

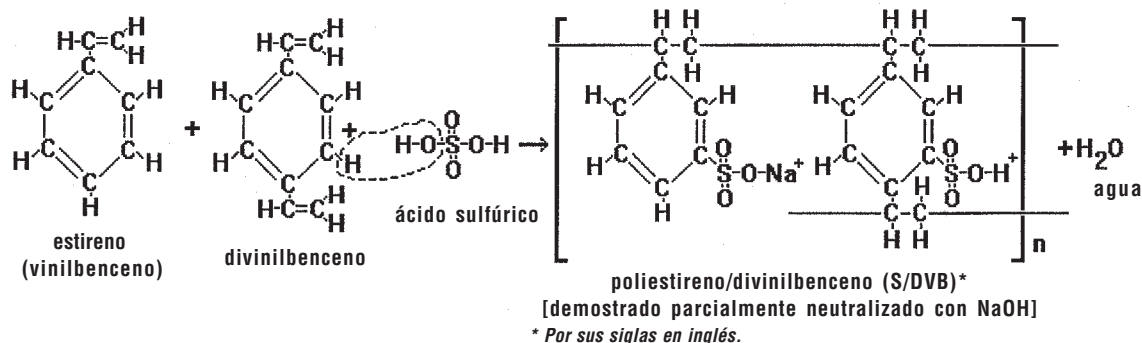
Intercambio Iónico: Oxidación— Oxidantes, Edad y Resinas Suavizantes

Por C.F. “Chub” Michaud, CWS VI

Resumen: Las resinas suavizantes son plásticos reactivos. Algunos oxidantes como el cloro hacen que estas resinas se abran y pierdan eficiencia con el tiempo, como se discute enseguida.

Probablemente resulte un poco complicado percibir una resina suavizante de intercambio iónico como un “plástico reactivo”. La mayoría de nosotros pensamos en el plástico como una sustancia inerte que no puede ser afectada por la corrosión (oxidación) o la fatiga del material (cuando éste se hace quebradizo). Sin embargo, las resinas de intercambio iónico se oxidan y rompen con su uso y el paso del tiempo. Este artículo describe lo que les sucede a las resinas química y físicamente al correr del tiempo.

Figura 1. Vista interior de la resina catiónica



Al igual que hace 50 años, la resina de intercambio iónico es el corazón reactivo de los suavizantes actuales. Las resinas están hechas de plástico—consistiendo de poliestireno (S o vinilbenceno) fusionadas con divinilbenceno (DVB), que sirve de enlace cruzado—entrelazado, reticulado o “crosslink”. Las resinas adquieren su forma esférica a través de su proceso particular de manufactura. Gotitas diminutas del monómero (el líquido de mono-estireno y DVB sin enlace cruzado) suspendidas en el agua forman esferas, de igual manera que el aceite en agua. Catalizadas y calentadas, estas gotitas se polimerizan en sólidos. Estas diminutas esferas sólidas, conocidas como esferas de copolímero, son transparentes. Para convertir estos copolímeros en resinas funcionales, se hace que las esferas reaccionen con una solución de ácido sulfúrico fuerte que se combina con el copolímero, ligándose al anillo de benceno del estireno. De ahí se deriva el nombre “estireno sulfonado/divinilbenceno”—abreviado como S/DVB. Ahora tenemos un intercambiador catiónico.

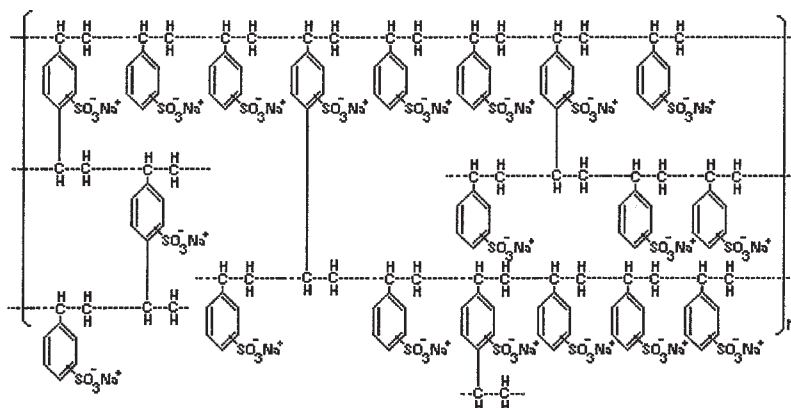
Durante el proceso de reacción, estos plásticos adquieren su color familiar (de ámbar a café, hasta negro). El color es de menor importancia y no tiene efecto o relación con la calidad, capacidad de funcionamiento o durabilidad de la resina resultante. El producto sulfonado se hincha de gran manera en el agua pero no se disuelve (debido a los enlaces cruzados). Este alto contenido de agua permite que los iones tales como calcio, magnesio y sodio se movilicen dentro de la esfera de la resina y se

