paso dos (2) y cerrar el registro de visita si es necesario.
6. Enjuagar con agua cruda hasta la eliminación del hidrosulfito
7. En el caso de resinas aniónicas efectuar una regeneración doble (al nivel acostumbrado de regeneración dos veces), teniendo en cuenta de efectuar un enjuague completo entre las dos regeneraciones. En el caso de lechos mixtos deberán separarse primero las resinas y después efectuarse las dos regeneraciones completas, haciendo un enjuague completo entre los dos pasos, tanto para la resina catiónica como para la aniónica.
8. En el caso de resinas catiónicas en el ciclo sodio efectuar una regeneración sencilla.

LIMPIEZA CON ACIDO CLORHIDRICO

CONCENTRACIÓN:

HCl: 10%

Inhibidor de corrosión: 15-20 ppm

NIVEL DE REGENERACIÓN:

HCl 100% 300 g/l

Inhibidor de corrosión: 0.45 – 0.60 g/l

NOTAS:

- a) El nivel de regeneración se refiere al volumen total de resina, así por ejemplo en el caso de lechos mixtos debe considerarse el volumen de la resina catiónica también, aun en el caso de que solamente se desee tratar la resina aniónica.

En el caso de limpieza de hierro, este procedimiento es un recurso extremo y solo se recomienda cuando la limpieza con hidrosulfito de sodio no ha sido efectiva.

- b) El uso del inhibidor de corrosión es forzoso en el caso de que existan problemas de resistencia del material de construcción del equipo. La proporción del inhibidor de corrosión puede variar dependiendo del fabricante de este producto, por ejemplo: en Estados Unidos se usa Corrinil HC fabricado por Corrinil products INC. O el Poly Rad 0515^a fabricado por Hércules Inc., la dosificación se calcula con base a la cantidad del ácido y varía para los productos mencionados de un 0.15 a un 0.2 % de la cantidad de HCl empleada. Es importante seguir las recomendaciones del proveedor del inhibidor de corrosión.

PROCEDIMIENTO

1. Bajar el nivel de agua dentro de la columna hasta alcanzar una altura entre 2 y 5 cm arriba del nivel de la resina.
2. Pasar la solución de ácido a una velocidad máxima de 4 VL/h (volumen de líquido de la columna), cuidando de mantener el nivel de fluido constante, para mejor control se recomienda mantener el registro de visitas abierto durante la limpieza.
3. Detener la alimentación de ácido y su envío al drenaje cuando se han introducido dos (2) VL (s) completos.
4. Agitar ligeramente la resina con aire comprimido si es posible.
5. Dejar “remojarse” la resina con clorhídrico durante un período de doce horas si es posible (5 horas mínimo).
6. Pasar el resto del ácido a la misma velocidad que en el paso dos (2) y cerrar el registro de visita si es necesario.
7. Enjuagar con agua cruda hasta la eliminación del ácido.
8. Efectuar una regeneración doble (al nivel acostumbrado dos veces), teniendo en cuenta de efectuar un enjuague completo entre las dos regeneraciones.
9. En el caso de lechos mixtos deberán separarse primero las resinas y después efectuar dos regeneraciones completas con un enjuague completo entre los dos pasos, tanto para la resina catiónica como para la aniónica.

PRECAUCIÓN

El ácido clorhídrico es sumamente corrosivo, se recomienda conocer y practicar las medidas de seguridad recomendadas por el fabricante del ácido.