“enganchen” con millones de sitios sulfonados reactivos. Las resinas suavizantes son altamente porosas a nivel molecular con estructuras ampliamente abiertas y poros rellenos de agua.

El papel de los enlaces cruzados

Los enlaces cruzados juegan un papel importante en el funcionamiento de una resina suavizante. El nivel de reticulación de las resinas suavizantes puede variar del 6 al 10% de DVB, con niveles típicos de 8%. Mientras aumenta el nivel de reticulación, los polímeros quedan más restringidos y no se hinchan tanto. Las resinas son físicamente más resistentes y más compactas. A niveles más elevados de reticulación, existe una menor cantidad de agua en las esferas y, por lo tanto, una

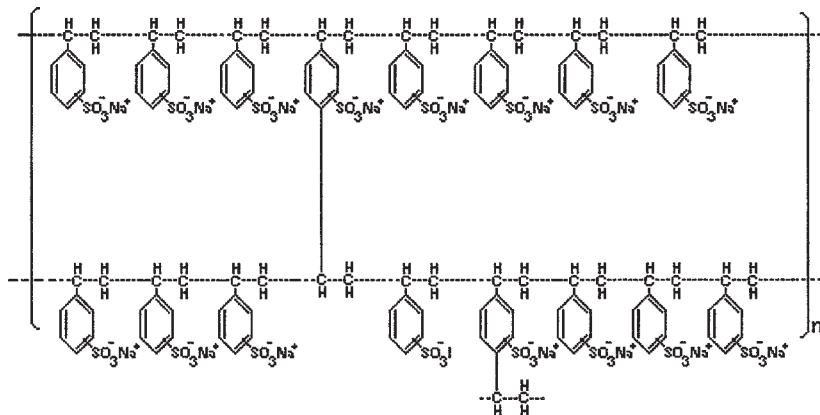
Figura 2. Resina catiónica altamente reticulada



mayor capacidad por unidad de volumen. Las resinas con un mayor grado de reticulación tienen una alta densidad funcional y, por consiguiente, presentan una mayor selectividad hacia la dureza en comparación con el sodio. Además estas resinas resisten de mejor manera la deformación térmica y pueden ser empleadas a temperaturas más altas. Muchas aplicaciones exceden el punto de ebullición del agua—100°C (212°F).

Los enlaces cruzados son algo bueno pero, al igual que muchas cosas en la vida, demasiado puede ser malo. Las resinas con un mayor grado de reticulación en sus cadenas tienen menor humedad o capacidad

Figura 3. Resina catiónica con baja reticulación



de contención de agua. Por lo tanto, las vías de entrada y salida de la esfera se encuentran un poco más congestionadas. La cinética es más lenta y la regeneración es más difícil, particularmente en agua más fría (en un suavizante residencial éstas pueden ser demasiado lentas como para aguantar los niveles de flujo del hogar). Como consecuencia, estas resinas presentarán una menor capacidad de funcionamiento. La mayor selectividad hacia la dureza durante el servicio probablemente se pierda debido a los problemas de regeneración, requiriendo una mayor dosificación de sal y ofreciendo baja eficiencia en la salmuera. Todos los beneficios del alto nivel de reticulación pueden convertirse en desventajas en los suavizantes de alto flujo.

Por otra parte, bajos niveles de reticulación producen resinas con un alto contenido de humedad y estructuras más abiertas. Las resinas

con un menor grado de reticulación ofrecen una selectividad de dureza adecuada, se regeneran bien y son bastante eficientes. A pesar de ser físicamente más débiles, son satisfactorias; son más baratas por tener menos DVB y funcionan bien en muchas aplicaciones. Las desventajas de las resinas con un menor grado de reticulación incluyen una menor capacidad y el hecho de que físicamente no pueden soportar muy bien los flujos excesivos—10 a 15 galones por minuto por pie cúbico (gpm/ft³). Estas resinas sufren mayores deformaciones y altas caídas de presión en agua caliente, o hasta en agua tibia. Esto puede llevar a un alto grado de rompimiento en las esferas y pérdida de resina. Además, tienen una resistencia marginal al cloro y otros oxidantes, aun al ser nuevas.

La resina con un 8% de enlaces cruzados ha comprobado durante el correr del tiempo ser casi óptima para aplicaciones residenciales.

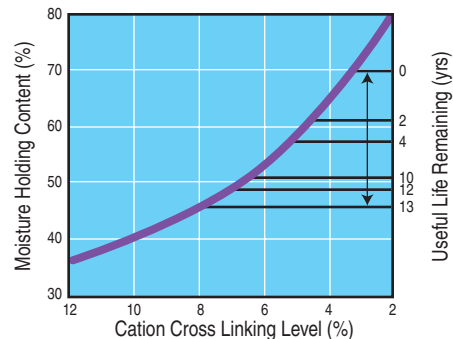


Figura 4. Prediciendo la vida restante a través de la humedad

Construyamos generaciones de esperanza para nuestros niños...el futuro de nuestro mundo.

Water For People/Agua para la Gente utiliza el agua como un cimiento para ayudar a las comunidades de los países en vías de desarrollo a abordar sus propias necesidades básicas de agua y saneamiento. Sin estos elementos esenciales, no puede lograrse ninguna otra meta de desarrollo.

Ayúdenos a hacer una diferencia inmediata y duradera en la salud y el bienestar de estas vidas tan especiales que necesitan un futuro más sano.

Mundialmente, un niño muere cada diez segundos debido a alguna enfermedad relacionada con el agua.

www.waterforpeople.org

Water For People
6666 W. Quincy Avenue
Denver, CO 80235 U.S.A.
Tel: +1(303).734.3490
FAX: +1(303).734.3499
Correo Electrónico:
info@waterforpeople.org

Tabla 1. Efectos de la oxidación en las resinas suavizantes

Edad de Laboratorio	Humedad	Capacidad total		Pérdida de capacidad volumétrica	Densidad	Hinchazón	
Años	%	Meq/gm	meq/ml	%	gms/ml	Oxidación	Ca—Na
0	48.7	4.55	1.94	—	0.837		1.8
1	49.0	4.55	1.94	—	0.832	0.80	2.3
3	50.5	4.50	1.85	4.64	0.824	5.6	6.3
9	57.1	4.45	1.54	21.1	0.806	16.0	8.6
11	61.1	4.48	1.38	29.4	0.793	32.0	10.5
13	66.9	4.56	1.13	41.8	0.749	33.2	12.7

Tabla 2. Efectos de la oxidación en el rendimiento de una resina suavizante

Edad de Laboratorio	Capacidad de funcionamiento (kgr/pie ³)		Porcentaje de Fuga	Resistencia (gms/esfera)	Pérdida de Resistencia	Volumétrico (psi/pie prof. del lecho)	
años	Fin	rotura	ppm CaCO ₃	—	%	10 gpm	20 gpm
0	19.4	15.2	13.5	283	—	1.0	2.3
1	19.0	14.6	15.8	284	—	1.0	2.3
3	18.6	14.7	15.5	188	33.8	1.0	2.4
9	16.8	13.9	18.6	146	48.6	1.1	2.5
11	16.4	13.6	18.4	121	57.4	1.6	4.5
13	15.6	12.2	17.3	68	76.1	1.7	4.8

Representa la mejor combinación de durabilidad y cinética y, generalmente, representa el mejor valor para la mayoría de las aplicaciones de suavizado. Los productos con un grado de reticulación mayor o menor deben ser solamente considerados para aplicaciones fuera de la norma, tales como extremos de temperatura o de nivel de oxidante, o en la eliminación selectiva de especies iónicas, donde han demostrado un mejor rendimiento.

Fuentes de oxidante

En años recientes se ha dado mayor atención a los métodos de desinfección empleados por las municipalidades. El cloro sigue siendo el elemento más utilizado pero su reacción con productos orgánicos y sus subproductos puede producir compuestos clorados, conocidos como trihalometanos (THM*), los cuales son considerados tóxicos. La estabilización del cloro mediante la adición de amoníaco (NH₃) produce cloraminas, las cuales son menos reactivas, pero por lo general tienen que ser utilizadas a niveles de cloro dos a tres veces mayores que el nivel normal.

Una exposición constante a altos niveles de cloro—más altos que 1 ppm—acelerará el proceso de oxidación, teniendo como resultado un mayor ataque y degradación de la resina. Como regla general, el número 10 dividido por el nivel de cloro (expresado en ppm), predice la vida de la resina en años. Por ejemplo: 1.5 ppm de cloro (10/1.5)=6.7 años. Con el uso de niveles más altos de cloro, el tiempo de vida garantizado de la resina queda en duda. La presencia de hierro o cobre en el agua de alimentación aumenta el efecto de oxidación del cloro. Antes de instalar el suavizante, el vendedor deberá ver si hay alguna señal de presencia de hierro o cobre y tratar de determinar si provienen del agua de alimentación o de las tuberías después del punto de entrada. Se debe inspeccionar la

tubería de los baños (incluyendo el tanque del inodoro) y revisar si hay manchas cafés, anaranjadas, o verdes. Si se encuentran manchas, habrá que tomar una muestra de agua de un punto que esté ubicado fuera de la casa. El suavizante verá el contenido de la fuente de alimentación. Hay que considerar la instalación de un filtro de reducción de cloro, por ejemplo un filtro de carbón activado granulado (GAC*) o KDF, si hay niveles de hierro o cobre mayores que 0.5 ppm, combinados con más de 1 ppm de cloro.

En nuevas instalaciones, puede colocarse una malla fina de GAC por encima de la resina suavizante. Sin embargo, es posible que no haya un área suficiente para hacer modificaciones en los tanques de suavizante. Si usted decide agregar GAC, asegúrese de añadir una cantidad suficiente para que le dure varios años—por lo menos 0.5 pie cúbico de malla de 20×50. El KDF puede ser colocado en un filtro de cartucho antes del suavizante o dentro de los tanques del suavizante, con cartuchos especiales diseñados con ese propósito. No le agregue KDF directamente al suavizante; puede ser que caiga hasta el fondo del tanque sin proteger a la resina.

El proceso de envejecimiento

Cuando las resinas se envejecen (oxidan) empiezan a mostrar un mayor contenido de humedad (hinchazón) debido al ataque oxidativo en los enlaces cruzados, los cuales se debilitan. La tensión física y osmótica de la regeneración comienza a romper la resina produciendo partículas finas. Estas partículas finas son retrolavadas fuera del lecho con cada regeneración, resultando en una pérdida de capacidad. La resina restante probablemente ocupe el mismo volumen de lecho debido a su hinchazón. Por lo tanto, puede ser que no se note el desgaste tan fácilmente. Con una disminución en la capacidad, la eficiencia de la sal se reduce y los costos de operación aumentan.

Expresado en números redondos, una resina nueva de 8% DVB comienza a operar con un 49% de humedad. Tiene una capacidad de 1.9 a 2.0 miliequivalentes por mililitro (meq/ml), lo cual se traduce como 41 a 43 kilogramos por pie cúbico (kgr/ft³) de resina. Si empleamos 8 libras de sal por pie cúbico (lbs/ft³) para regenerar esta resina, podemos esperar una capacidad de 24 a 25 kgr/ft³. Diez años más adelante y después de haber procesado unos cuantos millones de galones de agua clorada, el contenido de humedad puede aumentar a un 60% o más. La capacidad de retención de humedad está tan ligada al nivel de reticulación y a la capacidad de la resina, que algunos fabricantes examinan el “residuo” de vida de la resina simplemente haciendo un chequeo de su contenido de humedad. La figura 4 muestra la relación entre la capacidad de retención de humedad, el nivel aparente de reticulación, y la vida restante esperada.

En nuestro ejemplo de 10 años de funcionamiento, la capacidad ha decaído a 1.4 meq/ml (29 kgr/ft³), una pérdida del 30% (Ver *Tabla 1*). La regeneración es ahora más frecuente y, de tal manera, el consumo de sal ha aumentado. Si al ser nuevo, este sistema se regeneraba una vez al día, el consumo de sal añadido sería de 876 libras por año (asumiendo 8 lbs/ft³). A 10 centavos por libra (precio del mercado) el usuario está gastando \$87.60 dólares adicionales al año ¡por tener agua suave! El consenso general entre los fabricantes de resina es que, una vez que la resina ha llegado a un nivel de humedad de 60%, la degradación rápida y los altos gastos adicionales de sal son razones suficientes para justificar su reemplazo.

Al principio del artículo mencionamos que una resina con un alto nivel de reticulación tiene mayor selectividad. Una resina vieja ha perdido parte de su potencial de reticulación debido a la oxidación. ¿Quiere esto también decir que tiene una menor selectividad? La respuesta es ¡Sí! En nuestro ejemplo de diez años de funcionamiento, la resina vieja muestra un 38% más de fugas que la resina nueva (ver *tabla 2*). Los niveles de regeneración para este caso fueron de 5 libras de NaCl/ft³.

Una resina de mayor edad tiene que trabajar más duro.

El costo anual de funcionamiento de la resina (mayor uso de sal) aumenta con el tiempo, mientras que la resina parece estar haciendo un menor trabajo (más fuga). Asimismo aumenta la tensión que se pone en la resina. La resina nueva se hincha aproximadamente un 1.8% al pasar de su forma de calcio (desgastada) a su forma de sodio (regenerada). Nuestra resina vieja se hincha aproximadamente 10%. Esto causa una mayor fatiga estructural y mayor fracturamiento. Su densidad ha disminuido de 0.837 gramos por mililitro (mg/ml) a 0.793 mg/ml, por lo que el mismo flujo de retrolavado arrastra más resina y partículas finas de mayor tamaño. La resina nueva podría resistir casi 300 gramos de fuerza antes de ser aplastada, mientras que la resina vieja se rompe a 130 gramos de fuerza. Para flujos típicos de sistemas residenciales entre 10 y 20 gpm/ft², la resina vieja presenta el doble de caída de presión que la resina nueva. (ver *Tabla 2*).

Conclusiones

Si nuestra resina de 10 años fuera un empleado de su compañía, usted se quejaría de que, al hacerse mayor, la persona se ha hecho menos productiva, menos eficiente, menos tolerante, más exigente, más resistente al cambio y exige un mayor salario. Si usted tuviera un empleado así, ¿que haría?

Aunque la resina suavizante nunca se muere, alcanza un punto—después de 10 a 15 años de uso residencial típico, con menos de 1 ppm de cloro—en el que debe ser reemplazada. Para instalaciones comerciales con regeneraciones frecuentes, las resinas de 8 a 10 años de vida funcionan a un 80% de su capacidad inicial, con un pequeño aumento de

costo. Los sistemas industriales están normalmente diseñados con flujos más conservadores y menores expectativas de fugas. Utilice resinas de grado industrial (con mayor grado de reticulación) para usos industriales. Su costo inicial es un poco mayor, pero puede lograrse una vida útil de 8 a 10 años manteniendo buenas características de firmeza y resistencia a fugas. El mejor consejo consiste en escoger el tipo de resina que se ajuste de mejor manera a su aplicación específica.

* Por sus siglas en inglés.

Referencias

1. Meyers, P., “Ion Exchange and Leachables”, *Water Conditioning & Purification (WC&P)*, marzo 2000.
2. Hayden, R.A., et al., “Chloramines, Part 1 of 2: Alternative Municipal Disinfectant Method a Problem for Carbon Filters?” *WC&P*, marzo 2000.
3. Michaud, C.F., “Ion Exchange Resin—Methods of Degradation”, *WC&P*, enero 1990.
4. Fries, B., datos de una investigación publicado sobre “Resin Oxidation”, Purolite Co., Philadelphia, Pennsylvania, EE.UU., 1999.

Acerca del Autor

C.F. “Chub” Michaud es Director Técnico de la Compañía Systematix de Placentia, California. El Sr. Michaud posee una licenciatura y maestría en ingeniería química de la Universidad de Maine, al igual que varias patentes en los EE.UU. para procesos de intercambio iónico. Con 30 años de experiencia en el tratamiento de fluidos y de agua, preside el Equipo Especial de Intercambio Iónico de la Water Quality Association (WQA), es parte de varios otros comités de WQA y posee la más alta designación de Especialista Certificado en Agua, Nivel 6. Asimismo, es miembro fundador del Comité de Revisión Técnica de WC&P. Este artículo fue publicado primero en el número de agosto 2000 de la revista *Water Conditioning & Purification (WC&P)*. Contacto: +1(714) 993-2482 o cmichaud@systematixUSA.com